

# 全球低碳校园

## 案例选编

2021年3月



20  
21

# 全球低碳校园案例选编

(试行版)

## 中国高校低碳转型示范项目

该项目是由青年应对气候变化行动网络于 2018 年在过往校园节能项目基础上发起，以校园作为先锋试点社区，通过建立学校、企业、NGO 参与和青年支持的多方共同协作机制聚焦区域环境的改善，以推动实现校园低碳转型。

本项目由联合国开发计划署全球环境基金小额赠款项目资助，由欧洲联盟与互满爱人与人基金会（互满爱人与人西班牙会员）共同支持。

## CYCAN 青年应对气候变化行动网络

中国第一支关注气候变化和青年发展的非营利性组织，致力于在 2030 年之前推动青年及公众为应对气候变化做出立即的行动和卓有成效的改变。

# 编写团队

## WRITING TEAM

按名字首字母排名

### 统 筹：

骆毅文（CYCAN 项目官员）

邵雨薇（CYCAN 项目主管）

赵梦圆（CYCAN 项目协调员）

### 编 写：

白宇楠（CYCAN 高级项目官员）

韩梦敏（CYCAN 传播助理，南京工业大学在读）

韩 影（CYCAN 运营助理，中国科学技术大学在读）

胡慧珊（CYCAN 项目助理）

骆毅文（CYCAN 项目官员）

邵雨薇（CYCAN 项目主管）

赵梦圆（CYCAN 项目协调员）

### 顾 问：

卢洪刚（教育部学校规划发展中心专家、中国绿色大学联盟常务委员）

屈利娟（浙江大学国际联合学院（海宁国际校区）总务部部）

谭洪卫（同济大学绿色建筑及新能源研究中心常务副主任）

### **资料收集：**

郭与直（CYCAN 项目助理，美国加州大学伯克利分校在读）  
穆昱为（CYCAN 项目助理，吉林工程技术师范学院在读）  
刘欣宇（CYCAN 项目助理，北京工商大学在读）  
优丽娅（CYCAN 项目助理，莫斯科现代艺术学院在读）  
张楚诗（CYCAN 项目助理，中山大学在读）  
阎辰嘉（CYCAN 运营助理，荷兰鹿特丹伊拉斯姆斯大学在读）

### **校对志愿者：**

陈映旋（CYCAN 项目助理，广东外语外贸大学在读）  
陈雨桐（CYCAN 传播助理，北京外国语大学在读）  
高阅怀（CYCAN 项目助理，UNC-Chapel Hill 在读）  
郭与直（CYCAN 项目助理，美国加州大学伯克利分校在读）  
刘又嘉（CYCAN 传播助理，麦克马斯特大学在读）  
李喆彦（CYCAN 传播助理，香港中文大学在读）  
孟书萱（CYCAN 项目助理，北京大学在读）  
王翔宇（CYCAN 项目助理，香港浸会大学在读）  
肖淼（CYCAN 项目助理，华威大学在读）  
杨鑫（深圳大学在读）  
张楚诗（CYCAN 项目助理，中山大学在读）  
朱浣浣（CYCAN 传播助理，科罗拉多学院在读）



# 目录

## CONTENTS

前言 /001

寄语 /003

### 第一章 校园低碳规划策略 /006

一、校园低碳规划策略的含义 /006

二、校园低碳规划策略的应用与评价 /007

    案例 1: 乔治城大学 /007

    案例 2: 浙江大学海宁国际校区 /017

    案例 3: 天津大学 /025

三、专家点评 /033

### 第二章 生态补偿策略 /035

一、生态补偿含义 /035

二、生态补偿策略的应用与评价 /036

案例 1: 哈佛大学 /036

案例 2: 杜克大学 /041

三、专家点评 /045

### **第三章 建筑单体的节能低碳设计与改造 /046**

一、建筑单体的节能低碳设计与改造的含义 /046

二、建筑单体的节能低碳设计与改造的应用与评价 /047

案例 1: 新加坡南洋理工大学 /047

案例 2: 山东建筑大学 /051

案例 3: 新南威尔士大学泰瑞能源技术大楼 (TETB) /057

案例 4: 不列颠哥伦比亚大学 /061

案例 5: 同济大学 /065

案例 6: 麻省理工学院 (David H. Koch 癌症综合研究所) /072

案例 7: 康奈尔大学 /076

案例 8: 清华大学苏世民书院 /080

三、专家点评 /085

## **第四章 设备系统的节能调试与更新 /086**

一、设备系统的节能调试与更新的意义 /086

二、设备系统的节能调试与更新的应用与评价 /087

案例 1: 墨尔本大学 /087

案例 2: 麦克马斯特大学 /090

案例 3: 多伦多大学士嘉堡校区 (UTSC)/094

案例 4: 布鲁克大学 /100

案例 5: 江南大学 /104

案例 6: 浙江大学紫金港校区 /111

案例 7: 中国石油大学 (华东) /116

三、专家点评 /121

## **第五章 可再生能源的替代性应用 /123**

一、校园低碳规划策略的含义 /123

二、可再生能源的替代性应用的应用与评价 /124

案例 1: 波尔州立大学 /124

案例 2: 同济大学 /129

三、专家点评 /132

## **第六章 可持续议题倡导与活动 /134**

一、可持续议题倡导与活动的含义与趋势 /134

二、可持续议题倡导与活动的应用与评价 /135

案例 1: 苏黎世联邦理工学院 /135

案例 2: 耶鲁大学 /142

案例 3: 不列颠哥伦比亚大学 (UBC) /145

案例 4: 普林斯顿大学 /151

## **附录 (英文概览) /160**

## **结语 /211**

# 前言

## Preface

全球气候变化已成为 21 世纪人类面对的最严峻挑战，是当前国际社会关注的焦点。2018 年，IPCC 发布的《1.5C°特别报告》显示最快于 2030 年全球气温将会上升到超过工业化前水平的 1.5C°，这个温度将会是引发全球极度自然灾害的临界点。IPCC 委员会主席李会晟表示，气候变化已经影响到世界各地的人们，生态系统和生计，而将气温升高控制在 1.5 度并非不可能，但需要在社会各阶层进行前所未有的变革。

《巴黎协定》的目标是在 2050 年前实现净零排放，而作为世界最大的碳排放国之一，中国高度重视应对气候变化。2020 年 9 月 22 日，习近平主席在第 75 届联合国大会上提出“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”，并在 12 月 12 日《巴黎协定》通过五周年的“2020 气候雄心峰会”上进一步强调中国在减排方面的具体目标，推动各方在气候行动方面的落实。

根据 2019 年教育部公布的最新统计，我国高等学校共计 2956 所，预估在校大学生人数超过 3700 万人，高校的建设规模、学生人数及资源消耗急剧增加，能源消费开支逐年上升。高等院校建设绿色低碳校园，有助于积极构建科学、低碳、高效的资源配置模式，以适应高等教育发展的形势，推动生态文明建设。2019 年，《绿色生活创建行动总体方案》发布并着重强调绿色学校的创建，致力于打造节能环保的绿色校园；教育部 2013 年发布《教育部关于勤俭节约办教育建设节约型校园的通知》，倡导以实际行动降低能源、资源的消耗。

作为具有高度相似功能的建筑群，学校担负着培养人才、科技创新、推行可持续发展理念的重要责任，也是能源使用密集型公共单位。绿色低碳校园的建立将有助于培养学生低碳消费意识，有助于向社会传播绿色生活的理念，有助于推动整个

社会的绿色低碳发展。近几年，同济大学、浙江大学、江南大学等多所高校率先完善自身能耗系统，采取诸多措施促进绿色校园建设。

放眼国际，国际许多高校在低碳校园建设方面已有许多优秀实践可供借鉴。美国大学在可持续校园方面发挥着重要的领军作用，校园中环境保护理念备受推崇，师生与校方管理层对于环保事业非常关注并身体力行。2008年5月，美国发起校园碳平衡项目，全美有400所高校签署协议保证所在学校达到碳平衡<sup>1</sup>。

欧盟也是世界上积极倡导环境保护并付诸实施的地区之一，各成员国政府和民间组织对于推动生态学校的建设都有较高的热情。此外，新加坡也认识到，必须解决气候变化问题，才能为子孙后代建造可持续的宜居家园。政府已承诺投入近10亿新加坡元，用于研究城市解决方案和可持续发展，重点领域包括可再生能源、为新加坡降温和碳捕获。新加坡于2005年开始推行具有湿热地区地域特色的绿色建筑评价标准绿色标志”(GREEN MARK)，该标准在新加坡广泛使用，且已向国际推广(包括中国)。为响应新加坡政府的号召，新加坡南洋理工大学积极发展校园绿色建筑，并获得GREEN MARK认证，为构建绿色发展的创新高教园区提供了坚实的基础。

这些成功案例为高校的低碳转型提供了重要的借鉴与参考。为此，本书汇集了来自全球23所学校共25个成功低碳转型的案例，从校园规划、生态补偿策略、建筑单体的节能低碳设计与改造、设备系统的节能调试与更新、可再生能源的替代性应用、可持续议题倡导与活动六个方面进行深入探讨，探索中国高校低碳转型的有效路径。

本手册将首先介绍高校在低碳转型中的重要性及路径，接下来分别深入阐述六个方面的策略范围及评估标准等，并详细描述该实践方向的成功案例。每个实践方向的案例结束后，将有在绿色实践方面深耕多年的专家进行点评，以期为中国本土高校的低碳转型提供借鉴与参考。

---

<sup>1</sup> 参考资料：邹苒，张晨悦，房涛，等．基于碳平衡核算的寒冷地区高校校园低碳建设策略研究[J]．中国人口·资源与环境，2017，27(4)：143—150．

## 寄语 Forward Message

# 关于高校在低碳转型中的重要性及路径的探讨

Discussion on the Importance and Path of Universities in Low-Carbon Transition



卢洪刚，正处级研究员，教育部学校规划发展中心专家，中国绿色大学联盟常务委员。多年来一直从事大学节能减排工作。

主要成就：

1. 主持完成省部级节能技术改造项目 4 项。获得山东省节能优秀成果省奖励两项。
2. 主编《绿色大学建设与实践理论》《后勤文化学》两部专著。
3. 实用型节能类专利 7 项。
4. 计算机软件著作权 3 项。公开发表论文 20 余篇。
5. 获得首届中国教育 GREEN 奖。

十八大以来，党中央始终把生态文明建设摆在治国理政突出位置，努力建设美丽中国，开展了一系列根本性、开创性、长远性的工作，全力推动生态文明建设进入快车道，取得了一系列丰硕成果——生态文明顶层设计和制度体系建设加快推进、绿色发展成效明显、生态环境质量持续改善。

如今，“把绿水青山建得更美，把金山银山做得更大，擦亮全面建成小康社会

的绿色底色”成为了全社会最大的共识，也成为了人类命运共同体构建与发展的切实需要。高校由于其独特的社会地位，承载着人才培养、科学研究、社会服务和文明传承的重大使命，理应积极承担社会责任，将生态文明理念融入校园建设和日常教学，以激发青年人的环保热情，强化青年人的绿色意识，倡导青年人勇于担当其社会责任，做社会发展中的生态文明引领者与实践者。

那么，在全社会低碳转型的进程中，高校应当承担何种角色？如何发挥其社会功能？绿色大学建设又当如何展开呢？

教育部办公厅、国家发展改革委办公厅关于印发《绿色学校创建行动方案》的通知中指出，在绿色校园的建设进程中，要坚持“导向鲜明，目标明确；顶层设计，因地制宜；层层落实，全面发动；整合资源，形成合力”的基本原则，要以习近平生态文明思想为指导，坚持绿色发展理念，将绿色学校创建与长远建设发展紧密结合，将创建工作与学校常规工作有机结合，在学校厚植绿色发展理念，全面发动师生员工参与其中。

目前各高校都在积极开展生态文明教育，先后从管理方式、技术手段、人文教育、国际交流等多个方面着手，实施绿色规划管理，建设绿色校园，培育绿色校园文化、推进绿色创新研究。不少高校通过一系列的探索实践，取得了管理节能、技术节能和人文节能等可喜成果，培养出一批绿色建设人才。我们相信，这些领先高校通过与社会共享生态红利，发挥了高等学校的示范带动作用，能够进一步促进生态校园和生态城市的建设。

高校应当立足自身特点，积极探索，先行先试，以建设绿色大学和争创“全国节约型公共机构示范单位”为目标，努力优化美化校园环境，涵育绿色校园文化，降低学校办学成本，促进学校可持续发展，为建设“更加美丽、充满活力、富有魅力”校园作出积极尝试。

开展生态文明教育是绿色校园建设的风向标，要用绿色教育思想培养绿色人才。毋庸置疑，高校是人才的“孵化器”，具有“绿色创新”思想的人才才是符合当下的人才培养需求的，才是符合社会发展需要的。当然，也只有青年一代具有绿色发展意识，具备相关知识，才能在能实现社会层面发展的可持续。



因此，高校应当以建设绿色校园为契机，积极培养具有良好环保意识、掌握环境保护及能源与资源管理专门知识的高级人才，引导全校大学生成为环境保护、可持续发展文化的传播者和践行者，使更多青年去意识到环境保护的重要性，并参与到绿色校园建设当中来，培养他们的绿色、低碳生活理念，推动整个社会环保理念的转变。

具体看来，可以定期开展“光盘行动”、“节能环保创意大赛”、“绿色寝室”、“循环回收”等主题活动，开展“节能宣传周”、“世界环境日”、“世界水日”等宣传活动，积极整合校内外资源，组织开展系列环保讲座，培育出了浓厚的绿色校园文化。

在校园建设和改造的进程中，学校也应当完善制度建设，实现管理节能。引入信息科技先进技术，加快数字绿色校园项目的建设升级，积极开展校园能源环境监测，实现校园全生命周期的绿色运行管理，持续提升校园能源与资源利用效率。这就要求高校应当充分利用其科研力量与优势，打造用数据说话、用数据管理、用数据决策和用数据创新的数据“四用”特色。比如，通过大数据平台进行能耗实时控制、数据分析、能耗公示、诊断评判、适时预警等功能，为学校节能潜力分析、节能效果验证等提供了量化评价手段，进一步提高了能源管理效率、节约了办学成本。当然，也要积极采用节能、节水、环保、再生、资源综合利用等绿色方法，引导校园新建项目按照绿色建筑标准要求设计、建造，有序推进既有建筑的绿色化改造和运行。

在办学层面，高校承担着作为一个社会公共机构应有的责任，要通过强化管理、技术革新等手段，从大局着眼、从细处着手，努力提高资源使用效率，降低办学成本，实现科学发展。在育人层面，高校要积极整合校内外资源，开展一系列绿色活动，并积极组织动员大学生参加各级各类社会实践和科技竞赛活动，搭建以提高学生绿色创新能力为主旨的多样化绿色实践平台，

一直以来，全国各高校都在努力创建资源节约、环境友好、生态文明的绿色校园，为师生提供更加安全、绿色、健康的教学和生活环境。在做好自身绿色校园建设的同时，我们也应该积极交流，发掘典型，推广实践经验和优秀科技成果。总而言之，绿色大学建设和校园节能减排工作任重道远，重在行动、贵在坚持，期待大家能一起努力。

# 第一章

## 校园低碳规划策略

---

### Chapter Low - Carbon Planning Strategy

高校的校园环境 with 城市环境类似，都有着复杂的内部结构和功能关系。面对生态、功能、秩序等多方面要求，应该怎样合理地进行整体规划，才能实现低碳的学习、生活与工作方式，形成生态和谐的校园环境，达到节能环保、降碳增效的目标呢？校园低碳规划策略也许能为我们提供一个可借鉴的思路。

### 一、校园低碳规划策略的含义

在经历了上世纪末、本世纪初近十年的大规模建设发展后，当前国内高校的关注、发展方向已经从重视量到重视质转变。除了对校园建筑节水、节能等技术措施的应用，越来越多的高校也开始从校园整体规划的角度全面解读低碳校园建设。大学校园的发展受到校园环境等各种因素的制约，所以校园的低碳转型不仅仅是校园绿化或一栋建筑的绿色改造的独立性问题，而是包括整个校园环境和各种因素的系统性问题。

《高等学校节约型校园建设管理与技术导则》（施行）中提到，“节约型校园”应该在校园设施的全寿命周期内，统筹考虑各项节能环保措施，满足校园各功能之间的辩证关系，注重社会效益、经济效益和环境效益的统一。其重点工作包括：建立校园节能监管体系、抓好校园建筑节能、加强校园节约宣传教育。而美国的 Sustainability Tracking, Assessment & Rating System (STARS) 则从学术 (academics)、参与度 (engagement)、运营 (operation)、规划管理 (planning&administration)

几个方面来对学校的可持续程度进行评价，并最终根据不同程度授予学校白金、金、银、铜不同等级的奖牌。

本章节着眼于校园整体规划，从对校园整体形态、结构布局和硬件设施等几个方面入手，展示了三个较为完整、系统的校园低碳规划策略的案例。其下案例有乔治城大学、浙江大学海宁校区及天津大学。

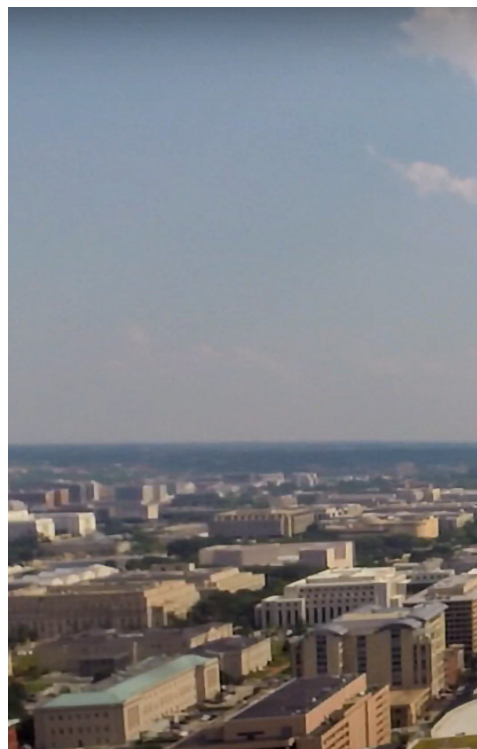
## 二、校园低碳规划策略的应用与评价

### 案例 1：乔治城大学



图 1-1-1 乔治城大学鸟瞰图（图源：<https://www.georgetown.edu/>）

乔治城大学历史悠久，是美国最古老的大学之一，从空中俯瞰的乔治城大学目极皆绿，充满了自然和谐的气息。绿色不止停留于表面，而是深入了生活的点点滴滴，无论是校园建筑、餐饮、出行方式或是能源使用，乔治城大学无不在践行着低碳环保的理念。



## 1. 背景概述

2006年，乔治城大学校长 John J. DeGioia 承诺到2020年，该校温室气体排放量将至少减少至50%。2014年，通过购买绿色电子认证的可再生能源，该校温室气体排放量较2006年减少71%以上，提前实现目标。即便如此，乔治城大学仍然将可持续与智能增长作为2036年整体规划的核心原则，制定了《校园计划》（2017-2036），指导其未来20年的可持续发展。同时，该校也与乔治城社区合作组织（GCP）紧密合作，整合了可持续发展计划的原则和目标，确保在共享社区中维持高质量的生活。在校园优化改造中，乔治城大学分别从8个方面入手，分别是：建筑物及建筑环境、能源使用、校园餐饮、捐赠基金、土地与植被、固体废物及循环再造、校园交通和校园用水。



图 1-1-2 SCS 学院园区 (SCS Campus) 鸟瞰图  
(图源：<https://scs.georgetown.edu/about/our-campus/>)

## 2. 建筑物与环境

自 2009 年起，乔治城大学的所有新建筑和重大翻新工程都达到美国绿色建筑委员会 (US Green Building Council) 的 LEED 环境设计标准<sup>2</sup> 中的银级或更高级别。当前，乔治城大学有 8 座 LEED 绿色建筑，总建筑面积 869,000 平方英尺 (约 80,733 平方米)。其中较为突出的两个设计分别是 SCS 学院园区和约翰·汤普森小学校际体育中心 (TAC)。

---

<sup>1</sup>LEED 环境设计标准认证：LEED 是一项绿色建筑认证计划，旨在认可一流的建筑策略和实践。LEED 全面而灵活，可解决整个建筑生命周期，并正在改变全球范围内设计，建造，维护和运营建筑物和社区的方式。



### (1) SCS 学院园区 (SCS Campus)

学院 (SCS) 校园位于西北马萨诸塞州大道 640 号, 获得了 LEED 金牌认证, 具有以下特点:

园区中的建筑采用了回收材料, 其中 75% 的建筑材料是从垃圾填埋场转移过来的。园区中配备了高效的冷却系统和通风、节电 LED 和荧光灯、使用玻璃尽可能提供自然采光、能源之星<sup>3</sup> 电器和设备、饮水器、以及节水卫生洁具。此外, 园区**独立独立**计量能源和水消耗, 以更加精确地了解园区的能耗情况。同时, 园区还实施了纸, 玻璃和塑料回收计划以及可持续管家计划。



### (2) 约翰汤普森小学校际体育中心 (TAC)

约翰·汤普森小学校际体育中心 (TAC) 是一栋 4 层, 14.4 万平方英尺 (约 13, 378 平方米) 的建筑, 因其综合的可持续设计策略获得了 LEED 金牌认证。例如, 体育中心通过收集屋顶径流来收集雨水以供再利用, 并设有绿色屋顶, 为野生生物提供栖息地并减少城市热岛效应。

图 1-1-3 约翰·汤普森小学校际体育中心 (TAC) 示意

<sup>2</sup> 能源之星 (Energy Star) 是一项使消费产品更节约能源而设立的国际标准及计划。该计划于 1992 年由美国环保署启动, 目的是降低能源消耗及减少发电厂所排放的温室效应气体。此计划并不具强迫性, 自发配合此计划的厂商可以在其合格产品上贴上能源之星的标签。最早配合此计划的产品主要是电脑等资讯电器, 之后逐渐延伸到电机、办公室设备、照明、家电等等。后来还扩展到建筑的领域, 美国环保署于 1996 年起积极推动能源之星建筑物计划, 由环保署协助自愿参与者评估其建筑物能源使用状况 (包括照明、空调、办公室设备等)、规划该建筑物之能源效率改善行动计划以及后续追踪作业, 所以在一些导入环保新概念的住家或工商大楼中也可发现能源之星的标志。

### 3. 能源使用

2014 年，乔治城大学获得可再生能源证书（REC），表彰其通过购买可再生电力，与 2006 年基准年相比，减少了 71% 的碳足迹，提前六年实现了减排目标。此后，乔治城大学也投资实施了一系列节能措施，这些措施每年至少帮助学校节省 330 万千瓦时的电力和 82,000 百万英热单位（约合 206 亿千卡）的天然气——减少 5500 吨的二氧化碳或相当于种植 14 万多棵树。

#### (1) 区域供热和制冷

乔治城大学的中央公用事业厂为主校区和医学园区提供区域供热和制冷，以控制建筑物的温度；通过使用集中式锅炉和冷却器，在整个校园内输送蒸汽和冷冻水；通过集中式设备升级实现规模化供冷供热来提高能源利用效率。

#### (2) 中央供热和制冷厂的改造

中央工厂由乔治城大学的公用事业和能源管理办公室定期进行升级，以提高运行效率。例如，新的高效冷却器的安装、工厂内 LED 明改造以及冷冻水管的隔热材料升级、锅炉风扇升级、蒸汽疏水阀维修和除氧器项目落地，这些措施帮助乔治城每年约减少 2508 吨的碳排放，相当于 528 辆汽车一年的碳排放。

#### (3) 建筑节能改造

乔治城大学对校内约 500,000 平方英尺（约 46,452 平方米）建筑面积的照明的节能灯进行了升级，包括 White Gravenor 的整栋节能灯改造，Med-Dent, Hoya Court 和其他空间的节能灯升级，预计每年可节省超过 200,000 千瓦时的电力。

2016 年 8 月，乔治城大学完成了校友广场宿舍的翻新工程，用更高效的型号替换了所有的煤气炉和空调，并用共享的无罐热水器替换了每个单独单元中的热水器。乔治城因此每年将节省近 18,000 美元（约合 11 万元人民币），每年减少 382 吨二氧化碳排放量，相当于 36 多个普通家庭的年排放量。

2014 财年，一个多建筑物蒸汽疏水阀更换项目节省了约 17,000mmBtu（百万英热，

约合 42,840 千卡) 单位的天然气和 902 吨的碳排放, 相当于 190 辆汽车一年的碳排放量。

2012 财年, 对西南车库的照明进行了改造, 每年可帮助减少约 100 万磅 (约合 454 吨) 的二氧化碳排放, 这相当于让大约 55 个美国家庭脱离了电网<sup>4</sup>。

#### (4) 建筑能耗审核

2014 财年, 乔治城赞助了 ASHRAE 一级能源审核, 对校园内 40 多个建筑物进行了审核, 确定了 400 多种独特的节能措施, 帮助园区制定长期的能源计划。

#### (5) 楼宇自动化系统

乔治城的能源管理团队使用集中式数字楼宇自动化系统进行日常管理, 控制校园建筑中的温度并有效利用能源。

### 4. 校园餐饮

乔治城大学的利奥·奥多诺万餐厅 (Leo's Donovan Dining Hall) 在餐饮计划方面开展多项工作, 包括减少浪费, 减少水和资源的消耗, 增加可持续食品以减少碳足迹等。利奥餐厅致力于在可行的情况下从可持续来源获取食物, 如购买当地生产的乳制品、烘焙食品以及有机蔬菜和牛奶。在 2009-2010 学年, 有机食品和本地种植或加工食品约占食品购买总量的 7%。此外, 利奥每周平均提供 2100 顿素食; 提供的咖啡也全部是经过公平贸易认证; 并将用过的食用油加工成生物柴油, 供该地区的车辆使用; 还实行无托盘用餐, 每年可节水约 145,000 加仑 (约 549 立方米)。

---

<sup>1</sup> 脱离电网, 指消费者选择更低价或环保的方式进行自发电, 从而断开与传统电网的联系, 以降低成本, 减少能源消耗。



此外，在 2010 财政年度，乔治城餐厅（Georgetown Dining）推行积极的废物减少计划。从 2010 年秋天开始，餐厅为每个参加每周膳食计划的学生提供一个可重复使用手提袋，以减少外卖包装的浪费。这种手提袋可单独购买，每只售价 4 美元。此外，乔治城餐厅也成为哥伦比亚特区市场上第一家对食物垃圾进行堆肥的大学，约 90% 的餐厅废物，包括所有丢弃后的“消费后”食品（例如剩菜，餐巾纸和其他有机物）和所有“消费前”食物残渣（来自厨房准备工作），会放在可生物降解的绿色垃圾袋中被丢弃到特殊的绿色垃圾桶中，运到马里兰州的堆肥设施处，在那里将物料分解并重新作为肥料使用。

## 5. 捐赠基金

乔治城大学董事会于 2017 年批准一项社会责任投资政策（Socially Responsible Investing Policy, SRI Policy），该政策进一步将大学的投资战略与社会正义、保护人类生命和尊严、管理地球和促进公共利益的承诺结合起来。这项政策基于并体现了两个管理原则，即基金的管理和投资原则，并规定学校在投资时应遵循以下四个策略：

A. 联盟——“不伤害”：应采取合理努力，避免向有广泛侵犯人类尊严记录的公司投资。

B. 整合——“向积极的方向倾斜”：在投资时优先考虑对“环境、社会和治理”领域表现优秀的公司。

C. 参与——“建设性对话”：通过过代理投票、写信和对话与公司接触，履行其作为直接股东的责任。

D. 影响——“促进公共利益”：考虑能产生积极社会影响、促进公共利益的投资，但不接纳回报率低于市场水平的投资项目。

## 6. 土地与植被

因校园规模有限，且需保证近 500 万平方英尺（约合 46 万平方米）的学术、研究、

住宅和行政空间, 乔治城大学只有大约7英亩(约合28,000平方米)的园景区或草皮。”学校设施管理部于2003年采用了前瞻性IPM政策<sup>5</sup>寻求建立有效、环保和整体的病虫害管理方法。同时, 为了可持续地对这些区域进行管理, 校园的大部分园林绿化区域中使用集中式灌溉监控系统以节约用水。该系统使用实时天气和气候数据来减少灌溉中因蒸散而损失的水量, 避免过度或不必要的用水。在设计新建筑景观时, 学校也会优先选择需要较少水的本地植物和抗旱植物。优美的校园环境为野生生物提供了栖息地, 营造了和谐的自然环境。例如, 校园周围冬青树的果实吸引了鸣禽。由Reimagine Georgetown<sup>6</sup>支持的可持续花园项目已于2009年春季获得批准, 学生们可以在耶茨纪念馆(Yates Memorial Field house)后面的一块土地上种植食物。

## 7. 固体废物及循环再造

截至2018-2019学年, 乔治城大学已开始过渡到单流回收系统(Single Stream Recycling)<sup>7</sup>。

---

<sup>5</sup> IPM(Integrated Pest Management), 有害生物综合治理, IPM项目旨在通过预防性维护、管理措施、景观美化、固体废物处理、承包服务和客户教育等措施, 建立有效的、环境友好的、全面的害虫管理方法。预防措施包括: 预防性维护系统地清洗下水道; 每日巡视校园, 清除松散的垃圾; 清除常春藤、攀缘植物和枯枝; 定期修剪树木和灌木; 使用有机肥料和生物化学物质以避免病虫害等。

<sup>6</sup> Reimagine Georgetown (RIG) 创建于2007年, 为学生自发开展活动提供资助, 于2013年正式停运。

<sup>7</sup> 在单流(也称为“完全混合”或“单分类”)回收系统中, 所有纸纤维, 塑料, 金属和其他容器在收集车中混合, 而不是由存放者分类分为单独的商品(报纸, 纸板, 瓦楞纤维板, 塑料, 玻璃等), 并在整个收集过程中分别处理。在单流中, 收集和处理系统均设计为处理这种完全混合的可回收混合物, 并分离物料以在物料回收设施(MRF)进行再利用。



图 1-1-4 乔治城大学的单流回收系统示意图

## 8. 校园交通

对汽车的依赖容易带来空气污染、温室气体排放增加、道路拥堵以及高昂的基础设施成本等多种负面影响，因此乔治城大学采取了多种措施发展可持续交通。

首先，乔治城大学为学生、教职员工和访客优先提供其他便利的交通方式以替代汽车出行，包括免费大学班车、公共交通、自行车、汽车共享和其他方式。截至2014年，已有近三分之二的校园通勤者不再通过独自开车来上班和上课。

其次，校园内许多地面停车场已被改建为使用率更高的建筑物和设备。例如，学校为校园的通勤者提供自行车维修站，并计划在将来的建设中增加自行车存放处。2013年，该校被美国自行车骑士联盟认可为哥伦比亚特区首家“自行车友好大学”，以表彰其举措。



图 1-1-5 美国自行车骑士联盟标志  
(图源：<https://bikeleague.org/>)

学校还通过鼓励使用生物柴油、参与电动车研发计划、进行交通需求管理 (TDM) 规划等方式来减少汽车的碳排放。

通过这些措施，学校成功减少停车和维护汽车相关的财务成本，增加了日常活动（例如步行和骑自行车），改善了空气质量、学校人员健康，促进了可持续发展。

## 9. 校园用水

日常生活中使用的 95% 的水是在“幕后”消耗的，它们主要用于生产食物、能源和材料。学校致力于通过节水建筑和环境美化实践来节水，同时通过采购和能源决策解决这种隐藏的用水问题。通过专注于可持续饮用水采购、节水和雨水管理，学校朝着实现用水自给自足的目标前进。

### 参考资料

- [1] <https://scs.georgetown.edu/about/our-campus/sustainable-campus/>
- [2] <https://scs.georgetown.edu/about/our-campus/>
- [3] <https://georgetown.app.box.com/s/mv2xmo16qvxso10bf4vwp2eo5ls>
- [4] Bicycling at Georgetown <https://sustainability.georgetown.edu/bicycling/>
- [5] Sustainability at Georgetown, <https://sustainability.georgetown.edu/>

## 案例 2：浙江大学海宁国际校区

全新的校园建设难免对原有的自然生态造成影响，浙江大学海宁国际校区在设计时尤为注重原有的自然条件，充分利用湿地、河道与湖景的进行层次设计，通过特征鲜明的原有环境构造了绿色和谐的校园氛围，布局合理、秩序井然，环境、景观、生态得到了有机的融合。

浙江大学海宁国际校区在设计阶段获得中国绿色建筑设计标识认证，在运营阶段先后获得美国 LEED O+M 铂金认证<sup>8</sup>，英国 ECO Campus 铂金认证<sup>9</sup>，为中国低碳校园建设提供了宝贵的实践经验。

### 1. 背景概述

浙江大学海宁校区于 2017 年整体建成并投入运营，校址选择在海宁城市东侧的湿地区域。园区北侧为徐志摩湿地公园，南侧为鹃湖湿地公园，再加上东西河道绿带及穿越校区的湿地，使得校园整体都处于湿地和湖景中。其园区设计与建设融入了绿色低碳与可持续理念，通过设计规划绿色交通、利用可再生能源、应用低影响雨洪管理系统及绿色建筑关键技术，为师生营造了一个绿色低碳舒适健康的校园环境。

---

<sup>8</sup> “LEED 认证体系”由非营利组织美国绿色建筑委员会（USGBC）制定的地产环保、节能指标体系，旨在从设计、施工、维护和运营全生命周期推动建筑行业变革，减少对环境的不良影响。其在全球各类建筑环保评估、绿色建筑评估以及建筑可持续性评估标准中，被认为是最完善、最有影响力的评估标准，拥有认证级、银级、金级、铂金级四个等级。

铂金级认证是 LEED 所有认证级别中最高级、最难获得的，被誉为绿色建筑界的“奥斯卡奖”，全世界仅有 5% 的认证项目能获此殊荣。

O+M 是指既有建筑的运营与维护方向。

<sup>9</sup> ECO Campus 为生态校园评估管理系统，通过以各种不同形式的指导和辅助支持，将建立各大学环境管理系统化解为简单的阶段性步骤来实现，以逐步解决大学减少碳排放所面临的挑战。

## 2. 绿色校园规划与建设

### (1) 绿色交通规划设计

#### ① 校园机动车行车与泊车规划

国际校区共有五个车行出入口，在每个出入口处均设置有公交站点，南向主入口西侧设置有杭海城铁的起点站，连接了海宁校区与紫金港校区。校园内设置了宽8米的环形主机动车道，同时在主机动车道两侧设置了2米的人行和非机动车合用道。另外，为了应对校园内的紧急、大型活动和物流，设置了应急与物流专用车道。校区内有800余个地下停车位，分布在南北教学区、湖东综合体和西区书院地下，并辅以上停车位，解决校区访客和教职工停车难的问题。

#### ② 步行交通体系规划

为了缓解上下课高峰时的人流压力，浙江大学海宁校区在校园中构建了便捷的步行交通体系，设计了以湖东综合体为中心，连接南部教学区、图书信息中心、书院生活区这些人流量大的区域的多条路线，学生可以通过步行方便快捷地到达校园中各个功能区。校园核心区300米步行距离可在5分钟内到达，校区整体600米步行距离可在10分钟内到达。

同时，由于中心湖的东岸和南岸是学生的主要步行区域，故中心湖面沿线以步行广场的形式设置宽度4米的行人和自行车共用道，并以沿东西外侧河道景观带设置的步行系统连接机动车道，增强了整个校区道路体系的安全性和人性化，为校区开展交通组织与机动车泊车管理提供了便利。

另外，在校区北侧的校医院到教学南区之间设置了一条1.5千米风雨长廊，并在部分长廊顶面设置了太阳能光伏膜，这一长廊不仅为海宁校区的师生在校园中的

穿行遮阳挡雨，且其日间太阳能发电会经并网后用于校区照明。

## (2) 可再生能源规划与应用

在海宁校区的校园规划与设计时，根据不同建筑功能类型，采用不同能源系统，针对校园中不同功能区的不同需求分别进行设置。比如，太阳能光热系统被设置于室内泳池，用于池水的再热与保温，空气源热泵热水系统被设置于校区五个书院、教师公寓中，应用于生活热水、体育馆洗浴热水和餐饮中心洗涤等各个场景，地源热泵被安装在学术大讲堂、教工俱乐部空调系统中，帮助调节室内温度，而在部分建筑中则应用了太阳能光伏发电系统等。

据计算，目前海宁校区的可再生能源设计应用总量<sup>10</sup>是6690000kWh/a（年均千瓦时），实际设置容量是浙江省民用建筑可再生能源设置标准的3.23倍。

---

<sup>10</sup> 建筑可再生能源综合利用量是指该建筑可再生能源系统的年最低节能量。（同一地块采用多种可再生能源应用系统时，各种可再生能源利用量应进行累加。）

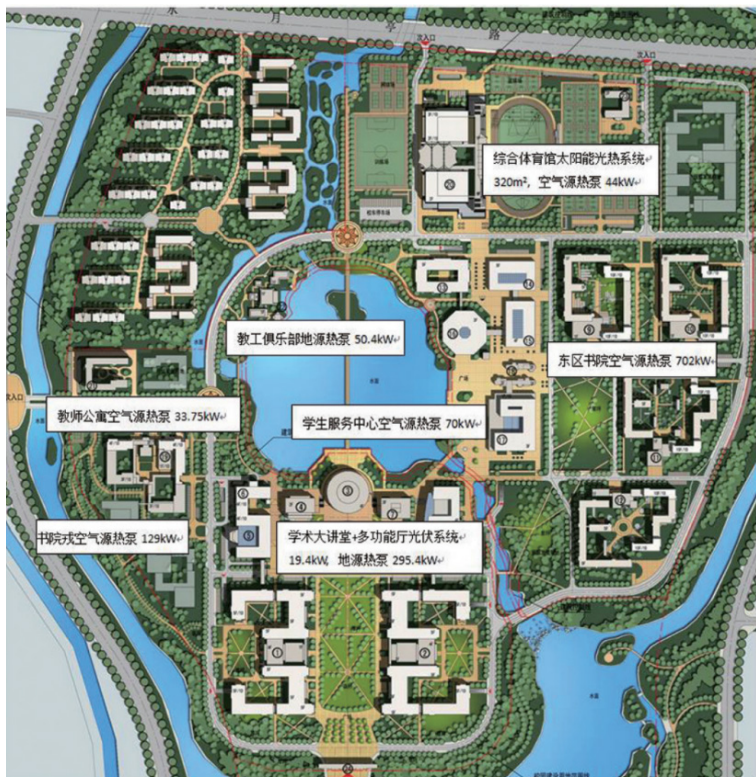


图 1-2-1 可再生能源应用分部平面  
(图源：浙江大学国际校区绿色校园规划与建设策略研究)

### (3) 低影响雨洪管理规划设计

海宁校区位于富水地区——浙江省，并且校区内外多湿地，水资源丰富，因此，在校区的设计过程中，遵循生态优先原则，贯彻低影响雨洪管理理念，结合自然途径与人工措施，在确保城市排水防涝安全的前提下，最大限度地实现雨水在城市区域的积存、渗透和净化，促进雨水资源的利用和生态环境保护。校区屋面以及道路雨水被收集、弃流与过滤后，排至中心湖内，再用水泵将中心湖水抽至雨水收集机



房进行净化。处理完成后分别用于教学区卫生间冲厕以及室外绿化浇灌。其中，雨水、湖水经处理后用于绿化浇洒和道路冲洗，绿化及道路浇洒日用水量为 237 立方米/天，教学北区卫生间冲厕日用水量为 41 立方米/天，非传统水源日回用总量约为 278 立方米/天，非传统水源利用率达 15%。

### ① 雨洪分级管理系统设计

在海宁校区，校区的内部水系即为校内雨水系统的终点，校内雨水不再直接进入外围市政雨水管渠，减少了外排污染物负荷。为了灵活控制内部水系水位、降低洪峰流量，提高防涝能力，南北两处设有闸门和泵站。当校区内水位较高时，雨水从北闸门泄流，而当降雨强度超过自排水的能力时，北闸门附近的排涝泵站将会发挥作用，将校区内雨水强排至北侧湿地内，在湿地公园进行预处理，后沿两侧城市河道流入鹃湖。

校区中心湖是校区内部主要的雨水蓄储区，中心湖面积约 6.8 万平方米，中心湖的常水位标高 2.7 米。校区其余面积约 60 万平方米，地块径流系数<sup>11</sup>按 0.65 计算，中心湖湖水水位每调蓄 0.44 米，即可缓解校区 50 毫米的暴雨量。

### ② 生物滞留带与下洼地

海宁校区内主环路的机动车道与非机动车道之间的隔离带中，设置有生物滞留带，并且沿着道路外围的绿地竖向起坡高于道路标高，道路内侧则形成了下洼绿地。下雨时，雨水则不流入护校河，而是首先进入生物滞留带，待滞留带中的土壤饱和后再由雨水口（每 30 米设置一个）流至市政雨水系统。

---

<sup>11</sup> 径流系数：任意时段内径流深度 R 与同时段内降水深度 P 之比。用符号  $\alpha$  表示，即  $\alpha = R/P$ 。径流系数主要受集水区的地形、流域特性因子、平均坡度、地表植被情况及土壤特性等的影响。径流系数越大则代表降雨较不易被土壤吸收，亦即会增加排水沟渠的负荷。

### ③ 透水铺装

校园内大面积铺装及校园路采用透水混凝土和透水砖等透水材料，并设置渗透式铺装渗透层。人行道铺装面层采用透水砖，透水系数大于 0.1 毫米/秒；人行道基层采用 C20 透水混凝土，透水系数大于 0.5 毫米/秒。降雨时，雨水就可以通过透水铺装渗透至地下，补充地下水，减小径流系数，削减洪峰流量。

## (4) 绿色建筑关键技术集成

### ① 高效空调系统

校区内空调系统遵循“满足功能，经济适用，方便管理”的设计原则，根据校区建筑功能，依照室内环境要求进行分类设置。其中，对大空间的空调系统末端采用全空气一次回风低速变频送风系统，全空气系统可实现全新风工况运行，小空间采用风机盘管加新风系统设置。此外，校区内还设置有中央空调系统，由中央控制站、冷热源群控、空调机房和风机盘管末端控制系统组成，实现了集中管理，通过对参数的监测与模糊控制实现经济运行。同时，配套设施为板翅式全热回收装置<sup>12</sup>，此装置能够回收排风中的低品位热能，其中制冷时冷量回收率不低于 55%，制热时热回收率不低于 60%。

### ② 自然通风

为了加强建筑的自然通风，减少建筑的能源消耗，海宁校区的建筑设计充分考虑了可开启门窗的面积及通风口的位置，在压差推动下的空气流动，使之形成“穿堂风”。根据模拟结果，整个校园需要自然通风的建筑，80% 的功能房间的自然通风能够达到规范要求。

---

<sup>12</sup> 板翅式全热回收装置，通常由隔板、翅片、封条、导流片组成，其结构形式与板式基本相同，仅在构成热交换的材质上有所不同，具有体积小、重量轻、可处理两种以上介质等优点。

## (5) 绿色照明

### ① 绿色照明细化设计

校区各主要场所的照度标准及照明功率密度 (LPD)<sup>13</sup> 按现行国家标准的目标值执行, 选用高效节能的光源, 如节能灯、直管荧光灯 (T5 管) 等; 有装修要求的场所视装修要求商定, 但其照度及功率密度值 (LPD) 要求符合相关要求; 室外照明采用高光效金属卤化物灯。所有镇流器均符合该产品的国家能效标准, 并要求格栅型荧光灯灯具及格栅型气体放电灯灯具效率不低于 65%, 开敞式荧光灯和气体放电灯灯具效率不低于 75%。

### ② 照明控制区分分时节能设计

教室、讨论室及机房等处的照明采用就地设置照明开关控制; 大型会议厅等照明要求较高的场所根据要求采用智能照明控制系统; 走道、电梯厅、门厅等公共场所的照明采用照明配电箱就地控制并纳入建筑设备监控系统统一管理; 对楼梯间采用延时自熄开关或采用带人体红外感应自动开关控制。道路照明采用集中控制, 除采用光控、程控、时间控制等智能控制方式外, 还具有手动控制功能, 同时设有深夜减光控制, 及分区或分组节能控制。景观照明采用集中控制系统, 并根据使用情况设置日常、节日、重大庆典等不同开灯方案。

## (6) 能耗监测系统

根据《节约型校园建筑节能监管体系建设技术导则》和公共建筑节能设计相关标准与规范, 海宁校区在设计建设中充分考虑了校园能耗分类分项分户全面计量与实时监测需求。对校区水、电、冷热量按照节能管理、指标考核与分户核算的要求

---

<sup>13</sup> 照明功率密度: 建筑的房间或场所, 单位面积的照明安装功率 (含镇流器、变压器的功耗), 单位为: 瓦/平方米。

进行全计量全监测。电力计量范围按配电干线、楼宇总电量、楼层总电量、分项用电量、分户用电量进行电量实时采集，校园供水范围按供水总表、区域总表、楼宇总表、楼层总表进行分层分级装表并实现远程实时采集，根据中央空调系统分区域、分楼宇对冷热量进行计量。学生宿舍分室采集实时抄表，并可实现在线查询、充值提醒和在线充值等管理。

参考资料：

[1] 屈利娟, 王须超, 陈康, 等. 浙江大学国际校区绿色校园规划与建设策略研究[J]. 建设科技, 2019, 382(08):47-51.

[2] 浙江大学国际联合学院（海宁国际校区）校园碳排放核算与水资源消耗统计报告（2018年度）

### 案例 3：天津大学

天津大学前身为北洋大学，是我国近代高等教育史上建校最早的高等学府。天津大学也一直致力于践行低碳增效，节能减排。植被茂盛，河流水系遍布的校园，经过规划梳理，营造出优美宜人的生态环境。

#### 1. 背景概述

2010年3月天津市与教育部签订共建协议，启动天津大学新校区项目建设。新校区选址位于天津市中心城区和滨海新区核心区之间的海河教育园内，总建筑面积130万平方米。在新校区设计中，天津大学与在“整合性全系统构想（Whole System Concept）”研究中已有先进声誉的加州大学伯克利分校进行合作，运用成熟的可持续发展技术，整合能源、水与废弃物等，以各种节能、减排及使用再生能源的方法，使资源不断地循环再利用，达到能源自主、零排放及水资源循环利用的目标，力求将天津大学新校区打造为示范性的绿色校园及可持续发展校园的研究平台。

#### 2. 新校区建设“整合性全系统构想”

减少能耗需求，打造示范性可持续发展的精锐基地的第一步就是节能，通过确定最佳的建筑节能设计要求，打造高能效的校园环境。

其次，减排也被天津大学放在了重要的地位。学校在新校区基地进行调查及研究，了解各种新能源及可再生能源的供给，例如：（1）供暖：被动式太阳能、地热供水系统，以及太阳能真空管的热水系统；（2）冷却：地源热泵；（3）电力：风能、太阳能光伏、以氧消化池作为动能的热电联厂；并在建设初期为能源需求分析与设定节能目标，确认能源效益、验证设计标准的性能；同时评估自然通风、发展互连电网的可行性；还考虑到废弃物回收及再利用，包括：以热电联产燃烧可燃固体废物；以厌氧消化池处理有机垃圾；回收玻璃、金属和塑料；安全处置有毒废物。

同时，天津大学建立了以水循环系统为主体的景观体系。天津地处中国北方，气候干燥、雨量少，年平均降雨量603毫米，降雨量集中于六~九月，占全年降雨

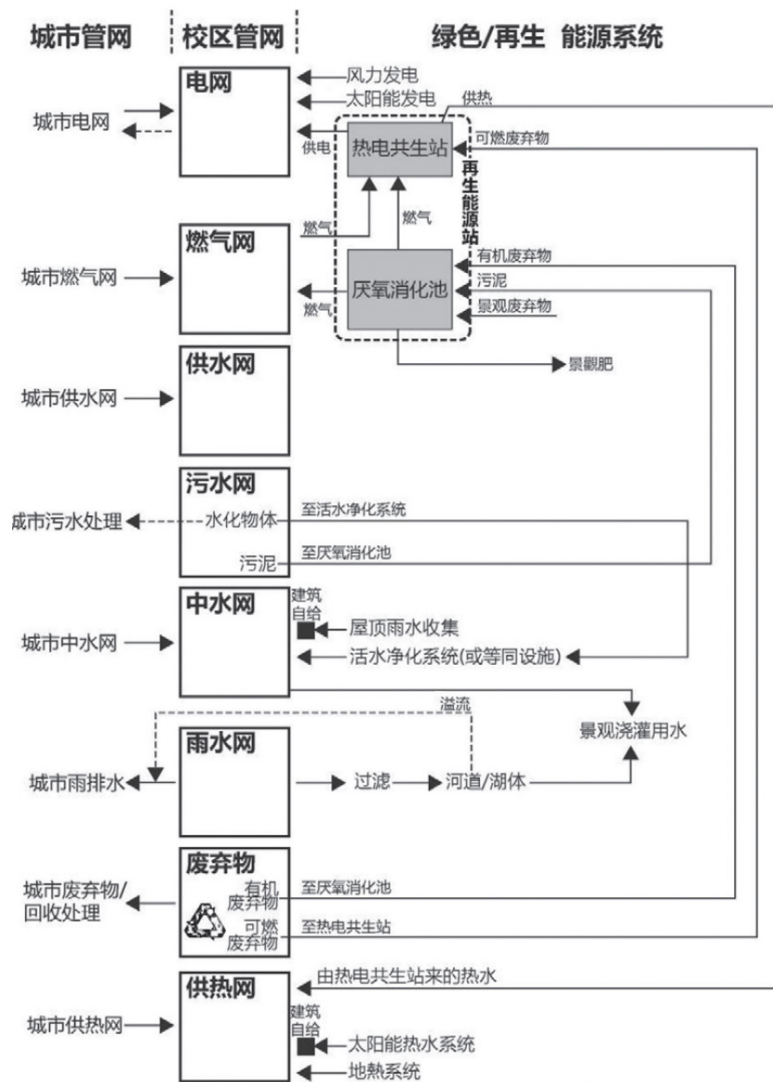


图 1-3-1 全系统可持续发展基础设施系统图  
(图源：打造可持续发展校园研究平台——天津大学新校园规划)

量 78%。因此，建立能蓄水、自我净化、循环使用与减少对外接水源依赖的水循环系统为首要目标，从而实现城市饮用水供给、以生态工法处理污水（如活水净化系统）、建立活水净化系统处理后的中水供水系统和截留所有的雨水（如生态雨水收集槽和滞留池）。

### 3. 复合能源的规划及应用

天津大学北洋园校区能源系统包括 1 座 35kV（千伏）变电站、24 座 10kV（千伏）变电站、4 座能源站、1 个能源监测平台。其中，第 44 教学楼采用光伏发电系统、学生宿舍采用太阳能电辅助加热系统。北洋园校区引入多种能源复合的方式，充分利用可再生能源，有效节约能源和降低能耗。学校综合分析校园建筑的功能多元化，如教室、宿舍、图书馆、办公室、实验室、食堂等用能高峰和用能时间的不同，结合校园寒暑假等特点，优先考虑地源热泵作为冷热源之一，结合燃气调峰锅炉，形成复合能源供应系统为北洋园校区建筑提供冷热量，增加了能源供应的可靠性。

北洋园校区共建设四个能源站（见图 1-3-2）。其中 A、C 能源站具有可利用的地资源和室外埋管用地，优先考虑利用地源热泵系统，供应片区内的建筑为学生和教职工教学科研和生活用建筑，主要采用集中供热空调系统；B、D 能源站因地理位置原因，无法布置室外埋管，并且其供应片区内的建筑主要为学生宿舍和高大空间实验室，夏季多采用分体空调制冷。能源站使用天然气资源提供冬季供暖。能源站采用复合供应应用，从源头上减少对传统资源的依赖，实现了绿色生态、节约能源的目的。

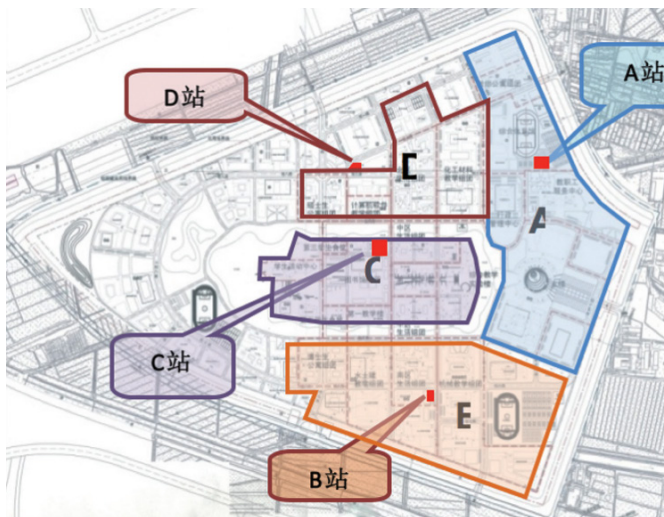


图 1-3-2 北洋校区能源站规划图（图源：全生命周期绿色校园建设模式的实践与思考——以天津大学北洋园校区为例）

#### 4. 海绵校区建设

北洋园校区在景观工程方面采用了“海绵城市”的建设理念和方法，在规划建设过程中秉承“安全管理为首，资源利用为继”的雨洪管理策略，以总体规划为基础，构建了多层次分区的雨洪管理系统宏观框架。在此基础上，充分考虑不同分区的场地条件、功能定位及景观氛围，提出了针对各区具体情况的低影响开发措施，并与现有及规划的河湖水系紧密联系，与市政管网、溢流系统密切配合的设计策略，由此搭建起一套完整高效、绿色生态的校园海绵系统。

在规划建设过程中应用了大量低影响开发技术包括生态植草沟、下凹式绿地、雨水花园、地下蓄渗、透水路面等，建立可实现校园雨水收集利用的生态技术体系，实现原位收集、自然净化、就近利用及回补地下水。根据布局和功能，校区分为三个雨水排放分区，分别为外环自然排雨区、中环管道集雨区和中心岛生态调蓄区。



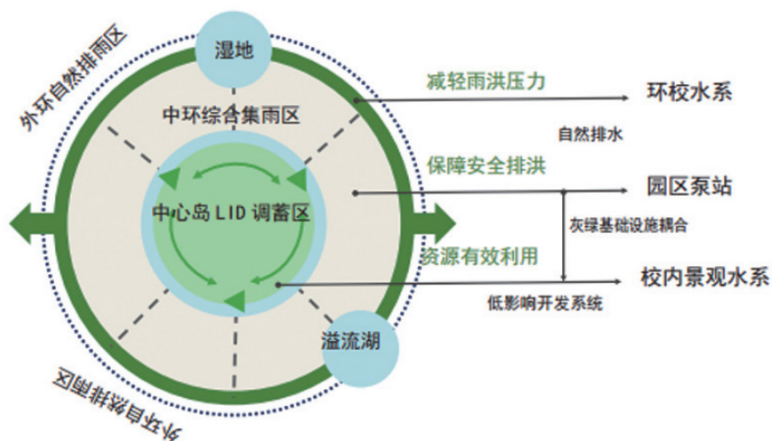


图 1-3-3 新型雨排设计图（图源：全生命周期绿色校园建设模式的实践与思考——以天津大学北洋园校区为例）

## 5. 绿色建筑建设

在建设过程中，学校充分利用围护结构优化、自然采光、能量回收系统、太阳能系统、高效节能系统等绿色建筑技术，使节能效果达到最佳。

### (1) 围护结构优化

建筑能耗中 40%~50% 是由建筑外围护结构的能耗损失造成的，所以围护结构优化是绿色建筑关键技术之一。第一公共教学楼外墙为 190 毫米厚加气混凝土砌块，外贴 100 毫米厚岩棉板；屋面为 100 毫米厚钢筋混凝土楼板和 250 毫米厚模塑聚苯板，建筑东南西侧门窗采用断桥铝合金的中空玻璃内置百叶遮阳，遮阳系数夏季 0.2、冬季 0.53。经计算，该项目的节能率为 56%。

### (2) 自然采光

第一公共教学楼采用透明天窗，幕墙为上悬窗，侧窗全部为外开启方式，有利

于增加通风面积。外窗采用竖向分割的长方形窗，建筑北侧二层的2个大教室布置导光筒，分别布置在远离外窗部位，每个教室平行布置2个，结合侧窗采光，来改善教室整体的自然采光效果。教室、办公室等房间的靠外窗的一排灯具单独控制，在天然采光充足的情况下可关断最外一排灯具，保证教室内采光的均匀度，并有效节省电能。

### (3) 能量回收系统

第一公共教学楼新风机选用分体式乙二醇热回收新风处理机，利用排风中的低品位热量，热回收率65%，可以有效降低空调系统能耗。新风处理机带热水盘管，设置初效过滤段、电子除尘杀菌段、高压微雾加湿器。冬季将室外空气处理至室内状态点送入室内。夏季直接送入新风不进行热回收，过渡季比较室内、外焓值确定是否开启乙二醇热回收系统。

### (4) 智能监控系统

为了保证各项设备节能高效地运行，处于最佳工况，第一公共教学楼设置了完善的智能监控系统，包括用水用电等能耗监控、智能照明控制系统、通风空调设备控制系统等。用电监控内容包括照明能耗、风机能耗、水泵能耗、空调冷热源能耗（项目为集中能源站提供，需对能源站设备能耗进行监控）；用水监控内容包括自来水用水、中水冲厕用水、中水绿化用水等；对室内的舒适性进行监控，包括室内温湿度、二氧化碳浓度等。

## 6. 绿色校园日常管理策略

### (1) 建立顶层管理思想

服务整体外包，学校监督管理。校区以此为指导思想，不断加强专业化、社会化、规范化和现代化建设。北洋园校区引进多家优质的服务公司进行物业与能源管理。通过机械化的作业、新技术的推行、高标准的流程获得优质的服务；电、暖管理上推行网格化管理，社区网络巡查，监督处置分离；电站采用无人值守方式，方便快捷，减少人力成本。

合同能源管理，维护取代维修。通过学校公开招标程序，北洋园校区能源站创

造性地采用合同能源管理模式。在日常管理维护过程中，能源托管公司时刻对标国际化标准，及时查摆不足；实现“预知式维护取代维修”，依据设备的实际状况，边使用边保养，通过科学合理地安排检修工作，以最少的资源消耗保持机组及设备的安全、经济、可靠的运行能力。

能源物业联动，协同合作发展。北洋园校区实行能源、物业联动的管理模式，通过这种内部的互动，使节能在末端有抓手，物业在节能管理中有依据（见图1-3-4）。

最终，形成学校指导物业调节温度，能源站根据物业提供的楼宇开放表，调节能源消耗，外包物业公司与能源托管公司协同合作发展。

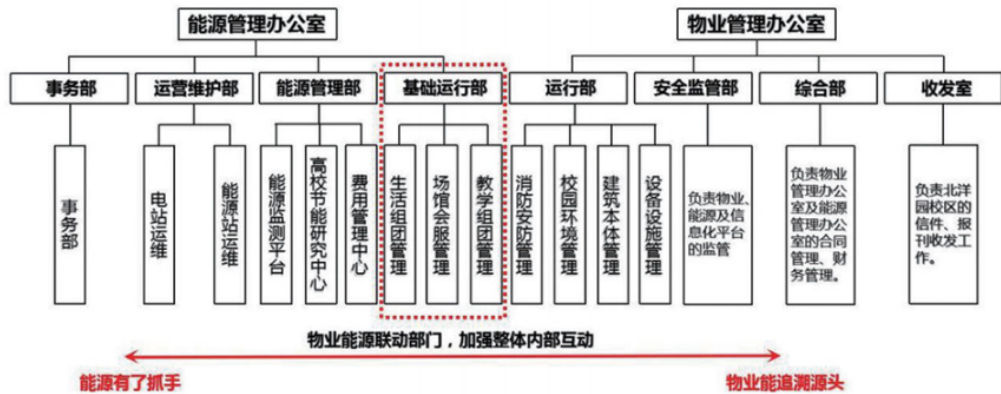


图 1-3-4 能源物业部门联动（图源：全生命周期绿色校园建设模式的实践与思考——以天津大学北洋园校区为例）

## (2) 采用先进能耗监管系统

能源数据共享,预测用能趋势。校区能耗监管系统对校区内水、电、燃气、采暖、制冷等各类能源系统运行情况进行监测。统计用量,分析用能情况,预测用能趋势;诊断用能情况,挖掘节能潜力,使校区的运营成本保持最低。目前双校区能耗监管系统已实现互联互通,贯通式、远程操控式的共享模式便于两校区能源数据的统筹分析及应用。

### 参考资料

1. 刘维,王如愿. 校园绿色建筑的通风关键技术研究——天津大学新校区第一教学楼 [J]. 住宅与房地产,2017(36):69.
2. 李欣. 绿色生态校园雨水系统规划——以天津大学新校区为例 [C]. 中国土木工程学会水工业分会排水委员会. 全国排水委员会 2012 年年会论文集. 中国土木工程学会水工业分会排水委员会:中国土木工程学会,2012:149-155.
3. 魏巍. 国家示范性绿色校园建设策略研究——以天津大学北洋园校区为例 [J]. 建设科技,2017(12):25-29.
4. 张吉强. 寒冷地区高校建筑群低碳能源规划研究 [D]. 天津大学,2018.
5. 黄文亮,洪再生. 打造可持续发展校园研究平台——天津大学新校园规划 [J]. 建筑技艺,2016(07):20-25.
6. 尚宇光,张俊,张红蕊. 全生命周期绿色校园建设模式的实践与思考——以天津大学北洋园校区为例 [J]. 建设科技,2019(08):39-44.

### 三、专家点评

近些年来，我国一直非常重视绿色校园的建设和发展，2001年原国家环保总局宣传教育中心制定了《绿色学校指南》，2019年住房和城乡建设部发布国家标准《绿色校园评价标准》（GB/T51356-2019），2020年教育部、国家发展改革委研究制定了《绿色学校创建行动方案》，形成了自上而下的推进机制，目前全国有近300所高校列入国家节约型校园示范行列。

校园低碳规划不是多种低碳技术的简单叠加，而要在系统高度上按照生态、功能、秩序等多方面需求进行综合考虑，并统筹安排好各种管理、技术手段间的配合关系，以取得最合理的低碳效果与生态效益。

目前国内高校在校园低碳规划方面普遍存在“重局部建设，轻顶层设计”、“重硬件投入，轻文化营造”、“重单部门推进，缺乏协同联动的现象，在生态景观、绿色建筑、海绵校园等领域方面应用较多，但较少涉及低碳校园日常设施运营、碳核算分析和校园碳排放削减。

本章选取国内外典型高校案例从设计理念、校园规划、功能结构、景观与建筑设计、交通组织、能源节约等方面，分析了低碳校园规划的多样化实施路径。

乔治城大学低碳校园顶层设计完善，有明确的计划原则和目标，分别从建筑物及建筑环境、能源使用、校园餐饮、捐赠基金、土地与植被、固体废物及循环再造、校园交通和校园用水进行了明确规划，形成低碳校园的运行管理闭环，其中校园餐饮、捐赠基金、固体废物及循环再造尤其值得国内高校借鉴学习。

浙江大学海宁国际校区在绿色交通规划、可再生能源利用、低影响雨洪管理系统应用、绿色建筑关键技术集成方面特色鲜明，低影响雨洪管理系统应用对夏热冬冷地区校园借鉴意义明显，可再生能源规划设计为国内多数高校低可再生能源利用率的现状提供了解决思路。

天津大学低碳校园规划亮点在于建设初期明确能源需求与节能目标，同步建立顶层管理思想，实现了建设目标和运营目标的有机统一。同时在“全系统可持续发展基础设施”的理念下，应用校园废弃物回收及再利用技术，因目前废弃物处置是国内高校低碳校园的普遍短板，其经验做法值得学习。另外采用合同能源管理模式进行服务整体外包，可有效解决高校日常运行管理中能耗居高不下的共性问题。

**点评专家：屈利娟，浙江大学国际联合学院（海宁国际校区）院长助理、总务部部长**

## 第二章

# 生态补偿策略

---

### Chapter Ecological Compensation Strategy

随着生态环境破坏的加剧和生态系统服务功能的研究，人们更为深入地认识到生态环境的价值。然而，当保护生态环境与生产成本、经济效益、发展机会与环保意识产生矛盾时，如何制定规则与政策以达到生态环境保护的目的，或许我们可以从生态补偿策略的案例中寻找答案。

#### 一、生态补偿含义

生态补偿（Eco-compensation）是以保护和可持续利用生态系统服务为目的、以经济手段为主要手段来调节相关者利益关系、促进补偿活动、调动生态保护积极性的各种规则、激励和协调的制度安排。狭义的生态补偿指对由人类的社会经济活动给生态系统和自然资源造成的破坏及环境所造成污染的补偿、恢复、综合治理等一系列活动的总称；广义的生态补偿则还应包括对因环境保护而丧失发展机会的区域内的居民进行的资金、技术、实物补偿和政策优惠，以及为增强环境保护意识，提高环境保护水平而进行的科研、教育费用支出。本部分案例包括哈佛大学与杜克大学。

## 二、生态补偿策略的应用与评价

### 案例 1：哈佛大学

哈佛大学对于生态环境保护十分重视，校方制定了多个应对气候变化问题的行动规划与环境保护目标，例如“化石燃料中和目标”等。为达到这些目标，哈佛大学设立了相关基金会以保障资金支持，成立了执行委员会来监督进展，并制定了一系列政策（如绿色出行津贴、捐赠奖励等）鼓励学生与员工践行低碳生活。

#### 1. 背景概述

一直以来，不仅哈佛大学的研究人员在帮助人们理解和应对气候变化，学生社团也在采取行动。2016年，哈佛大学完成了它的10年目标——校园建筑面积增加了12%，校园内的温室气体排放减少了30%。基于此，哈佛大学制定了更加远大的、以科学为基础的气候承诺，为向更绿色、无化石燃料的未来迈进提供了蓝图。该承诺为师生直接参与应对气候变化的行动提供了机会：它为他们与气候变化相关的想法、专业选择和行动提供了有力的支持。而哈佛公共卫生学院院长米歇尔·威廉姆斯（Michelle Williams）表示，替代能源仅有助于应对气候变化，也对公共健康、生态和经济有着巨大的影响，哈佛大学应该承担起帮助人们更好地理解这些影响的道德责任，进行更广阔的多学科研究和探索。

#### 2. 绿色循环基金

哈佛大学在2002年设立了总额为1200万美元（约合7800万人民币）的绿色循环基金（Green Revolving Fund, GRF），为与高能源利用率的校园设计、运营、维护和居住行为相关的项目提供资金，意图在5至10年、甚至更短的投资回收期中，降低大学对环境的负面影响。项目的运行规则很简单：首先，GRF负责提供前期资金，申请部门则需要通过减少相关的资源消耗和废料，以及运营成本来偿还基金。投资回报方案允许各申请部门在不花费任何成本的前提下，提高其设施的效率、舒适度和功能性。自成立以来，GRF已经支持了近200个项目，包括减少温室气体排放、



减少能源使用、减少用水、减少污水或雨水、减少污染物、改进运营模式、教导住户和安装可再生能源，这些项目每年节省了超过 400 万美元。

### 3. 哈佛大学的“中和”目标

在哈佛大学最新制定的气候行动计划中，远离化石燃料是十分重要的一环。哈佛大学计划在 2026 年实现化石燃料中和，在 2050 年完全不再使用化石燃料。这一计划不仅仅关注碳排放或温室气体排放，还关注所有化石能源的来源、生产和燃烧产生的废物。这是基于在整个化石能源使用链的过程中过程中产生的污染，会对人类健康和生态系统产生全面的影响而做出的决定。

第一，为了实现化石燃料中和这一短期目标，哈佛大学将会大力减少学校内能源的使用，并致力于通过投资一些校外项目（比如可再生资源项目）来中和温室气体的排放。同时，该项目在追求校园内设施和建筑的更高的能源使用效率的同时也将聘请研究人员和行业领袖来确保在可行的条件下投资可靠的减排项目，

第二，哈佛大学将成立一个可持续发展执行委员会来监督计划的进展，并成立跨学科工作组来研究并提供相关领域的建议，从而最大限度地提高校园内的能源使用效率、评估针对碳排放或校内化石燃料能源的使用收取附加费的可行性、制订校外减排项目及制定校园内减排发展指南。

而为了实现到 2050 年不再使用化石燃料这一目标，哈佛大学计划转变其电力购买结构。这意味着哈佛大学在通过区域电网和购电协议购买电力来源将不再是于燃烧化石燃料而是清洁能源（如太阳能或者海上风能）；同时，哈佛大学内的所有车辆，将不再使用化石燃料驱动，而哈佛大学在购买外部提供的服务或者活动时，也将尽量避免选择那些以化石燃料来提供动力的服务或者活动。这样一来，哈佛地区能源系统将会在没有化石燃料的情况下运行。为此，哈佛已经开始做出努力：

(1) 在 2018 年，哈佛大学开始在阿诺德植物园 (ARNOLD ARBORETUM) 建设一个创新的 450 千瓦太阳能项目，它包括太阳能电池板、太阳能遮阳篷和大容量电池组。艺术与科学学院 (FAS) 在 Vanserg 和 Shannon Hall 的连体屋顶上完成了一个新的 100 千瓦太阳能电池阵列的安装。哈佛大学住宅 (Harvard University

Housing) 位于士兵公园 (Soldiers Field Park) 和西部大道 1 号 (One west Avenue) 的太阳能电池阵列在 2019 年增加了 100 千瓦，计划后续增加到 400 千瓦以上。2018 年，太阳能电池板的发电量超过 57,000 千瓦时，减少了 10% 的能源消耗。

(2) 哈佛大学位于奥尔斯顿的新区能源设施 (DEF) 采用了一种更高效的低温热水分配系统，建立了马萨诸塞州最大的储热罐。该储热罐类似于一个巨大的电池，在非用电高峰时段生产和储存冷冻水，该时段电力成本较低，且通常污染较小（因为污染最严重的电厂通常在用电高峰期运行）。储存的冷冻水可以在白天需要时使用，以在高峰时段降低电网负担，并有效减少化石燃料排放和节省资金。



图 2-1-1 哈佛大学位于奥尔斯顿的新区能源设施 (DEF) (图源：<https://green.harvard.edu/news/highly-efficient-energy-system-power-harvards-allston-campus>)

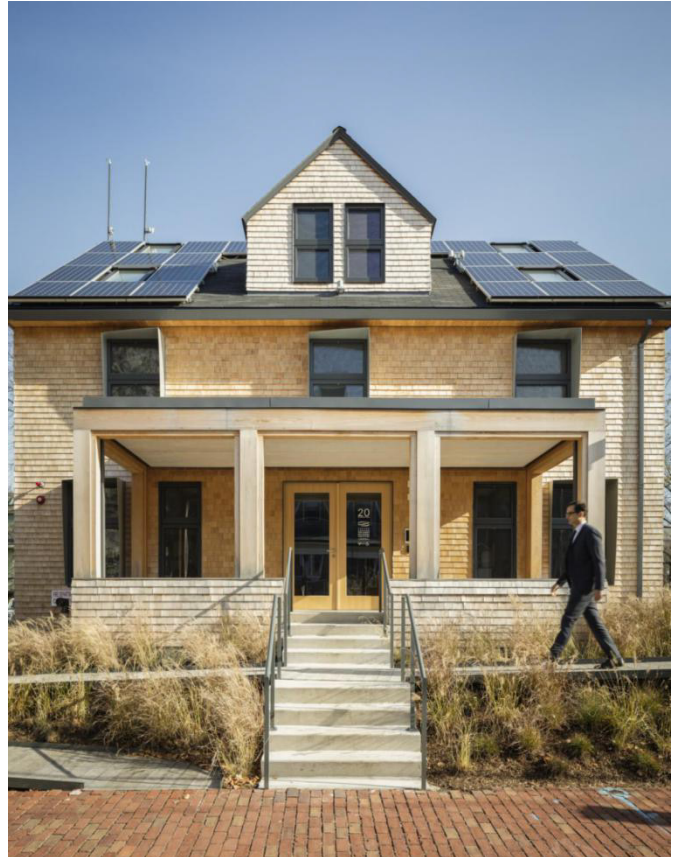


图 2-1-2 哈佛大学研究生院 (GSD)  
(图源：<https://harvardcgbc.org/research/housezero/>)

(3) 哈佛大学研究生院 (GSD) 的 House Zero 团队将一栋 40 年代以前的房子翻新成了第一个“零碳屋”，通过产生比其自身所消耗更多的能源来展示前所未有的建筑效率。现在，作为哈佛大学研究生院绿色建筑与城市设计中心的总部，House Zero 正在努力实现超高效完善的复制。

(4) 哈佛大学鼓励员工选择更加低碳的出行方式。员工可以获得自行车通勤津贴或交通费用津贴。此外，哈佛为所有附属机构提供蓝色自行车自行车共享折扣

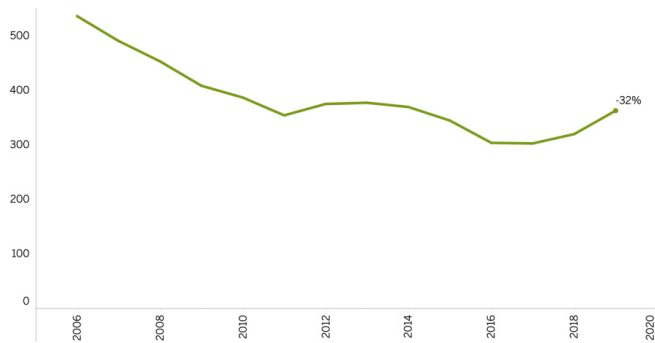


图 2-1-3 哈佛大学 2006 年 -2020 年人均垃圾变化图

(数据来源：Harvard's Sustainability Data <https://report.green.harvard.edu/>)

和 Zipcar 汽车共享会员资格，还支持 13 个拥有 250 多辆自行车的蓝色自行车站。该激励政策的成果表现为，85% 的剑桥 / 奥尔斯顿 (Cambridg/Allston) 通勤者和 81% 的朗伍德 (Longwood) 通勤者使用可持续的交通工具来上班。

(5) 在哈佛的 327 辆车中，93 辆车使用了生物燃料，18 辆车是混合动力车，2 辆则是 100% 电动汽车。去年，哈佛对两架使用了 5 年的运输航天飞机进行了改装，包括安装一种独特的混合动力驱动，将英里 / 加仑数从 6.5 英里 / 加仑 (约合 2.75 千米 / 升) 提升到 8.1 英里 / 加仑 (约合 3.45 千米 / 升)，效率提高了几近 25%。

(6) 自 2006 年以来，哈佛一直在努力减少人均垃圾。哈佛大学餐饮服务中心 (HUDS) 和餐饮协会 (哈佛商学院、哈佛法学院和哈佛医学院) 通过当地的非营利食品免费向有需要的家庭捐赠剩余食品。

### 3. 参考资料

[1] Harvard's Climate Action <https://green.harvard.edu/campaign/harvards-climate-action-plan>

[2] Harvard's Sustainability Data <http://report.green.harvard.edu/>

[3] Harvard's 2016 Sustainability Report <https://green.harvard.edu/news/harvards-2016-sustainability-report>

## 案例 2：杜克大学

2007 年，杜克大学率先签署《美国大学和大学校长的气候承诺》，设定了到 2024 年实现碳中和的目标，并促成了 2009 年第一个气候行动计划的制定。该承诺书希望通过结合直接减排策略和碳补偿，积极追求 2024 年及以后的碳中和。

### 1. 碳中和计划任务

为达到碳中和目标，杜克大学创建了杜克碳补偿倡议（DCOI），并采取一系列的配套措施：

(1) 开发和实行大学碳中和战略，促成碳排放源识别、碳补偿机制的创建和碳排放额度的购买；

(2) 为学生和教职员工提供教育机会；

(3) 优先处理本地和区域补偿，为重要环境、经济和社会福利提供比温室气体减排更大的益处；

(4) 为其他机构提供借鉴与资源支持，以促进实施更多独特而全面的碳补偿项目。

### 2. 碳补偿项目

(1) 罗伊雷农场（Loyd Ray Farms）-- 养猪场废料<sup>14</sup>转化为能源

#### ① 项目概况

罗伊雷农场是一个创新的废料 - 能源转化项目，该项目收集了由养猪场废料（主要为猪粪便）分解产生的甲烷并将其燃烧以发电。杜克大学将以这种方式破坏甲烷来产生碳补偿和可再生能源信用额度<sup>15</sup>，来抵消校园中的一些温室气体排放。

---

<sup>14</sup> 未经处理猪场废料中有大量有害微生物、寄生虫、碳水化合物、含碳化合物。

<sup>15</sup> 可再生能源信用额度（renewable energy credits, RECs），在可再生能源发电地远离数据中心的情况下，运营商将可再生能源转售回电网，并使用可再生能源信用额度抵消其碳排放。



图 2-2-1 罗伊雷农场（图源：<https://sustainability.duke.edu/offsets/projects/lrf>）

精养猪场传统废料管理系统将废料存储在露天泻湖中，这些泻湖将甲烷释放到大气中。为了减少这些温室气体的排放、产生可再生能源和碳补偿、减少气味并最大程度地降低养猪场的整体环境影响，学校在养猪场安装了创新的废料管理系统。

#### ② 碳补偿项目合作机制

杜克大学、谷歌公司和杜克能源公司三方合作，建立了碳补偿合作机制，并获得了自然资源保护局（NRCS）环境质量激励计划（EQIP）和水土保持泻湖 NC 分部的资助。该系统为杜克大学提供碳补偿，而该项目产生的所有可再生能源信用（REC）均已与杜克能源签订了项目合作协议，产生的电力或由猪场设施和创新系统使用，





或被返供到电网中。该机制每年可产生大约 2500 次碳补偿和约 300 个可再生能源信用 (RECs)，与其他清理猪粪的系统相比，该系统成本也更低（每 1000 磅稳态重量 460 美元，约合每 453 千克稳态重量 3000 元人民币）。

## (2) 城市林业—植树碳补偿，碳补偿协议

### ① 项目概况

2013 年起，杜克碳补偿计划 (DCOI) 与美国各地的大学，市政当局和组织合作，在市区种植树木以产生碳补偿，并于 2015 年发布《城市林业议定书》，专门针对较小城市的树木种植，也为其他机构提供项目开发参考。

### ② 协议解读

杜克大学小城市植树碳补偿协议主要包括：碳补偿利益、参与者、准入条件、量化固碳、项目监控与验证。

该协议量化了树的整个生命周期中积累和存储碳的含量，阐明了健康、环境和经济受益领域：树木减少空气和水的污染、拦截和吸收过量的雨水、提供动物和传粉媒

介的栖息地和食物。当在合适的位置种植，也可以为房屋遮荫，甚至为学生和社区成员提供教育和参与志愿服务机会，改善公民的健康状况。

在碳补偿信用所有权方面，该协议对项目运营商的土地、树木、潜在信用、责任、财产权益、碳信用额等条件提出明确要求，只有满足的商户才能获得运营资格。项目经营人提交项目登记或列入温室气体计划时，只要登记计划在提交申请后 6 个月内获得批准，项目即开始生效。



图 2-2-2 2016 年与 2017 年 DCOI 的植树项目，其中大部分在北卡罗来纳州  
(图源：<https://sustainability.duke.edu/offsets/projects/forestry>)

**这的栖息地和食物。**当在合适的位置种植，也可以为房屋遮荫，甚至为学生和社区成员提供教育和参与志愿服务机会，改善公民的健康状况。

在碳补偿信用所有权方面，该协议对项目运营商的土地、树木、潜在信用、责任、财产权益、碳信用额等条件提出明确要求，只有满足的商户才能获得运营资格。项目经营人提交项目登记或列入温室气体计划时，只要登记计划在提交申请后 6 个月内获得批准，项目即开始生效。

### ③ 项目成就

DCOI 与亚利桑那州立大学，伊隆大学，戴维森学院，佩斯大学和绿山学院合作，在北卡罗来纳州，亚利桑那州和纽约州率先开展了 7 个城市林业试点项目。到 2017 年底，《城市林业议定书》将种植超过 6,400 棵树木。DCOI 已就如何量化校园树木和森林以确保增益提出了书面建议，并与 Delta 合作，在洛利 - 杜罕都会群 (Raleigh-Durham) 种植了 1,000 多棵树。



#### ④ 项目利益

植树可帮助清除汽车尾气中的有害污染物，减少雨水径流，为建筑物遮荫以减少能耗，并提供生物栖息地。而 DCOI 通过开发补偿协议和开创性的解决方案来满足努力实现碳中和的机构的需求，这可以使其他学校能够种植城市树木并产生气候影响。

#### 参考资料

[1]DUKE Campus Farm <https://sustainability.duke.edu/>

### 三、专家点评

以自然资源及其生态系统保护为初衷的生态补偿从概念生成至今，便经历了“零星实践、理论成形、系统探索和再反思”的历史过程，基本完成了早期生态系统服务付费向市场化、社会化、行政化政策的综合生态补偿，客观凝结了“保护性补偿、开发性补偿、修复性补偿”的行动维度，大体实现了“空间用途管制、资源治理、生态保护”的补偿路径，初步形成了“政府 + 市场”两只手的推动策略。事实上，生态补偿作为一项因“现实问题”而生的制度或行动倡议，仍有其“软肋”尚待解决。其中，怎样激活多元社会主体参与的热情，以及发挥市场优化配置的基础性作用是当前生态补偿制度建设的难题。哈佛大学、杜克大学以实在的行动案例，讲述了“抵制浪费、低碳减排、能源转型、科技促成、碳补偿、绿色科研基金、携手共同体”等“补偿故事”，不仅为社会公众树立了“从我做起”的行动榜样，也为政策制定提供了“科技 +”、“市场 +”、“团体 +”的思路。

**点评专家：姚霖，中国自然资源经济研究院所有者权益研究所副所长**

## 第三章

# 建筑单体的节能低碳设计与改造

Chapter

Energy Saving and Low Carbon Design and Transformation  
of Single Building

随着校园规模的发展与扩张，建筑的耗能和排放比重会越来越高。因此，在设计、建造和使用的全生命周期内减少建筑的耗能、节约资源，提高能源使用效率，形成低碳节能的系统的同时，保证建筑的舒适、美观与自然和谐，成为了各高校进行老旧建筑改造与新建筑设计的追求目标，涌现了大量优秀的、可借鉴的建筑设计案例。

### 一、建筑单体的节能低碳设计与改造的含义

进入 21 世纪以来，随着化石能源的枯竭、生活质量的提升、建筑外观和功能的提高，公共机构建筑能耗与日俱增。据 2015 年《中国建筑节能年度发展研究报告》统计，2013 年建筑总商品能耗达到 7.56 亿，约占全国能源消费总量的 19.5%。公共机构建筑凭借其数量巨大的建筑面积、强大的社会影响力引领着我国建筑节能改造的发展，促进创造节能、减排、低碳的新型建筑生活模式。建筑单体的节能低碳设计主要从暖通空调、给水排水、规划与建筑、结构与材料、施工管理、建筑电气、运营管理和改造创新这八个方面进行。

基于建筑性能的评分制能耗评价可以提供一些标准来衡量建筑和设备是不是足够环境友好，通过比对建筑和这些设计标准来评价建筑的节能性。其中各国针对于绿色建筑制定的评价体系就是采用能耗分值评估法，如：美国绿色建筑委员会所倡导的能源和环境设计评分系统、英国的评价体系、日本的评价体系、澳大利亚的评

价体系以及我国的《绿色建筑评价标准》都有专门针对建筑节能的专项评价指标。此外我国还有专门针对建筑能效的《建筑能效标识技术标准》。

本部分案例主要通过通过对公共机构建筑进行绿色改造带来节能效益，包括新加坡南洋理工大学（NTU）、山东建筑大学、新南威尔士大学（UNSW）、不列颠哥伦比亚大学（UBC）、同济大学、麻省理工学院（MIT）及康奈尔大学。

## 二、建筑单体的节能低碳设计与改造的应用与评价

### 案例 1：新加坡南洋理工大学

新加坡作为与我国夏热冬暖地区同属湿热气候的东南亚国家，非常重视将发展绿色建筑作为缓解国内资源和环境压力的主要策略。新加坡南洋理工大学在新建建筑时使用了木造结构以减少碳排放量，并通过新型的通风系统提高了使用时的舒适度，减少了空调的使用率，达到了节能减排的效果。

#### 1. 背景概述

“绿色标志”是新加坡于 2005 年开始推行的具有湿热地区地域特色的绿色建筑评价标准，用于评价热带和亚热带建筑环境影响及建筑性能的绿色认证系统。该标准充分体现湿热气候特点，在新加坡广泛使用且已向国际推广（包括中国）。它主要从节能、节水、环境保护、室内环境质量、其他绿色创新五个方面对建筑性能进行综合评价。

南洋理工大学已成为新加坡高校绿色校园建设的领头羊。通过践行多年的生态校园创建方案，学校在“节能”和“绿色创新”两方面占据领先地位，且预计校园 2020 年的能耗指标将仅为 2011 年水平的 65%。学校重视新技术、新设备、新材料、新工艺在校园建筑的应用，并与世界知名企业形成合作伙伴，在诸多领域共同推动绿色校园相关科技的先行先试，包括信息分析、建筑围护结构、空调系统、照明系统、交通系统、水资源和污废处理、智能电网、可再生能源、用户行为等组成部分。例如，

为更充分地利用当地丰富的日照，学校与一线光伏企业合作，于新建学生公寓和教学楼等建筑屋顶安装和投入使用校园 5 兆瓦的光伏系统，每年可节省大约 150 万新币（约合 750 万元人民币）的电费，同时学校的科研团队也在不断开展柔性钙钛矿太阳能电池这一新兴技术的科研攻关。

## 2. 建筑概况

### 1. 南洋理工大学新建大型木结构建筑

现代工程木结构层压胶合实木 (Mass Engineered Timber, 简称 MET) 是可持续性最优良的建筑材料之一，由恒续林生产提供，在建筑材料中碳耗量最少，而且拆除后可重复利用。与混凝土相比，MET 施工轻便，降低了对重型基础材料的需求。新体育馆 (The Wave) 是新加坡乃至东南亚首个采用 MET 为主要材料的大型建筑，于 2017 年 4 月投入使用 (见图 3-1-1)。建筑采用了两种形式的 MET: 72 米大跨度弧形屋面结构及其他部分梁柱构件采用层板胶合木 (Glued Laminated Timber, 简称 Glulam)；墙体、楼板和室内装饰等采用正交胶合木 (Cross Laminated Timber 简称 CLT)。施工过程仅由 11 位建筑工人完成 (如果采用钢结构或者钢筋混凝土结构，



图 3-1-1 新体育馆木结构施工照片 (图源：新加坡高等教育机构绿色校园建设研究)



图 3-1-2 学习中心中庭照片  
(图源：新加坡高等教育机构绿色校园建设研究)

则需要 60 ~ 80 位建筑工人)，建筑结构的建造工期也比传统方法缩短了 33%。有了新体育馆的成功经验，NTU 继续在教学建筑中推广 MET：层数 6 层且建筑面积约 42000 平方米的南教学大楼 (Academic Building South) 将在 2021 年竣工，届时将成为亚洲最大的木结构建筑之一。

## 2. 南洋理工大学学习中心

学习中心 (The Hive) 高耸狭长的 A 形中庭空间适合湿热地区使用，既可以减少建筑直接从阳光获取的热量，又有利于充分发挥中庭的拔风<sup>16</sup>作用，具有加强自然通风、降低室内气温的功能。底层开放的架空空间和教室间布置的通透楼梯间等缓冲空间进一步加强了自然通风效果，保证环绕塔楼教室的空气得到最大程度的循环流通，尽可能使学生感觉凉爽舒适 (图 3-1-2)。

<sup>16</sup> 拔风，指当热空气上升，在底部形成负压区，冷空气就会进入补充而加大气流流动。

在开放、通透的中庭实现自然通风效果的同时，学习中心在 55 个讨论室采用自然通风和被动置换通风相结合的方式，保证低湿度和更好的舒适度；取消了风机的静音制冷装置，并与墙体整合在一起，避免人们对高能耗空调的依赖（图 3-1-3）。建筑因此节能 30%，5 年时间可以节省新币 1 百万元（约合元人民币 5 百万元）。

#### 参考资料

[1] 刘骁, 郭卫宏, 包莹. 新加坡高等教育机构绿色校园建设研究 [J]. 建筑节能, 2019, 47(07): 52-59+88.

[2] 刘骁, 郭卫宏, 包莹. 地域文化与绿色技术交融的绿色校园建筑设计策略研究——以湿热地区大学校园为例 [J]. 城市建筑, 2019, 16(01): 113-119.



图 3-1-3 学习室置换通风分析和室内照片（图源：新加坡高等教育机构绿色校园建设研究）

## 案例 2：山东建筑大学

2016 年 8 月颁布的《住房城乡建设事业“十三五”规划纲要》第十四章“大力推动建筑节能和绿色建筑”中明确指出：在不同气候区尽快建设一批超低能耗或近零能耗建筑示范工程，发挥建筑能效提升标杆引领作用。由此，装配式、钢结构、超低能耗三位一体的新型绿色建筑成为我国绿色建筑的未來主要发展方向，同时也是实现建筑绿色化、工业化的重要举措。山东建筑大学教学实验综合楼以此为契机，从装配式技术体系、被动式技术体系、室内舒适性控制技术、可再生能源利用技术四个方面进行了实践。

### 1. 背景概述

山东建筑大学绿色装配式综合实验楼项目是国内首个钢结构装配被动式超低能耗建筑，也是山东省第一批入选被动式超低能耗绿色建筑<sup>17</sup>示范工程的建筑。2017 年 3 月 30 日，项目经现场检验顺利通过德国能源署、住房城乡建设部科技与产业化发展中心专家组实体验收。该项目为研究寒冷地区装配式超低能耗建筑适宜技术提供了科学依据和数据支持。

### 2. 建筑概况

山东建筑大学绿色装配式综合实验楼项目位于山东建筑大学新校区内，科技馆西侧，图书信息楼南侧。总建筑面积为 9721 平方米。主楼建筑地上 6 层，建筑高度为 23.9 米，主要为实验室和研究室。大教室为地上 2 层，地上高度为 13.4 米，

---

<sup>17</sup> 被动式超低能耗绿色建筑是指适应气候特征和自然条件，通过保温隔热性能和气密性更高的围护结构，采用高效新风热回收技术，最大程度地降低建筑供暖供冷需求，并充分利用可再生能源，以更少的能源消耗提供舒适室内环境并能满足绿色建筑基本要求的建筑。

主要用于会议和教学。建筑应用了钢结构、ALC<sup>18</sup> 墙板、桁架<sup>19</sup> 叠合板<sup>20</sup>、预制楼梯<sup>21</sup> 等，装配率高达 90%。项目考虑建筑的全生命周期的生态和节能，争取最低的资源消耗，采用“被动技术优先”的设计原则和思路，从根本上关注“人、自然、建筑”这三者之间的相互关系，依据建筑所处的自然环境及建筑特点来进行设计和选择。

方案在设计之初考虑了整个场地所在的自然环境和气候条件，以适宜地区自然环境为前提，在设计过程中充分挖掘自然环境的潜能，分析当地的气候特点以及各个气候条件会对方案的影响程度，做到扬长避短。山东建筑大学绿色装配式综合实验楼项目位于济南市历城区，属于暖温带气候区，全年平均气温 14.7 摄氏度，最热月为 7 月，平均均气温为 27.5 摄氏度，最冷月为 1 月，平均气温为 - 0.4 摄氏度。济南市南面为山区，北部为平原，这就造成了夏季吹来的温暖潮湿的季风和冬季从北侧吹来的冷空气均被山地所阻挡，使济南形成了夏季炎热潮湿、冬季寒冷干燥的季风性气候。因此，冬季保温和夏季隔热是济南地区建筑设计中要考虑的主要问题。

### 3. 建筑低碳应用技术

为实现超低能耗目标，建筑采用了高隔热保温的围护结构体系、气密性保证技术、高效新风系统、室内舒适性控制技术及温湿度独立控制技术，其技术指标远远优于公共建筑节能标准的要求。

---

<sup>18</sup>ALC 是蒸压轻质混凝土 (Autoclaved Lightweight Concrete) 的简称，是高性能蒸压加气混凝土 (ALC) 的一种。ALC 板是以粉煤灰 (或硅砂)、水泥、石灰等为主原料，经过高压蒸汽养护而成的多气孔混凝土成型板材 (内含经过处理的钢筋增强)。ALC 板既可做墙体材料，又可做屋面板，是一种性能优越的新型建材。

<sup>19</sup>桁架结构中的桁架指的是桁架梁，是格构化的一种梁式结构。桁架结构常用于大跨度的厂房、展览馆、体育馆和桥梁等公共建筑中。由于大多用于建筑的屋盖结构，桁架通常也被称作屋架。

<sup>20</sup>叠合板是由预制板和现浇钢筋混凝土层叠合而成的装配整体式楼板。叠合楼板整体性好，板的上下表面平整，便于饰面层装修，适用于对整体刚度要求较高的高层建筑和大开间建筑。

<sup>21</sup>预制楼梯是指混凝土楼梯在别处浇筑完成后，再运到施工现场进行组装。预制楼梯可进行标准化作业，养护条件优于施工现场，使得设计强度与实际强度的标准差更小，性能更稳定；可进行标准化检验，大大降低不符合设计强度要求的混凝土应用在建筑物上，强化建筑物质量。



### (1) 外墙、屋顶、地面保温隔热技术

通过分析济南地区的气候特点，该建筑在冬季应采取保温措施。于是外墙采用 100 毫米厚 B1 级聚苯板和 200 毫米厚蒸汽加压混凝土条板，层间设岩棉防火隔离带处理，达到外墙综合传热系数  $0.14 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})^{22}$ 。屋顶和地面的保温材料均采用 220 毫米厚挤塑聚苯板，达到综合传热系数  $0.14 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，远小于公共建筑节能标准的要求。

### (2) 遮阳技术

为了减少夏季太阳辐射得热、降低制冷负荷，实现遮挡夏季太阳直接辐射、冬季无遮挡的设计目标，在建筑南向外窗顶部水平出挑可调节外遮阳百叶。在西向房间内，通过安置可调节活动外遮阳卷帘，夏天可将太阳辐射得热挡在室外，冬天可将外遮阳卷帘升起，通过外窗获得太阳辐射得热。

### (3) 自然通风技术

若建筑的长轴与济南地区主导风向垂直或在一定的角度范围以内，建筑的迎风面与背风面就可以产生足够的压差，这时风压就可以作为实现自然通风的主要手段。春秋两季开启背风面天窗时，在室外风压和中庭热压的共同作用下，室外空气由迎风面外窗进入，从天窗、背风面外窗流出，带走余热，形成自然通风效应，可缩短空调系统运行时间，降低制冷能耗，保证室内较为舒适的热环境。另外，天窗内置的遮阳卷帘、太阳能光电系统、蓄电池、控制系统终端，可实现远程遥控开启关闭。

### (4) 天然采光技术

该建筑在整体布局和规划中按南北向布置，朝向设计合理，避免了建筑内房间形成不利的风场和朝向。在内部处理上，建筑内部 3 层形成了一个长 25 米、宽 4.65

---

<sup>22</sup> 被墙体的传热系数  $K$  是表征墙体（含所有构造层次）在稳定传热条件下，当其两侧空气温差为  $1\text{K}(1^\circ\text{C})$  时，单位时间内通过单位平方米墙体面积传递的热量，单位为  $\text{W}/(\text{M}^2\cdot\text{K})$ 。即传热系数  $K$  是包含了墙体的所有构造层次和两侧空气边界层在内的。它表征了墙体保温系统的热工性能，有研究表明外墙传热系数的减少将明显的降低建筑能耗。下同。

米的室内中庭，有约 160 平方米的天窗，3 层及以上采用内廊式布局，打破了传统单廊式的办公模式，丰富了室内空间。同时，中庭采用被动式超低能耗的天窗，满足了交通空间的天然采光。

#### (5) 节能门窗技术

被动式建筑对围护结构的保温隔热性能普遍要求较高，山东建筑大学绿色装配式综合实验楼项目的门窗采用了传热系数不大于  $1.0\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  的被动门窗，窗户玻璃采用了 3 层玻璃，玻璃之间的空腔填充有惰性气体。外门窗均为平开窗，均可以达到 8 级的气密性等级以及 4 级的水密性等级。

#### (6) 无热桥处理技术

钢筋混凝土、门窗和玻璃幕墙在工程中的大量应用，会导致建筑围护结构的建筑热桥效应<sup>23</sup>十分严重，增加建筑的能耗。因此，山东建筑大学绿色装配式综合实验楼项目在外墙、外窗安装节点、进出建筑物的管道及遮阳构件安装采用无热桥处理技术，避免维护构件结露现象的发生。

#### (7) 全热回收新风系统

项目采用带热回收内冷式双冷源新风机组。机组基于高、低温两种冷源对新风进行深度处理，主要承担室内湿负荷。设置两级全热回收装置，夏季新排风通过板式全热交换器进行全热交换，实现一次回收排风的冷量；压缩机的冷凝器设置在排风侧，实现二次回收排风的冷量，全热回收效率可达 80%。

#### (8) 温湿分控地源热泵空调系统

建筑采用暖通空调系统、地源热泵系统与双冷源温湿分控调节技术。夏季高温冷源<sup>24</sup>为主冷源，负责承担全部室内显热负荷和全部新风负荷；低温冷源<sup>25</sup>（新风

---

<sup>23</sup> 所谓热桥效应即热传导的物理效应，由于楼层和墙角处有混凝土圈梁和构造柱，而混凝土材料比起砌墙材料有较好的热传导性（混凝土材料的导热性是普通砖块导热性的 2 至 4 倍），同时由于室内通风不畅，秋末冬初室内外温差较大，冷热空气频繁接触，墙体保温层导热不均匀，产生热桥效应，造成房屋内墙结露、发霉甚至滴水。

<sup>24</sup> 高温冷源是指  $12\text{--}20\text{℃}$  的冷冻水通过干式风机盘管承担室内显热负荷，并且对新风进行预冷，将新风处理到室内等焓线。

<sup>25</sup> 低温冷源即常规冷源，通过处理预冷后的新风承担室内湿负荷。

机组自带压缩机)对新风进行深度除湿,除湿后的新风承担室内湿负荷。新风系统支管设电动调节阀,可根据室内二氧化碳浓度调节控制新风量和新风机组的启动。

#### (9) 可再生能源利用技术

本项目利用建筑屋顶安装太阳能集热系统为整栋建筑提供生活热水。系统总集热面积 30.56 平方米,采用集中集热分户储热的方案,以东西两套系统满足整栋建筑每天约 960L 的用水总量要求。同时,为解决太阳能集热系统存在的间歇性及不稳定性问题,采用辅助加热的方式确保生活热水使用的稳定性。除此之外,建筑利用地源热泵系统满足建筑采暖制冷需求,末端采用干式风机盘管机组,全年只进行显热交换<sup>26</sup>,降低一次能源需求量。

#### 4. 能耗节约效益及成本

超低能耗建筑不仅要保证室内环境舒适性,还需考虑建筑能耗情况及环境效益。通过分析,夏季制冷需求为 24.2 千瓦时/平方米,小于标准值规定的 25 千瓦时/平方米;冬季供热需求为 4.17 千瓦时/平方米,远远低于标准值规定的 千瓦时/平方米,显著降低了建筑冷热负荷需求。与《民用建筑能耗标准》(GB/T51161-2016)规定约束值相比,项目最终冷热需求转换为能耗后,每年可节约非采暖用电 203622.3 千瓦时,节约采暖用煤 58.9tce<sup>27</sup>,节省能源费用支出 15.1 万元,减少二氧化碳排放 251.7 吨,建筑环境效益十分明显。

<sup>26</sup> 显热交换:以显热的方式进行热交换。显热:物体在加热或冷却过程中,温度升高或降低而不改变其原有相态所需吸收或放出的热量,称为“显热”。它能使人们有明显的冷热变化感觉,通常可用温度计测量出来。(如将水从 20℃ 的升高到 80℃ 所吸收到的热量,就叫显热)。显热交换与潜热交换相对。潜热交换方式是把熔点较低的潜热蓄热剂,例如石蜡、冰醋酸、氯化钙和氯化镁的混合物等封入用塑料制成的蓄热板,放在温室内向阳处,白天蓄热剂吸热,由固相变成液相;夜间随室温降低,蓄热剂由液相又变成固相,放出热量,提高室内温度。

<sup>27</sup> tce 是 1 吨标准煤当量,是按标准煤的热值计算各种能源量的换算指标。1 千克煤当量的热值,中国、联合国、前苏联、日本、西欧大陆国家按 29.271 兆焦(7000 大卡)计算。

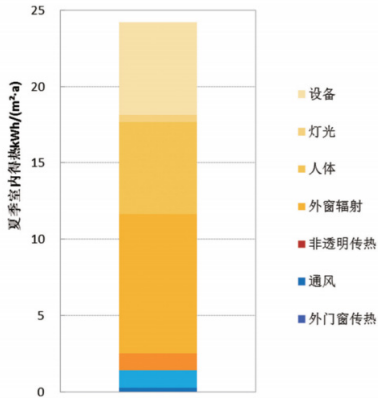


图 3-2-1 夏季制冷需求

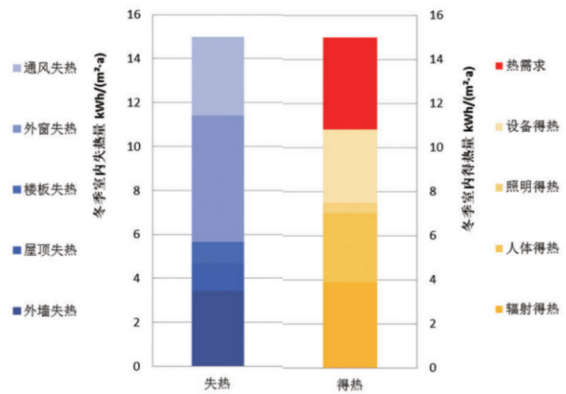


图 3-2-2 冬季取暖需求

(图源：超低能耗教学实验楼建设与研究——以山东建筑大学教学实验综合楼为例)

### 参考资料

- [1] 王崇杰. 超低能耗教学实验楼建设与研究——以山东建筑大学教学实验综合楼为例 [J]. 建设科技, 2019(08):50-56.
- [2] 王艺晓, 桑志奇, 王强. 绿色校园建筑设计实例探析——以山东建筑大学教学实验综合楼设计为例 [J]. 建筑节能, 2018,46(09):32-36.
- [3] 郑斐, 张晓楠, 刘甦等. 绿色校园景观建筑设计实例——以山东建筑大学“岱岳一居”设计为例 [J]. 山东建筑大学学报, 201328(6):514 - 520.
- [4] 鹿少博. 被动优先的绿色实验楼建筑设计探析 [D]. 济南: 山东建筑大学, 2015.
- [5] 李栋, 樊则森, 张少彪, 等. 中国首个钢结构装配式被动式建筑实践探索——山东建筑大学教学实验综合楼 [J]. 动感 (生态城市与绿色建筑), 2017(1):48

### 案例 3：新南威尔士大学泰瑞能源技术大楼（TETB）

泰瑞能源技术大楼（Tyree Energy Technologies Building, TETB）以新南威尔士大学校友、成功的创新者、商人和澳大利亚工程和教育研究的主要慈善支持者威廉·泰利爵士（Sir William Tyree）的名字命名，曾荣获 2013 可持续发展类——兰德威克城市设计奖（Randwick City Urban Design Awards）、2013 年美国洛杉矶绿点奖第三名，入围 2013 联合国世界环境日奖，并获得澳大利亚绿色建筑委员会颁发的 6 星绿星设计等级。



（图源：超低能耗教学实验楼建设与研究——以山东建筑大学教学实验综合楼为例）  
图 3-3-1 新南威尔士大学泰瑞能源技术大楼（图源：<https://fjmtstudio.com/projects/tyree-energy-technologies-building/>）

## 1. 建筑概况

泰瑞能源技术大楼 (TETB) 是新南威尔士大学的门户, 也是本科生和工程专业研究生的教育中心。它由 5 层组成, 另有一层位于地下。地下和底层主要是教育设施; 而实验室、办公空间、会议室和开放式工作区位于 1 至 4 层, 5 层包含主机房。在这座 16000 平方米的建筑中, 研究实验室约占总有效建筑面积 (UFA)<sup>28</sup> 的四分之一。中央中庭空间设有通道楼梯和人行天桥, 它们贯穿建筑的整个高度将楼层连接起来。TETB 的混凝土中掺入了粉煤灰, 同时, 建筑内配备三代发电系统、1100 平方米屋顶太阳能电池板阵列、太阳能热水系统、地下水与雨水收集和再利用系统、混合模式自然通风设备, 以及空气调节系统 (包括用于预处理进风、置换空气输送和外部高空空气的地下热力管道)。

## 2. 建筑设计特点

新南威尔士大学 TETB 的设计符合能源和环境基准, 主要能源特征如下:

- (1) 办公室正面朝北, 从现有树木的自然阴影中受益;
- (2) 高性能外壳, 包括双层玻璃, 允许最大程度的日光穿透, 并将太阳能热负荷降至最低;
- (3) 固定的外部陶土遮阳百叶窗作为建筑外墙的一部分, 以避免直接获得太阳热量并控制内部眩光;
- (4) 一个热力管道系统, 用于预处理地下楼层和底层的空气;
- (5) 地下水循环至空气处理盘管, 将室外空气预热或冷却, 再输送至一楼至三楼的开放学习空间;
- (6) 马蹄戏院的溢出空气用于调节相邻的循环空间;

---

<sup>28</sup> 有效建筑面积 (Usable floor area, UFA) 也称为净内部面积 (Net internal area, NIA), 是内部总面积 (Gross internal area, GIA) 减去大堂、屋顶上的封闭机械房、楼梯和自动扶梯、机电设备、电梯、柱子、卫生间区域 (住宅物业除外)、管道和立管等占用的建筑面积。

(7) 建筑物的自然通风用于引入夜间冷空气，对建筑物结构进行预冷，为第二天的使用做好准备；

(8) 在可行的情况下提供冷热循环，以便在外部条件有利时利用自由冷却；

(9) 有效建筑面积（UFA）内每个单独封闭空间内的暖通空调系统在不适用于舒适的暖通空调区域时自动关闭。虽然实验室暖通空调系统必须依照澳大利亚实验室标准全天候运行，但是，温度控制的设计允许在不使用时有更宽的温度控制范围，即在两个方向上至少增加 2 度；

(10) TETB 设有一个三代发电系统，功率为 800 千瓦，利用天然气发电。余热则通过吸收式制冷机产生热水或冷冻水。三代发电系统的设计目标是减少 55% 的二氧化碳排放，其与 150kwp（Killo Watt Peak，千瓦峰值，下同）光伏阵列系统共同连接到校园电网。在目前的条件和内部负荷下，TETB 白天向校园电网输出电力。

### 3. 绿色成果

(1) 环境管理——总承包商 Brookfield Multiplex 通过了 ISO 14001 认证，确保在与建筑设计和施工相关的所有决策过程中都涉及良好的环境实践；

(2) 废物管理——建筑废物管理计划和与废物处理承包商签订的协议确保了 80% 以上的建筑废物被回收或再利用；

(3) 室内环境质量——精心挑选家具和饰面，以减少挥发性有机化合物和甲醛的排放，并改善空气质量；

(4) 三代发电系统——安装三代发电系统不仅是为了为 TETB 提供服务，而且也是为了向周围建筑输出电力和冷冻水。这确保了三代系统的运行时间更长，并最大化这种发电和冷却水生产方法所带来的碳排放减少的好处；

(5) 能效——通过将空调控制装置与所有空间的运动传感器和二氧化碳传感器连接，降低了空调负荷。地下热力处理系统和地下水处理装置也可用于预冷 / 加热外来空气；

(6) 能源生产——除了三代系统外，还提供 1000 平方米的光电能源；

(7) 水的再利用——使用后的水通过钻好的孔洞进入一个储存水槽，该水槽还

收集来自屋顶的雨水。该系统与校园地下水系统相连接，经过处理作为建筑内所用的非饮用水。这在 TETB 中用于厕所冲洗、实验室用水和蒸发冷却系统的补给。消防系统测试用水和流经硬质地面的水也通过渗滤室返回含水层；

(8) 用水效率——整个建筑都使用了节水设备，包括无水小便器。三代系统的冷却由混合式 Muller 3C 冷却塔提供，冷却塔里的水都来自未经处理的地下水和雨水，该冷却塔仅在环境条件极端和负荷较高时才会对水进行蒸发。

#### 参考资料

[1]<https://www.engineering.unsw.edu.au/about-us/facilities/tyree-energy-technologies-building-tetb-facilities>

[2]Burgun F, Bilbao J, Sproul A, et al. FIRST ENERGY PERFORMANCE RESULTS OF A UNIVERSITY BUILDING AND COMPARISON TO ENVIRONMENTAL RATING SIMULATION DATA[J]. Innovation, 5: 1.

[3]UNEP, Greening Universities Toolkit: Transforming Universities Into Green and Sustainable Campuses.



## 案例 4：不列颠哥伦比亚大学

不列颠哥伦比亚大学（UBC）在建筑单体的节能减排设计与改造方面有着强大的科研经验与成功案例，拥有被称为北美地区最绿色的建筑的可持续发展互动中心、以学生为主参与项目建构的学生会大楼（AMS Nest）等绿色建筑，这些建筑为学校节省了大量能耗，为可持续发展做出了优异的贡献。

### 1. 背景概述

不列颠哥伦比亚大学（UBC）坐落在温哥华市，全校下设 18 所学院、近 5 万名学生。校内森林和应用科学学院木材科学、建筑与土木工程等领域的教授组成了一个跨学科团队，长期致力于研究以木材作为建筑可再生环境友好型结构材料的整体解决方案。该校木材工程与应用力学实验室，拥有经验丰富的工程师和研究生队伍，具有国际领先的木产品及其体系的结构性能测试实验设备，通过了 ISO 认证。

不列颠哥伦比亚大学一直致力于从教育和运营方面入手，引领可持续事业的发展，而可持续发展研究中心以可持续设计的长期效果为研究课题。在可持续发展研究中心办公的 200 人来自不同学科，比如应用科学、心理学、地理学、林学和商科，这些跨学科研究人员在此密切合作，实现大学可持续发展科研和实践一体化。不列颠哥伦比亚大学立志成为世界一流研究型大学中排放量最低的学校——以温哥华市校园标准排放为基础在 2015 年、2020 年和 2050 年分别减少碳排放 33%、67% 和 100%。

### 2. 建筑项目

#### 1. 可持续发展研究中心

##### (1) 建筑背景

可持续发展互动中心位于加拿大的温哥华，是不列颠哥伦比亚大学“生态实验室”计划扶持的重点项目之一。自 2011 年建成以来，这所研究中心吸引了众多来自于公共、私立和非政府组织的研究工作者，以实现可持续性发展为使命，共同开展研

究合作。项目前期便确立了超高的目标，绝不满足于“负面环境影响较低”或“节能效率较高等建筑目标，而是将目光放得更远，力争成为该所大学首个LEED白金级项目，获得“生态建筑挑战”标准的肯定，成为其他项目力图超越的新标杆。现在项目获得并超越了LEED白金级认证，“生态建筑挑战”的认证正在顺利进行中。

该中心拥有北美地区最绿色的建筑的称号，具有净正能耗、水源自给、100%日照条件和卓越的自然通风等诸多可持续特色。有望成为就可持续发展进行研究、合作并采取行动的国际中心，涵盖绿色建筑的设计和运营、环境政策以及社区参与。中心建筑本身是测试和展示建筑技术与系统的可用性特征和技术性能的平台，可作为实验室来展示、学习有关建造和维护可持续建筑的新知识。

## (2) 低碳应用

### ① 净零能耗 - 负能耗<sup>29</sup>

UBC 运用高效节能的建筑外皮、被动式设计策略、实现用户个体分区控制和节能设备等措施，达到降低建筑能源负荷的目的。综合运用多个系统，服务于建筑的不同需要，以实现高效用能。例如：

利用热回收系统，捕集来自于临楼（地球与海洋科学研究楼）通风罩的废热资源，继而输送到研究中心的热泵发挥效用，热泵将通过辐射楼板和置换通风系统为研究中心建筑供暖和制冷。

同时，通过热交换系统，将研究中心热泵产生的余热返还到地球与海洋科学研究楼，从而减少其热负荷，减轻校园蒸汽系统的需求压力。再引入地源换热系统作为废热回收的补充，为热泵进行采暖制冷。通过屋顶真空管集热器收集太阳能，利用内热回收系统捕集建筑系统排放的废热，然后对生活热水进行预加热处理。通过中庭屋顶安装的光伏电池和外窗遮阳板将太阳能转化为电能。开展不间断的考察，分析研究用户行为对建筑系统能耗和使用效率的影响，从而优化建筑运营情况。

---

<sup>29</sup> 即实际能源生成量等于或大于能源消耗量

通过使用可再生能源和变废为能，可持续发展互动研究中心不仅有能力满足自身的能耗需要，还能为毗邻建筑供应能源，解决其部分用能需要。凭借节能策略的运用，这座建筑面积 5675 平方米的四层建筑每年最终能为整个校区节电 1 百万千瓦时以上。

### ② 水源自供给

建筑内的所有饮用水均由建筑屋顶落下的雨水进行供给。通过简单的系统，将屋顶雨水采集起来，然后贮存在地下蓄水箱内。雨水经过场地的过滤消毒处理，以饮用水形式分配到建筑。

温哥华每年九月底到次年六月初的降雨量为中到大，六月底到九月初则近乎干旱气候。值得庆幸的是，年降雨量最低的时节正好和学校师生教职工在校人数最少的时间大致吻合。为了在六月底到九月初提供充足的饮用水，则需要在全年其他时间捕集和储存大量雨水。温哥华的年降雨量约为 1226 毫米 / 平方米，建筑屋顶收集雨水区域为 1000 平方米，这样一来全年收集的雨水量可达到 1226000 升。建筑内饮用水平均需求量估计为 2000 升 / 天。水需求包含各种用途，比如：水槽、淋浴、餐厅（饮料、烹调、清洁）、保洁服务和建筑维修保养等等。除了这些水需求量之外，由于建筑采用了大量木材，还需要始终留出 57000 升水供给灭火系统。建筑地下设置一个 100 立方米的储水箱，专门储存采集到的雨水。

### ③ 污水回用作中水<sup>30</sup>

本项目采用太阳能 - 水生植物系统（Solar Aquatic System），仿效自然过程消耗人体的生物垃圾，然后产出洁净水。工作原理是从建筑的卫生洁具收集废水，然后再将经过处理的水源用于冲厕和景观灌溉，创造闭回路式的水源循环模式。

该系统位于建筑西南角的独立玻璃房内。人们从可持续街、西部商场和人行步道都能清楚地看到这一系统用房。这一特殊的用房成为了研究中心可持续方面的匠心独具的一大亮点。

---

<sup>30</sup> 中水一般指再生水，是指废水或雨水经适当处理后，达到一定的水质指标，满足某种使用要求，可以进行有益使用的水。

## 2. 学生会大楼 (AMS Nest)

### (1) 建筑背景

不列颠哥伦比亚大学学生会大楼 (AMS Nest) 面积达到 25 万平方英尺 (约合 2.3 万平方米), 环保评级达到 LEED 铂金。这栋五层楼的、耗资 1.07 亿美元 (约合 7 亿人民币) 的学生会建筑由 DIALOG and B+H Architects 事务所设计建造, 但是其中 75% 的资金都来自学生, 这就产生了一个独特的设计过程, 即学生会充当客户的角色, 使学生参与成为项目构建过程中的驱动因素。该密切的合作过程带来的结果是可持续的活动中心、校园中心, 体现了学生的生活和参与性, 同时也为当代制度设计建立了新的标准。

### (2) 低碳应用

学生会大楼的可持续建筑的特征包括高性能的维护体系和三重玻璃幕墙, 高性能的太阳能屋顶能够产生能量和热量, 以确保低能耗的实现。为优先确保建筑设计的强适应能力, 设计的很多方面是可移动的、可重组的, 因此便可以灵活应对短期变化 (数小时、数天、数月等)。于此同时, 建筑师还采用耐用材料, 这样整个建筑体系就变得更加牢固和易使用。同时, 学生会大楼的选址以战略性响应校园总体的规划为导向, 并融入 UBC 校园中现有的标志性的长满草的“小丘”这一环境特征。为维持经济的可持续性, 该多元化场所提供了无数的功能。如学生娱乐室、餐饮、零售、日托、会议室、三层高的室内攀岩墙、及多功能的活动场地。除了经营的酒吧和餐馆项目, 学生会甚至通过直接利用建筑的绿色屋顶种植、出售产品以获得主要收入。

### 参考资料

[1] 建筑中国俱乐部 <http://arclub.com/article-1736-1.html>

[2] 谷德设计网 <https://www.gooood.cn/ams-nest-by-dialog-and-b-h.html>

[3] 加拿大绿色建筑的发展 上海现代建筑设计集团

## 案例 5：同济大学

同济大学在国内校园零碳转型中有着举足轻重的地位，也有许多借鉴意义。同济大学文远楼改造项目更是斩获多项奖项，开创了国内结合生态节能技术进行保护建筑改造的先河，不仅探索了如何对已有建筑进行节能改造，而且突破了历史保护建筑的节能改建，具有重大意义。

### 1. 背景概述

同济大学是国内第一批节能试点示范高校。2007 年，同济大学在百年校庆前后，以校园新建和改造项目为契机导入了绿色科技。在校园建筑的设施建设、改造和运维中运用了节能节水节才等科技，获得了显著的成果，得到了社会的关注和认可。譬如，2007 年历史保护建筑文远楼<sup>31</sup>的改造项目便是当年的节约型校园建设的示范工程，改造过后节能性达 65%，远远超过当时国家关于公共建筑节能 50% 的性能标准。2008 年，同济大学作为牵头单位，在浙江大学、清华大学、天津大学、重庆大学、山东建筑大学的共同努力下编制了第一部《高等学校节约型校园建设与管理技术导则》，为推进我国绿色校园提出了具体思路和行动纲领。同年，同济大学完成了高等学校校园节能监管平台建设 (CEMS)、管理的技术导则等各类纲领性文件。2009 年，在同济大学由教育部，住建部和财务部联合召开了我国节约型校园的工作会议，吹响了节约型校园建设的集结号。2011 年，同济大学联动 9 所高校共同创立了“中国绿色大学联盟”，并在之后几年参与各类国际会议进行经验交流分享，倡导高等教育应对全球气候变动。由此可见，同济大学在国内校园零碳转型中有着举足轻重的地位，也有许多借鉴意义。

同济大学建筑物绿色改造方案设计时考虑了场地所在的自然环境和气候条件。上海属亚热带和海上季风气候，四季分明。春季和秋季周期相对较短。冬季温度在

---

<sup>31</sup> <http://photo.tongji.edu.cn/index/zttp/xyjz1/wyl.htm>

冰点以下 1 摄氏度至 8 摄氏度之间，偶尔也会低于冰点。在炎热的夏季，平均气温在 28 摄氏度至 35 摄氏度之间。10 月，来自北方的冷空气到达该地区。年降雨量为 1135 毫米，其中 50% 在 5 月中旬至 9 月中旬之间。每年平均降水量为 110 天。

## 2. 文远楼改造

### (1) 项目背景

坐落于同济大学校园的文远楼始建于 1953 年，总建筑面积达 5500 平方米，因其包豪斯风格（平面布局自由、功能流线合理、立面简洁平整）被誉为是“现代主义建筑在中国的经典之作”。1993 年文远楼获得“中国建筑学会优秀建筑创作奖”，1994 年被列为上海市市级保护建筑，1999 年 10 月入选新中国 50 年上海经典建筑”。2005 年底，学校正式决定对文远楼进行改造。同济学与德国节能技术专家合作，运用当代最新的建筑节能技术，建立一套综合节能技术系统。

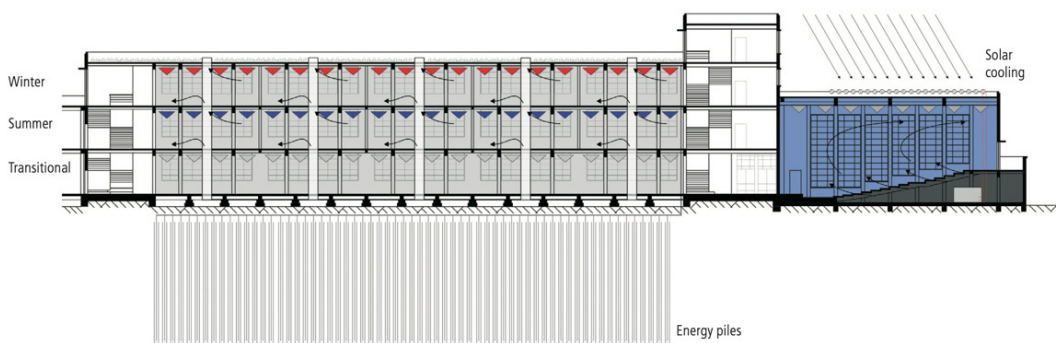


图 3-5-2 文远楼纵切面——右边部分：中间展厅和教室部分采用地源热泵和辐射吊顶技术；左边部分：300 人报告厅采用太阳能（燃气补燃）吸收式热泵技术（阶梯教室未包含在图内）（图源：<https://www.tu-braunschweig.de/igs/publikation/buecher>）

## (2) 改造亮点——量身定制的能源方案

文远楼最初建成时未做室内空调设计，建筑物单层黏土砖填充外墙、较大面积的单层玻璃钢窗使得建筑的保温性能极低。采用中央空调系统耗能较大并需要很大的设备安装空间，因此不适用于文远楼的节能改造设计。作为上海市级保护建筑，文远楼的特殊性决定其量身定制的能源方案。在建筑设计师团队的反复推敲之后，决定在不同的功能区应用不同的降温和供热系统。文远楼的布局可以大体划分为三个部分：中间展厅和教室、300人报告厅和4个160人阶梯教室。建筑设计师团队根据三部分的功能分别进行了能源使用设计：中间展厅和教室部分采用地源热泵和辐射吊顶；300人报告厅采用燃气驱动发动机热泵和余热除湿；4个160人阶梯教室采用太阳能（燃气补燃）吸收式热泵。

## (3) 技术应用

2007年文远楼的改造项目中运用了非常多的绿色节能技术：地源热泵技术、燃气补能系统及余热除湿、冷辐射吊顶技术、内遮阳节能系统、绿色材料及保温体系、屋顶花园、节能照明系统、智能控制即时展示系统、雨水收集系统、太阳能热水系统。这里主要介绍文远楼的采暖、制冷和通风上的节能设计以及对一系列自然资源或新能源的使用（例如土地，地下水，太阳辐射等）。

### ① 地源热泵技术

文远楼三楼的中间展厅和教室部分采用土壤源热泵和辐射吊顶技术。土壤源热泵系统是利用了土地的蓄热性能，通过埋入地下的换热器，冬季输出土壤中的热量供室内采暖，夏季将室内的热量释放到土壤中。土壤源热泵系统的优点是运行成本相对较低，是传统的空调系统的1/2 ~ 1/4；维护成本也低，是传统空调系统的1/3；不受外界温度的波动影响，可以高效、稳定的运行。

### ② “燃气补能系统”和“余热除湿”

300人报告厅主要采用燃气驱动发动机热泵，余热除湿等技术。其中的燃气补能系统与余热除湿系统这一套灵活的能源利用方案是一大亮点，这项技术的使用使得建筑物内能够在不断变化的天气条件中保持温度和湿度的适宜。报告厅采用动态制冷和制热，通过座椅送风，将不必要的能量消耗降至最低。燃气发动机驱动热泵

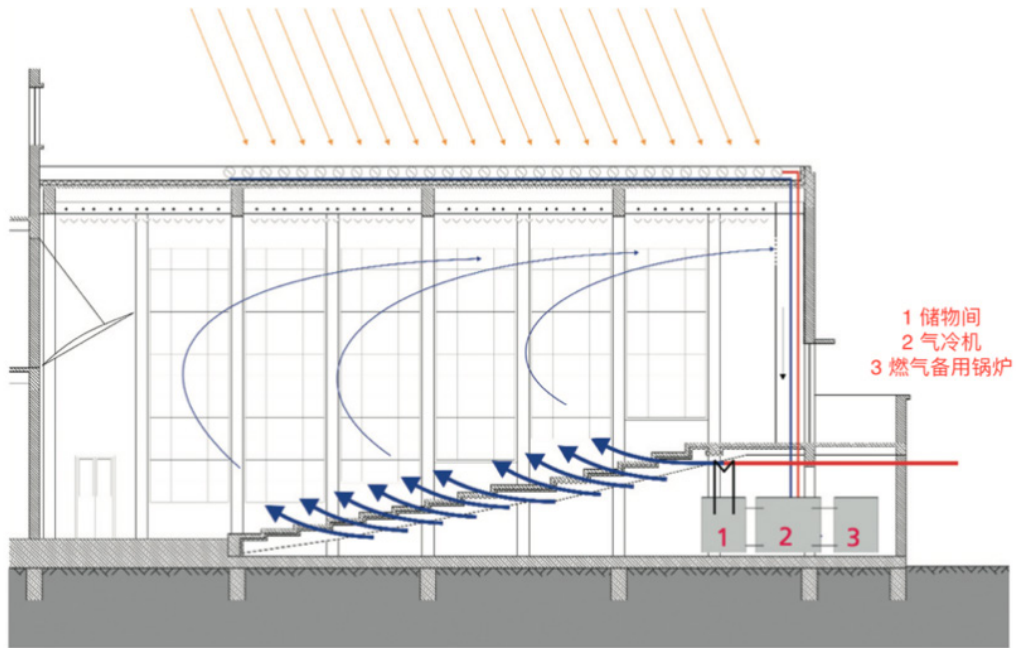


图 3-5-3 300 人报告厅与地板下供气的横截面  
(图源：<https://www.tu-braunschweig.de/igs/publikation/buecher>)

与余热除湿复合系统 (GEHPS), 由燃气发动机驱动空调压缩机实现机组制冷与制热, 还利用了发动机的余热达到了除湿效果。

### ③ “保温体系”和“内遮阳节能系统”

文院楼在建立之初保温效果不佳, 所以改造项目侧重在改善内外墙的保温效果和提高室内环境的适宜性。由于文院楼是保护建筑, 需要最大限度保留其外观与风格, 因此“砌墙”的隔热方式主要被用在内部的改造中。而在外墙, 在不同的建筑部位分别采用了保温性能最好的 PUR<sup>32</sup> 材料、XPS 材料<sup>33</sup> 以及喷涂型保温材料<sup>34</sup> (这



种保温构造在大楼的相应部位作为教学模版进行了展示)。有数据表明。在文远楼完成了外围护构造的保护性修缮改造后,外墙传热系数值从 $2.4\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}^{35}$ 降至 $0.77\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ,小于现行节能设计标准要求的 $1.0\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ,使得楼内温度得以保持。

在墙身、屋面和地坪都使用有极佳保温效果的材料的情况下,窗体的改造却成为了难点。为了尽可能保留文远楼的窗体的外观风格,建筑设计团队使用了断热型薄框作为外窗,在表面加涂保温材料,使用双层隔热真空玻璃,并使用可调节智能化内遮阳系统,防止直射阳光照入室内,减少太阳热辐射。

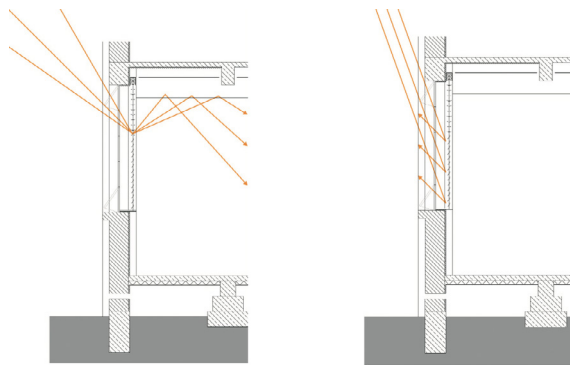


图 3-5-4 室内窗体改造

(图源：<https://www.tu-braunschweig.de/igs/publikation/buecher>)

<sup>32</sup> 聚氨酯(PUR)是由异氰酸酯与多元醇反应而成的一种具有氨基甲酸酯链段重复结构单元的聚合物。PUR制品分为发泡制品和非发泡制品两大类,发泡制品有软质、硬质、半硬质PUR泡沫塑料;非发泡制品包括涂料、粘合剂、合成皮革、弹性体和弹性纤维等。PUR材料性能优异,用途广泛,制品种类多,其中尤以PUR泡沫塑料的用量最为广泛。

<sup>33</sup> 绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(简称XPS),XPS具有完美的闭孔蜂窝结构,这种结构让XPS板有极低的吸水性(几乎不吸水)、低热导系数、高抗压性、抗老化性(正常使用几乎无老化分解现象)。

<sup>34</sup> 指聚氨酯喷涂,喷涂型聚氨酯包括用底漆及合成树脂等直接喷涂及发泡聚氨酯喷涂两部分。用底漆及合成树脂直接喷涂的主要用于防腐耐磨、密封、保温等,特点在于耐磨性好、抗冲蚀磨损性优良、喷涂涂层从 $25\mu$ 到数毫米可一次喷涂成型且不产生挂流现象。

<sup>35</sup> 墙体的传热系数K是表征墙体(含所有构造层次)在稳定传热条件下,当其两侧空气温差为 $1\text{K}(1^\circ\text{C})$ 时,单位时间内通过单位平方米墙体面积传递的热量,单位为 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。即传热系数K是包含了墙体的所有构造层次和两侧空气边界层在内的。它表征了墙体保温系统的热工性能,有研究表明外墙传热系数的减少将明显的降低建筑能耗。下同。

#### ④ 节能照明系统

在文院楼的改造中，节能照明系统不仅实现了节约照明用电，还结合了智能灯光设计。紧凑型节能荧光灯<sup>36</sup>替代了教室和办公室中的卤钨灯及白炽灯；高强度气体放电灯<sup>37</sup>在室内公共和交通空间中使用；半导体照明（LED）应用于景观性照明、应急照明及辅助空间，同时，分别运用了光、红外、声传感器组成了智能系统，实现了节能减耗。文远楼还运用了数码控制技术设计了不同区域的灯光效果，模拟了不同时段的自然界的光环境。整体来看，更换后的灯具的使用寿命延长了一倍，并且节省了33%的电力。

#### ⑤ 智能控制即时展示系统 (BAS: Building Automation System)

先进的智能控制系统是建筑节能的必要和有效手段。所有与制冷、散热、除湿、太阳遮板等相关设备都由中央系统控制，温度和湿度会根据室内房间的即时情况进行调整。例如，其中300座报告厅是通过预冷段安装的温、湿度传感器来调节预冷阀的开度，从而控制新风温度；根据送风温度和回风温度的比较，串级控制<sup>38</sup>再冷段的阀门大小，从而控制整个报告厅的温度；同时根据回风中二氧化碳的浓度和室外的湿度来调节风量，并通过摄像机系统检测运行状态和报告故障。太阳遮板由安置在屋顶的太阳探测器控制，室内的灯光会根据探测器的反馈进行相应的调节。这种根据实时气象、使用参数建筑智能化控制的系统，为建筑赋予了实践的功能，并为后续的发展提供了特有的实验功能。

#### ⑥ 其他技术：

除以上几点特别介绍的技术以外，文远楼改建还综合应用了冷辐射吊顶技术、屋顶花园、太阳能发电和雨水收集等技术，预计可达到建筑运营综合节能65%。

---

<sup>36</sup> 紧凑型荧光灯(CFL)为节能灯，是目前取代白炽灯的适宜光源。

<sup>37</sup> 高强度气体放电灯是高压汞灯、高压钠灯和金属卤化物灯的统称，其特点是光效高、寿命长。

<sup>38</sup> 与简单的单回路控制系统相比，串级控制系统在其结构上形成了两个闭环，一个闭环在里面，被称为内回路或者副回路；另一个闭环在外，被称为外回路或者主回路。副回路在控制过程中负责粗调，主回路则完成细调，串级控制就是通过这两条回路的配合控制完成普通单回路控制系统很难达到的控制效果。

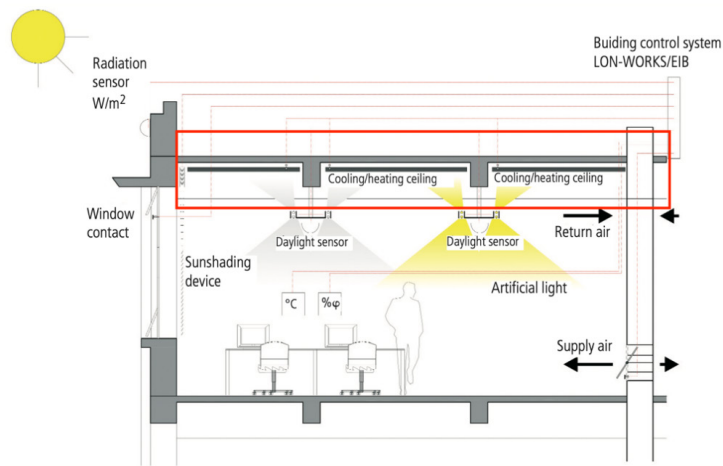


图 3-5-5 教室中的冷辐射吊顶技术

(图源：<https://www.tu-braunschweig.de/igs/publikation/buecher>)

#### 参考资料

- [1] 刘瑞芳 . 共创绿色校园 共享协作平台——专访中国绿色大学联盟秘书长、同济大学绿色建筑与新能源研究中心常务副主任谭洪卫教授 [J]. 建设科技 ,2015(24):13-15+19.
- [2]. 同济大学节约型校园示范工程 : 文远楼——历史建筑生态改造 [J]. 建设科技 ,2009(10):26.
- [3] 肖申君 . 高校教学楼建筑节能与更新改造——同济大学建筑与城市规划学院 A 楼、D 楼案例分析 [J]. 建筑·建材·装饰 ,2012,(5):92-93,123.
- [4] 吴志强, 陈小龙, 钱锋, 周俭, 曲翠松, 巍崴 . 同济大学文远楼: 历史保护建筑的生态更新 [J]. 建设科技 ,2007(06):30-31.
- [5] 曲翠松 . 历史保护建筑的生态节能更新——同济大学文远楼改造工程 [J]. 城市建筑 ,2007(08):16-17.
- [6] Wenyuang Building, College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai, China (<https://www.tu-braunschweig.de/igs/publikation/buecher>)
- [7] 陈珑 . 浅析建筑外遮阳系统 [J]. 建筑与文化 , 2014(4):81-87.
- [8] <http://www.archina.com/index.php?g=works&m=index&a=show&id=4764>

## 案例 6：麻省理工学院（David H. Koch 癌症综合研究所）



图 3-6-1 麻省理工学院 癌症综合研究所（图源：<https://www.nyp.org/locations/david-h-koch-center/sustainability-practices-at-dhk-center>）





## 1. 建筑概况

David H. Koch 癌症综合研究所不仅是麻省理工学院第一个与癌症作斗争的生命科学家和工程师的共享家园，而且也是在能源与环境设计 (LEED) 领域的第一个领先的黄金认证研究实验室设施。

在 LEED 金奖的背后，有许多可持续的设计元素：从雨水过滤和建筑垃圾管理，到管道系统和 HVAC 系统<sup>39</sup>的设计，所有这些加在一起就构成了一流的能源性能。事实上，按照麻省理工学院设施系系统工程小组主任沃尔特·亨利的说法，这座建筑“大大超出了已经非常大胆的预期”。经过近一年操作，研究所总共 357000 平方英尺（约合 33166 平方米）的结构与超过 25 个学院实验室和数以百计的研究人员利用大功率设备，消耗了比预计更少的能量：工程师预计电气高峰需求为 14.6 瓦特 / 平方英尺（约合 162 瓦特 / 平方米），而事实上为 3.8 瓦特 / 平方英尺（约合 42 瓦特 / 平方米）；在最冷的日子里，蒸汽的热量预计达到每小时 35000 磅（约合 15.876 吨），而实际蒸汽热量约为每小时 20000 磅（约合 9 吨）；该建筑的最大冷却需求实际上是 2354 吨冰水，而工程师预测的是 3350 吨。与标准的实验室研究大楼相比，该建筑的总能耗降低了 30% 以上。

---

<sup>39</sup> HVAC 是 Heating, Ventilation and Air Conditioning 的英文缩写，就是供热通风与空气调节

其中较为独特的，是该建筑的通风和照明设计。

## 2. 可持续建筑设计

### (1) 通风

通风是研究大楼的主要能源消耗来源。其中一个关键领域涉及大约 100 个通风柜，这些通风柜可以把受污染的空气从研究人员那里“抽”出去。建筑设计团队意在 不损害研究人员的健康和安全的情况下，积极地节约能源。

校园通风柜的标准气流速度一直是每分钟 100 英尺（约合 30 米）。而设施系统工程小组发现，将流量降低到每分钟 80 英尺（约合 24 米）后对用户安全没有可衡量的影响。在建造模拟实验的最后，人体模型从示踪气体测试中毫发无损地出来，成功地演示了风帽<sup>40</sup>在较低空气流速下的蒸汽密封能力。如果安全标准不断发展，建议更低的气流率，通风柜可以持续进行调整，以达到更大的节能效果。

工程小组还发现有可能部署联通风系统——这在麻省理工学院尚属首次——用于冷却办公室的空气可以重新用于实验室区域的通风罩。这种空气流通管理的巧妙方法及其相关的能源效率，得到了实验室空间模块化设计的支持。实验室的布局完全相同，通风柜等设备沿着一面墙布置，这样工程师们就可以合理安排管道和管道的分布，而不会出现奇怪的曲折。

### (2) 照明

幸运的是，麻省理工学院的校园里有一个开放的场地，这使得建筑师们能够将一个相当宽的建筑——145 英尺（约合 44 米）深——直接从东向西定向，以最大限度地利用来自太阳的热量和光。这也意味着遮阳板可以以最节能和最经济的方式使用——只在建筑的南侧放置。工程小组还采用了一种采光策略：固定的水平阴影和光架将阳光反射到空间的天花板上，将环境光带入更深的空间，减少对电灯的依赖。

---

<sup>40</sup> 风帽，通风设备之一。装于屋面、车顶等通风口或排风管上。

而研究所的研究人员希望“最大限度地增加他们可能相遇的次数”，则又为节能开辟了一个新途径——把教师办公室、会议室、休息室、大型中央区域的空间组合在一起，就不需要一个能源密集型的机械系统，可以节省很多能源。

研究所内的照明是节能的，主要使用直径为5英寸（约合12.7厘米）和8英寸（约合20.32厘米）的线性高效LED光源，但公共空间、实验室、核磁共振室和暗室则不使用这种照明方式。大多数公共空间位于第一层，使用卤素光源照亮空间。实验室、核磁共振室和暗室因为工作的性质和空间内设备的灵敏度的要求，则都需要特殊的灯具。所有这些照明系统都由Lutron照明控制面板和调光器控制。该控制系统使用光电池、传感器和时间控制以优化能源消耗，相当于比基准能源消耗减少16%。

#### 参考资料

[1] David H. Koch Institute for Integrative Cancer Research, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Ma

[2]<https://www.nyp.org/locations/david-h-koch-center/sustainability-practices-at-dhk-center>

[3] <http://energy.mit.edu/news/turning-green-to-gold/>

[4] ISCN, Best Practice in Campus Sustainability, Global University Leaders Forum (GULF) session of the World Economic Forum Annual Meeting, 2014

## 案例 7：康奈尔大学

康奈尔大学位于美国纽约州伊萨卡，在建设绿色建筑上有着丰富的实践。例如，康奈尔大学的魏尔大楼（Cornell University Weill Hall，生命科学技术大楼）采用双层墙壁和屋顶、铝塔、风塔、天窗和天花板织物，同时将功能规划、技术系统、协调性、可持续性融于一体，因而一直被认为是一个真正独特的地标性建筑和通往校园的门户。另外，康奈尔大学科技校区被动式宿舍高 270 英尺（约 82.296 米），共 26 层，堪称世界上最高的被动式节能大楼<sup>41</sup>。

### 1. 魏尔大楼（生命科学技术大楼）

#### (1) 建筑概况

魏尔大楼坐落于康奈尔大学中央校区东部边界的一处视线良好的重要规划区域，它将校园核心区原有的几栋比较独立的科学大楼：生物、物理、工程技术和计算科学实验室等教学空间与交往空间联系起来，从而促进了各学科专业人士间的学术交流与资源共享。作为综合性的建筑类型，这栋大楼以一种简单且高效的方式满足了使用者的需求，设计尊重周边环境，并将现有各建筑统一为一个整体。大楼连同塔路（Tower Road）对面的建筑被设计成一个中央校区突出的、引人注目的入口。

当然，环境的可持续性设计和节能设计对于魏尔大楼的设计方法和施工工艺流程来说都是必不可少的，魏尔大楼所消耗能源要比同等规模和功能的建筑能源消耗量少 40%，是美国获得 LEED 金奖认证的 6 栋实验室建筑之一。

#### (2) 低碳应用

##### ① 能源

美国纽约州地区炎热的沙漠气候从几个方面影响了建筑的设计：夏季气温达到

---

<sup>41</sup> 被动式太阳能建筑就是通过建筑设计，使建筑在冬季充分利用太阳辐射热取暖，尽量减少通过维护结构及通风渗透而造成热损失；夏季尽量减少因太阳辐射及室内人员设备散热造成的热量，以不使用机械设备为前提，完全依靠加强建筑物的遮挡功能，通过建筑上的方法，达到室内环境舒适的目的的环保型建筑。



华氏 100 度（约 38 摄氏度）以上，所以采取了双层墙壁的设计保护建筑免受酷热；外墙由玻璃纤维钢筋混凝土板制成，旨在吸收热量；三英尺的缝隙将外墙与内绝缘墙隔开，高性能双层幕墙围合结构与多孔玻璃幕墙，能够最大限度地提高能源使用效率。

双层屋顶与双层墙壁相似。铝塔位于混凝土板上方 15 英尺（约 4.6 米）处，为空调设备留出空间。被动式通风<sup>42</sup>系统促进墙壁内空气对流，显著降低室内温度；窗户的遮阳设置可以过滤太阳光，天花板的织物进一步分散光线，有助提升办公室的视线与室内舒适度；外墙和垂直铝塔百叶窗遮蔽了几个小窗户，最大限度地减少了热量摄入；在院子里，三座 80 英尺（约合 20 米）高的风塔，用来引导建筑内的凉爽微风。这些结构是海湾地区冷却房屋的传统手段。

另外，建筑还引入节能空调、照明控制和节水系统等可持续材料及绿色建筑技术，可节省约 30% 的能源消耗，减少排放 26% 二氧化碳。

## ② 废水利用

魏尔大楼安装了地下雨水储存和处理系统，以保护卡卡迪拉河免受污染。同时，通过使用高效灯具和灰水<sup>43</sup>回收系统，与标准建筑相比，魏尔大楼的能耗减少了 40% 以上，这样每年可减少超过 6000 吨的温室气体排放。

## ③ 废料利用

魏尔大楼施工期间产生的废料有 65% 以上被回收。建筑中安装的木材产品有 60% 以上来自森林管理委员会认证的森林。项目使用的所有油漆、密封剂、粘合剂和地毯的 VOC<sup>44</sup>含量都很低。这样可以保护路人免受化学气体伤害。

## ④ 绿色屋顶

绿色屋顶即通过在双层屋顶上种植本地物种，形成低维护成本的绿色屋顶，不

---

<sup>42</sup> 被动式通风系统，即不设置送风机，而仅在上面所说的“卸压风口”上设置抽（排）风机，并设置同上的风道（或不设置风道而仅在各个必要通风的房间的外墙上设置进风口），通过抽风机将室内氛围抽到室外以在室内形成负压，从而使室外新鲜氛围进入室内。

<sup>43</sup> 灰水即为日常生活所产生的废水，但不包含马桶所排放的污水（黑水）。

仅能够过滤空气中的污染物和二氧化碳，还可以帮助冷却屋顶表面，管理雨水径流。经过雨水收集系统，40,000 加仑（约合 15 万升）雨水被集中到埋在校园草坪内的收集池，为建筑提供非饮用水，帮助建筑冷却、灌溉等。与标准建筑相比，高效的管道装置和灰水回收系统使建筑的废水减少了 41% 以上，即每年 450,000 加仑（约合 1703 千升）。

## 2. 被动式<sup>45</sup> 宿舍

### (1) 建筑概况

康奈尔科技校区被动式宿舍高 270 英尺（约 82 米），共 26 层，堪称世界上最高的被动式节能大楼。经过特殊设计，室内取暖不需要主动从电网输入电力，而主要依赖“被动源”供暖，其中包括定向、体量、保温、热回收、被动式太阳能利用、遮阳和消除热桥等，用非常小的能耗就能一年四季保持室温 25 摄氏度左右，大幅降低了冬季采暖与夏季制冷的能耗。由于空气流动及墙体保温，室内几乎不会有灰尘，物品也可以免受潮霉侵扰。由于采用了有效的节能系统，它要比传统建筑节能 70% ~ 90%，一年可减排二氧化碳 882 万吨，相当于新种植 5,300 棵树木。

### (2) 低碳应用

#### ① 空气系统

康奈尔科技校区被动式宿舍安装了具有“隔热毯”作用的金属面板系统，每块面板高 12 英尺（约 3.6 米）宽 36 英尺（约 11 米），内嵌有绝缘用的 11 英寸（约 3.3 米）厚的 3 层玻璃窗。金属面板由内向外全部由压胶密封，蒸汽缓凝剂在里面形成连续的外套，以防止漏气并且加强立面的耐久性。因为康奈尔科技校区被动式宿舍被密闭，

---

<sup>44</sup> VOC 是挥发性有机化合物 (volatile organic compounds) 的英文缩写。普通意义上的 VOC 就是指挥发性有机物；但是环保意义上的定义是指活泼的一类挥发性有机物，即会产生危害的那一类挥发性有机物。

<sup>45</sup> 被动式太阳能建筑就是通过建筑设计，使建筑在冬季充分利用太阳辐射热取暖，尽量减少通过维护结构及通风渗透而造成热损失；夏季尽量减少因太阳辐射及室内人员设备散热造成的热量，以不使用机械设备为前提，完全依靠加强建筑物的遮挡功能，通过建筑上的方法，达到室内环境舒适的目的的环保型建筑。

所以过滤的新鲜空气只能小容量地连续供给到居住单元，与此同时从服务舱排出不新鲜的空气，确保了高效率的热交换平衡和控制通风。另一点与常规建筑不同的是，所有 352 个房间都各自具备内部的顶棚新鲜空气通风孔，不依赖房间整体的取暖和冷却装置。通风孔与西南立墙的百叶窗系统相连接，向上延伸至建筑物顶部。暴露部分设计成建筑物的“腮”，提供了一个用于安装加热和冷却设备的封闭外部空间，允许建筑系统“呼吸”。

根据设计，康奈尔科技校区被动式宿舍每年的热能收支为 4.75KBTU<sup>46</sup>，冷能收支 5.3KBTU，远低于能源使用预算 38.1KBTU。

## ②变制冷剂流量空调系统

康奈尔科技校区被动式宿舍里配备有变制冷剂流量（variable refrigerant flow system, VRF）空调系统。VRF 系统具有节能、舒适、运转平稳等诸多优点，允许更多的室内单元与室外单元连接，并提供额外的功能，例如同时进行加热和冷却，以及热回收。不仅如此，各房间还可以独立调节，能满足不同房间不同空调负荷的需求。

## 参考资料

[1] 美国康奈尔大学魏尔大楼（生命科学技术大楼） 理查德·迈耶及合伙人事务所

[2] 康奈尔大学科技校区 世界最高的被动式节能屋 李忠东

[3] <https://www.greenroofs.com/projects/cornell-university-weill-hall/>

[4] <https://sustainablecampus.cornell.edu/campus-initiatives/buildings-energy/green-buildings/weill-cornell-medical-college-qatar>

[5] [iarch.cn/thread-37046-1-1.html](http://iarch.cn/thread-37046-1-1.html)

[6] <http://blog.joylinkspace.com/khsxzknedxmestdt.html>

---

<sup>46</sup> BTU 英热单位，是英、美等国家采用的一种计算热量的单位，等于 1 磅纯水温度升高 1 所需的热量

## 案例 8：清华大学苏世民书院



图 3-8-1 清华大学苏世民书院

苏世民书院坐落于中国最负盛名的大学之一——清华大学校园内，以美国金融大亨、黑石集团主席苏世民（斯蒂芬·施瓦茨曼）的名字命名。苏世民先生组织捐赠 3 亿美元与清华大学合作创立了清华大学“苏世民学者项目”。书院选址于清华大学的中心位置，由美国耶鲁大学建筑学院院长、后现代主义建筑风格创始人之一罗伯特·斯特恩（Robert A.M. Stern）教授主持设计。书院总建筑面积 24000 平方米，采用合院式布局，由东至西，依次围合出入口广场和内庭院。斯特恩教授认为，书院在设计时将历史悠久的剑桥、牛津传统建筑风格与中国庭院式建筑风格进行了结

合，使来到这里学习居住的全球青年学子充分感受中国深厚的传统文化，体现清华大学苏世民学者项目'的理念，为来自世界各地的青年学子提供相互学习、交流的跨文化学术环境。

本案例由世界大学气候变化联盟秘书处参与撰写。

## 1. 背景概述

苏世民书院整体建筑设计极为重视舒适度和使用者的健康，对室内空气质量、饮用水质量、绿色节能等方面提出了细致而严格的要求，为来自世界各地最优秀的青年学子营造一流的学习和生活环境。通过智能楼宇管理平台 (BMS) 和能源管理系统 (EMS)<sup>47</sup>，确保环境舒适的同时，实现对能源的监控优化实现了能源监测和优化，能耗相较于美国建筑技术法规的基准降低了 40%。书院大楼获得了中国绿色建筑 (GBL) 二星级认证，是世界上最先进的高等教育设施之一，也是中国首批被美国绿色建筑委员会 (USGBC) 认证为 LEED 金级的学术建筑，同时获得了由美国《建筑文摘》评出的 2017 年度全球最佳 TOP9 校园新建筑，成为中国非常罕见的在交付之前即通过所有运营的能效、能耗测试及调试的项目。

## 2. 应用技术

### 1. 密集型单体建筑

苏世民书院将教研，社交，居住功能综合到单体建筑中，旨在促进来自世界各地的学者，常驻人员和访问学者之间的交流学习。该建筑单体主要涵盖：1 入口广场，2 阅览室，3 餐厅，4 中庭，5 报告厅，6 多功能厅，7 学生宿舍。

入口广场位于书院主要入口，以哈佛肯尼迪政府学院广场为模板建造，可供学生阅读、学习和讨论。广场和附带房间可为高端访问者进行大规模聚会；阅览室有大型公共学习桌、小组或个人用小型学习桌和多种舒适的桌子；餐厅提供包括隔间

---

<sup>47</sup> <https://www.schneider-electric.cn/zh/work/campaign/life-is-on/case-study/sushimin-news-academy.jsp>

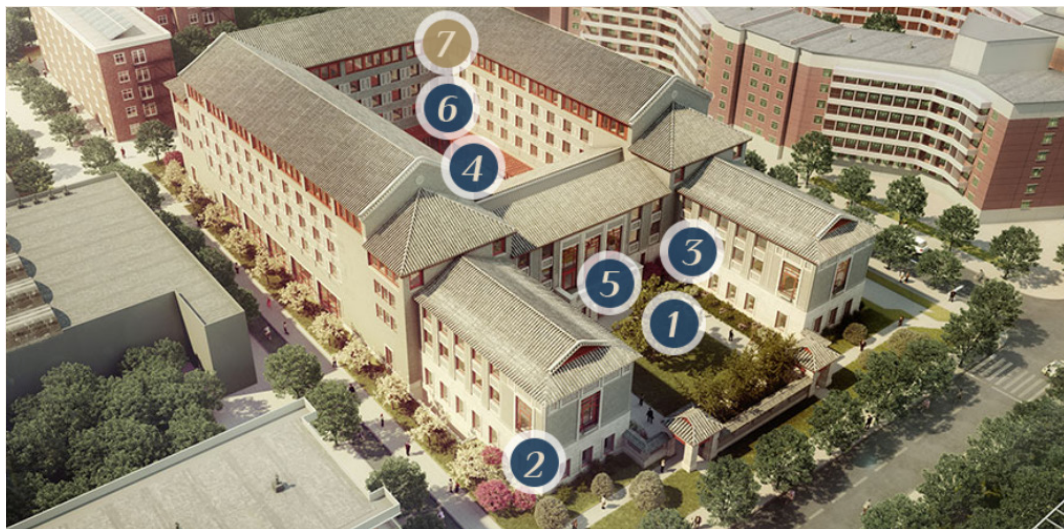


图 3-8-2 清华大学苏世民书院鸟瞰图

和包间一共 165 个座位；中庭低于地面一层，将自然光和户外世界带到地下一层的学术空间，并为附近教室和会议中心提供室外聚会场所，报告厅享有 230 座，可用于大型讲座和视听演示，使整个社区联系更为紧密；多功能厅设计可满足讲座、专题讨论会、文化活动、宴会和其他聚会等多种需求；学生宿舍以哈佛商学院高管教育公寓为范本设计。八个独立房间共用一间休息室，这些学生套房将促进学生小群体紧密关系的发展，是大型学院聚会之外又一个社交和完成小组项目的场所。

## II. 可持续设计

该建筑涵括了一系列可持续设计，包括反渗透和紫外线水处理系统；节能照明控制，包括日光收集和空位传感器；在线雨洪管理系统，用以应对百年一遇的洪水；以及带有交互式监控器的楼宇自动化系统，可实时显示能耗：

智能照明系统可设置不同的情景模式，如会议，演示，讨论，对房间的子系统进行统一控制，达到舒适性和节能型的和谐。

空调系统设计采用了异程变流量系统。通过将静态平衡阀安装在空调箱回水管





上，水泵频率只需开启 32Hz 和 30Hz，即可满足设计流量需求，并经过水力平衡系统调试后，水泵可节能 40%。

### III. 空气过滤系统

苏世民书院使用 RESET 认证<sup>48</sup>的空气质量监测标准，使用基于云端的监测系统，提供有关室内空气过滤性能的准确指标，使建筑物的所有居住者和学者可以轻松获得空气质量数据，并确保了该建筑物的高效过滤系统能够随着时间的推移持续发挥作用。RESET 创始人潘朝阳（Raefar Wallis）认为，苏世民学者项目在高标准的室内空气质量方面为建筑设计提供了先进的教育经验，高质量的空气保证了学者的健康与表现。

### IV. 能效管理系统

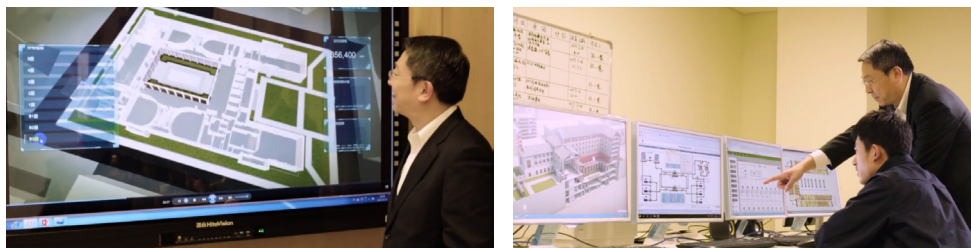


图 3-8-4 苏世民书院能效管理系统

<sup>48</sup> RESET 认证是一种关注建筑居用者舒适度和健康的建筑认证，其重点在于室内空气质量。该认证作为一种技术驱动型建筑标准，其认证项目不仅要符合必要标准，同时这些项目还需要每年重新认证。

该书院能效管理系统是融合了 BIM 技术（Building Information Modeling，建筑信息模型）、物联网技术和 3D 交互技术等最前沿信息技术而开发的能效管理整体解决方案，体现了学府绿色建筑与科技建筑结合的理念。施耐德电气物联网的 EcoStruxure™ 架构与平台通过 IT 与 OT 技术融合（IT，Information Technology，即信息技术；OT，Operation Technology，即操作技术，IT 与 OT 技术融合，即实现从“仅仅自动化”到实时优化的转变），通过将一个个独立的设备相连，运营者可收集各个层面的关键数据，并从数据分析中获取有效洞察，做出及时的优化决策。

其中，智能楼宇管理平台（BMS），对楼宇各子系统进行智慧无缝的统一管理，通过电气楼宇自控和智能配电“强弱电一体化”整套系统，使苏世民书院的智能环境、管理效率、能效和安全值都得到最大化提升，包括根据室内外冷热负荷控制冷冻站内设备，如冷水机组、冷冻泵、冷却泵、冷却塔；根据室内二氧化碳浓度控制空调机组的风阀开度等。能源管理系统（EMS）可通过 PowerMonitoringExpert 监控能源消耗，识别节能空间，分析能耗成本，预测能耗和设备运行趋势，进行数据统计。二者的结合实现了对能源的监控和优化，保证书院大楼高效、互联互通地运行，为持续提高书院的使用品质与效率打下良好基础。而基于物联网的智能配电系统解决方案，将 Blokset 配电柜及智能的断路器、仪表等互联互通的硬件设备融入管理系统，为苏世民书院的智能化和数字化开启了新机遇。

参考资料：

<http://www.sc.tsinghua.edu.cn/>

<http://www.chinaiol.com/lyzk/r/0704/31183866.html>

[http://science.china.com.cn/2018-05/30/content\\_40362185.htm](http://science.china.com.cn/2018-05/30/content_40362185.htm)

[http://www.ibpchina.com/news\\_detail.jsp?nid=5&ndid=75](http://www.ibpchina.com/news_detail.jsp?nid=5&ndid=75)

<https://www.schneider-electric.cn/zh/work/campaign/life-is-on/case-study/sushimin.jsp>



### 三、专家点评

所列举案例具有代表性，涵盖绿色建筑示范建设与运行，包括建筑中的被动节能技术、主动节能技术、可再生能源利用技术，节能运行管理技术以及包括水资源节约利用的生态环境技术，既有国外，也有国内案例，比较全面。体现了在不同地域、不同类型院校中绿色科技的应用特点。其中不少案例获得过相关奖项。

这些案例对推进绿色校园发展发挥了先锋示范和引领作用。

南洋理工校园的大规模光伏应用在未来实现低碳校园进程中具有重要引领意义。新体育馆木结构建筑较好结合了当地气候条件体现了与自然和谐的理念。

山东建筑大学绿色装配式综合实验楼项目是国内首个钢结构装配被动式超低能耗建筑示范。除了技术示范外，另一个重要贡献是充分结合了大学的专业性特长和学科发展，这也是绿色大学建设的一个重要内涵。

新南威尔士大学泰瑞能源技术大楼发挥了学校在可再生能源、绿色建筑技术领域的学科和科研优势，对人才培养也发挥了重要作用。

不列颠哥伦比亚大学（UBC）的可持续发展研究中心设计案例是一个具有综合性绿色节能理念的示范。通过使用可再生能源和变废为能，可持续发展互动研究中心不仅有能力满足自身的能耗需要，还能毗邻建筑供应能源，体现了能源梯级利用、综合利用的理念和技术。

同济大学的文远楼案例在历史建筑生态保护改造领域具有典型意义。

康奈尔科技校区的被动式高层宿舍建筑，堪称世界上最高的被动式节能大楼。因地制宜充分利用被动技术，包括“被动源”供暖、热回收、被动式太阳能利用、实现超低能耗目标，具有典型示范意义。

为更加深入推进校园、大学的可持续发展，今后需要进一步关注的几个问题：

- 1) 未来聚焦点从技术示范应用向运营效果验证转移
- 2) 示范案例的实施结果及自身的可持续发展更重要
- 3) 示范项目的影响力评价（包括经济性、社会影响力、科研教育贡献等）

**点评专家：谭洪卫，同济大学绿色建筑及新能源研究中心常务副主任、中国绿色大学联盟常务副主任兼秘书长**

## 第四章

# 设备系统的节能调试与更新

---

### Chapter IV Energy Saving Debugging and Updating of Equipment System

在上一章提到的建筑单体的节能低碳设计与改造中，许多高校通过建筑整体的设计、低能耗环保建筑材料的使用、清洁能源的利用与材料的循环利用减少了建筑在建造和使用过程中的能耗。在绿色建筑的实际使用中，通过软硬件设备系统的节能调试与更新减少建筑能耗、提升建筑舒适度更是重要的一环。

#### 一、设备系统的节能调试与更新的含义

以二氧化碳为代表的温室气体，导致地球不断变暖。应对气候变化、缓解温室气体的排放、倡导低碳生活，已成为全人类的共识。在这种共识下，建筑低碳化、低碳建筑等成为继绿色建筑、可持续建筑之后备受关注的热点问题之一。在低碳建筑的应用中，设备系统的节能调试与更新是至关重要的一个环节。节能设备系统要求利用自然的力量满足空调及热水供应所需的热源，综合考虑建筑的防霉处理、热水供应等，并尽可能地利用可再生能源以及采用节能型的家用电器和设备。通过使用这些设备系统，可直接节约能源，减少碳排放；也可将相关信息传递给建筑使用者，转变他们在节能减排方面的意识和行为，改变他们原有的高能耗生活模式，实现建筑低碳化。

本部分案例高校主要根据节能、高效的设备系统的选择与应用，提高能源的使用效率，降低碳排放。其下案例有墨尔本大学、麦克马斯特大学、多伦多大学士嘉

堡校区 (UTSC)、布鲁克大学、江南大学、浙江大学紫金港校区、中国石油大学 (华东)。

## 二、设备系统的节能调试与更新的应用与评价

### 案例 1：墨尔本大学

墨尔本大学的绿色校园建设处于世界领先水平。学校拥有多项能源创新科技，同时配备系统数据库以监控建筑物的用电并生成报告，因此学校可以根据用电情况制定灵活的策略来减少电能消耗。

#### 1. 背景概述

墨尔本大学是澳大利亚第一所致力于实现绿色星级社区评级 1 的大学，其帕克维尔校区于 2017 年 6 月获得了绿色建筑委员会颁发的 6 星级绿星社区认证。这是澳大利亚第一所也是目前唯一获得 6 星级绿星社区评级的校园，同时也是全澳洲第一个关注氮足迹的大学。其中，绿星社区计划承诺：到 2021 年实现电力净碳排放为零，2030 年之前实现碳中和，而为了实现这一目标，墨尔本大学计划大力建设数字基础设施和智能校园分析覆盖层，从而可以更好地进行明智的决策。

墨尔本大学的愿景是通过丰富和改变生活为社会做出贡献。为实现环境与社会可持续性；大幅减少碳排放、水以及能源消耗等目标，可持续发展团队将工作重点放在进一步节能减排、转变能源供应和开发可再生能源等方面，旨在扩大墨尔本大学在校园可持续发展方面的领导者地位。

可持续发展计划致力于持续改进、制度变革，包括跨领导力和治理，设施和运营，学习教学研究，伙伴关系和参与等内容。该计划的碳节省量已从 2008 年的 9,713 吨增加到 2014 年的 31,754 吨，在节碳的同时节水 164 毫升 / 帕斯卡 (30%)，家具再利用计划节省了 2,821,815 美元 (约合 1848 万元人民币，基于估计的零售重置价值<sup>47</sup>)，填埋费用则节省了 130,445 美元 (约合 85 万元人民币)。

---

<sup>47</sup> 重置价值是指按照当前的生产条件下，重新购建固定资产所需的全部支出。

## 2. 可再生能源改造项目

墨尔本大学致力于在 2030 年前过渡到校园碳中和，在 2021 年前实现电力消耗零净排放，并推进于 2020 年在校园内减少碳排放量 20,000 吨。这些承诺也代表了学校继续可持续校园建设并克服这其中的困难的决心。为实现这些目标，学校已投入大量精力推动能源转型并减少碳足迹。2019 年，学校推出了 Smart Campus Energy Upgrades (SCEU) 项目来对校内建筑进行节能调试，增加建筑的能源效率。这其中包括了 9 项能源创新科技，覆盖校园 60 座建筑，总投资 4500 万澳元（约合 2.2 亿元人民币）。SCEU 项目是与墨尔本工程学院 (MSE) 的学术带头人共同开发的，包括能源审核、校内建筑的详细建模以及对各种节能举措对影响进行分析。预计 SCEU 项目每年可为校园节省 18~25 GWh（千兆瓦时）对电力，相当于每年节省 19,000 至 26,000 吨的二氧化碳排放，或减少大约 15% 的直接温室气体排放。这些项目计划在 2022 年底交付，这也表明了大学对减少能源使用和排放的持久承诺。

## 3. 实用程序报告数据库

墨尔本大学公用事业报告数据库提供每个大学建筑物的用电量报告。这将有助于部门，教职员工和部门了解一段时间内的用电量，并制定有效的策略来减少在大学范围内的碳足迹。该数据库具有生成灵活报告的能力，包括在指定时间段内汇总多个建筑物。数据库涵盖了所有公用事业 - 电力，燃气，蒸汽和水，但只能在建筑物级别查询用电量。

下图为墨尔本大学以 30 分钟为间隔的 2020 年 5 月 6 日星期三 00:00-2020 年 5 月 7 日星期四 00:00 (EST) 全天停车场、所有大型市场站点及分支机构、所有大型市场站点的仪表、帕克维尔校内外变电站、太阳能发电总计的报表和相关数据。

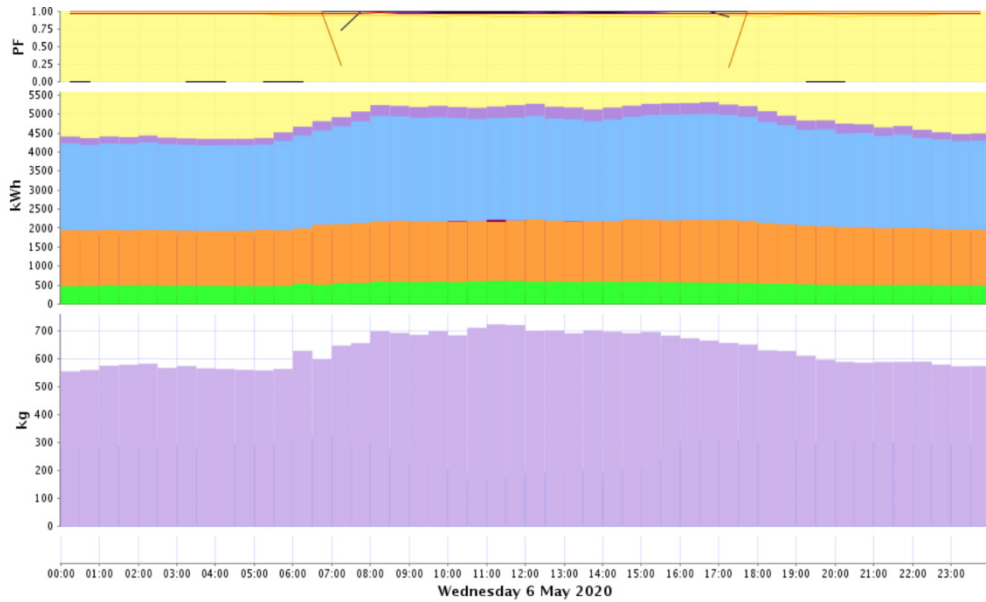


图 4-1-1 墨尔本大学报表 (图源 : <https://sustainablecampus.unimelb.edu.au/energy>)

参考资料

- [1] 张婧, 臧鑫宇, 陈天. 墨尔本大学六星级绿色校园建设经验及其对我国的启示 [J]. 中国勘察设计, 2018(09):90-93.
- [2] Solar Power Project. <https://sustainablecampus.unimelb.edu.au/energy>
- [3] The university of Melbourne Sustainability Overview 2018
- [4] CEFC Support for Clean Energy Projects
- [5] Utility Reports Database. <https://sustainablecampus.unimelb.edu.au/energy>

## 案例 2：麦克马斯特大学

在过去的几年，麦克马斯特完成了许多建筑物的 LED 照明改造，并通过关键技术改善了建筑物内的通风系统，在能源成本控制和设施改造方面取得了非凡的成效。

### 1. 背景

麦克马斯特（McMaster）是加拿大领先的研究型大学之一，致力于促进人类和社会健康，以及发现艺术和科学的福祉。学校聚焦于能源、水、废物管理、健康与福祉、交通、教育等方面的可持续发展。根据可持续发展报告，校园总体降低校园温室气体排放量约 800 吨。

### 2. 可持续发展关键技术——通风技术逆向调试

#### (1) 通风逆向调试技术概念

逆向调试是一种深层能源改造，可改善建筑物内的通风系统和设备。例如，当实验室空气质量合格时，系统会减少空气流动以保持舒适度；当需求增大时，系统通过提高新鲜空气流来增强实验室安全性能。由于系统仅向有需要的地方而非整个设施输送空气，因此可以节省大量能源。

#### (2) 通风逆向调试技术对可持续发展的影响

随着工业化信息化社会的到来，全社会能耗种类和能耗总量呈上升趋势。建设部数据显示，目前我国建筑能耗约占全国终端能耗总消费量约 30%。广义的建筑能耗主要包括建造能耗、生活能耗、采暖空调。其中，采暖空调能耗占据全社会能耗的约 20%。若前期被动式设计策略应用适宜，可直接降低采暖空调能耗。

文献研究表明，采用自然通风的办公楼和采用空调的办公楼相比，每年节省的冷却能量为 14-41 千瓦时 / 平方米，每年节约的能耗费用 1.3-3.6 美元 / 平方米（约合 8.5-23.6 元人民币 / 平方米）。同时，国际能源署 (IEA)2000 年的总结报告 (Annex35) 中指出，欧洲国家的办公楼有效应用室外通风可以降低建筑能耗达 50% 以上。由此可见，通风逆向技术对于节能减排，实现可持续发展具有深远意义。

### (3) 逆向通风冷却基本原理 (PDC: passive downdraught cooling)

当风从通风塔或天井进入后，应用冷空气密度比热空气大，在通风塔里下沉，进而进入室内各功能空间，经加热最后排出室外，从而实现通风降温。

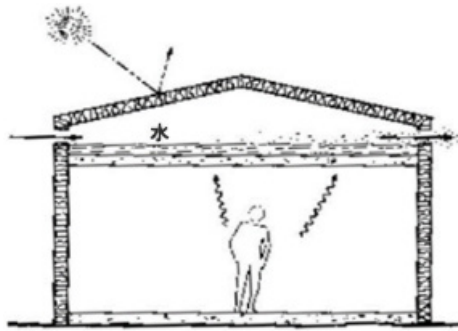


图 4-2-1 逆向通风冷却基本原理  
(图源：[美] 诺伯特·莱希纳，《建筑师技术设计指南》)

### (4) 逆向被动式通风方式基本原理

逆向被动式通风方式基本原理是利用冷空气密度比热空气密度大，因此在空间中冷空气下沉进而对室内空间降温。

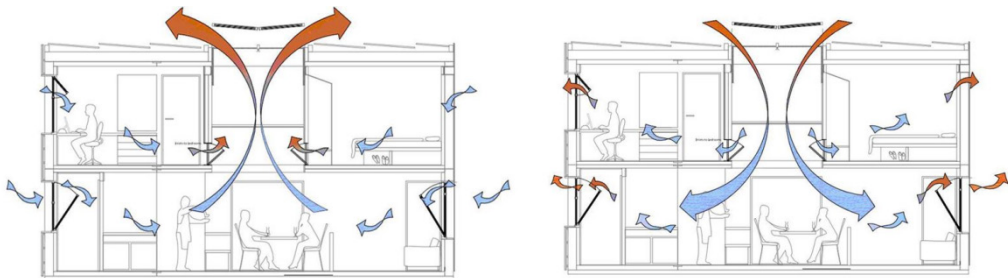


图 4-2-2 逆向被动式通风方式基本原理 (图源：SDE2010 竞赛官网)

#### (5) 项目实施难度

通风技术逆向调试项目由于严格的通风和空气质量控制要求，学校实验室有很高的能耗及成本。2016年，校方利用需求控制通风技术（DCV）对多个能源密集型实验室的通风进行了重新调试，这被美国能源部认可为最佳实践。

#### (6) 项目措施

通常，实验室通风系统是根据最大容量保持恒定的空气流量设备。该项目采取基于测量的实验室通风方法，实验室空气质量传感器，用于测量空气温度、二氧化碳、挥发性有机化合物、颗粒物等。当实验室空气质量满足系统接受条件时，可以减少实验室气流以保持舒适度。如果发生意外泄漏，系统会将通风系统提升至最大可用容量，以尝试赶走空气中的污染物，并让实验人员采取行动。由于实验室空气质量系统在需要的地方（而不是整个设施）输送空气，因此该系统可以通过提供更高的新鲜空气流量改善实验室环境，确保安全。目前，麦克马斯特大学在迈克尔·德格鲁特学习与发现中心（Michael DeGroot Centre for Learning and Discovery）和约翰·霍奇斯工程大楼（John Hodgins Engineering）化学部均实施需求控制通风技术。

此外，所有建筑机械风扇皮带升级涉及安装减滑风扇、建筑物通风和排气系统的皮带。建筑供暖系统涉及利用室外空气重置系统以减少所有校园建筑通风和供暖系统运行期间碳排放。

#### (7) 项目成果

迈克尔·德格鲁特学习与发现中心（Michael DeGroot Centre for Learning and Discovery）和约翰·霍奇斯工程大楼（John Hodgins Engineering Building）每年将减排760吨二氧化碳当量。在其化学部实施需求控制通风技术，每年可实现510吨二氧化碳当量减排。这三座建筑每年节省的能源成本超过40万美元（约合262万元人民币）。

### 3.LED 照明改造项目

麦克马斯特大学致力于减少能源消耗，实施节能计划并提高能源效率。例如，通过改善学生住宅建筑的照明、使用更高效的LED灯泡节省能源、照明维护促使灯



泡使用寿命更长等方法，麦克马斯特大学的设施服务 LED 照明在校园楼梯间和走廊改造中取得成功。

在此基础上，2016 年底完工的 9 座学生宿舍大楼中实施了更多的照明改造。估计每年节省的电力消耗约为 985,000 千瓦时，每年避免的温室气体排放量估计为 123 吨。

#### 参考资料

[1] 欧阳文. 逆向被动式通风降温系统在住宅建筑中的可行性应用初探 [D]. 天津大学, 2012.

[2] Energy Management Plan

[3] Demand Controlled Ventilation, <https://facilities.mcmaster.ca/services/sustainability/energy/>

[4] LED Lighting Retrofit Project. <https://facilities.mcmaster.ca/services/sustainability/energy/>

### 案例 3：多伦多大学士嘉堡校区 (UTSC)

为了减少温室气体排放，多伦多大学使用清洁能源代替天然气。未来五年，学校计划在校园中增加使用可再生资源，通过太阳能和地热交换技术，结合能量回收、高绩效建筑设计和优化现有的设施等低碳解决方案实现目标。

#### 1. 背景概述

2018 年，多伦多大学加入了大学气候变化联盟 (UC3)：由一组北美领先的研究型大学组成的，致力于减少校园和社区温室气体 (GHG) 排放的组织。多伦多大学承诺：到 2030 年将温室气体排放量减少到 1990 年基准水平以下的 37%。

根据数据统计，1990 年多伦多大学排放了 116,959 吨二氧化碳当量 (eCO<sub>2</sub>)。为了实现 2030 年达到 37% 减排的目标，大学需要使得年排放量低于 73,684 吨二氧化碳 (以 1990 年为基准)。

2020 年，多伦多大学被评为加拿大最环保的雇主之一，这是加拿大“最佳雇主”项目组织的一项全国性认可。多伦多大学共荣获加拿大最环保雇主 6 次，累计获得 850 万美元的绿色循环基金。过去十年，学校减少了超过 55 千吨二氧化碳当量 (eCO<sub>2</sub>) 排放，节省超过 12.5 亿公升水 (相当于 500 个奥林匹克标准泳池) 及超过 3,000 万美元 (约合 2 亿元人民币) 的公用事业成本。未来，多伦多大学将继续通过其研究、教学、运作和外联活动，为促进气候变化科学及提供具体行动和公共政策做出贡献。

#### 2. 设施现代化改造

目前，学校利用战略投资基金对 20 个研究设施进行了现代化改造，并利用专用的室外控制、需求控制通风以及热量回收措施等节能策略对其四大空气处理系统进行了升级。

##### (1) LED 照明、通风柜改造

自 2016 年以来，学校已经安装了超过 100,000 个 LED 灯，每年节省的电量足以为 2,000 多个家庭提供照明。这些新的灯光在闲置时会变暗至 20%，并在有人进

入时变亮至 100%。

高效的 LED 照明使 20,000 平方英尺（约合 1858 平方米）的改造空间充满活力。此外，校方正在改善建筑围护结构（包括修复混凝土及安装新的高性能窗户）以减少供暖和制冷负荷。建筑围护结构将建筑物的内部和外部（包括屋顶、墙壁和窗户）分离。改造工程每年将节省约 20 万加元（约合 102 万元人民币）的水电暖支出，减少约 200 吨温室气体排放——这相当于 15 个加拿大普通家庭的碳排放水平，或 35 辆汽车全生命周期的排放量。

同时，可持续发展与环境健康与安全办公室在整个校园的实验室中拥有 1000 多个通风柜，通过开发一种创新的激光工具来测量通风柜的能效和安全性，从而共同努力提高通风柜的年度测试水平。这项新的测试将每年消除 6200 吨的二氧化碳当量排放。

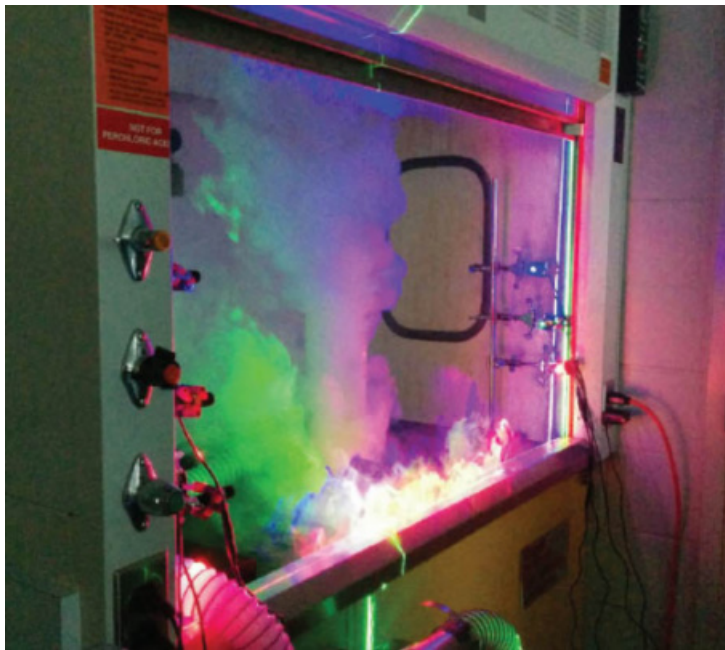


图 4-3-1 通风柜（图源：Lika Miao）

## (2) 净空巷道房屋建设

该项目目的是在校园的步行范围内提供可负担的填充式住房。这些超低能耗的原型将利用预制的“被动房”围护结构组件，旨在使用光伏太阳能实现零净能耗（即能耗约等于现场产生的可再生能源的量），接地管和热量回收通风。项目于2018年春季施工。



图 4-3-2 净空巷道房屋（图源：Baird Sampson Neuert Architects）

### 3. 可持续能源改造

2019 温室气体校园追溯计划 (GGRP) 多伦多大学完成了旨在减少当前和未来温室气体的项目。大学结合省政府提供的支持和自身投资, 进行从屋顶太阳能系统到地理交换技术的改造。这些项目投资额超过 5000 万美元 (约合 3.3 亿元人民币), 每年的温室气体排放量减少超过 8,600 吨。

#### (1) 太阳能系统

大学在校园中使用更多的太阳能来发电并减少环境足迹。2017 年, 在考试中心的屋顶上增加了 67 千瓦的光伏系统。每年发电约 75,000 千瓦时。同时, 考试中心 75% 的办公设备和适用设备均通过了能源之星认证, 满足节能照明 (任务照明<sup>48</sup>、荧光灯、LED 灯)、计算机能源监督 (照明控制器和电子仪表) 和按需通风的需求。

2018 年, 在 Bahen 信息技术中心和工程创新与创业中心 (CEIE) 中使用新的太阳能系统。大学将继续采取措施减少碳足迹, 正在进行的项目包括升级空调, 供暖和温度控制系统。

#### (2) 地热交换技术 (地源热泵系统)<sup>49</sup>

地热交换技术使用加热和冷却性能来规范建筑温度。冬季, 土壤或水体温度高于环境温度, 地热通过管道进行转移, 在深的垂直管道中采用地理交换系统和分布式技术实现建筑物取暖; 夏天则相反, 建筑物传来的热量被土壤吸收。

---

<sup>48</sup> 任务照明是一种定向照明, 提供适合于完成于特殊活动, 如阅读、写作、做游戏或工艺劳动的照明。

<sup>49</sup> 地源热泵系统以岩土体、地下水或地表水为低温热源, 由水源热泵机组、地热能交换系统、建筑物内系统组成的供热空调系统。它使用大地作为热源 (在冬季) 或散热器 (在夏季)。

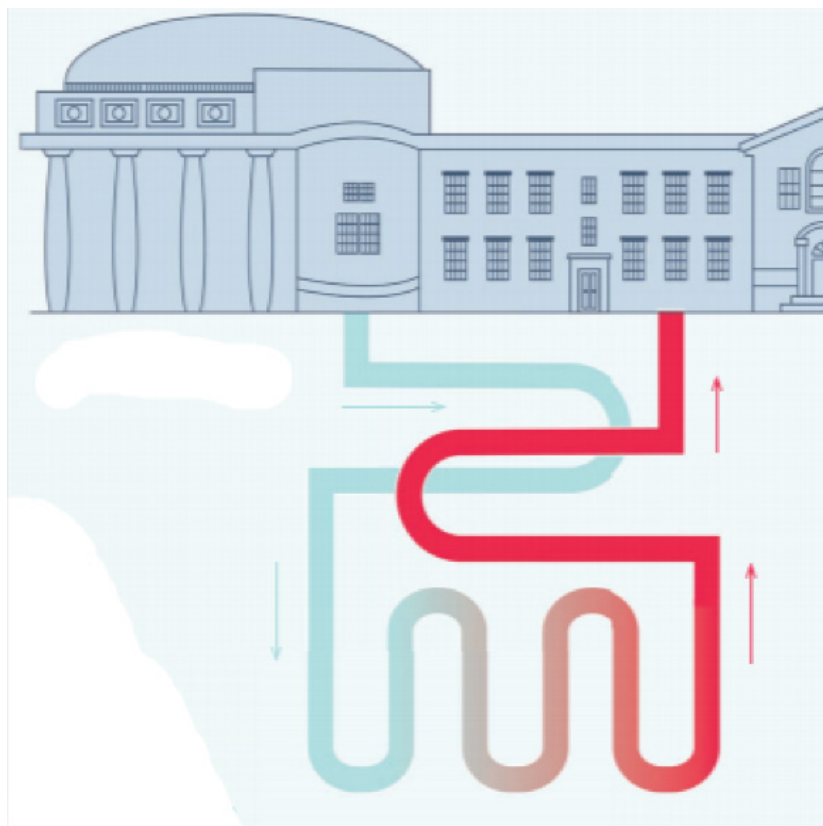


图 4-3-3 地热交换技术原理示意（图源：Low-Carbon Action Plan 2019-2024）

学校目前在南校区建设的安装额定容量为 1,115 千瓦，用于替代天然气进行加热；同时计划在北校区建立分布式能源系统。此举预计每年减少 605 吨温室气体排放。

#### 4. 多伦多实验室创新（LIFT）项目

翻新现有设施并提高其效率比建立全新的实验室更具可持续性。LIFT 项目将翻新校园内 47% 的研究空间，这些实验室平均已有 50 年的历史，并且包含超过

50,000 平方米的无效空间（足以容纳 15 个足球场）。翻新工程将使校园研究实验室实现现代化，以增加可用空间并提高研究和学习环境的质量，同时还可以改善空气处理和电气系统。

#### 参考资料

- [1] Low-Carbon Action Plan 2019-2024
- [2] Sustainability Yearbook 2017-18
- [2] Energy Management Plan
- [3] Demand Controlled Ventilation, <https://facilities.mcmaster.ca/services/sustainability/energy/>
- [4] LED Lighting Retrofit Project. <https://facilities.mcmaster.ca/services/sustainability/energy/>

## 案例 4：布鲁克大学

设备系统的更新是布鲁克大学节能减排的重点。为此，学校制定了区域能源效益计划（DEEP），以高效的电子控制装置代替现有的发动机，以更加节能的灯具代替现有的照明灯，同时还更新了锅炉并改变了区域供暖回路，整体节省了能源。

### 1. 背景概述

布鲁克大学是一所综合性大学，其校园位于联合国教育、科学及文化组织（教科文组织）生物圈保护区（BR）。学校致力于探索区域经济增长和社区发展的方法，坚持认为环境的可持续发展是一切行为的根本。

过去的几年，布鲁克大学在可持续性方面取得了非凡的成就。学校根据温室气体校园改造的要求计划（GGCRP），顺利实现了节约和减少温室气体排放、环境可持续性管理和可持续发展教育，提升了区域社区活力和经济竞争力。

如今的布鲁克大学正在为可持续发展和充满活力的未来做出决策，期待在前进的过程中，以创新和令人兴奋的方式实现各个部门的环境可持续性。

### 2. 热发电设施改造

#### (1) 校园能源设施改造思路

布鲁克大学将 2013 年作为其温室气体（GHG）减排目标的基准年，以 2023 年的目标为基础，并制定新的计划，以帮助加拿大履行对 2030 年和 2050 年减排目标的承诺。通过对现有设备（热电联产发动机、变频驱动器、高效泵和电动机等）的运营和更新，杠杆化和战略性采购能源和碳补偿，增加能源意识和节能设计。

#### (2) 区域能源效益计划（District Energy Efficiency Project, DDEP）

布鲁克大学的温室气体减排计划多管齐下，其中包括提升现有设备工作效率，设计和建造新建筑以达到更高的效率标准等。这项耗资 1080 万美元（约合 7073 万元人民币）的 DEEP 项目正在用高效的电子控制装置取代现有一半的天然气驱动的共同发动机。DEEP 的第二阶段将进一步升级和现代化设施，为校园创造一种节能



的电力、制冷和供暖资源。

热电联产<sup>50</sup>设施约占布鲁克目前温室气体的85%，一直是其温室气体减排工作的重点。目前正在进行的两个项目主要致力于减少热电联产设施的温室气体排放，提升区域能源效率。同时学校也对建筑进行了照明升级，近700个T8型LED灯<sup>51</sup>或金属卤化物固定装置和灯具<sup>52</sup>被节能LED灯取代，每年能节省59,105千瓦时的能源。

学校为广场大楼提供来自中央区域能源循环的冷水，并关闭广场上的冷水机，如此一来，每年可节省约435,000千瓦时的能源。多幢建筑物的空气处理装置和泵上也安装了变频驱动装置（VFDs）以节省能源。学校还对住宅锅炉进行了重新安装，改变了阀门，使大楼100%的供热来自于区域供暖回路<sup>53</sup>，并关闭了电锅炉和给料泵。

### （3）节能与需求管理计划

2016年，布鲁克大学发布了《节能与需求管理计划》，可行性研究和项目计划分别于2016年和2017年进行，并于2018年开始实施。该计划主要目标是提高现场发电的效率，致力于智能高效建筑运营和更新，利用能源和碳补偿策略提升能源意识。该计划还设置了具体目标，即到2023年碳强度降低目标比2013年基准水平降低20%。

目前，校方每年对计划实施情况进行一次审查，定期更新能源绩效记分卡。此外，学校还将评估和更新温室气体排放和节能措施。随着新的机会、资金或技术的出现，该计划将在2019年进行审核并重新发布，于2020年批准。

<sup>50</sup> 热电联产（又称汽电共生，英语：Cogeneration, combined heat and power, 缩写：CHP），是利用热机或发电站同时产生电力和有用的热量。

<sup>51</sup> T8LED灯管是采用CREE与AOD超高亮LED白光作为发光光源，外壳为亚克力/铝合金。外罩可用PC管制作，耐高温达135度。节能效果较普通。

<sup>52</sup> 金卤灯是在汞和稀有金属的卤化物混合蒸气中产生电弧放电发光的放电灯，广泛应用于体育场馆、展览中心、大型商场、工业厂房、街道广场、车站、码头等场所的室内照明。

<sup>53</sup> 回路是电气、采暖和热水系统常用的一个术语，就是要有去有回，形成一个通道。在供暖中，一回两回两根管道形成一个有去有回的通道，这样构成一个回路。

#### (4) 项目措施：更换热发电设备

布鲁克大学的热电联产厂建于1994年，满足近80%的校园供暖、制冷和用电需求。其中八台老化的发动机被四台新型、高效、高产的发动机取代。其先进高效的电控单元，可实现实时主动选择催化还原和排放控制。这些新发动机每千瓦时消耗的天然气减少了26%，这等于直接减少了26%的该设施的温室气体排放量。施蒙塔（Schmon Tower）的机械室中安装有能量转移管道（ETS），利用变频驱动技术以及校区内供热环路实现高效能量分配，可以为整个塔楼提供更有效的加热。

#### (5) 其他行动计划

布鲁克大学实施了多种节能措施。学校正采用积极的方法，计划并致力于未来的节能项目。

##### ① 广场（LEED 银牌建筑）改造

是布鲁克校园中获得 LEED 银牌认证建筑之一（另一个是国际中心）。与广场有关的改造计划包括可最大程度减少灌溉、病虫害控制和施肥的景观美化、非饮用水用途的雨水收集、安装可节省60%饮用水的节水管道以及铺设隔热地板。用于改造广场的材料中有33%是从当地提取的，超过75%的建筑材料是从垃圾填埋场转移来的。

##### ② 安装需求控制通风（Demand Control Ventilation）系统

布鲁克大学新安装了需求控制通风系统，以调节厨房抽油烟机中的风扇速度，减少能源浪费。这使得能源浪费的减少从50%增长到70%。

##### ③ 剧院的开放与改造

Theal House 是环境可持续发展研究中心（ESRC）的所在地，于2018年2月进行了装修，以创建一个可持续发展的范例。改造包括LED照明的更换、选择本地商店的可重复使用的家具、购买能够与3,032千克碳抵消的地毯、配备能够根据能源使用情况进行自动调整的通风系统以及实时电力使用数据采集系统。

##### ④ 测试生态碱性电池

布鲁克大学目前正在对碳中性生态碱性电池进行测试，以确认它们是否可在整个校园中使用，来取代每年使用的约6000块电池。如果发现这些产品在初步测试

中效果很好，学校的目标在整个校园内进行更多测试。

#### ⑤ 玛丽莲·沃克 (Marilyn I. Walker) 校区大楼改造

2017 年秋天，布鲁克大学在玛丽莲·沃克艺术与表演艺术学院内安装了能源监控系统，以监控建筑中的水、气和电使用情况并提供报告，帮助校方确定可以在哪里调整公用事业消耗量，并作为一个试点项目来测试在整个园区内实施该软件的潜力。

#### ⑥ 施蒙塔 (Schmon Tower) 风扇改造

布鲁克大学在施蒙塔的回流风扇上安装了变频驱动器，以便根据需要控制和调节风扇速度。该项目还用新的高效装置替换了老化的电动机，每年因此可以节省能源 456,000 千瓦时。

#### ⑦ DeCew 居住区 (DeCew Residence) 能源优化

布鲁克大学对 DeCew 居住区进行了设备改造，以提高 DeCew 居住区的供暖用水效率。改造后，住宅区将不再使用电锅炉，而是由区域能源环路进行供电，每年可以节电 755,000 千瓦时。

### (6) 项目目标与成果

学校用新一代设备对已有的热电联产厂进行改造，从而大大提高能效，并降低温室气体排放、减少校园碳足迹。新设备每千瓦时的效率将提高 16%，整体效率将提高 14%。这将使学校每年减少 3209 吨温室气体排放，相当于减少 686 辆汽车一年的排放量。

未来布鲁克大学将继续努力寻找和实施既适用于地区能源系统，也适用于卫星站点的节能技术，寻求结合当前可持续设计和建造方面的实践，并随着市场的发展与行业的发展对现有技术进行改造。

### 参考资料

[1] Brock University Environmental Sustainability Plan 2018

[2] Energy Conservation and Demand Management Plan

## 案例 5：江南大学

高校是一个复杂的能源使用综合体，校园用能人员总量的增加、设备装机容量的扩充、建筑发展空间的扩大所导致的“锁定效应”，使学校能源管理和财务部门倍感前所未有的压力。从能源资源消耗的结构来看，校园的能源资源消耗包括了教学科研、行政办公、生活服务、文体场馆等。各环节均有很强的特殊性，相互间差异很大。在此背景下，江南大学自 2005 年开始投入能源监管平台建设，逐步形成适合自身的一套管理体系，“感知能耗，智慧监管”，在校内全面开展以能源监管体系为核心的节约型校园建设，取得了明显的效果。

### 1.“数字化能源监管”平台建设

江南大学结合智慧校园建设，为解决能源监管的难点问题，利用自身多学科的优势，综合应用了信息化、控制工程、通信工程、计算机工程、工业设计、环境工程等学科，勇于实践，自主创新、自主研发了基于物联网技术的“节约型校园数字化能源监管平台”，通过数字监管，达到能源消耗可管可控的目标。

#### (1) 平台硬件设施

在江南大学新校区基本建设中，有意识直接采用具有数据采集功能的智能电表等仪表仪器。经过几年的建设和改造，目前校园内已经安装近 2 万个各类传感监控点，电路、给水管网、变电所、VRV 中央空调、分体空调、路灯、安防和交通等实施全方位、立体式的数字化实时管理，监控覆盖率达 90% 以上，其中水、电远程计量率达到 99%。

江南大学“数字化能源监管平台”，采用最新信息化与物联网技术设计，具有一定的开放性、兼容性。同时结合江南大学自行研发的物联网数据网关，能很好地接入各类用能设备。整个平台基于学校有线网络设计，平台数据传输依托设备专用网络，数据传输稳定安全，经过多年运行设备在线率始终保持在较高的水平。

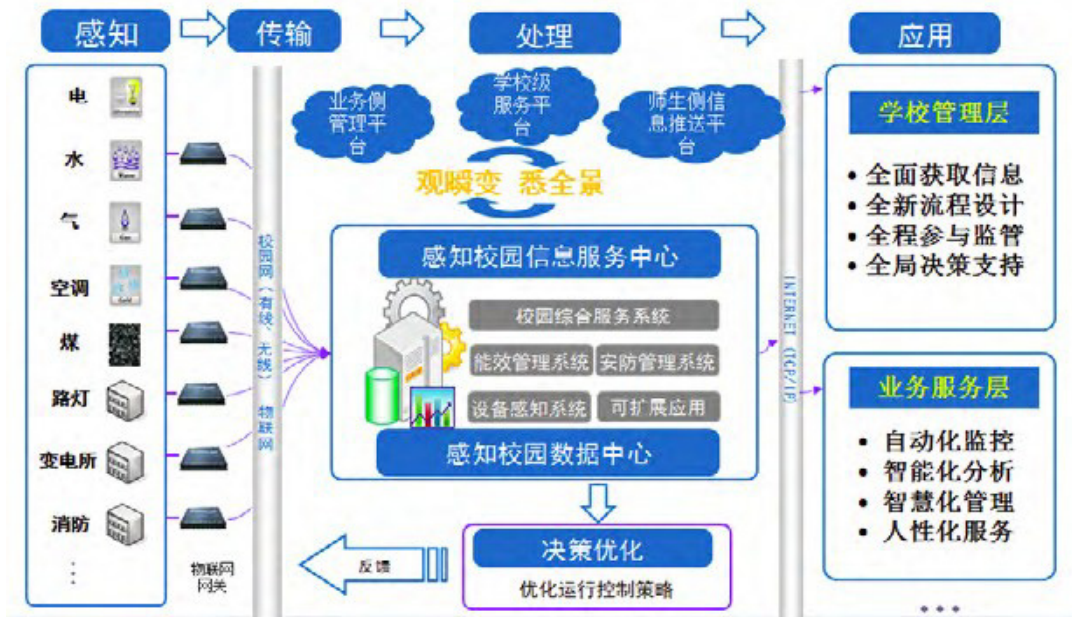


图 4-5-1 数字化能源监管平台架构图（图源：感知能耗 智慧监管——江南大学数字化能源监管平台建设探索及实践）

## (2) 平台软件设施

江南大学数字化能源监管平台的建设采用统一规划、分步实施的模式，采用 1+1+N+M 的架构，即 1 个系统平台，1 个能源服务门户，N 个业务子系统和移动终端 (Mobile) 相结合的模式，目标是将能源管理过程中的“模糊”概念变成清晰数据，实现不同人、时、地的管理及多渠道信息交互，为管理者提供了更科学的决策支持。

### ① FrontView 系统平台

该平台按照物联网技术的要求，建立起了一整套数据采集、传输、存储、分析、展示以及系统开发的标准和规范，是针对智能设备、设施和系统的“智能云平台”。在此平台上，可以快速开发和部署智能监管系统。为配合平台的使用，还配套开发了智能电表、空调照明控制器、水电气智能数据网关等智能硬件设备。

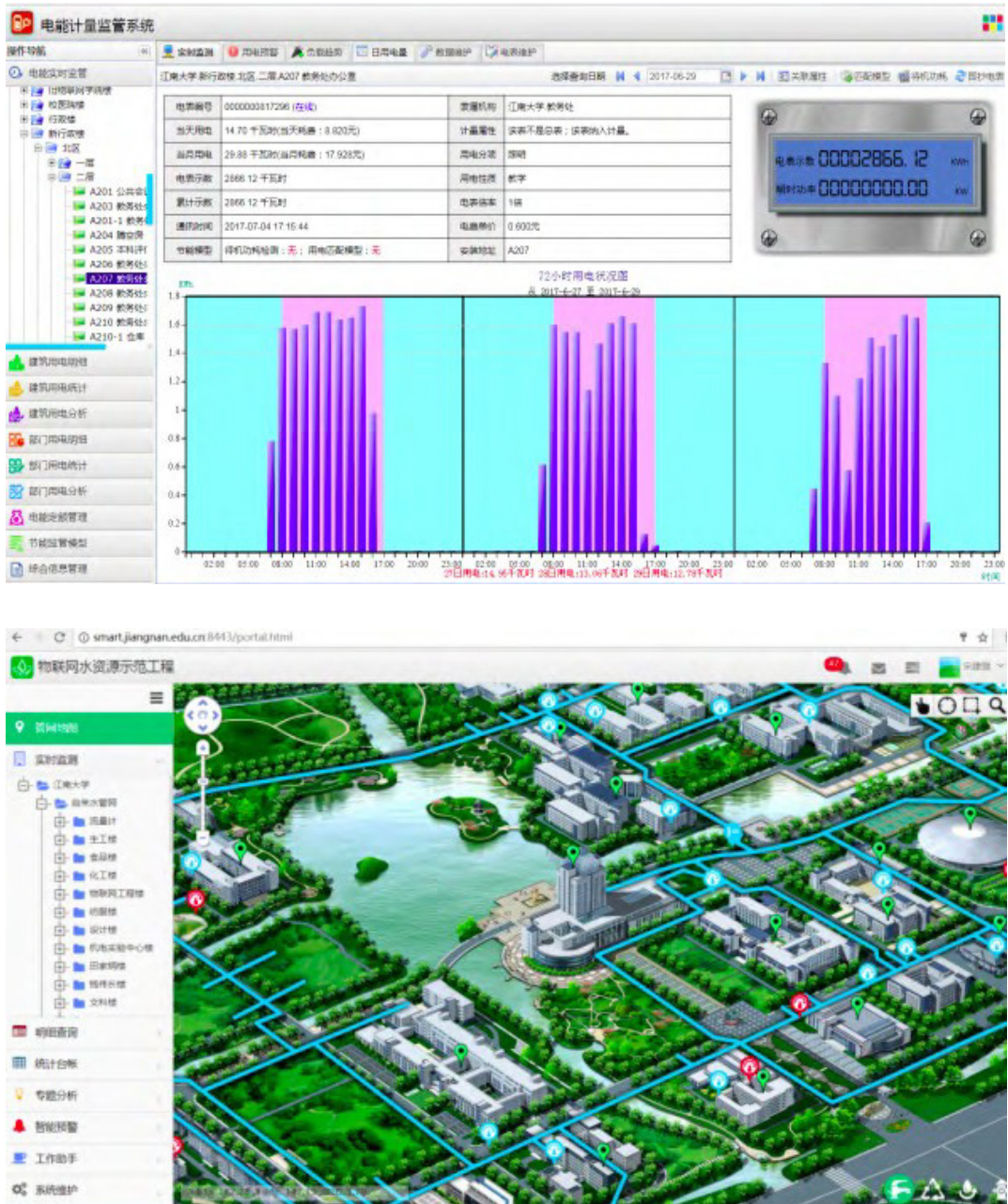


图 4-5-2 监控类子系统（感知能耗 智慧监管——江南大学数字化能源监管平台建设探索及实践）

## ②监管类子系统

监管类子系统是能源监管平台的基础和核心，重点解决“能源去哪儿了”这个核心问题。江南大学先后建设了校园电能计量管理、给水管网监测、燃气计量监管、建筑节能分析等监管类子系统，对校园供电、供水、供气和环境参数进行基于校园网的实时监测，实时掌握校园各类能源用量。

## ③控制类子系统

控制类子系统是能源监管平台的开展和延伸，重点解决“能源如何管”。在完成监管类子系统建设，对能源的使用情况有了准确的认识后，可以在平台数据的支撑下，有针对性的开展节能控制。江南大学对部分重点能源基础设施进行远程智能监控，主要包括变电所、水泵房、路灯、中央空调等，保障重点用能设备的可靠、高效、低耗运行。

### A. 电能计量管理系统

实现了对全校用电的分项分户计量，通过细化到每小时的用能监管和分析，可以及时发现待机功耗等用能浪费现象。系统还和“指标化管理体系”充分配合，实现用电的管理和指标执行情况的监督、费用结算、数据统计分析等多项功能。

### B. 给水管网监测系统

系统关注的对象是地下给水管网和重点用水设施，对其用水情况的感知、传输、监测、分析、管理。通过内置的专家系统模块对管网流量模型进行自学习，可以在第一时间发现地下管网的跑冒滴漏，减少损失。为用水节水管理提供更好、更科学的决策支持，实现了科学节水和高效节水。

### C. 燃气计量监管系统

系统对全校食堂餐饮用天然气进行了远程计量，可以实时监测到燃气管网的流量、压力和温度的等参数，实现了我校用能种类的全覆盖。

### D. 智能照明控制系统

系统实现了对全校道路照明、景观照明及户外信息发布设备（如 LED 显示屏等）的实时监测和智能控制，能够根据不同性质的照明进行分区域分时控制，并根据天气情况（光照度）、经纬度（日出日落时间）等情况自动智能调整修正设置，实现



按需照明，节约用电，延长设备使用寿命。

#### E. 变电所参数监测与管理系统

系统对全校 26 个 10KV 变电所内近 900 个设备的运行情况实施 24 小时监测和声光、短信联动报警。学校依托系统调整和优化了变电所的运行模式，将原有全人力值班模式改为集中监管辅以定期巡视的管理模式，节约了人力资源，提高了保障水平。

#### F. 分体空调智能监管系统

系统实现了第一教学楼 133 台分体空调的状态监控和基于课程表的自动开关机控制。解决了公共区域分体空调管理困难的问题，杜绝了无人空调等浪费现象。



图 4-5-3 控制类子系统（图源：感知能耗 智慧监管——江南大学数字化能源监管平台建设探索及实践）图片摘自江南大学公开信息



#### ④服务类子系统

服务类子系统注点不仅是设备，更重要的是引导人们的用能行为，重点解决解决好“人”的问题，才这也是解决节能的根本问题。能源服务类子系统，包括能耗公示、预付费用能管理、能源足迹低碳计算器、微信网上购电等。师生可以通过网页、手机 APP、微信、短信、邮件等方式随时了解自己的用能信息，进行在线交互。通过提高师生对自身能源消费的关注度和透明度，促进了能源的理性消费和自我管理，将节能从一个部门的工作变为全校师生的工作，从“要我节能”的被动行为变为“我要节能”的自觉行为。

#### ⑤移动应用 (Mobile)

针对移动互联网的发展趋势，开发发布了能源监管平台移动客户端，满足用户移动应用的需求。移动应用可实现个人能源使用情况的查询、自助服务等，也可满足管理者移动化的对能源设备、设施的远程实时监控。建立了“江南大学掌中能源服务”App、移动预付费管理系统、微信购电等系统。使得能源监管平台向移动终端不断延伸。目前“江南大学掌中能源服务”App 拥有 IOS 版和安卓版，支持 iPad、Iphone 和 Android 的手机和平板等。

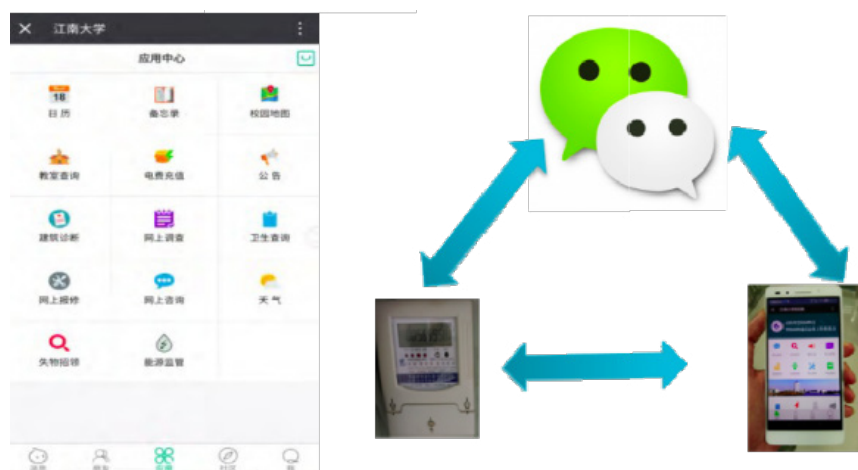


图 4-5-4 移动应用系统 (图源：感知能耗 智慧监管——江南大学数字化能源监管平台建设探索及实践)

## 2. 平台能耗节约情况

“数字化能源监管平台”的运用产生了巨大经济效益。2017年，江南大学的科研总量是2006年的4.95倍，设备总量是2006年的4.43倍，分体空调数量也增长至2006年的4.16倍，在这种情况下，全校水电费年度净支出仍然保持在1600万元左右，水电净支出只增长了1.37倍，与全国同规模高校中相比，保持了较高的能效水平和较低的水电费开支比例，按同比计算，“十一五”和“十二五”期间，为学校累计节约水电费支出近亿元。节能减排效果显著。这个变化，不仅实现了学校的节能增效，也为地方节能降耗工作作出了贡献。如今，学校每年的水、电费支出均控制在学校日常开支（含人员经费、公用经费、科研经费，不含基建费用）的3%以内。

### 参考资料

[1] 宋建强, 赵让, 张明亮. 感知能耗 智慧监管——江南大学数字化能源监管平台建设探索及实践 [J]. 高校后勤研究, 2018(06):50-54.

[2] 田备. 深化节约型校园建设 突出数字化能源监管 [J]. 高校后勤研究, 2014(03):94-96.

## 案例 6：浙江大学紫金港校区

### 1. 背景概述

浙江大学是一所历史悠久、声誉卓著的高等学府，坐落于中国历史文化名城、风景旅游胜地杭州。浙江大学紫金港校区东区于 2002 年 10 月正式启用，初步实现了现代化、网络化、园林化、生态化的建设目标，容纳 2 万名学生，以本科教育为主。

紫金港校区西区的规划和建设应秉承东区建设的“四化”理念，并进一步强化传统文化内涵，与东区一起成为浙江大学的主校区，成为学校教学、科研、社会服务、国际交流与合作的中心。

### 2. 供热管网优化与节能改造项目

#### (1) 项目背景

浙江大学紫金港校区位于杭州市西北部，校区一期占地面积 3300 亩，校舍建筑面积 93 万平方米，其中学生宿舍建筑面积 27 万平方米，分七个组团，其中的蓝田学生宿舍组团，建筑面积 7.8 万平方米，学生住宿人数约 6000 人。本项目改造的内容为其中的蓝田 3 舍机房，服务范围为整个蓝田宿舍的一半，约 3000 人左右。

校区原来有价格低廉的市政热网蒸汽作为热源，故蒸汽管敷设到每个组团。热水系统为分组团的集中热水供应系统，蒸汽价格 48 元/G<sup>54</sup>。2009 年 3 月因杭州市城市基础设施规划调整，市政热网停止供热，改由学校自建燃气锅炉房供应蒸汽。锅炉房出口的蒸汽价格为 93.5 元/GJ，热水成本大幅提高。同时，由于蒸汽管网管线长、保温层年久失效和蒸汽管间歇性用热造成冷凝损耗巨大。

根据学校委托浙江大学热工与动力系统研究所的监测结果，学校蒸汽管网平均损耗达 50% 以上。为此 2008 年学校要求对学生宿舍热水系统进行节能改造。

---

<sup>54</sup> 吉焦：热量单位，用符号 GJ 表示。吉焦是用于供热中按流量计费的热量单位，一个吉焦也就是 10 亿焦耳。

蓝田学生宿舍组团生活热水采用 24 小时集中供应，每 1 个单元(6 间学生公寓) 设公共浴室 1 个，共 916 个淋浴器，浴室洗浴采用智能刷卡计费。蓝田学生公寓热水机房共 2 处，分别设置在蓝田 3 舍和 4 舍地下层，采用 2 组容积式热交换器制取 60℃ 的生活热水供应各洗浴点。

学生宿舍热水系统存在的主要问题有三个方面：

①管网热损大，热水制取成本高。根据浙江大学能耗监测平台的实时监测数据，采用燃气锅炉集中供热方式后，如不计锅炉房至食堂分汽缸主管网热损，以食堂分汽缸为计量点，单位热水用汽量为 0.404GJ/吨，按实际制取成本 93.5 元 /GJ 计，热水加热成本为 37.8 元 /吨；若计锅炉房至食堂分汽缸主管网热损，热水用汽量为 0.559GJ/吨，热水加热成本为 52.27 元 /吨。管网及系统热损大，热水制取成本高。

②管网陈旧，急需大规模更新与维修。浙江大学蒸汽管网、学生宿舍热水供应设备已经投入运行 8 年，管网、设备已逐步进入老化期，设备老化导致各类安全隐患和管网漏损严重问题，急需更新和维修。

③单一汽源存在供热不安全隐患。紫金港校区锅炉房为集中的单汽源供应，若天然气、水、电任何一项出现事故或检修中断，将严重影响校园生活热水供应，同时用热设备故障也会导致意外停汽，因此对学生村用水存在可靠性、安全性隐患，急需分散供热风险，提高可靠性。

④节能改造需求。本次改造首先应满足蓝田学生宿舍集中生活热水稳定、可靠、持续高质量的供水要求；其次应最大程度地提高节能效益，同时项目应具有较好的经济性、环境适宜性，提升学生生活热水供应品质；最后本次改造为浙江大学紫金港校区二期近 20 万学生热水供应规划、设计、建设提供可借鉴的案例，为解决本省本地区学生公寓、乃至宾馆、医院等集中生活热水供应提供可借鉴的节能、可靠的新技术路线。

## (2) 项目技术

能源塔热泵辅助太阳能热水系统关键技术由三部分集成，即热泵机组、能源塔、太阳能热水系统。

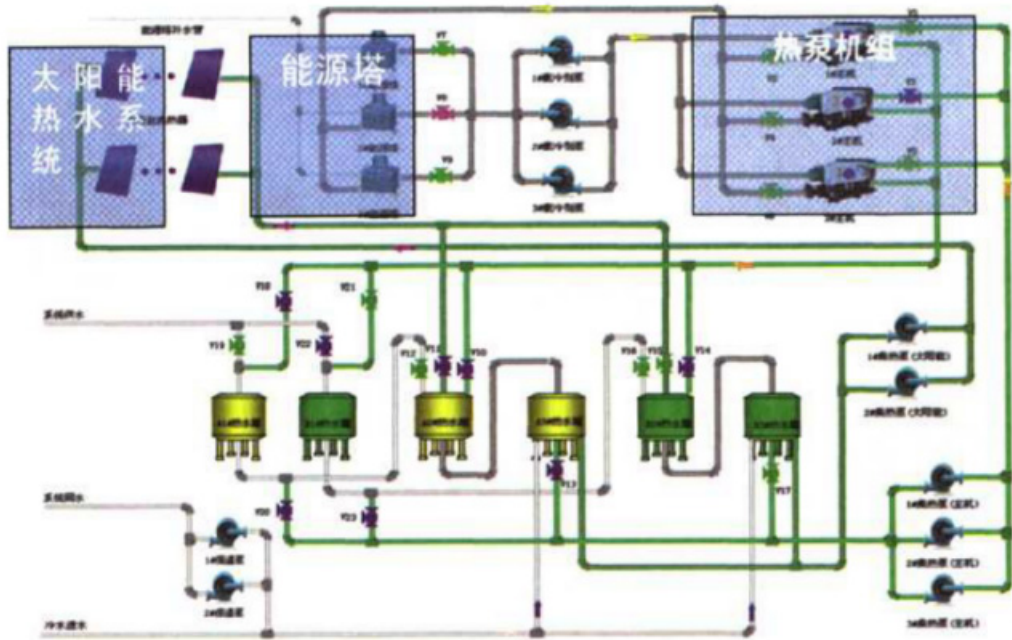


图 4-6-1 能源塔热泵辅助太阳能热水供应系统（图源：浙江大学学生宿舍生活热水系统节能改造）

### ①能源塔热泵系统工作原理

能源塔热泵系统原理是利用太阳辐射给地球反辐射给大气的低温位热能资源，通过输入少量的高位电能，实现低位热能向高位热能转移的一种为建筑物提供冷暖空调、生活热水的可再生能源技术。其工作原理是利用水源热泵机组的冷凝侧加热生活热水，蒸发侧的低温水通过能源塔热交换从空气中吸收热量。

### ②太阳能辅助热水系统

与太阳光照充足的季节提供免费热水，特别是学生暑期人数相对较少期间，通过太阳能热水系统较大幅度地提升系统能效。

## (3) 节能效果

冬季工况下每吨热水制取的系统能耗(包括热泵、能源塔、循环泵及管网热损)为 27 千瓦时/吨, 过渡季工况下每吨热水制取的系统能耗为 21 千瓦时/吨, 夏季工况下每吨热水制取的系统能耗为 17 千瓦时/吨, 全年系统综合能耗为 23 千瓦时/吨。

使用期间	用电量(千瓦时)	用水量(吨)	直接能耗费(元/吨)	平均能耗(kWh/吨)	系统工况
2. 26-3. 31	63008	2338	14.5	27	冬季
4. 1-4. 30	42256	1775	12.81	21	过渡季
5. 1-5. 31	33074	1810	9.83		
6. 1-6. 7	7410	414	9.63	17	夏季
合计	145748	6337	12.37	23	综合

图 4-6-2 蓝田学生公寓 3 舍机房运行实测数据 (图源: 浙江大学学生宿舍生活热水系统节能改造)

本技术方案实施后, 蓝田学园生活热水系统的经济效益体现在三个方面: 一是减少原有蒸汽管网损失, 二是采用高效能设备直接减少的能耗费, 三是完善的自控系统可以节约管理人工。以 2009 年蓝田学生公寓热水系统运行数据结合蒸汽热水系统投入的维修费用开支情况, 经测算项目实施后可节约经费开支 113 万元/年, 项目的静态投资回收期为 4.4 年(按蓝田学区总共 6000 人测算)。

蒸汽系统经整体节能改造后, 可节约标煤量:  $(14442\text{GJ}/\text{吨} \times 0.03412\text{tce}/\text{GJ}) - (25837\text{吨} \times 24\text{KWh}/\text{吨}) : 1000 \times 0.3619\text{tce}/\text{MWh} = 493 - 224 = 269\text{tce}/\text{年}$ ; 减碳排量:  $269\text{tce}/\text{年} \times 0.7106\text{t-c}/\text{tce} = 191\text{t-c}/\text{年}$ 。

一、改造前成本		
项 目	计算明细	金额
1、直接能耗费	蒸汽费支出： $14442\text{GJ/年} \times 93 \text{元/GJ} = 134 \text{万元}$	134
3、管理人工	热水机房管理人工：15 万元/年	15
小计		149
二、改造后成本		
1、直接能耗费	学生公寓热水成本： $258374 \text{吨} \times 12.37 \text{元/吨} = 36 \text{万元}$	32
2、管理人工	热水机房管理人员：1 人 $\times$ 4 万/人 = 4 万元	4
小计		36
年节约费用		113
三、静态投资回收期： $500 \text{万元} \div 113 \text{万元/年} = 4.4 \text{年}$		

图 4-6-3 蓝田学生公寓能源塔热泵辅助太阳能系统经济效益分析表单位：万元（图源：浙江大学学生宿舍生活热水系统节能改造）

#### 参考资料

[1] 中国绿色学校 - 浙江大学紫金港校区西区, [http://www.cecsc.com/nd.jsp?id=1304#\\_np=110\\_395](http://www.cecsc.com/nd.jsp?id=1304#_np=110_395)

[2] 王靖华, 屈利娟, 王小红. 浙江大学学生宿舍生活热水系统节能改造. 2011 全国工程设计技术创新大会

## 案例 7：中国石油大学（华东）

在可持续发展思想的指导下，中国石油大学（华东）积极投身建设“绿色校园”中。学校秉持体系化与信息化相结合、安全运行与经济运行相结合、节能控制与设备更新相结合、项目建设与人才培养相结合的理念，将供暖系统改为通过远程节能控制平台监控与操作的节能系统，运用大数据技术分区分温控制供暖，不仅节省了能源，还为学校带来了经济效益。

### 1. 背景概述

中国石油大学（华东）主张把环境教育扩展到学校的整体性教育与管理中去，而不仅仅局限于课堂中。同时与社区之间搭建桥梁，加强二者之间的合作和联系，真正地用可持续发展思想指导实践。2016年，中国石油大学（华东）积极参与编写了由住建部建筑节能科技司组织的《智慧校园评价标准（GB）》、《绿色校园节能调适导则》，并以中国石油大学（华东）的绿色校园实施成果作为标准建设基础开展评价。

### 2. 中国石油大学（华东）暖通节能控制系统的建设

中国石油大学（华东）对全校的供暖系统、供冷系统进行控制改造，建立远程集中控制平台，实现从源头到终端的全过程控制。其暖通空调节能控制系统建设包括以下六个内容：暖通空调远程节能控制平台；1#、2#、3#、4#及东换热站节能控制系统；教学楼、实验楼、体育馆等建筑供暖分时分区分温控制系统；东山中央空调冷源能效优化控制系统；行政办公楼空调末端精细化管理控制系统；东山冷源及换热站高能耗水泵更换。

#### (1) 暖通空调远程节能控制平台

该平台集中了换热站节能控制系统、建筑供暖分时分区分温控制系统、冷源系统能效优化控制系统、空调末端精细化管理控制系统、能源监管平台，使得对暖通空调系统设备的远程自动控制和能源监测、统计、分析与展示成为了可能。针对建



筑运行特点，采用互联网+的信息化技术手段搭建节能监视、管理及控制平台，通过对暖通空调的运行状态进行远程监控、实际制热/制冷效果监测以及运行参数的自动优化调节，最大限度地提升运行管理自动化水平。同时与能源监管平台实现数据共享，建立运行参数大数据平台，为建筑能耗诊断、节能运维科学化、安全化、规范化、标准化的节能技术手段。



图 4-7-1 暖通空调远程节能控制平台架构（图源：《中国石油大学（华东）暖通节能控制系统介绍》）

### (2) 1#、2#、3#、4# 及东换热站节能控制系统

换热站的建设使用了远程实时监控技术、本地气候补偿调节技术、二次网热力平衡调节技术、设备运行数量优化调节技术、设备自动轮换技术及板换效率检测技术，对 1#、2#、3#、4# 及东山换热站一二次管网水温和压力、室外温湿度及建筑用热负荷需求进行实时监测，实时调节一次侧电动调节阀门开度和热水循环泵频率，以控制二次侧供水温度和流量，实现建筑按需供热。

### (3) 建筑供暖分时分区分温控制系统

该系统使用了室内温湿度远程采集技术和分时分区分温技术，对讲堂群及南堂、基础实验楼、特种实验楼、体育馆、运动场看台、工科实验楼 E 座等 9 栋建筑供暖系统进行节能控制改造。在室内安装室内温湿度传感器，在建筑供暖总管安装水温、压力传感器和电动调节阀，实现各建筑连续供暖转变为分时分区分温控制。

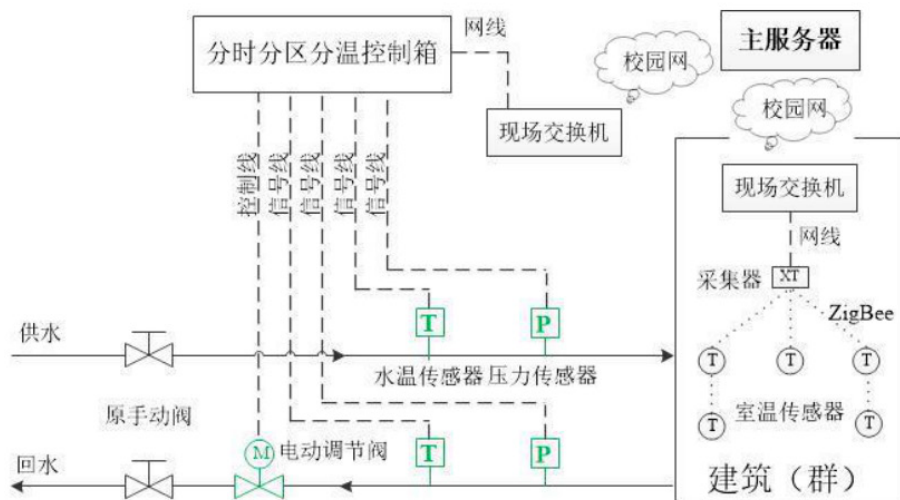


图 4-7-2 建筑（群）分时分区分温控制单元架构示意图（图源：《中国石油大学（华东）暖通节能控制系统介绍》）

#### (4) 东山中央空调冷源能效优化控制系统

通过对东山机房制冷主机通信改造、水泵及冷塔加装变频器、集分水器安装水温传感器和压力传感器、机房外合适位置安装室外温湿度传感器，实现冷源系统设备组群控制、主机寻优、负荷预测、蓄冷节能运行；根据建筑用冷负荷变化和室外温湿度变化动态调节二次供水水温和流量，实现按需供冷。同时，使用自动轮换制冷主机、水泵和冷却塔风机，减少设备故障率的发生。

#### (5) 行政办公楼空调末端精细化管理控制系统

将行政办公楼房间原有机械式风机盘管控制器更换为无线联网型液晶温控器，实现了各个房间温度远程监测和控制。同时，为了实现公共区域室内温度的精细化控制，空调机组加装了变频器、更换了电动调节阀、安装了室内温湿度传感器和风湿传感器等设备。

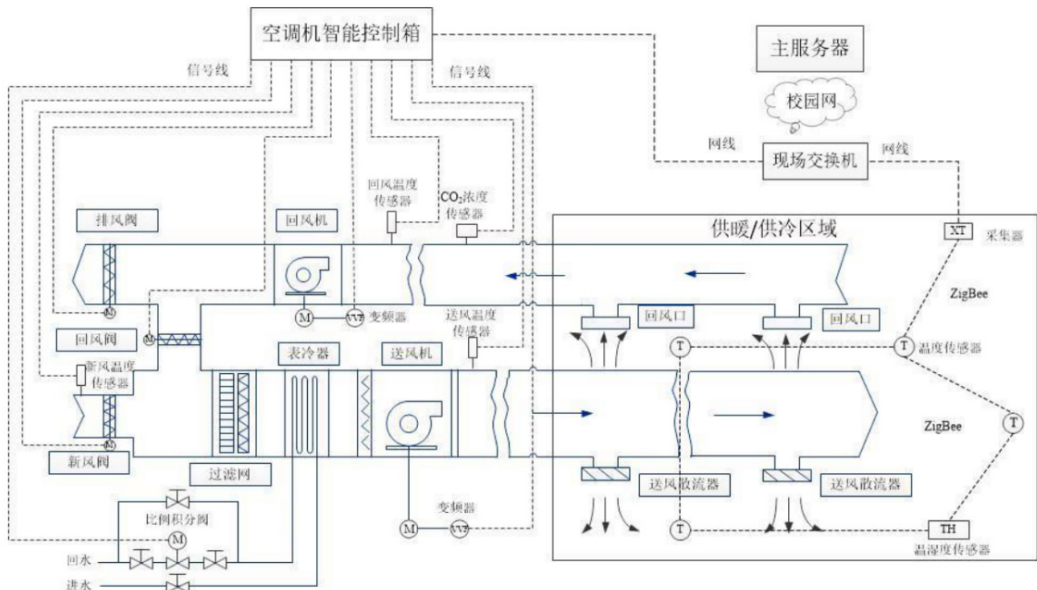


图 4-7-3 空调机组控制单元架构示意图（图源：《中国石油大学（华东）暖通节能控制系统介绍》）

东山冷源、1# 换热站水泵年运行时间长、故障发生率高、运行能耗高，为便于安装，且保证新泵技术性能满足管网使用要求，确保供暖及供冷系统的末端效果，选择外形结构（立式管道离心泵）、技术参数（电机功率、扬程及流量）与原水泵基本一致且符合国家节能标准的新泵，水泵更换过程包括旧泵拆卸、管路焊接、新泵安装、运行调试、保温恢复几大步骤。

### 3. 项目节能量及节能效益

#### (1) 节能量计算

根据学校热力缴费账单对比，2016-2017 年供暖季改造建筑用热量比改造前的 2015-2016 年供暖季减少  $174611\text{GJ}-156604\text{GJ}=18007\text{GJ}$ ，节热率为  $18007\text{GJ}/54849\text{GJ}=32.8\%$ 。

#### (2) 节电量计算

##### ① 供暖系统节电率

2015-2016 年供暖季建筑换热站水泵用电量为  $478115\text{kWh}$ ，2016-2017 年供暖季用电量为  $260835\text{kWh}$ ，供暖系统节电量为  $478115\text{kWh}-260835\text{kWh}=217280\text{kWh}$ ，节电率为  $217280\text{kWh}\div 478115\text{kWh}=45.45\%$ 。

##### ② 供冷系统节电率

2016 年供冷系统未改造前，用电量为  $917174\text{kWh}$ ，改造完成后，供冷季节电量为  $320461\text{kWh}$ ，节电率为  $34.94\%$ 。

#### (3) 经济效益

通过学校建筑暖通空调系统节能改造，年节约热量约 1.8 万 GJ，年节约电量 53.8 万 kWh，按热单价 82.67 元 /GJ 和电单价 0.55 元 /kWh 算，学校能源管理部门年可减少能源支出约 178 万元。

### 参考资料

[1] 中国石油大学（华东）《中国石油大学（华东）暖通节能控制系统介绍》

### 三、专家点评

设备系统既是维持大学校园正常运作的必要硬件支撑，同时也直接消耗能源，极大的影响温室气体排放的强度，对其进行节能调试与更新是建设低碳校园最便捷、最高效的路径之一。

本章分享的7个典型校园案例均设立了清晰的目标与系统性提升方案，对其过时的、低效的各类设备系统进行了不同程度的优化，在用能端有对原有设备的更新改造，有对先进设备的补充引进，在供能端有与区域能源的融合，亦有对可再生能源的整合应用；既考虑产能、输配、供暖、通风、照明等直接工作设备的能效提升优化，又配备精准、高效的监测与控制工具，同时充分利用互联网、物联网等信息技术搭建灵活、便捷的人员服务平台，保障了调试更新工作的实际效果，创造了可观的节能与减排收益。

从本章介绍的典型案例来看，我国一些高校在建设低碳校园的领域已经迈入世界先进行列。对于我国高校的整体发展情况而言，自创建“节约型高校”的目标得到广泛认同以来，设备系统的节能调试与更新已经成为国内众多高校的节能减排主要建设路径之一，区域能源、热电联产、光伏发电、地源热泵、余热废热回收、高效空调、高效新风、节能照明、分项计量、智能监测与控制、智慧信息服务平台等一系列主流的高能效、低碳排设备系统在高校中的应用已成雨后春笋之势，展现出低碳校园建设在整个社会层面的良好势头。

需要指出的是，尽管各类先进的设备技术已经服务于国内多数高校的校园建设，但系统性、整体性的设备系统节能调试与更新方案还相对稀缺，硬件应用与软件开发大多还处于比较破碎化的阶段，往往导致实际的节能减排效果明显低于预期。本章阐述的案例不仅在单一设备层面对低碳校园的建设有所启示，更展示出了综合优化策略的重要价值，这是其他项目尤其需要借鉴的经验。只有在清晰目标和具体规划指导下制定全面的设备系统节能调试与更新方案，才能真正统筹工作设备、监管工具与信息平台之间的内在关联，实现硬件功能与用户行为的协调统一，让节能减排效果达到最优。

**专家简介：**

**王静，华南理工大学建筑学院教授、博士生导师、亚热带建筑科学国家重点实验室绿色建筑与可持续团队负责人**

# 第五章

## 可再生能源的替代性应用

---

### Chapter V Alternative Application of Renewable Energy

#### 一、校园低碳规划策略的含义

能源、环境和经济是人类社会发展的三要素，他们互相影响，彼此制约，共同构成了人类经济社会发展的大系统。能源是推动经济社会发展必不可少的源动力。一方面，经济的增长离不开能源的支持，即能源促进了经济的增长；另一方面，能源的可持续发展必须以经济增长为前提条件。随着全球能源需求持续急剧增长以及化石能源的开采减少，可再生能源的替代性应用将变得越来越重要。例如，使用风能和太阳能以实现可持续发电将成为趋势。2020年7月，欧委会推出了欧盟能源系统一体化发展战略，同时在清洁氢能源、电池等多个重点领域推动建立行业联盟。法国政府公布的“2030国家能源计划”称，将持续提高其电力供给领域中可再生能源发电的占比，特别是风电占比，以实现能源转型。

我国于1992年就正式向联合国环境与发展大会提交了《中华人民共和国环境与发展报告》，明确提出了实现可持续发展的观点。此后，我国在部署各项工作时都把可持续发展作为开展工作的重要指导方针和战略目标。2020年9月22日习近平主席在第75届联合国大会上提出“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”。

本部分案例主要使用可再生能源替代传统能源并实现可持续发展，其下案例有波尔州立大学与同济大学。

## 二、可再生能源的替代性应用的应用与评价

### 案例 1：波尔州立大学

波尔州立大学认为可持续性规划是一种不断发展的实践，因此力求将保护环境原则和对环境负责的做法纳入所有运营和计划的基本组成部分。学校使用地热热泵系统替代老式锅炉进行供暖，成功减少了校园碳足迹，非常具有借鉴意义。

#### 1. 背景概述

波尔州立大学对可持续发展的承诺体现在其使命宣言中（参与塔洛瓦雷斯宣言、美国大学校长对气候的承诺、气候领导承诺）。校方鼓励学生参与教育、研究和创新活动，使毕业生能够通过终身学习和服务充实事业，丰富生活的意义，同时增强社区、国家和世界的经济、环境和社会活力。

波尔州立大学通过学习、研究、服务和行政运作，致力于保护和改善环境，寻求建立一个具有良好生态系统且具有环境意识、地方行动和全球思维教育的社区。学校遵循的基本原则是：将环境问题纳入决策的优先重点；寻求替代做法和程序，以最大程度地减少对环境的负面影响；保护自然资源，恢复环境质量；保护地区的生物多样性，并使校区成为为当地物种的生存实验室和栖息地；考虑运营政策的社会、经济和环境影响，并在制定这些政策时注重可参与性。

在以上决策原则的引领下，波尔州立大学于 2014 年被塞拉俱乐部评为 50 所最酷的学校之一，于 2015 年获得高等教育可持续发展协会金牌 STARS 评级，于 2018 年被《普林斯顿评论》评入“绿色学院荣誉榜”，并于同年被评为杰出的第二自然标志。



## 2. 地热能源应用项目

### (1) 项目概况

秉承创新的传统，波尔州立大学正在建立美国最大的闭环区域地热能源系统<sup>55</sup>，既有利于经济又有利于环境。

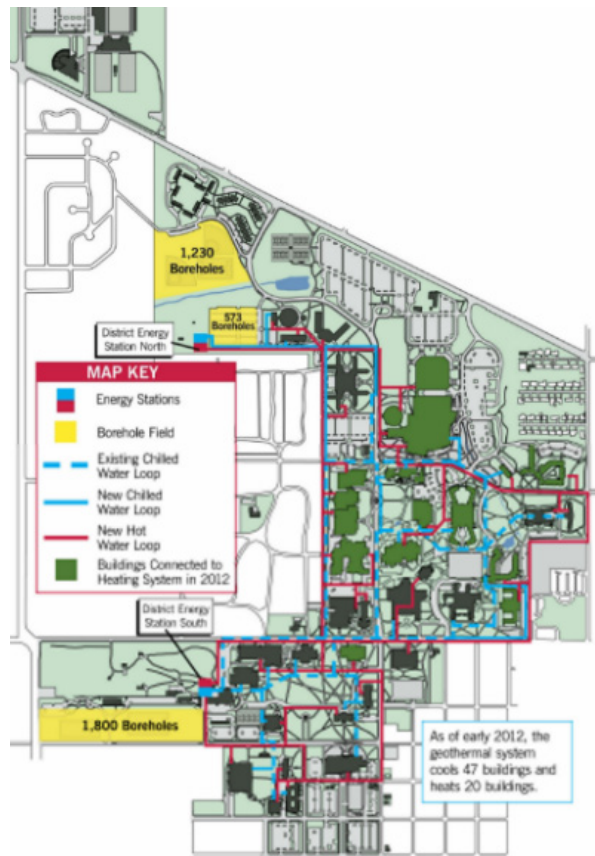


图 5-1-1 地源热泵管道分布图（图源：<https://www.bsu.edu/about/geothermal>）

<sup>55</sup> 地热能源系统是以整个地面为散热器，通过地板辐射层中的热媒，均匀加热整个地面，利用地面自身的蓄热和热量向上辐射的规律由下至上进行传导，来达到取暖的目的。

为了创建该系统，学校在校园周围区域钻了大约 3600 个钻孔；钻孔完毕后，每个钻孔都将被覆盖，该区域将恢复到以前的使用状态，从而保留校园美景。

## (2) 地热热泵系统工作原理

地热热泵系统是一种利用地球存储在地下的热量进行加热和冷却的系统。地热热泵在加热模式下将地球当作热源，而在冷却模式下则将其用作散热器。地面以下数米的土壤可在全年保持温度，因此地热热泵可在冬天吸收可用的热量，在夏天则将热量释放回地下。传统的熔炉或锅炉燃烧化石燃料产生热量，而地热系统只是将热量从一个地方传递到另一个地方。

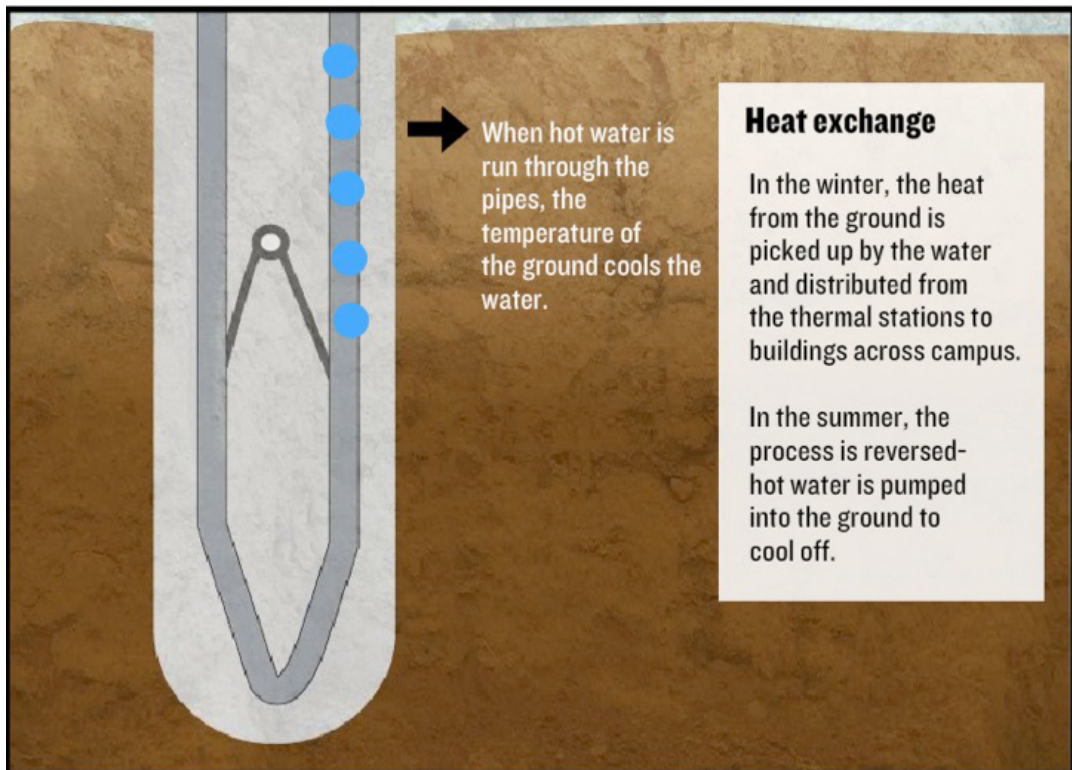


图 5-1-2 地热热泵系统工作原理（图源：<https://www.bsu.edu/about/geothermal/faq>）

### (3) 地热热泵系统组件

该系统由四个关键组件组成：钻孔，能源站，充水管的冷热区域环路和建筑物接口。

#### ① 钻孔

校园周围分布着钻孔区域。这些钻孔下方是一系列封闭的管道，这些管道垂直安装在地下。学校的环路由大约 3,600 个钻孔组成，深度为 400 至 500 英尺（约合 120 至 150 米）。钻孔的直径为 4 到 5 英寸（约合 10 厘米）。学校在施工的两个阶段分别安装了 1,800 个钻孔及 1000 多英里（约合 1600 多千米）的地热管道。插入钻孔的管道在孔的底部与一个 U 形交叉连接器相连，从而使水在封闭的管道系统中循环。钻孔通常在管子周围填充满水泥浆，以便为周围的土壤或岩石提供良好的热导体，使热量传递最大化。

#### ② 能源站

能源站容纳的设备是系统的主力。每个能源站都包含使用环保制冷剂 R134A<sup>56</sup> 的热泵冷却器。通过压缩循环的热泵冷却器使用与普通家用冰箱相同的方式转移能量。能量或热量可以从地下吸收或释放。热交换可同时生产 42 华氏度的冷水（约合 5 摄氏度）和 150 华氏度（约合 65 摄氏度）的热水。

#### ③ 充水管的冷热区域环路

热水和冷水通过两个独立的区域环路遍及整个园区，一个环路用于供暖，一个环路用于制冷。校园内已有区域冷水分配系统，本项目则需要在整个校园内安装新的区域热水分配系统。

#### ④ 建筑物接口

地热热泵系统可循环供应建筑物的供暖或满足建筑物的制冷需求。热水和冷水

---

<sup>56</sup> R134a (1,1,1,2- 四氟乙烷) 是一种使用最广泛的中低温环保制冷剂，它具有良好的综合性能，是一种非常有效和安全的 R12 (二氯二氟甲烷) 替代品，可以应用于使用 R12 制冷剂的多领域。

通过热交换器（类似于汽车中的散热器）供应，风扇将空气吹过热交换器，以保持居住者要求的正确温度。

#### （4）项目措施及成果

在 2012 年春季，通过地热系统的水开始流经新的地热区域提供供热和制冷。项目采用闭环区域地热能源系统：安装全校范围的地热供暖和制冷系统。波尔州立商业与经济研究中心进行的一项研究显示，该项目为数百名承包商和供应商提供了就业机会，并提供了约 2300 个直接和间接工作的机会。系统完全运行后，波尔州立大学减少了对四台老化的燃煤锅炉的依赖，从而将校园的碳足迹减少近一半（每年约 85,000 吨）。

波尔州立大学的闭环系统使用水循环。系统中的水与地面之间只通过管道进行热传递，没有直接的相互作用。在较冷的气候下，类似的系统需要使用防冻剂，例如食品质量的丙二醇。而学校的系统不需要防冻剂，仅使用淡水，进一步减少了对环境的污染。该系统将加热和冷却 47 座建筑物，减少了几乎全部的温室气体范围排放，提高了建筑能效及建筑物间的能源交换，每年可节省 200 万美元。

该系统的实施证明，结合地源热泵技术的地热能可用于大型区域分配系统；这对各州均有参考意义，因此对环境和经济的影响遍及全国。

### 3. 参考资料

[1] Ball State Sustainability Statement, <https://www.bsu.edu/academics/centersandinstitutes/cote/sustainability/statement>

[2] Geothermal Energy System, <https://www.bsu.edu/about/geothermal>

## 案例 2：同济大学

“上海国际设计一场项目”：巴士一汽汽车库改造为新办公楼（2011）

### 1. 背景概述

原巴士一汽四平路停车库坐落于上海市杨浦区，于 1999 年建成，面积 4 万多平方米，可以停放千辆公交，曾是上海市区内最大的立体公交停车库。改造以停车库的三层为基础，加建两层，使总建筑面积为 64522 平方米。基地总面积为 69700 平方米。建筑主要结构由混凝土框架及钢框架结构组成。改造遵循了真实性，加强老建筑的认同感；历时性，明确新旧建筑的边界；整体性，实现新旧建筑的共生的三个原则以实现新旧建筑的共生衍生。此改造项目设计用时两年，于 2011 年竣工，花费约 160 万元。



图 5-2-1 同济大学新办公楼（图源：同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司新办公楼导览）

## 2. 改造契机

在上海高校布局调整以后，一汽四平路停车库地块与统计大学沪东校区置换，划归同济大学所有。同济大学在第二个百年的开始之际，延续了一汽停车库的建筑生命建筑，实现创意转型。该项目的改造契机是以“三大转型”为背景的：从“中国制造”到“中国创造”，从“工业杨浦”到“知识杨浦”，从“散落集群”到“集聚辐射”。同时该改造项目以创意转型为切入点带动了产业发展，吸引了大批创新人才，形成创意社区、大学校区、企业生产区三区联动的运行机制。

## 3. 应用技术

### (1) 太阳能利用

在大楼的改造可持续设计中，太阳能的利用是一大亮点。老建筑屋顶部分根据太阳最佳高度角阵列排布单晶硅、多晶硅和薄膜非晶硅太阳能光伏板。加建的部分使用锯齿状屋面结合多种形式的太阳能光伏板，以获得高效的日照角度。老建筑的立面和加建部分使用了 20% 透光率的灰色薄膜非晶硅太阳能电池板<sup>57</sup>以代替传统遮掩材料，实现了美观、遮阳和发电的多重功能。根据大学建筑设计院新办公楼导览，太阳能光伏板的总装机容量达 630kwp（千瓦峰值），年均发电量约 535 毫瓦时，每年可减少二氧化碳排放量 566 吨。

---

<sup>56</sup> 非晶硅太阳电池是指通过光电效应或者光化学效应把光能转化成电能的装置。

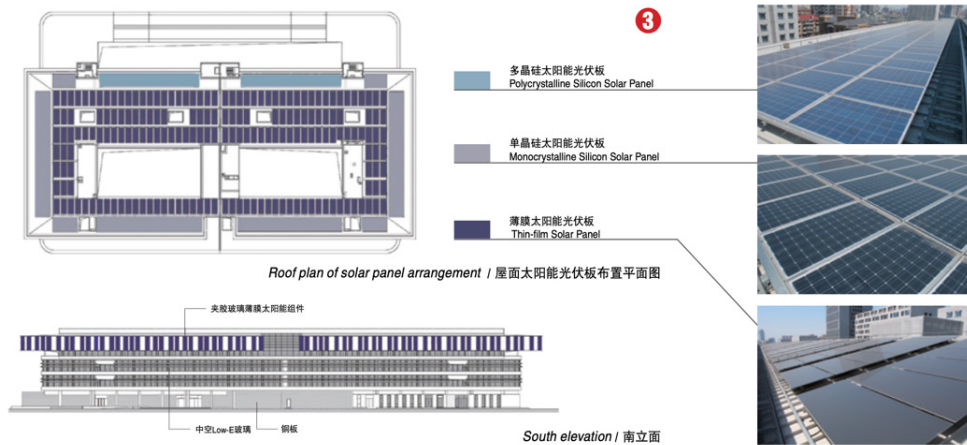


图 5-2-2 同济大学新办公楼太阳能光伏板设计（图源：同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司新办公楼导览）

## (2) 自然采光通风

设置内院和采光井引入自然光，提升空间品质和空间趣味性，也更加有效的利用自然通风，减少空调设备耗能。

## (3) 可循环材料

考虑到建筑材料对环境的危害，建筑结构的选材考虑材料的可再循环使用性。

## (4) 垂直绿化和屋顶绿化

为了减小建筑物北侧汽车尾气、散热、噪声等对办公的影响，建筑师利用了原汽车坡道两侧的挑板和护栏设置花池，种植爬藤植物。车道两侧的不锈钢网络提供了攀爬路径，形成了良好的垂直绿化景观。在原三层的屋面上也同样设置了绿化，不仅创造了舒适的办公环境同时还大大降低了建筑物能耗。

#### (5) 其他技术

此外，改造还运用了多种生态节能技术：雨水回收系统、空调回热系统、电力能源管理系统、照明智能控制系统、VRV 分户计量系统、VRV 集中管理网络系统、楼宇设备控制系统、用户能源分户计量系统等。

#### 4 荣获奖项

项目荣获 2014 年中国建筑协会建筑创作金奖，2013 年香港建筑师学会两岸四地建筑设计大赛金奖，2012 年上海青年建筑设计师“金创奖”创意大赛一等奖以及第八届远东建筑奖。

#### 参考资料

[1]<http://chla.com.cn/htm/2018/0413/267776.html>

[2] 同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司新办公楼导览

### 三、专家点评

波尔州立大学充分利用当地的地热能资源，建立美国最大的闭环区域地热能源系统，从而将校园的碳足迹减少近一半，在校园能源替代方面树立的典范。同济大学新办公楼的改造案例中，根据实际情况，利用了老建筑和加建部分建筑的老屋顶和立面安装了太阳能发电系统，实现了美观、遮阳和发电的多重功能，并取得很好减排效应。

建筑节能低碳设计整体思路是要应用节能低碳技术同建筑所处的气候条件相结合，在不同的气候条件下适用的节能低碳技术也不相同。要依据当地的特点选用适宜技术，尽量达到人们生理需求和节约能源二者之间的平衡。我国共有 3000 多所高



等学校，在校大学生约 3000 万，大学校园建筑普遍存在人员密集、功能多样、系统复杂、能耗大的特点且在建设环境、建筑策划、使用管理诸方面也有其独特的需求和特色。但是我国大学校园还我国建筑能耗居高不下、主要依赖化石能源、能源浪费严重等问题，在校园建筑节能、可再生能源替代等方面的研究还不够深入，研究水平地域差别大。非常有必要进行全面盘查摸底，建立高校校园建设与维护中校园建筑能耗数据库，分析高效筑能耗存在的问题、与绿色低碳校园标准的差距以及可再生能源替代的潜力和发展方向，制定切实可行的高校建筑能耗节约及可再生能源替代方案。

波尔州立大学和同济大学可再生能源替代的两个典型案例充分表明，充分利用当地资源、开展可再生能源替代、推动绿色低碳校园建筑不仅能满足教育者和受教育者的生理和心理需求，还能有效的降低能耗费用及运行成本，整体建筑成本也大大下降，充分展示了人文与建筑、环境与科技的和谐统一。同时，要想实现节能和可再生能源的替代，必须要考虑应用新技术、新工艺、新材料，促进资源的高效利用和循环利用，鼓励科研单位针对高效建筑节能的需求开展新型节能技术、绿色低碳技术等的研发和推广，相关管理部分还要制定并出台相关的政策、法规，合理限制能耗水平，提高节能和绿色低碳意识，为高校建筑节能工作的推进提供良好的政策保障。

**点评专家：蔡国田，中国科学院广东能源研究所能源战略研究中心副主任、博士生导师**

## 第六章

# 可持续议题倡导与活动

---

### Chapter VI Sustainability Advocacy and Activities

在当今时代，可持续发展理念已成为一种潮流，成为教育学的必然要求。校园不是单纯凸显工程设计的产物，更是一个可持续学习和实践的地方。高校中的可持续议题相关的倡导与活动可以提升学生的环保意识，更好地应对全球化气候问题。

#### 一、可持续议题倡导与活动的含义与趋势

鉴于《联合国环境宣言》自 1972 年以来就把重点放在高等教育的可持续性概念上，可持续校园的制定已日益引起国际社会的关注。《斯德哥尔摩宣言》(1972) 是将可持续发展原则引入高等教育领域的第一次尝试。随后如《塔洛雷斯宣言》(1990 年)、《哈利法克斯宣言》(1991 年)、《大学领袖促进可持续未来协会》(1992 年) 和《斯旺西宣言》(1993 年) 也作出了不断地努力与尝试。这些宣言和倡议涵盖了从校园运营到社区参与的广泛议题，以促进校园可持续发展为目标。此外，世界上越来越多的大学已经签署了这些国际宣言，这些宣言反映在越来越多的可持续发展倡议活动中。进行可持续议题的倡导与发展可持续教育，可以提升在校师生的绿色环保意识，有利于环境保护与可持续发展理念的培养，也可以进一步推进各国的绿色校园建设，促使可持续发展理念在全社会范围内的普及。我国也意识到创建绿色大学是可持续发展理念在高等教育领域的重要体现。1998 年，从清华大学开始了“创建绿色大学示范工程”，国内一批高校纷纷开始了创建“绿色大学”活动，掀起一股绿色浪潮。

本部分案例主要包括可持续议题的倡导与活动提升对校园可持续发展的认识，包括苏黎世联邦理工学院、耶鲁大学、不列颠哥伦比亚大学与普林斯顿大学。

## 二、可持续议题倡导与活动的应用与评价

### 案例 1：苏黎世联邦理工学院

#### 1. 背景简介

苏黎世联邦理工学院是第一所在欧洲建立了环境系统科学部门的大学。可持续发展在苏黎世联邦理工学院的各个部门都有着举足轻重的地位。在苏黎世联邦理工学院，“可持续性”这一理念贯穿至校内最高层领导的决策中。在该校《2017-2020 年战略与发展计划》中，可持续性问题的被列为五个重点领域之一。本汇编中将重点介绍苏黎世联邦理工学院的《可持续发展评估报告》（后简称“报告”），该报告获得了 2018 年的“Swiss Ethics”大奖。

苏黎世联邦理工学院将可持续发展原则纳入了研究、教育、校园和与社会对话四个板块。其中，在报告的“研究”一章中，本报告展示了校内研究人员如何通过科技创新实现长期发展；在“教育”板块中阐述了学校如何秉持育人为本的理念培养关注社会重大问题的一代人；在第三章“校园”中，报告介绍了校园如何结合可持续发展原则；在最后“对话”一章中，概述了公众互动和研究与教学的最新成果等。

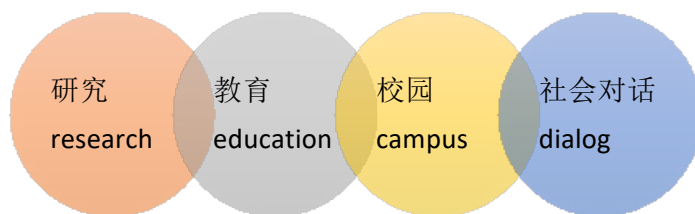


图 6-1-1 苏黎世联邦理工学院可持续发展原则  
(图源：<https://ethz.ch/en/the-eth-zurich/sustainability.html>)

## 2. 报告板块

《可持续发展评估报告》罗列了在 2017-2018 年期间一系列具体可衡量的目标，它包含了在 15 个大类别中的 41 个目标，其中大部分的目标是由改校环境委员会制定的环境目标（譬如能源，移动性，废物利用等）。这种可衡量的目标在基线测试和进度监控等环节中起到了至关重要的作用。

<b>科研</b>	加强工程、自然科学等学科与人文和社科等学科在可持续发展相关领域的合作
<b>国际合作伙伴</b>	拓展与全球高校机构的合作
	与国外一流的合作大学保持现有的联盟和网络
<b>伦理</b>	以符合法律和伦理规范评估作研究项目的研究对象
	按照《苏黎世 ETH 科研操守与科研规范指南》进行科研
<b>教育发展</b>	面对国内外优秀学生继续采取招生措施
	促进对各阶层在科学、商业和社会领域需求高的杰出人才的培养
	为即将入学的优秀研究生提供助学金和奖学金
	结合课堂教学与线上学习两种模式
	更新基础设施和添加项目以实现在线考试的数量的增加
<b>可持续发展教育</b>	增加助理和正式教授职位以提升师生指导质量和关系
	在暑期项目和冬季项目提供一系列可持续发展类课程
	提高校内博士生与非学术利益相关者之间的互动(例: 为其研究课题提供指导)
	为学生提供 一个与私立和公共机构等合作伙伴实践的平台以解决针对可持续性的问题
	为在校学生和教职工等提供了解可持续性发展的创新性的活动
<b>人才保留和发展</b>	制定一个涵盖跨部门可持续性和批判性思维相关教育活动的概述
	招聘和支持业内最优秀的科学家以保证最高质量的科研和教学
<b>多样性</b>	通过建立全面的人事发展等措施支持员工发展
	维持校内学生和教职员工的多样性
	提升学术职业等各个层面中的性别均衡

节能建筑	在新建筑中实施 MINERGIE®-ECO 标准（或类似标准）并在翻新建筑中实施 MINERGIE® 标准（或类似）
	在大型投资项目中，评估投资整个生命周期的成本、能源使用情况和排放。 在新建建筑中，只使用最先进的建筑标准和节能建筑类型
	增加在建筑工程中的雨水循环利用
能源	持续鼓励教职工、学生和公众进行与能源相关的对话
	在 Hüngrberg 校区（Aenergy Grid）的能源供应系统运行中使用符合高生态标准的能源
	2025 年前，Zentrum 校区（包括外部消费者）的总供暖需求的 50% 将被余热覆盖
排放	在 Zentrum 校区实施“总体规划能源”的第一阶段
	通过实施基于地热存储系统的“能源概念校园”（以 2006 年为基准年）于 2020 年减少 Hüngrberg 校区一半的直接二氧化碳排放量（每年 4600 吨碳排放）
移动性 *	限制航空旅行 *
	优化校园 Zentrum 和 Hüngrberg 校园之间的交通方式以增加在两个校园站点之间使用非机动车和公共的学生人数
	持续减少校园的燃油消耗量
纸张消耗	不断降低纸张消耗
	增加再生纸的使用比例
废物	在校园内举办“回收日”
	将 50% 的废物总量引流至回收流 为处理生物废物提供基础设施
食品	制定一套评估气候友好性餐饮业产品的总体评估标准
	制定一系列给餐饮公司的减少包装和推进可循环使用的餐盘的参考建议
对话	通过保持各种对话渠道，加强公众对基础科学和工程科学在政治、商业和社会中的重要性的认识
	在国家方针的基础上，为国家利益提供一系列服务

表格 6-1-1 《报告》中涵盖的 15 个大类别和 41 个小目标  
(图源：ETH Zurich Sustainability Report 2017/2018)

### 3. 管理部门和分工

苏黎世联邦理工学院的校长负责制定校园可持续发展的战略性方向。管理和实施隶属于苏黎世联邦理工学院的可持续性发展部门、安全、保安、健康与环境 (SSHE) 部门、房地产管理部门、以及移动平台 (Mobility Platform) 部门。

### 4. 评估模式



图 6-1-2 报告中运用的 4 个阶段的图标  
(图源：ETH Zurich Sustainability Report 2017/2018)

根据表格 6-6-1 中罗列的 41 个目标, 报告在评估模式中增加了四个阶段“未完成”“正在进行”, “正轨中”, “已完成” (图 6-1-2)。在表格 6-6-1 中, 每大类别下会一个简短的总结, 其中罗列了具体目标、现有措施和目标阶段。图 6-1-3 中包含了“能源”一章节后的简短总结范例。譬如, 图 6-1-3 中的第三个目标处于“正轨中”这一阶段: 苏黎世联邦理工学院计划在 2025 将中央校区 (Zentrum Campus) 中通过余热达到 50% 供暖需求。报告中的现有措施中写道: 2017-2018 年间, 中央校区分别有 13.1% 和 11.5% 的总供暖需求是通过余热实现的。

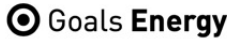




 <b>Goals Energy</b> <small>具体目标</small>	<small>现有措施</small>	<small>STATUS</small> <small>目标阶段</small>
<p><b>Continue to encourage energy-related dialogs with employees, students, and the public</b></p>	<p>During the reporting period, no large-scale information campaigns were launched to encourage this dialog. Plans for new initiatives are currently being elaborated.</p>	
<p><b>For operation of the energy supply system at Campus Hönggerberg (Anergy Grid), ETH Zurich will use energy from sources that comply with high ecological standards</b></p>	<p>The Anergy net on Campus Hönggerberg was further expanded by the construction of the new HI-central, ensuring the connection of HIB/HIF/etc. to the Anergy Grid. Currently, 8.5 GWh of heating and 10.4 GWh of cooling is supplied from the Anergy Grid. At its current status, it needs 2.9 GWh for operation of the pumps and other auxiliary systems. A collaboration with the ETH Zurich Professorship of Process Engineering (D-MAVT) has been established for the continuous simulation and modelling of the energy flows in the system, with the aim of optimising its operation and future expansion. The strategy for perspective development of the Anergy Grid was remodelled and new targets were set for 2026/2030.</p>	
<p><b>By 2025, 50 percent of the total heating requirements on Campus Zentrum (incl. external consumers) will be covered by waste heat</b></p>	<p>In 2017 and 2018, 13.1 percent (6,362 GWh of 48,532 GWh) and 11.5 percent (5,471 GWh of 47,621 GWh) of the total heating requirements on Campus Zentrum were covered by waste heat (6,362 GWh of 48,532 GWh).</p>	
<p><b>Implement first phase of "Masterplan Energy" at Campus Zentrum</b></p>	<p>The implementation of the Masterplan Energy at Campus Zentrum was initiated in 2017. In this process, the Walche heat pump was shut down and dismantled due to inefficiency. Currently, heating demand is primarily covered by district heating (from incineration plant). Between 2017 and 2022, over CHF 16 million will be invested for the first two stages of the new cooling network that connects all five cooling plants on Campus Zentrum. The cooling network, which will be finalised by 2022, is a basic prerequisite for the connection of ETH Zurich to a possible lake water supply system for cooling and heating.</p>	

图 6-1-3 报告评估能源章节中的范例  
 (图源：ETH Zurich Sustainability Report 2017/2018)

## 5. 评估亮点

### ① 结合多重标准

苏黎世联邦理工学院《可持续发展评估报告》结合了两种评估系统：全球报告倡议组织 (Global Reporting Initiatives, 简称 GRI) 标准和国际可持续校园联盟的可持续校园章程 (Sustainable Campus Charter of the International Sustainable Campus Network, 简称 ISCN), 同时在 2017-2018 年的报告中第一次在板块中对应了联合国的可持续发展目标 (SDGs)。

### ② 多维度的校园温室气体排放量计算

报告中的温室气体排放计算在“排放”章节中。苏黎世联邦理工学院中的温室气

体排放核算体系借鉴了温室气体核算体系<sup>58</sup>（GHG Protocol）的指引方针，将排放分为三个大范围（Scope），除了校园自身运营过程中的排放，还纳入了购买的电力与商务出差等排放（图 6-1-4）。图 6-1-5 为苏黎世联邦理工学院在 2010-2017 根据三大区间划分的碳排放量。

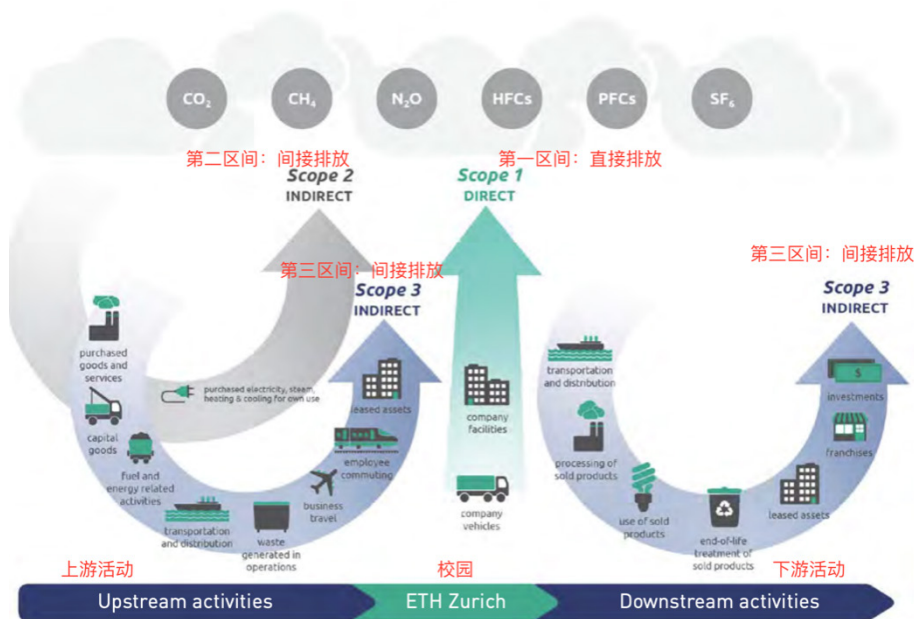


图 6-1-4 报告中温室气体排放核算体系分为三个区间和多个维度（图源：ETH Zurich Sustainability Report 2017/2018）

<sup>58</sup> GHG Protocol 涵盖了《京都议定书》规定的六种温室气体：二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷（CH<sub>4</sub>）、氧化亚氮（N<sub>2</sub>O）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟化碳（PFCs）和六氟化硫（SF<sub>6</sub>）的核算和报告指导。作为第一个专门针对公司或项目的温室气体报告准则，GHG Protocol 规定了计量和报告温室气体排放的相关会计问题，体现了对温室气体的盘查，逐渐由企业履行社会责任提升到以一种碳资产来对待。



**CO<sub>2</sub> emissions 二氧化碳排放量**  
in metric tonnes of CO<sub>2</sub> equivalent per year

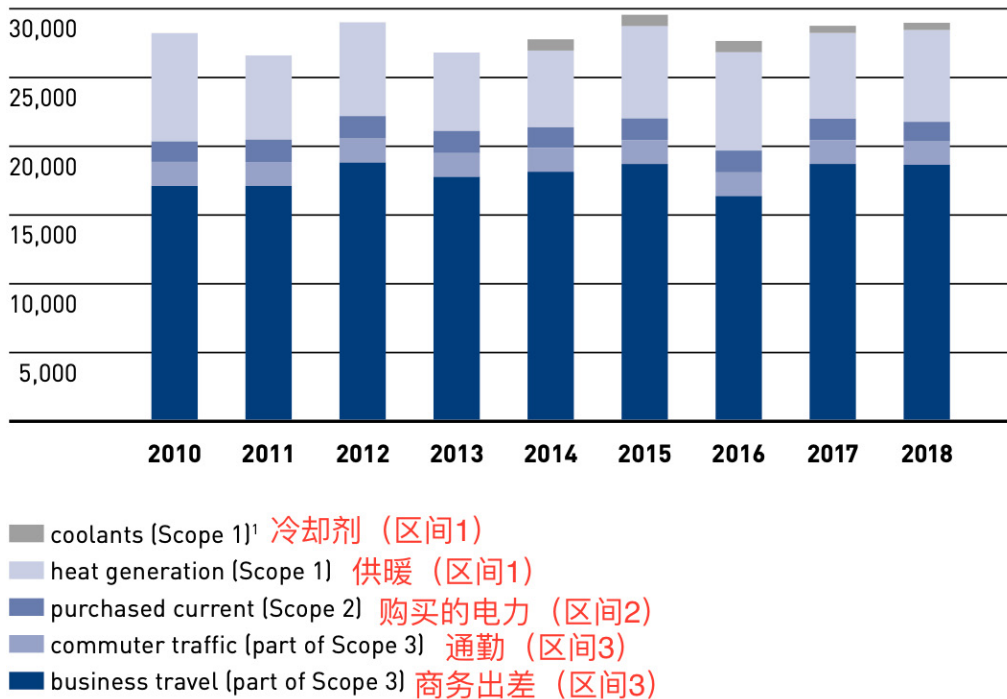


图 6-1-5 根据三个区间划分的 2010-2018 的碳排放量  
(图源：ETH Zurich Sustainability Report 2017/2018)

参考资料

- [1]Greenhouse Gas Protocol [[EB/OL]. [2020-06-09]. <https://ghgprotocol.org/>.  
 [2]Sustainability Report[EB/OL]. [2020-06-09]. <https://ethz.ch/en/the-eth-zurich/sustainability/context/sustainability-report.html>.

## 案例 2：耶鲁大学

### 1. 背景概述

1900 年，耶鲁大学成立了美国第一所林业学院，该学院不仅培养了首批林业工作者，还开拓了一场环境运动，结合了土木建筑、废物管理、能源生产、科研、教研等等领域塑造了我们对环境保护、环境教育的现代化观念。耶鲁大学林业学院在 2020 年改名为耶鲁大学环境学院（原耶鲁大学森林与环境学院）。2005 年，耶鲁大学正式建立了校园可持续发展部门，负责制定和协调校园可持续发展战略。4 年后，耶鲁大学所有校园建设施工都遵循可持续建筑标准。2012 年，耶鲁大学的温室气体排放比 2005 年同比减少了 16%。

2016 年，耶鲁大学对外发放了学校的《2025 年可持续计划》（英文原名：[Yale Sustainability Plan 2025](#)）计划中提及了九个大方向，包括：

- (1) 领导力：领头发展可持续领域中的教学、科研、服务和运营；
- (2) 气候变化行动：采取紧急行动应对气候变化并积极应对其影响；
- (3) 移动：通过可持续运输促进和支持人类和生态系统健康；
- (4) 赋能：促进多元化和包容性的可持续发展运动；
- (5) 管理：设计和保留具有适应性和可持续性的基础设施和景观；
- (6) 材料：确保可持续的消费和处理废物模式；
- (7) 健康：增强健康、福祉和生态系统活力；
- (8) 建筑环境：设计、建造和维护可持续建筑。
- (9) 科技：探索创新技术平台，应对可持续发展挑战

同时，耶鲁大学的各个院系都贯彻了学校的可持续发展目标，并结合自身学科和学院的情况制定了各学院的行动计划。

### 2. 环保证书（Green Certification）

耶鲁大学气候变化行动体现在它为社区群体提供的一系列指导方针。该方针不仅仅覆盖了在校学生，还包含了工作人员、教职人员等等人群。耶鲁大学认为个体

意识形态和行为的改变是除了校园基础建设的改良之外较为重要的一个环节，在应对气候变化时有着巨大的影响。因此，耶鲁大学为校园社区提供了一系列能够让大众参与的项目和活动，提倡所有人参与到应对气候变化行动中。学校从绿色通勤、减少用纸量、节约用水、节约用电、绿色购物等等方面给予了具体的指导。其中耶鲁大学提供的环保证书是作为一个能让参与者有低碳生活仪式感的重要方式之一。

耶鲁大学有学校可持续发展部门颁发的不同版本的“环保证书”，用于不同的场所和活动，例如组织活动、日常办公、实验室、体育运动等。获取环保证书的方式通常是通过填写网页上对应的一览表 (Checklist) 来获得的。

以绿色办公室为例，绿色办公环保证书的申请过程相对简单（见图表 6-2-1），但颁发的证书被划分为四个等级，分别是：Y (achieve 15 分以上), Y-A (25 分以上), Y-A-L (35 分以上) or Y-A-L-E (45 分以上)。绿色办公室的申请由办公场所中的个体自主确立绿色办公的团队和成立专门的项目团队。在展开对话讨论办公场所现存的环境问题和解决方式后，项目团队可以根据耶鲁大学可持续发展部门在官网上提供的“绿色办公清单”，进行分工和改造。“绿色办公清单”被分为五个大板块，分别为食品与福利、材料管理、自然与建筑环境、能源和领导力。例如“我们鼓励员工使用楼梯而不是电梯，并在午餐时步行”这一项提议被列在清单中的食品与福利板块中。同时，每项提议中也会涵盖具体的科普性资料。最后，可持续发展部门会根据项目团队提交的“绿色办公清单”中的分数来评估办公场所并颁发相应等级的证书。

- **定义您的工作场所。** 工作场所可以是一组共享同一公共区域的连续办公室，也可以是一组作为一个单位一起工作但位于不同空间中的工作人员。
- **完成清单。**
- **[通过电子邮件将清单发送给可持续发展办公室。](#)** 我们将审核您的提交并向您发送证书！

图表 6-2-1 具体步骤

(图源：<https://ehs.yale.edu/green-lab-certification>)

### 3. 其他场所

除了绿色办公，耶鲁大学还提倡在其他场合贯彻可持续发展理念。例如，绿色活动 (Green Event)、绿色实验 (Green Labs) 和绿色体育 (Green Athletics)。绿色活动认证并鼓励活动策划者在资源组织可持续性活动时采取的行动。这种可持续性活动包含了低碳、低经济成本和社会成本等方面。绿色活动的环保认证同时也让普通参与者更加有参与感和仪式感；不同于绿色办公室，绿色实验意在评估实验室在可持续发展领域的程度；绿色体育以体育小组为单位，在每个学期末，通过环保证书者这一机制鼓励低碳生活的团队。

#### 参考资料

[1]Green Certifications | Yale Sustainability[EB/OL]. [2020-06-19]. <https://sustainability.yale.edu/take-action/green-certifications>.

[2]Green Laboratories Certification | Yale Environmental Health & Safety[EB/OL]. [2020-06-19]. <https://ehs.yale.edu/green-lab-certification>.

[3]Homepage | Yale Sustainability[EB/OL]. [2020-06-11]. <https://sustainability.yale.edu/>.

[4]Yale Sustainability Plan 2025.pdf [2020-06-11]. <https://yale.app.box.com/s/xagi53f5qvpklkv31zdebe8rilgt3b6x>.

### 案例 3：不列颠哥伦比亚大学（UBC）

#### 1. 背景概述

1990 年，不列颠哥伦比亚大学（UBC）签署了塔乐礼宣言<sup>59</sup>（The Talloires Declaration），决定在“十点”行动计划的指引下在高校中结合可持续性发展这一概念。1997 年，UBC 成为第一所在加拿大采取可持续性发展方针的高校。1998 年，UBC 成为第一所开设可持续性部门的高校。目前，学校对于可持续性发展的方针计划由校内的八个部门互相协调合作（图 6-3-1）。2019 年，UBC 在《泰晤士高等教育》<sup>60</sup>（Times Higher Education）的应对气候变化排行榜中位列第一。

---

<sup>59</sup> 塔乐礼宣言，又译作泰洛伊里斯宣言、塔洛雷斯宣言，是目前国际公认，大学推动可持续发展最具指标意义的文件。塔乐礼宣言源自于 1990 年「大学在环境管理与永续发展的角色」国际研讨会中，由 22 位大学校长与主要领导人共同发起签署的宣言，讨论全球环境问题、管理与永续发展。至 2003 年 1 月为止，全世界共有 293 所大学参与联署。

<sup>60</sup> 《泰晤士高等教育》（Times Higher Education，简称 THE），是一份英国出版的高等教育报刊。泰晤士高等教育世界大学排名是公认的四大权威大学世界排名之一。



图 6-3-1 UBC 可持续性发展方针中的主体部门  
(图源：<https://sustain.ubc.ca/about/who-we-are>)



图 6-3-2 UBC 可持续发展学者计划（图源：<https://sustain.ubc.ca/teaching-applied-learning/sustainability-scholars-program/how-it-works>）

## 2. 可持续发展学者实习计划简介

可持续发展学者实习计划（后简称“实习计划”）是 UBC 一项创新旗舰项目。通过将校内研究生与校内外的可持续性合作伙伴做配对，可持续发展学者计划得以开展实践应用性研究项目，以促进整个地区的可持续性发展。其中，研究项目涵盖了可持续发展的不同议题，包括了气候适应、当地食品、绿色采购、运输、零废物、绿色建筑、温室气体减排、生物多样性和健康等等。此计划不仅为校内学生提供了参与调研项目的带薪实习机会，还为学生匹配了相对应的导师以支持学生的职业和学术生涯发展。

### ①项目周期和内容

实习计划对校内的研究生和博士生开放申请。实习计划通常为 15 - 21 周，工作时长为 250 到 500 小时不等，薪资通常为每小时 25 加币。当地的合作机构导师

协助和指导匹配的实习生完成相对应的工作内容。截止 2020 年，与 UBC 合作的机构有 BC Hydro、TransLink、Vancouver Coastal Health、温哥华政府、不列颠地区政府以及几个 UBC 部门。作为 UBC 的可持续发展学者，实习生有机会参与到的工作有：撰写文献评论、开展案例研究、准备可行性研究、建立和评估生命周期成本核算工具、撰写商业案例、开发和开展环境扫描、编制温室气体排放清单、开发工具包、设计、实施和分析调查、起草政策文件、制作 GIS 地图等。

## ②项目成果

在实习项目工作完成后，实习生需要在年终会进行汇报工作，提交最终的展示成果，并在可持续发展学者项目展示资料库（Sustainability Scholar Project Library）中分享。



### Adapting to Sea Level Rise in Vancouver's Employment Lands

This project aims to identify best practices in planning for sea level rise for employment lands in the City of Vancouver, including industrial and port lands. Includes a summary of tools and approaches found in the literature and used by other jurisdictions including land use/regulatory tools, engineering, financial tools, economic resilience planning, multi-stakeholder engagement and public awareness and education. Implementation considerations and recommended next steps are provided.

Partner: City of Vancouver  
Keywords: climate and renewables, green economy, healthy city

Built Environment & Mobility, Climate Change & Energy, Policy, Economics & Governance | UBC Sustainability Scholars report | PDF | 2019 | Author: Halina Rachelson



### Estimating greenhouse gas emissions from food: A case study on the City of Vancouver's food procurement practices

This project assesses the GHG impact of the City of Vancouver's food procurement practices and identifies policy priorities, considering other municipalities' work and equity challenges associated with implementing changes within institutional food provision. This analysis suggests that the most effective GHG emission reduction strategy is a dietary shift away from meat, particularly beef and pork, but strong partnerships with stakeholders are required to understand existing inequities in choices among clientele

Partner: City of Vancouver  
Keywords: climate and renewables, lighter footprint, local food

Climate Change & Energy, Policy, Economics & Governance | UBC Sustainability Scholars report | PDF | 2019 | Author: Poushali Maji



### Measuring the Value of Vancouver's Circular Economy of Food

This project advances Vancouver's Circular Economy of Food (CEF) by answering two questions:

1. Which indicators best track the valorization of waste?
2. What is the economic value of our local CEF?

An AHP survey was designed and distributed to a panel of CEF related professionals. The results validate two KPIs from a set of indicators. The CEF's economic value for the region of Metro Vancouver is calculated and an initial policy & action plan presented.

Partner: City of Vancouver  
Keywords: green economy, local food, zero waste

Climate Change & Energy, Policy, Economics & Governance, Production, Consumption & Waste | UBC Sustainability Scholars report | PDF | 2019 | Author: Dionissios Batistatos

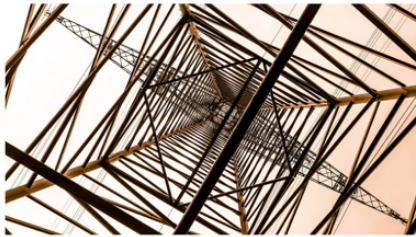
图 6-3-3 可持续发展学者项目展示资料库 ( 图源 : <https://sustain.ubc.ca/teaching-applied-learning/sustainability-scholars-program/project-library> )



### ③范例：项目报告

2019年，可持续发展学者 Halley Sveinson 在项目合作伙伴 BC Housing 的指导下参与了实习计划，并且出版了该项目报告（图 6-3-4）。该报告中通过研究温哥华市 BC Housing 旗下的老旧房屋案例，分析了翻新老旧建筑时使用的节能减排手段遇到的难点，进行了进一步的探讨。

## DEVELOPING ENERGY EFFICIENT RETROFIT STRATEGIES TO ACHIEVE GREENHOUSE GAS EMISSION REDUCTIONS IN BC SOCIAL HOUSING



This project identifies the barriers of energy conservation measures through case studies. Strategies are currently being developed by BC Housing to determine the most impactful energy conservation measures that can achieve the Clean BC 50% greenhouse gas emission reduction target. Increasing the building envelope's R-Value, switching to an air source heat pump fuel source, and ventilation upgrades are impactful strategies for deep energy savings.

Partner: BC Housing  
Keywords: green buildings, GHG reduction

**FILE DOWNLOAD**  
[2019-44\\_Developing\\_Energy\\_Efficient\\_Retrofit\\_Strategies\\_Sveinson.pdf](#)

**TOPIC**  
[Built Environment & Mobility](#)  
[Climate Change & Energy](#)

**AUTHOR** Halley Sveinson  
**PUBLICATION TYPE** [UBC Sustainability Scholars report](#)  
**YEAR OF PUBLICATION** 2019

图 6-3-4 范例：项目报告（Halley Sveinson\著）

### 参考资料

[1]Developing Energy Efficient Retrofit Strategies to Achieve Greenhouse Gas Emission Reductions in BC Social Housing[EB/OL]. sustain.ubc.ca, 2019-09-25. (2019-09-25)[2020-06-11]. <https://sustain.ubc.ca/about/resources/developing-energy-efficient-retrofit-strategies-achieve-greenhouse-gas-emission>.

[2]Project Library[EB/OL]. sustain.ubc.ca, 2019-11-28. (2019-11-28)[2020-06-11]. <https://sustain.ubc.ca/teaching-applied-learning/sustainability-scholars-program/project-library>.

[3]Who We Are[EB/OL]. sustain.ubc.ca, 2019-01-15. (2019-01-15)[2020-06-11]. <https://sustain.ubc.ca/about/who-we-are>.

[4]Teaching & Applied Learning[EB/OL]. [2020-06-11]. <https://sustain.ubc.ca/teaching-applied-learning>.

[5]<https://sustain.ubc.ca/teaching-applied-learning/sustainability-scholars-program/how-it-works>

## 案例 4：普林斯顿大学

### 1. 背景概述

2008 年，普林斯顿大学发布了该校的第一份可持续发展行动计划，《2008 年可持续发展行动计划》。该计划设定了三个大目标，包括了减少温室气体排放量，实现资源节约和鼓励科研、科教和社区互动。在第三个目标——“鼓励科研、科教和社区互动”中，普林斯顿大学介绍了该校的一项创新性项目——“校园作为实验室”或“Campus as Lab”（后简称 CAL 计划），将可持续发展这一理念贯彻至校内的课程、科研、科教中。

自 2008 年起，普林斯顿大学的“校园——生活实验室计划”（简称：CAL 计划）使得学生和教职员工均可使用校园作为可持续发展相关科研的研究实验室。近年，普林斯顿大学在 2008 年行动计划的基础上发布了《2019 年可持续发展行动计划》，该计划中设立了更为细致的目标（图 6-4-1）和设立了普林斯顿大学 2046 碳中和目标（图 6-4-2），同年也是该校建校 300 周年之际。

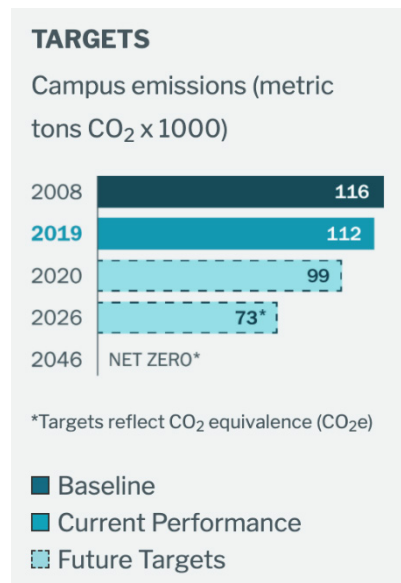


图 6-4-1 普林斯顿大学 2046 年碳中和计划 (图源：<https://sustain.princeton.edu/sustainability-action-plan/ghg-emissions>)



图 6-4-2 普林斯顿大学的 2019 年计划中罗列的可持续发展目标（部分）  
（图源：<https://sustain.princeton.edu/sustainability-action-plan>）

## 2. 校园——生活实验室计划“Campus as a Living Lab”（CAL 计划）

### ① 科研和科教目标

CAL 计划通过利用校园本身作为可持续发展问题的实验室，学生得以在跨部门和学科合作中确立自己的科研主题。普林斯顿的 CAL 计划在社会、环境和运营等层面都有着卓越的贡献，在科研和学习中触及和开拓的领域均能促进校园、当地社区的世界各地的可持续性。

### ② 科教形式

CAL 计划将普林斯顿的校园用于可持续发展研究并为在校生提供了沉浸式学习的体验。该项目中的科教科研项目覆盖了各可持续发展行动领域并实现了跨学科知识的运用。此外，学校还开发了一个供在校生或调研者参考的议题数据库，用户可以检索对应行动领域和学科中可研究的议题（图 6-4-3）。

### ③科教成效

该项目的成果在校园官网进行了细致的展示。例如，图 6-4-4 中是普林斯顿的 Aarav Chavda, Kirk Robinson, Benjamin Sorkin 团队在 CAL 计划的课题——电动船发动机。在本科期间，该团队希望通过设计一项供电动船使用的发动机而使得校园划船队更加可持续。他们希望该设计也可以被用于航海行业中，不仅仅能够减少船只的碳排放量，还能够改善水质量和建立健康的海洋生态系统（图 6-4-4）。目前，普林斯顿大学正在进行四项分别由学生和教授带领的 CAL 项目，涵盖了调研校园厨余垃圾堆肥、校内使用的不可持续的棕榈油产品、通过科技减少周边空气污染等议题。

**FILTER 筛选**

Keyword **关键词**                      Action Area **行动领域**      Discipline **学科**

Apply Filters

**分析校园雨水径流中的微生物并就改善径流的雨水管理实践提出建议**  
 Analyze microbes present in campus stormwater runoff and make recommendations about stormwater management practice that could improve runoff quality.

---

ACTION AREA: **行动领域:**  
**Stormwater Management, Healthy Habitats 雨水管理系统, 健康栖息地**

DISCIPLINE: **学科:**  
 Chemistry, Environmental Studies, Molecular Biology **化学, 环境研究学, 分子生物学**

**将博弈论运用到可持续发展性挑战**  
 Apply game theory to sustainability challenges.

---

ACTION AREA:  
**GHG Emissions, Water Usage, Stormwater Management, Design & Develop, Healthy Habitats, Alternative Commuting, Purchasing & Waste**

DISCIPLINE:  
 Computer Science, Psychology

图 6-4-3 普林斯顿大学 CAL 计划供调研者参考的科教和科研议题检索 (图  
 源：<https://sustain.princeton.edu/campus-lab/research-questions>)



图 6-4-4 普林斯顿大学 Aarav Chavda, Kirk Robinson, Benjamin Sorkin 的课题——电动船发动机  
(图源：<https://sustain.princeton.edu/campus-lab/research>)

### ⑤校园数据库

学生教职工在进行科研和科教项目时可以利用学校的诸多校园数据库，包括了校园能源数据库、校园能源热图、校园水文气象数据库、校园食物进购数据、校园卫星信息、校园废物数据库以及校园自然栖息地信息。其中前三项，校园能源数据库、校园能源热图以及校园水文气象数据库都在官网上对外公开。Tiger Energy 平台数据库<sup>61</sup>实时展示了学校的能源供应和适用情况，其中的能源数据包括了校园太阳能

---

<sup>61</sup> Tiger Energy 是由普林斯顿大学机构、普林斯顿可持续发展办公室和 wattvision 公司共同开发的平台，该平台用彩色、易懂的图表详细分析了校园能源供应和使用情况，用于辅助普林斯顿大学完成 2046 年温室气体净零排放的目标。

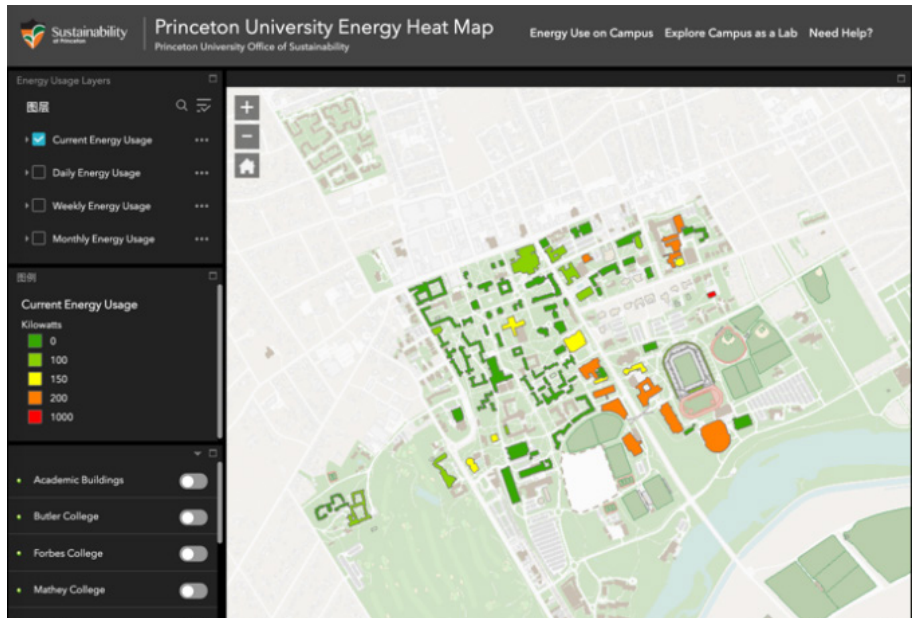


图 6-4-5 普林斯顿大学校园能源热图（图源：<https://pufac.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=354ef8489e0a4b8cbc41120060fbad54>）

阵列<sup>62</sup>和中央工厂燃气轮机、汽轮机、冷水机和蒸汽。值得一提的是，校园能源热图是在 2015 年由三位在校生开发而成，其产出也是当时一门课的期末项目和 CAL 计划项目。他们将校园建筑的能源使用情况通过一目了然的方式展示。可视化的网站允许用户在不同时间段读取校园内不同建筑物的能源消耗情况（图 6-4-5）。

此外，普林斯顿大学还有五个环境监测站作为气象数据收集点，并由气象科研小组负责测量、分析及建模与水文循环相关数据。

<sup>62</sup> 普林斯顿的新太阳能收集场拥有 16,500 块光伏板，占地 27 英亩，是美国大学中最大的单座太阳能收集器领域之一。

### 参考资料

[1]<http://hydrometeorology.princeton.edu/>.

[2]Campus as Lab[EB/OL]. Office of Sustainability, [2020-06-20]. <https://sustain.princeton.edu/campus-lab>.

[3]Campus as Lab Research[EB/OL]. Office of Sustainability, [2020-06-20]. <https://sustain.princeton.edu/campus-lab/research>.

[4]Monitoring Stations[EB/OL]. Google My Maps, [2020-06-20]. <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1bWLRbG5Hx6QALZjtUSHNeoMEI9o>.

[5]Office of Sustainability[EB/OL]. [2020-06-20]. <https://sustain.princeton.edu/>.

[6]TigerEnergy: Campus-wide Energy Data from Princeton University's Sustainability Office[EB/OL]. [2020-06-20]. <https://tiger-energy.appspot.com/home>.

[7]<https://sustain.princeton.edu/campus-lab/research>

[8]<https://pufac.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=354ef8489e0a4b8cbc41120060fbad54>



### 三、专家点评

2007年，联合国政府间气候变化委员会（IPCC）在第四次评估报告中指出，近百年来全球地表温度上升了 $0.74^{\circ}\text{C}$ ，全球气候变化已是不争的事实。然而全球气候的变化使得越来越多国家关注温室气体对于气候的影响，并开始致力于碳减排，各级组织与机构都积极参与，在全球范围开展了不同领域与节能减排相关的活动。

校园是学生和教职工工作和生活的区域，提倡校园节能减排，不但直接产生低碳环保效益，而且对学生节能减排教育，对整个社会起到示范作用。从这个角度看，“可持续议题倡导与活动”章节中精选苏黎世联邦理工学院、耶鲁大学、不列颠哥伦比亚大学（UBC）、普林斯顿大学四所高校就校园能耗以及教职工个人与能耗相关的行动开展研究很有意义。

苏黎世联邦理工学院作为第一所在欧洲建立了环境科学院系的大学，始终将可持续发展原则纳入研究、教育、校园和社会对话四个板块值得赞赏。与国内低碳校园建设关注主要聚焦在校园节能减排方面相比，苏黎世联邦理工学院则更为系统全面。遗憾的是，案例选编时涉及教育板块的内容不够丰富，希望有机会再做补充。苏黎世联邦理工学院科学城校区从空间规划、能源利用、建筑设计与智能建造等方面全面贯彻能源与气候应对策略，该校区规划设计以人与环境的协同发展为理念，通过高密高效的空间规划、整体统筹的能源利用、长效应变的开放空间设计、学科协同的先进建造与高科技材料技术的应用等策略，实现了从规划到运营的全生命周期的“可持续性”。高校发展规划牵涉到广大校园共同体成员的切身利益，如果他们缺少参与，就很难产生与学校共命运的共同体意识，也无法为学校的长远发展尽一份力量。同时，基层的意见如果得不到充分的反映、很多深层次的问题无法解决，规划在实施过程中就会遇到很大阻力，或者得不到真正的实施。另外，该学院的“多维度的校园温室气体排放量计算”很有特色。将排放分为校园自身运营过程中的直接排放和与购买电力以及商务出差相关的间接排放。后者又细分为校园活动的上下游产品与服务的排放。在中国正在制定碳减排和碳中和的背景下，苏黎世联邦理工学院的作法值得借鉴。

耶鲁大学从事可持续研究与发展已超过一个世纪，长期以来被视为高校绿色发展的“样板”，耶鲁大学坚持把可持续发展作为大学各项事业的“高优先级”，出台了为期6年的可持续战略规划，把绿色发展确定为大学的长期战略目标。自2005年，耶鲁大学正式建立了校园可持续发展部门，后续校园建设的施工项目都遵循可持续建筑标准。在实行可持续发展的过程中，耶鲁大学不仅仅是提出了可持续发展的政策目标，而且非常注重在过程的持续不断改进。2020年7月，该大学森林与环境学院在改名为环境学院，反映了对可持续发展理念和提供应对全球持久挑战的全面整合与深度承诺。

据统计，2012年耶鲁大学的温室气体排放比2005年同比减少16%。可见可持续发展不能停留在高校发展规划的文本上，必须落实到学校工作的各个方面。可持续发展大学的建设需要很强的操作性，从耶鲁大学的案例中可以看出，它不仅公开提出了耶鲁大学2025年可持续计划，而且具体化为9个大方向，贯彻落实到大学的各个院系，并结合自身学科和学院情况制定了更符合实际情况的行动计划。耶鲁大学还为社区群体提供一系列指导方针和一些能够让大众参与的项目和活动，从绿色通勤、减少用纸量、节约用水、节约用电、绿色购物等等多方面给予了具体的指导。参与范围不仅仅覆盖了在校学生，而且包含了工作人员、教职人员等人群，以此提倡所有人参与到应对气候变化行动中。可持续发展若只是停留在口号上，就无法真正发挥作用。因此，我国高校有必要借鉴耶鲁大学的经验，在发展规划中明确提出可持续发展的政策目标、任务计划、人力物力保障，并在实际工作中督促、推动各部门及人员的到位和工作的进展，使可持续发展落实到学校的各项实际工作中。编者在收集分析耶鲁大学的案例时，对“低碳校园”的理解存在偏差，有必要补充该校在研究和教学方面的资料。

不列颠哥伦比亚大学（UBC）作为加拿大顶尖高校之一，在1990年签订塔乐礼宣言（Talloires Declaration）。该宣言是目前国际公认，大学推动可持续发展最具指标意义的文件，至2003年1月，全世界共有293所大学签署。在1998年，UBC就成立了加拿大第一个校园可持续发展办公室，并设立了若干可持续发展研究团队，有力地推动了可持续发展大学的建设。UBC校园可持续发展办公室的研究团队多年来鼓

励和吸收了对 UBC 可持续发展问题感兴趣的校园主管领导、院系负责人、教授及学生参与。而 UBC 开展可持续发展学者实习计划则是更偏向于实践开展，通过研究、教学和运转，在向 UBC 的学生和职员中持续地灌输可持续发展理念，也与校内外的可持续性活动配对开展活动。该实习计划涵盖了如气候适应、绿色建筑、零废物、温室气体减排和生物多样性及健康等多项议题可持续发展的议题。多年来，UBC 将努力使校园所有成员参与可持续发展目标的实现”作为其工作的基本理念之一，积极致力于减少校园能源消耗，鼓励绿色建筑工程，使校园的所有成员都可切身参与可持续发展目标的实现。UBC 校园可持续发展办公室在开展研究时强调，应当使校园共同体成员都参与到规划目标和评估标准的制订及实施的监测过程中。相比之下，我国一些高校在制订发展规划的过程中，很多教师、学生和一般工作人员参与还不够，对规划过程的监控和效果的评估参与也比较少。

普林斯顿大学的案例中提到，该校在 2008 年发布了第一份《可持续发展行动计划》，共设立三个大目标，七个大方向。其中“校园作为实验室”（简称 CAL 计划）的创新项目尤为独特，该项目利用校园本身的资源让学生们得以在跨部门和知识领域中摸索自己的科研主题，该项目为可持续发展教育提供可供选择的实践方案和建设性意见；为这些实践方案付诸实施创造条件；为在可持续发展教育研究中建立一个跨学科项目的设想提供支持。该校还开发了议题相关的数据库，可供在校生或调研者检索和参考资料。我国内高校可以学习这个经验，对于建立跨学科体系，促进跨学科发展，对原有学科体系转向研究领域相互影响、相互作用的方向发展有着积极作用。

在建设中国低碳校园的实践过程中，在借鉴国外经验的同时，也需充分考虑到当前中国的国情和高校情况，针对自身的实际情况作出适当的调整。对于如何将社会和生态的可持续发展融入到大学的教学和各部门的实际业务中，如何在学校的日常生活中体现可持续性等一系列问题值得我们深思。要做到强调目标达成的同时，也要注重过程的持续改进，走出一条真正符合中国国情的高校可持续发展之路。

## 附录（英文概览）

# Chapter I

---

## Campus Low-Carbon Planning Strategy

After the large-scale construction and development at the end of last century and the beginning of this century, the main development concerns of domestic colleges and universities have changed from "quantity" to "quality". In addition to the application of technical measures such as water and energy saving to campus buildings, more and more universities have begun to interpret low-carbon campus construction from the perspective of overall campus planning in more comprehensive aspects. The development of university campus is restricted by various factors such as campus environment, so the low-carbon transformation is not only an issue of campus greening or the green transformation of a building, but also a systemic issue involving whole campus environment and various factors.

As It is mentioned in the Guidelines for The Construction Management and Technology of Conservation-oriented Campuses (Implementation),when pursuing a "conservation-oriented campuses", people should consider all energy conservation and environmental protection measures in an overall way within the whole life cycle

of campus facilities, satisfying the dialectical relationship between campus functions while paying attention to the unification of social benefits, economic benefits and environmental benefits. Its key work includes: establishing campus energy conservation supervision system, paying great attention to the campus building energy conservation, strengthening campus conservation education. In the US, the Sustainability Tracking, Assessment & Rating System (STARS) evaluates the school's sustainability on several aspects of academics, engagement, operation and Planning & Administration, followed by awarding the school with medals of different grades of platinum, gold, silver and copper.

This chapter focuses on the overall program of the campus and presents three cases of relatively complete and systematic low-carbon campus planning strategies from the aspects of the overall form, structural layout and hardware facilities of the campus. The three cases include Georgetown University, International Campus, Zhejiang University and Tianjin University.

### **Case 1 : Georgetown University**

Georgetown University regards sustainability and artificial growth as the core principles of its overall plan for 2036, and uses the "Campus Plan" (2017-2036) as guidance of its sustainable development for the next 20 years . At the same time, the school also collaborate closely with the Georgetown Community Partnership (GCP) to ensure that a high-quality life is maintained in the shared community.

Since 2009, all new buildings and major renovations of Georgetown University will meet the LEED environmental design standard of the US Green Building Council, reaching the silver level or higher. Among them, 75% of construction waste in the SCS College Park is transferred from landfills. The John Thompson Inter-School Sports Center (TAC) collects roof runoff to save rainwater for reuse, as well as adopting green roofs to provide habitat for wildlife and thereby minimize the urban heat island effect.

Leo's'Donovan Dining Hall at Georgetown University has worked on many aspects of the dining plan, including reducing waste, reducing water and resource consumption, increasing sustainable food and reducing carbon footprint.

In terms of transportation, Georgetown University encourages alternative modes of travel to replace cars. Doing so can not only reduce the financial costs associated with parking and maintaining cars, but also benefits personal health by increasing daily activities such as walking and cycling.

In 2006, Georgetown University President John J. DeGioia promised that by 2020, the school's greenhouse gas emissions would be reduced to at least 50%. In 2014, the school's greenhouse gas emissions has been lower than it was in 2006 more than 71% through purchasing green electronic certified renewable energy. It is remarkable for achieving the goal ahead of schedule. Since then, the school has continued to invest a series of energy-saving measures, which save at least 3.3 million kilowatt-hours of electricity and 82,000 MMBtu each year [ Representing one million British thermal units, one million British thermal units. Btu refers to a unit for calculating heat used in Britain, the United States and other countries. It is equal to the heat required to increase the temperature of 1 pound of pure water by 1F (1° F=5/9° C temperature difference). ], equals to reducing 5,500 metric tons of carbon dioxide or planting more than 140,000 new trees.

## **Case 2 : The Haining International Campus of Zhejiang University**

The International Campus of Zhejiang University was completed and put into operation in 2017. The school site was in the wetland area on the east side of Haining city. On the north side of the park lays the Xuzhimo Wetland Park, and on the south side is the Juanhu Wetland Park. Coupled with the east-west river green belt and the wetlands that pass through the campus, the campus is surrounded by wetland and

lake scenery. The design and construction respond to the concept of low-carbon style and sustainability. Through the planning of green transportation, the use of renewable energy, the adoption of low-impact stormwater management systems and key green building technologies, a green, low-carbon, comfortable and healthy environment has been created for teachers and students.

The International Campus has solved the problem of difficult parking for campus visitors and faculty members by reasonably planning the campus motor vehicle driving, parking, and pedestrian transportation system, and so eased the pressure of the people current during peak hours. For example, in the core area of the campus, 300 meters of walk only takes 5 minutes, and within the entire campus, a 10-minute walk can reach a distance of 600 meters. In addition, a 1.5-kilometer wind and rain corridor is set up between the school hospital on the north side of the campus and the southern teaching area, some of which are topped by solar photovoltaic films. This corridor not only provide shelter for teachers and students, but also supply the solar power generation produced in day time the grid and used for campus lighting.

In the campus design of the International Campus, different energy systems are used according to different types of building functions, and they are set up according to different needs of various functional areas. According to calculations, the current design of total application of renewable energy in International Campus is 6690000 (kWh/a), and the actual installed capacity is 3.23 times than the standard for renewable energy for civil buildings in Zhejiang Province.

The International Campus is located in the water-sufficient area of Zhejiang Province, the many wetlands inside and outside the campus provides considerable water resources. Therefore, in the design process of the campus, the principle of ecological priority is followed, the concept of low-impact stormwater management is

implemented, and natural approaches and artificial measures are combined. On the premise of ensuring the safety of urban drainage and waterlogging prevention, the collection, penetration and purification of rainwater in urban areas shall be achieved to the maximum extent, and the utilization of rainwater resources and ecological environmental protection shall be promoted. After the rainwater on the roofs and roads is collected, discarded and filtered, it is discharged into the central lake, and then pumped to the rainwater collection machine room for purification. After the treatment is completed, they are used for toilet flushing in the teaching area and outdoor green watering. Among them, rainwater and lake water are treated for greening and watering and road washing. The daily water consumption for greening and road watering is 237m<sup>3</sup>/d. The daily water consumption for toilet flushing in the north teaching area is 41m<sup>3</sup>/d. Non-traditional water sources are reused daily. The total amount is about 278m<sup>3</sup>/d, and the non-traditional water source utilization rate reaches 15%.

### **Case 3 : Tianjin University**

In March 2010, Tianjin Government and the Ministry of Education signed a joint construction agreement to initiate the construction of the new campus of Tianjin University. The new campus will become the main campus of Tianjin University with complete facilities. The site is located in the Haihe Education Park between the central city of Tianjin and the core area of Binhai New Area. It has 30,000 students with a total construction area of 1.3 million square meters. The new campus adopts the construction ideas of one-time planning, segmented construction, and reasonable layout to build the new campus of Tianjin University as a "demonstrative green campus and a research platform for sustainable development campus".

The "integrated whole system concept" of the new campus construction research includes: (1) Energy saving: reduce energy requirements, determine the best building energy saving design requirements, and create an energy-efficient campus



environment: ; (2) Emission reduction: reduce carbon emissions while promote the use of energy and renewable energy; 3) Water cycle: Establish a landscape system with a water cycle system as the main body.

Beiyang Park campus adopts the construction concept and method of "sponge city" in landscape engineering, which is a typical case of systematic application of "sponge city" concept. In the planning and construction of the campus, it is adhering to the stormwater management strategy of "safety management as the priority and resource utilization as the ssecondr". Based on the overall plan, a macroscopic framework of multi-level and partitioned stormwater management system has been constructed. On this foundation, with full consideration of the site conditions, functional positioning and landscape atmosphere of different districts, low-impact development measures for the specific conditions of each district are proposed, and they are closely connected with the existing and planned river and lake systems, and are included in the municipal pipeline network and overflow. The design strategy of close coordination with the flow system has established a complete, efficient and green ecological campus sponge system. At the same time, during the construction process, the school makes full use of green building technologies such as optimization of envelope structure, natural lighting, energy recovery system, solar energy system, and high-efficiency energy-saving system to maximize energy-saving effect.

The construction was designed in cooperation with the University of California, Berkeley. The UCB enjoys an advanced reputation in the "Whole System Concept" research. Through cooperation, Tianjin University has used mature sustainable development technologies in the construction of the new campus to integrate energy, water and waste, etc., in the same time used various energy-saving, emission-reduction and renewable energy methods to continuously recycle resources., aiming at energy independence, zero emissions and water recycling.

## Chapter II

---

# Ecological Compensation Strategy

Eco-compensation is a variety of rules, incentives and coordinated institutional arrangements aimed at protecting and sustainable use of ecosystem services and taking economic means as the main means to regulate the interests of stakeholders, promote compensation activities and mobilize the initiative of ecological protection. In the narrow sense, ecological compensation refers to a series of activities such as compensation, restoration and comprehensive treatment for the damage caused by human social and economic activities to the ecosystem and natural resources and environmental pollution. In a broad sense, ecological compensation should also include financial, technical, in-kind compensation and policy preferences for residents in areas where development opportunities are lost due to environmental protection, as well as scientific research and education expenses for enhancing environmental protection awareness and improving environmental protection level. Examples in this section include Harvard University and Duke University.

### **Case 1: Harvard University**

For a long time, researchers at Harvard are helping people understand and respond to climate change. At the same time, student associations are also taking action. In 2016, Harvard University completed its 10-year goal—although the campus area has increased by 12%, the greenhouse gas emissions on the campus have been reduced by 30%. Based on this, Harvard University has formulated a more ambitious, science-based climate commitment, which provides a blueprint for transitioning to a greener, fossil-fuel-free future, and provides opportunities for teachers and students to directly participate in actions to combat climate change. Support their ideas, professional choices and actions related to climate change.

In 2018, Harvard University began to install an innovative 450-kilowatt solar project in the Arnold Arboretum, which includes solar panels, solar awnings and large-capacity battery packs, which is the first example in the field of higher education. The Faculty of Arts and Sciences (FAS) completed the installation of a new 100-kilowatt solar array on the connected roofs of Vanserg and Shannon Hall. In addition, Harvard University Housing (HUH) launched a 425kw on-site renewable energy installation in Alston.

Harvard University's New District Energy Facility (DEF) in Alston has adopted a more efficient low-temperature hot water distribution system and built the largest heat storage tank in Massachusetts. The heat storage tank is similar to a huge battery, which will produce and store chilled water during non-peak hours of electricity consumption. At this time, the electricity cost is lower and the pollution is usually less (because the most polluted power plants are usually used during peak electricity consumption. ). The stored chilled water can be used during the day when needed, reducing the burden on the power grid during peak hours, effectively reducing fossil fuel emissions and saving money.

Harvard University established a Green Revolving Fund (GRF) of US\$12 million in 2002 to provide funding for projects related to the design, operation, maintenance, and residential behavior of high-performance campuses, with the intention of 5-10 years. An even shorter payback period reduces the environmental impact of the university. The return on investment program allows each applying department to upgrade the efficiency, comfort and functionality of its facilities without incurring any costs. Since its establishment, GRF has supported nearly 200 projects, including reducing greenhouse gas emissions, reducing energy use, reducing water use, reducing sewage or rainwater, reducing pollutants, improving operating models, teaching residents, and installing renewable energy. These projects each year Saved more than 4 million US dollars in energy.

### **Case 2: Duke University**

In 2007, Duke University took the lead in signing the "Climate Commitment of American Universities and University Presidents", setting the goal of achieving carbon neutrality by 2024.

To achieve this goal, Duke University, in cooperation with Google and Duke Energy, carried out the Loyd Ray Farms project-collecting methane generated by the decomposition of pig waste and burning it to generate electricity; and obtained the Natural Resources Protection Agency (NRCS) Environmental Quality Incentive Program (EQIP) and the funding conversion process of the NC Division of Soil and Water Conservation Lagoon. The system provides carbon offsets for Duke University, and all the renewable energy credits (REC) generated by the project have signed a project cooperation agreement with Duke Energy. The generated electricity is either used on-site by pig farm facilities, innovative systems, or fed back to the grid.

Since 2013, the Duke Carbon Offset Program (DCOI) has cooperated with

universities, municipalities and organizations across the United States to plant trees in urban areas to generate carbon offsets. In 2015, it established the Urban Forestry Protocol to provide references for other institutions. DCOI has developed a carbon offset agreement that can be used as a guide for project development. The agreement is tailored for tree planting in smaller cities.

The Duke University carbon compensation agreement for tree planting in small cities mainly includes: carbon compensation benefits, participants, qualifications, quantitative carbon sequestration, project monitoring and verification.

The carbon compensation benefits of tree planting quantifies the amount of carbon accumulated and stored in the entire life cycle of the tree, expounding the health, environmental and economic benefits: trees reduce air and water pollution, intercept and absorb excessive rainwater, provide animals and pollinators Provide shade for houses when planting in the correct location; provide educational and volunteer opportunities for students and community members to improve the health of citizens; and reduce water and electricity bills by providing the following services.

The common benefits of cooperation specifically introduces the benefits of tree planting carbon compensation from six parts: education, society, environment, economy, scalability, public relations and partnerships.

Participants of the project started from the three parties of urban tree planting (UTP) owners, operators, and maintainers, and divided the responsibilities and distribution of benefits for the growth of trees throughout the life cycle.

DCOI cooperates with Arizona State University, Elon University, Davidson College, Pace University and Green Mountain College to take the lead in launching 7 urban

forestry pilot projects in North Carolina, Arizona and New York. By the end of 2017, the "Urban Forestry Protocol" will plant more than 6,400 trees. DCOI has provided written recommendations on how to quantify campus trees and forests to ensure additionality. In cooperation with Delta Air Lines, more than 1,000 trees were planted in the Raleigh Durham area.

## Chapter III

---

# Energy-Saving and Low-Carbon Design and Transformation of Single Building

Since the beginning of the 21st century, the amount of energy being consumed by public infrastructures has been increased sharply in a daily basis. This is due to people's increasing expectations to the living quality, as well as the improving standard for appearance and functions in building design. Such changes in building industry have added burden to the fossil fuel resources that are already hitting a low storage capacity. According to the 2015 China Building Energy Conservation Annual Development Research Report, the total energy consumption of building commodities in 2013 has reached 756 million, accounting for about 19.5% of the country's total energy consumption. With the relatively large gross area and strong social influences, public infrastructures play a key role in leading the development of renovations in energy-saving buildings in China, in which emission-control and low-carbon features are encouraged. The energy-saving and low-carbon design of a single building is mainly carried out from eight aspects, namely HVAC, water supply and drainage, planning and building (architecture), structure and materials, construction management, building electrical, operation management and renovation and innovation (innovation in

renovations).

The rating system that is developed based on building performance and used to evaluate whether the buildings are energy-conserving, is known as the Green Building Rating System. The evaluation is done by comparing different aspects of the building with the provided standards in the system. Different countries have their respective Green Building Rating System developed based on this evaluation method, some examples could be LEED Rating System (US), BREEAM (UK), CASBEE (Japan), Green Star Rating System (Australia) and the Assessment Standard for Green Building used in China. In addition, China also has the Technical Standard for Building Energy Performance Certification, which is specifically aimed at building energy efficiency.

Examples of green retrofit of public infrastructure include NANYANG Technological University (NTU), Shandong Jianzhu University, University of New South Wales (UNSW), University of British Columbia (UBC), Tongji University, Massachusetts Institute of Technology (MIT) and Cornell University. Details for each example will be elaborated as follows.

### **Case 1: Nanyang Technological University**

As a Southeast Asian country with hot summers and warm winters, Singapore attaches great importance to the development of green buildings as the main strategy to ease the pressure on domestic resources and the environment. In 2005, Singapore began to implement the “Green Mark” Evaluation Standard, with considerations of the effect of local hot and humid weather conditions, which can be used as the reference for evaluating building performance and associated environment impact for buildings in tropical and subtropical regions. This standard is widely adopted in Singapore, and has been promoted internationally, including China. It mainly evaluates building performance from five aspects: energy saving, water saving, environmental protection,



indoor environmental quality, and other green innovations.

Nanyang Technological University has become a leader in the development of green campuses among universities in Singapore. Through the implementation of the eco-campus creation plan for many years, With a focus on the concepts of energy-saving and 'green innovation', the school predicts that the energy consumption indicators of the campus in 2020 will be only 65% of the 2011 level. The school introduces and incorporates the use of various new technologies, equipment, materials and processes in campus buildings. By forming partnerships with world-renowned companies, the school is able to promote the pioneering trials of green campus-related technologies in many fields, including information analysis and building enclosure Structure, air conditioning system, lighting system, transportation system, water resources and waste treatment, smart grid, renewable energy, user behavior and other components. For example, in order to make full use of the abundant local sunshine, the school cooperated with first-tier photovoltaic companies to install a 5 MW photovoltaic system on the roofs of new student apartments and teaching buildings, which would help the school save about 1.5 million Singapore dollars per year in electricity charges. At the same time, on the school has put a lot of effort in scientific research regarding the emerging technology of flexible perovskite solar cells.

## **Case 2: Shandong Jianzhu University**

The 14th chapter of the "13th Five-Year Plan for Housing and Urban-Rural Development", which was promulgated in August 2016, clearly pointed out that demonstration projects regarding construction of green buildings shall be established in an efficient manner. Such projects should be aimed to take place at different climate zones, and act as the leading roles in promoting energy-efficient infrastructures. Shandong Jianzhu University took this opportunity to implement a green building concept in its Teaching and Experiment Complex, by practicing from four aspects: prefabricated technology system, passive technology system, indoor comfort control technology, and renewable energy utilization technology.

The Comprehensive Laboratory Building Project, that utilized the Green Fabrication concept, is the first passive building with ultra-low energy consumption and steel structural assembly in China. It is also one of the first batch of passive ultra-low energy consumption green building demonstration projects in Shandong Province. On March 30, 2017, the project has passed the inspection conducted by the German Energy Agency and the Science and Technology and Industrialization Development Center of the Ministry of Housing and Urban-Rural Development. This project provides scientific basis and data support for researching suitable technologies for prefabricated ultra-low energy buildings in cold areas.

The Green Prefabricated Comprehensive Laboratory Building Project is located in the new campus of Shandong Jianzhu University, which is on the west side of the Science and Technology Museum and the south side of the Library and Information Building. The building uses steel structure, ALC wall panels, truss laminated panels, prefabricated stairs, etc, and the assembly rate is as high as 90%. The building was designed by giving a full consideration of its entire life cycle, with a focus on energy saving and ecological aspects. The goal was to ensure minimal resource consumption during project development, while adopting the concept of “passive technology” as the primary design principle. In addition, the interrelationship among people, nature and architecture was considered during the design so that the proposed building could best adapted to the surrounding environment.

At the preliminary design stage, considerations regarding natural environment and weather conditions were given to evaluate if such factors would affect the design proposal. It is essential to adjust design measures to the local conditions, so that unnecessary work could be avoided.

In order to achieve the goal of ultra-low energy consumption, the building adopts several advanced building technologies including envelope structural system with

high thermal installation, air tightness guarantee technology, efficient fresh air system, indoor comfort control technology and independent temperature and humidity control technology. The specifications of these technologies have been far beyond the standard requirements established for public energy-saving infrastructures.

Based on the constraint values given by the Energy Consumption Standard for Civil Buildings (GB/T51161-2016), the project has saved 203622.3 kWh for non-heating electricity use, and 58.9 tce for coal-burning heating usage. The total savings in energy cost has reached 151,000 Yuan, and 251.7 tons of CO<sub>2</sub> emission reduction has been achieved. The environmental benefits brought by this project has been greatly appreciated.

### **Case 3: University Of New South Wales (UNSW) Tyree Energy Technologies Building (TETB)**



Figure 3-3-1 Tyree Energy Technologies Building (TETB)

Named by one of the most famous school alumni Sr William Tyree, the Tyree Energy Technologies Building (TETB) acts as the gateway to University of New South Wales and education center for undergraduate students and graduate engineering students. The building consists of five stories, with one underground. Key design

features contributing to the rating include use of fly ash in the concrete, a tri-generation system, 1,100m<sup>2</sup> of roof mounted photovoltaic array, a solar hot water system, use of groundwater together with rainwater capture and reuse, mixed mode natural ventilation, and air conditioning including underground thermal labyrinths for pre-treatment of incoming air, displacement air delivery, and high levels of outside air.

The design of TETB has met energy and environmental standards. By facing north, the office has benefited from the natural shadows of the existing trees. It adopts a high-performance shell that has a double-layer glass, which allows maximum sunlight penetration and minimizes solar thermal load. At the same time, fixed external terracotta sun-shading blinds are used as part of the building's external wall to avoid direct solar heat gain while ensure the control of internal glare.

TETB has a tri-generation system with a power of 800 kilowatts that uses natural gas to generate electricity. The waste heat is then absorbed by the chillers to produce hot or chilled water. The design goal of the tri-generation system is to reduce carbon dioxide emissions by 55%, and it is connected to the campus power grid together with the 150kwp photovoltaic array system. Under current conditions and internal load, TETB outputs electricity to the campus grid during the daytime.

The installation of the tri-generation system is not only to provide services for TETB, but also to export electricity and chilled water to surrounding buildings. This ensures that longer operation period of the system, meanwhile maximizing its technical benefits in carbon emission reduction. In addition to the tri-generation system, TETB also provided 1,000 square meters of photovoltaic energy.

Due to the comprehensive and excellent design concepts the TETB has won multiple awards including the 2013 Sustainability Category-Randwick Urban Design

Award, the 2013 World Environment Day Award, the third place in the Los Angeles Green Dot Award 2013 and was granted for the 6-star Green Star Design Level by the Australian Green Building Council.

#### **Case 4: The University of British Columbia(UBC)**

The University of British Columbia (UBC) is located in Vancouver, Canada With 18 colleges and nearly 50,000 students, UBC is one of the most famous higher education institutions in North America and enjoys an international reputation. The school has always been committed to undertake sustainable development through education and operations. It also has a Sustainable Development Research Center that focuses on research topics regarding long-term effects of sustainable design. There are 200 people working in the Sustainable Development Research Center, and they come from different disciplines, such as Applied Science, Psychology, Geography, Forestry, and Business. These researchers from different academic backgrounds work closely together to achieve the integration of sustainable development research and practice at the university. The University of British Columbia aspires to become the lowest-emission school among the world's leading research universities. And its goal is to reduce carbon emissions by 33%, 67% and 100% respectively in 2015, 2020 and 2050, based on the standard emission requirements established for Vancouver schools.

The Centre for Interactive Research on Sustainability, located in Vancouver, and is one of the key projects supported by the "Ecology Laboratory" program of the University of British Columbia. Since its establishment in 2011, this research center has attracted many researchers from public, private, and non-governmental organizations to cooperate and carry out research to achieve the sustainability goal in a quick manner. In the early stage of the project, the goal was established so that it is not only satisfying "low negative environmental impact" or "higher energy efficiency", but also looking at becoming the university's first LEED Platinum building. The project

aims to be recognized by "Ecological Building Challenge" standard and become a new benchmark for other projects to surpass. Now that the project has obtained the LEED Platinum certification by going beyond the requirements, the certification of "Ecological Building Challenge" is still in progress.

The project has successfully achieved the goal of reducing energy load by using high-efficiency and energy-saving building envelopes, passive design strategies, user zone control and energy-saving equipment. Multiple systems are used in a comprehensive way to serve different needs of the building and to achieve efficient energy use. The heat recovery system is used to capture waste heat resources from the ventilation hood of the nearby building (Earth and Ocean Science Research Building), and the waste are transported to the heat pump inside research centre to further produce energy. The heat pump will heat and cool the research center building through the radiant floor heating system and the displacement ventilation system.

This building is expected to become an international center for research, cooperation and action on sustainable development. Topics would cover the design and operation of green buildings, environmental policies, and community involvements. The central building itself provides a platform for test in and demonstrating building technologies. It can be used as a laboratory to research about new knowledge regarding construction and maintenance of sustainable buildings.

### **Case 5 : Tongji University**

Tongji University is one of the initial energy-saving pilot universities in China. In 2007, on the occasion of its centennial anniversary, Tongji University introduced green technology during its campus construction and renovation. The application of energy-saving, water-saving, and talent-saving technologies to the construction and maintenance of campus buildings achieved remarkable results and won the attention

and recognition of the society. For example, the renovation project of a historic building named Wenyuan Building was exactly a demonstration project of the energy-saving campus in 2007. After the renovation, the building could save 65% of energy, which far exceeded the national performance standard of 50% for public buildings at that time. In 2008, with the joint efforts of Zhejiang University, Tsinghua University, Tianjin University, Chongqing University, and Shandong Jianzhu University, Tongji University, as the leading unit, compiled the first "Technical Guidelines for the Construction and Management of Energy-saving Campuses in Colleges and Universities" to propose specific ideas and action plans in promoting the construction of green campus in China. In the same year, Tongji University completed various programmatic documents, such as the construction of Campus Energy Management System (CEMS) for colleges and universities, and the technical guidelines for management. In 2009, at Tongji University, the Ministry of Education, the Ministry of Housing and Urban-Rural Development, and the Ministry of Finance jointly held a working conference on China's energy-saving campus, which started the call for the construction of an energy-saving campus. In 2011, Tongji University co-founded the "China Green University Alliance" with 9 universities and participated in various international conferences in the following years to share experience and advocate the higher education to cope with global climate change. It can be seen that Tongji University has a pivotal position in the zero-carbon transformation of domestic campuses, and it can also offer many experience.

Located in Tongji University, Wenyuan Building was built in 1953 and has a total construction area of 5,500 square meters. As a provincial-level protected building in Shanghai, the particularity of Wenyuan Building determined its tailor-made energy plan.

Advanced intelligent control system is a necessary and effective means for building energy saving. All equipment used for refrigeration, heat dissipation, dehumidification, and solar shutters are controlled by the central system. The temperature and humidity

detection would be adjusted according to the real-time situation of the indoor room. At the same time, the air volume is adjusted according to the concentration of carbon dioxide in the return air and the outdoor humidity, and the operation status and fault report are detected by the camera system; the solar shutters is controlled by the solar detector installed on the roof. According to the feedback of the detector, the indoor light will be adjusted accordingly. This intelligent control system for buildings based on real-time weather and using parameters offers buildings with practical functions and provides unique experimental functions for the following development.

In addition to the above technologies, the reconstruction of Wenyuan Building also applied the cold radiation ceiling technology, and technologies for roof garden, solar power generation and rainwater harvesting, which is expected to achieve comprehensively 65% energy saving in building operations.

### **Case 6: Massachusetts Institute of Technology (The David H. Koch Institute for Integrative Cancer Research)**

The David H. Koch Institute for Integrative Cancer Research is not only the first shared home at MIT for life scientists and engineers to fight against cancer, but also the first research laboratory to achieve Gold Certification in Leadership in Energy and Environmental Design (LEED).

What sets the Institute apart is the ventilation and lighting design of the building. Ventilation is a major source of energy consumption in research buildings. A key area in the building includes about 100 fume hoods that "pump" contaminated air away from the researchers. The building design team intended to actively conserve energy without compromising the health and safety of the researchers. With an open space in the campus, the architects were able to make the most of the heat and light from the sun. The team also adopted a lighting strategy: fixed horizontal shadows and light racks reflected sunlight onto the



ceiling of the space, bringing ambient light deeper into the space and reducing reliance on electric lights. Most of the public spaces are located on the first floor and illuminated by halogen lights. Due to the nature of work and the sensitivity of equipment in a space, special lamps are required in laboratories, MRI rooms, and darkrooms. All of these lighting systems are controlled by Lutron lighting control panels and dimmers. The control system uses photovoltaic cells, sensors and time controls to optimize energy consumption, equivalent to a 16% reduction in energy consumption baseline.

After almost a year, the total structure of the institute of 357,000 square feet with more than 25 college laboratory and hundreds of researchers used high power equipment and consumed less energy than expected: the peak demand for electricity is expected by the engineer to be 14.6W per square foot, but the actual amount is 3.8W per square foot; In the coldest days, the steam is expected to heat up to 35,000 pounds per hour, while the actual heat is about 20,000 pounds per hour. The building's maximum cooling demand is actually 2,354 tonnes of ice water, compared with the 3,350 tonnes predicted by engineers. The building's total energy consumption is reduced by more than 30% compared to a standard laboratory building.

### **Case 7: Cornell University**

Cornell University, located in Ithaca, New York, USA, has a rich practice in building green buildings. For example, the Cornell University Weill Hall, a life science and technology building, adopts double walls and roofs, aluminum tower, the wind tower, skylights and ceiling fabric. It is the integration of functional planning, technical systems, coordination, and sustainability, thus having long been regarded as a truly unique landmark and gateway to the campus.

The passive dormitory at Cornell University's science and technology campus is 270 feet (82.296 meters) tall and with a total of 26 layers. It can be called the world's highest passive energy saving building<sup>1</sup>. With special design, instead of actively

inputting power from the grid, the indoor heating, can be supported by "passive source" heating including orientation, size, heat preservation, heat recovery, passive solar energy utilization, sunshades, and eliminating thermal bridges. With very little power consumption, it can keep the room temperature about 25C° , all the year round, thus greatly reducing the energy consumption of winter heating and summer cooling. Because of the air flow and wall insulation, there is little dust in the room, and objects can be protected from dampness and mold infestation. Thanks to an efficient energy-saving system, it can reduce 8.82 million tons of carbon dioxide a year, equivalent to planting 5,300 trees.

The hot desert climate of the New York State, USA allows summer temperatures to reach more than 100 F° (38C° ), so the building has double walls to protect it from the heat. The exterior walls are made of fiberglass reinforced concrete slabs designed to absorb heat. A three-foot gap separates the exterior wall from the interior insulation, and a high-performance double-walled enclosure with a porous glass facade can maximize energy efficiency. Windows are shaded to filter the sunlight, and ceiling fabrics further disperse light, helping to enhance office views and interior comfort. Exterior walls and vertical aluminum tower shutters screen several small windows, minimizing calorie intake. In the courtyard, three 80-foot wind towers are used to guide the cool breeze inside the building.

The Weill Hall consumes 40% less energy than a building of the same size and function, and is one of six laboratory buildings in the United States to receive LEED Gold Certification.

---

<sup>1</sup> Through architectural design, passive solar building can make full use of the solar heat to keep warm in winter, decreasing the heat loss caused by structure and ventilation as far as possible by maintaining infiltration. In summer, the building can minimize the heat caused by solar radiation as well as indoor people and equipment. Without the use of machinery and equipment, it is an environmentally friendly building that completely depends on strengthening the barrier function of buildings to keep a comfortable indoor environment.

## Case 8: Schwarzman College, Tsinghua University

This case is co-edited by the secretariat of the Global Alliance of Universities on Climate (hereafter GAUC).

The Schwarzman College is located at Tsinghua University, one of China's most prestigious universities. Schwarzman Scholars Programme selects young scholars with the highest academic credentials and leadership accomplishment and prepares them with Chinese and international perspectives. The design of the Schwarzman College building is led by Robert A.M. Stern, former Dean of the Yale School of Architecture and founder of Robert A.M. Stern Architects (RAMSA). The building shows a combination of western architectural features and Chinese garden styles, providing a multicultural academic environment for scholars worldwide. Every college function, such as education and research, accommodation and entertainment, has been included in one single complex.



The Schwarzman College building was certified “two-star” of the China Green Building Label (GBL) and Gold level of LEED. It paid special attention to and raised strict requirements on indoor air quality, water quality, energy-saving and etc. Apart from that, the Building Management System (BMS) and Energy Management System (EMS) have made energy monitoring possible. A few sustainable designs are illustrated below:

### 1)Lighting system

The building collects daylight and meanwhile meets different needs for different scenarios, such as meetings, presentations, and discussions. The subsystems of the building are all controlled together, ensuring harmony of users' convenience and energy-saving;

### 2)Air conditioning and air purifying system:

The air conditioning system adopts a different path variable flow system. By installing the static balance valve on the return pipe of the air conditioning box, the pump frequency only needs to be turned on at 32Hz and 30Hz to meet the design flow demand. After the hydraulic balance system is debugged, the pump can save 40% energy. When it comes to air purification, the building is certified by RESET, an air quality monitoring standard. The building collects data on different indicators of air quality on a cloud-based system so that all the scholars and users of the building can easily have access to the data.

### 3)Energy Management System

The College's Energy Management System integrates cutting-edge information technologies such as Building Information Modeling, the Internet of Things, and 3D interactive technology. Schneider Electric's EcoStruxure™ platform are integrated through Internet Technology (IT) and Operation Technology (OT). By connecting

individual devices on one platform, operators can collect key data, conduct analysis, and optimize the system in a timely manner. The Energy Management System (EMS) can monitor energy consumption via PowerMonitoringExpert, identifying possibilities for further energy-saving, analyzing, and predicting energy consumption. The combination of the two realizes the monitoring and optimization of energy, ensures an efficient and interconnected operation of the college building, and lays a good foundation for future improvement of the quality and efficiency of the college. All these technologies have opened up new opportunities for Schwarzman College in automation and digitalization.

## Chapter IV

---

# Calibration and Update of Equipment System for Energy Saving

Greenhouse gases, such as carbon dioxide, contribute to the continuous warming of the earth. It has become the consensus of all mankind to deal with climate change, mitigate greenhouse gas emissions and advocate low-carbon life. Under this consensus, low-carbon buildings have become one of the focus after green buildings and sustainable buildings. In the application of low-carbon buildings, the commissioning and updating of the equipment system is a crucial link. The energy saving equipment system requires the use of natural forces to meet the heat sources needed for air conditioning and hot water supply, take into account the anti-mildew and hot water supply of buildings and use renewable energy and energy-saving household appliances as much as possible. By using these systems, energy can be directly saved and carbon emissions can be reduced. It can also convey relevant information to building users, raise their awareness and behavior in energy conservation and emission reduction, change their original high-energy-consumption life pattern, achieving low carbonization of the building.

In this part, universities mainly choose and apply energy-saving and high-efficiency equipment systems to improve energy use efficiency and reduce carbon emissions. The following cases include University of Melbourne, McMaster University, University of Toronto Scarborough Campus (UTSC), Brock University, Jiangnan University, Zhejiang University Zijing'gang Campus, China University of Petroleum (East China).

### **Case 1: University of Melbourne**

The University of Melbourne is the first University in Australia to achieve a green Star Community rating of 1, and its Parkville campus received a 6 star Green Star Community certification from the Green Building Council in June 2017. It is the first and only campus in Australia to receive a six-star green Star community rating, and the first in the country to focus on its nitrogen footprint.

The University of Melbourne is committed to making the transition to carbon neutral on campus by 2030, achieving zero net emissions from electricity consumption by 2021, and promoting a reduction of 20,000 tonnes of carbon emissions on campus by 2020. In 2019, the school launched Smart Campus Energy Upgrades (SCEU) program to make on-campus buildings noticeably more efficient and increase their Energy efficiency. This includes nine energy innovations covering 60 buildings on the campus with a total investment of A \$45 million. The SCEU program is expected to save 18 to 25 GWh (gigawatt hours) of electricity per year on campus, equivalent to saving 19,000 to 26,000 tons of carbon dioxide emissions per year, or approximately 15% of direct greenhouse gas emissions.

The University of Melbourne Utility Report Database provides electricity consumption reports for each university building. This will help departments, faculty, and departments understand their electricity consumption over time and develop effective strategies to reduce their university-wide carbon footprint. The database has the ability to generate flexible reports, including summarizing multiple buildings over

a specified period of time. The database covers all utilities: electricity, gas, steam and water.

The university of Melbourne's vision is to contribute to society through enriching and changing life. To achieve environmental and social sustainability; To achieve significant reductions in carbon emissions, water and energy consumption, the Sustainable Development Team focuses on further energy conservation and emission reduction, energy supply transformation and renewable energy development, aiming to expand the University of Melbourne's leadership position in campus sustainability.

### **Case 2: McMaster University**

McMaster is one of Canada's leading research universities dedicated to promoting human and social health and discovering the well-being of the arts and sciences. The school focuses on sustainable development in energy, water, waste management, health and well-being, transportation, education, etc.

Over the past few years, McMaster has completed LED lighting retrofitting of many buildings with remarkable results in energy cost control and facility retrofitting. Overall, the campus reduced greenhouse gas emissions by about 800 metric tons, according to the Sustainability report.

One of the key technologies to achieve sustainable development of McMaster University is the reverse debugging of ventilation technology. Reverse commissioning is a deep energy retrofitting that can improve the ventilation system and equipment in a building. For example, when laboratory air quality is up to standard, the system reduces air flow to maintain comfort; When demand increases, the system enhances laboratory safety by improving the flow of fresh air. Because the system delivers air only where it is needed rather than the whole facility, it can save a lot of energy. The technology is expected to save McMaster 866,000 kWh in electricity bills per year, 259,000 cubic metres of natural gas per year, and 760 tonnes of carbon dioxide equivalent per year



of avoidable greenhouse gas emissions.

McMaster University is committed to reducing energy consumption, implementing energy conservation programs and improving energy efficiency.

McMaster's facility Services LED lighting has been successful in campus stairwells and hallways by improving lighting in student housing buildings, using more efficient LED bulbs to save energy, and maintaining lighting to make bulbs last longer. On top of this, more lighting improvements were implemented in nine student housing buildings completed at the end of 2016. The estimated annual savings in electricity consumption are approximately 985,000 kWh and the annual averted greenhouse gas emissions are estimated at 123 tonnes.

### **Case 3: University of Toronto Scarborough Campus (UTSC)**

In 2018, the University of Toronto joined the University Climate Change Alliance (UC3) : a group of leading North American research universities dedicated to reducing greenhouse gas (GHG) emissions on campus and in communities. The University of Toronto has pledged to reduce greenhouse gas emissions to 37% below 1990 baseline levels by 2030.

In 2020, the University of Toronto was nominated for one of Canada's greenest employers, a national recognition by the Best Employers Program in Canada. The University of Toronto has been nominated for Canada's greenest employer six times, receiving a total of \$8.5 million in green Revolving Funds. Over the past decade, the school has reduced its emissions of more than 55 kilotons of carbon dioxide equivalent (eCO<sub>2</sub>), saved more than 1.25 billion liters of water (the equivalent of 500 Olympic-standard swimming pools) and saved more than \$30 million in utility costs.

In order to meet the goal of reducing greenhouse gas emissions, the University of Toronto will reduce the use of natural gas and clean energy and employ capture

carbon strategy. In the next five years, it plans to increase the production of renewable resources on campus through low-carbon solutions such as solar energy and geographic exchange technologies, combined with energy recovery, high-performance building design and optimization of existing facilities.

At present, the University uses the Strategic Investment Fund to modernize 20 research facilities. Its four major air handling systems have been upgraded through a variety of energy-saving strategies, including dedicated outdoor controls, demand-controlled ventilation, and heat recovery measures. Since 2016, the school has installed more than 100,000 LED lights, saving enough electricity each year to light more than 2,000 homes. These new lights dim as much as 20 percent when left idle, and turn on 100 percent when someone enters. The ground-source heat pump system currently under construction in the south campus has a rated capacity of 1,115 kW and is used to replace natural gas for heating. It is also planned to build a distributed energy system in the north campus. The move is expected to reduce greenhouse gas emissions by 605 tons per year.

In the future, the University of Toronto will continue to contribute through its research, teaching, operations and outreach activities to the advancement of climate change science and the provision of concrete actions and public policies to respond to action.

#### **Case 4: Brock University**

Brock University is a comprehensive university with its campus located in the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) Biosphere Reserve (BR). The school is committed to exploring ways of regional economic growth and community development and insists that environmental sustainability is fundamental to all activities.

Over the past few years, Brock has made remarkable achievements in

sustainability. According to the requirements plan for Greenhouse Gas Campus Renovation (GGCRP), the school successfully realized the education of saving and reducing greenhouse gas emissions, environmental sustainable management and sustainable development, and enhanced the vitality and economic competitiveness of the regional community.

The renovation of equipment and systems is the focus of energy conservation and emission reduction at Brock University. Brock University increased energy awareness and energy-saving design by leveraging and strategically sourcing energy and carbon offsets through the operation and updating of existing equipment (cogeneration engines, variable frequency drives, efficient pumps and motors, etc.). At the same time, the school has also upgraded the lighting of the building, with nearly 700 T8 LED lights or metal halide fixtures and lamps replaced by energy-efficient LED lights, saving 59,105 kilowatt-hours of energy per year.

The school supplies cold water from the central area's energy cycle to the plaza building and shuts down the chiller on the plaza, saving about 435,000 kilowatt-hours of energy per year. Variable frequency drive devices (VFDs) have also been installed on air handling units and pumps in many buildings to save energy. School has also carried on the back to residential boiler installation, change the valve, make the building 100% of the heat from the district heating circuit [loop electrical, heating and hot water system is a term commonly used, is to go back, forming a channel. In heating, a two for one pipe to form a go back to the channel, so form a loop.] and shut down the electric boiler and feed pump.

The school is retrofitting its existing cogeneration plant with next-generation equipment to dramatically increase energy efficiency, reduce greenhouse gas emissions and reduce the campus carbon footprint. The new equipment will be 16% more efficient per kilowatt-hour and 14% more efficient overall. This will save schools 3,209 tons of greenhouse gas emissions per year, equivalent to 686 cars per year.

In the future, Brock University will continue its efforts to identify and implement energy-saving technologies for both regional energy systems and satellite sites, seeking to integrate current practices in sustainable design and construction, and to adapt existing technologies as the market and industry evolve.

### **Case 5: Jiangnan University**

Jiangnan university incorporated the ideology of smart campus construction into energy regulation, takes advantage of its multidisciplinary subjects including informatization, control engineering, communication engineering, computer engineering, industrial design, and environmental engineering, practice and innovate independently, and develop the "digital energy regulation platform for conservation campus" based on the technology of the Internet of things.

In the construction of the new campus of Jiangnan University, intelligent electricity meters with data acquisition function and other instruments were adopted consciously and directly. After years of construction and retrofit, the campus has been installed nearly 20000 various types of sensor monitoring point, circuit, water supply pipe network, substation, VRV central air conditioning, fission air conditioning, lights, security and digital real-time traffic such as a comprehensive and integrated management, monitoring coverage above 90%, including water, electricity remote metering rate reached 99%.

Jiangnan university digital energy regulatory platform construction adopts the model of unified planning and step-by-step implementation, using 1 + 1 + N + M scheme, namely a system platform, an energy services portal, N service subsystem and Mobile terminal (Mobile), the mode of combining energy management goal is to become clear data "fuzzy" concept, in the process of implementation of different people, and to information management and multi-channel interaction, provides a more scientific decision support for managers.

The application of "digital energy regulatory platform" has produced huge economic benefits. In 2017, the total amount of scientific research in Jiangnan University is 4.95 times that of 2006, and the total amount of equipment is 4.43 times that of 2006, the number of fission air conditioning also increased to 4.16 times in 2006. In this case, the net disbursement of all the utilities remains at 16 million yuan, and annual net spending of hydropower has increased by 1.37 times. Compared with colleges and universities across the country with similar size, Jiangnan University maintains a high level of energy efficiency and low utility cost according to the calculation, compared to the "11th five-year plan" and the "twelfth five-year" period, the school accumulated saving utilities spending nearly one hundred million yuan, The effect of energy conservation and emission reduction is remarkable. This change not only realized the school energy saving and efficiency increase, but also made a contribution to the local energy saving and consumption reduction work. At present, the school's annual expenditure on water and electricity is controlled within 3% of the school's daily expenses (including staff funds, public funds, scientific research funds, not including capital construction expenses).

### **Case 6: Zijingang Campus of Zhejiang University**

Zhejiang University is a prestigious institution of higher education with a long history. It is located in Hangzhou, a famous historical and cultural city and a scenic tourist attraction in China. The eastern part of Zijingang Campus of Zhejiang University was officially opened in October 2002, and the construction goal of "modernization, networking, gardening and ecology" has been preliminarily realized.

Based on the practice of reforming the heat source of student dormitory hot water system in Zhejiang University, the effectiveness and promotion prospect of energy tower heat pump auxiliary solar hot water system in student living hot water system training are summarized according to the regional climate conditions. After the implementation of the renovation project, the domestic hot water system of Lantian

Academy has reduced the loss of the original steam pipe network, directly reduced the energy consumption through the use of high-efficiency equipment, and saved the labor management cost through the perfect automatic control system, thus greatly improving the energy saving efficiency. Based on the operation data of the hot water system of Lantian Student Apartment in 2009 and the maintenance cost invested in the steam hot water system, it is estimated that the project will save 1.13 million yuan per year. The economic benefits of the transformed domestic hot water system in Lantian Academy are reflected in three aspects: first, the loss of the original steam pipe network is reduced; second, the energy consumption is directly reduced by the use of high-efficiency equipment; third, the perfect automatic control system can save management labor. Based on the operation data of the hot water system of Lantian Student Apartment in 2009 and the maintenance cost invested in the steam hot water system, the project is estimated to save 1.13 million yuan/year after implementation, and the static investment recovery period of the project is 4.4 years (based on the total number of 6,000 people in Lantian School District).

This project provides a reference case for the planning, design and construction of hot water supply for nearly 200,000 square meters of students in the second phase of Zijingang Campus of Zhejiang University, and provides a new energy-saving and reliable technical route for solving the centralized domestic hot water supply for students' apartments, hotels, hospitals and other places in this province.

### **Case 7: China University of Petroleum (East China)**

Under the guidance of sustainable development, China University of Petroleum (East China) actively builds "green campus", and advocates extending environmental education to the overall education and management of the school, not just confined to the classroom. At the same time, we should build a bridge between the school and the community, strengthen the cooperation and connection between them, and truly guide the practice of sustainable development.

In 2016, China University of Petroleum (East China) actively participated in the compilation of "Smart Campus Evaluation Standard (GB)" and "Guidelines for Green Campus Energy Conservation Adjustment" organized by the Building Energy Conservation Science and Technology Department of the Ministry of Housing and Urban-Rural Development, and took the green campus implementation achievements of China University of Petroleum (East China) as the standard construction foundation to carry out the evaluation.

China University of Petroleum (East China) uphold the the idea of combining systematism and informatization, safe operation and economic operation, energy-saving and equipment update, project construction and personnel training control all the heating and cooling system establish a remote central control platform, control the whole process from the source to the end. School according to the characteristics of construction operation using Internet + information technology to build energy-saving monitoring, management and control platform, through the running state of HVAC for remote monitoring, monitoring of the actual heating/cooling effect and automatic optimization of operation parameters adjustment, maximize operating management automation level. At the same time, it shares data with the energy supervision platform, and establishes the operation data platform, which is a scientific, safe, and standardized energy conservation technical means for building energy consumption diagnosis, energy conservation operation and maintenance.

After the HVAC system of the school building is reformed to save energy, it can save about 18,000 GJ of heat and 538,000 kWh of electricity every year. According to the unit price of heat of 82.67 yuan /GJ and unit price of electricity of 0.55 yuan /kWh, the energy management department of the school can reduce energy expenditure of about 1.78 million yuan per year.

## Chapter V

---

# Alternative Applications of Renewable Energy

Energy, environment and economy are the three elements of human social development. They integrated with each other, and together constitute the big system of human economic and social development. Energy is an essential driving force for economic and social development. On the one hand, economic growth depend on the support of energy, that is, energy promotes economic growth; On the other hand, sustainable development of energy must be based on economic growth. As global energy demand continues to surge and fossil energy extraction declines, alternative applications of renewable energy will become increasingly important. For example, the use of wind and solar energy to achieve sustainable power generation will become the trend. In July 2020, the European Commission launched the strategy for the integrated development of the EU energy system, In the same time promoted the establishment of industrial alliances in several key areas such as clean hydrogen energy and batteries. The French government's national Energy 2030 plan says it will continue to increase the Amount of renewable energy in its electricity supply, especially wind power, in order to achieve the energy transition.



In 1992, China formally submitted the Report on Environment and Development of the People's Republic of China to the United Nations Conference on Environment and Development, which clearly put forward the viewpoint of realizing sustainable development. Since then, China has taken sustainable development as an important guideline and strategic goal in the deployment of various work. On September 22, 2020, President Xi Jinping proposed at the 75th Session of the UN General Assembly that "China will increase its intended nationally determined contribution, adopt more forceful policies and measures, strive to peak its CARBON dioxide emissions by 2030 and strive to achieve carbon neutrality by 2060".

This part mainly uses renewable energy to replace traditional energy and achieve sustainable development. The following cases include Ball State University and Tongji University.

### **Case 1: Ball State University**

Ball State's commitment to sustainability is reflected in its mission statement (participation in the Talovares Declaration, the American University President's Commitment to climate, the Climate Leadership Commitment). By engaging students in educational, research and innovative activities, the school enables graduates to enrich their careers through lifelong learning and service, making their lives more meaningful while contributing to the economic, environmental and social dynamism of their communities, countries and the world.

Ball State University is committed to protecting and improving the environment through learning, research, service and administrative operations, seeking to build a community that maintains an ecosystem and educates in environmental awareness, local action and global thinking. Recognizing that sustainability planning will be an evolving practice, the school seeks to incorporate environmental principles and environmentally

responsible practices as an essential component of all operations and plans. The school was named one of the 50 coolest schools by the Sierra Club in 2014; Received gold STARS rating from the Association for Sustainable Development of Higher Education in 2015; Made the Princeton Review's Green College Honor Roll in 2018.

In a tradition of innovation, Ball State University is building the largest geothermal, closed-loop geothermal energy system in the United States that benefits both the economy and the environment. When the system is fully operational, universities will be able to turn off the boilers, reducing their carbon footprint on campus by nearly half. The system will heat and cool 47 buildings, reduce nearly all greenhouse gas emissions, improve building efficiency and energy exchange between buildings, and save \$2 million a year.

The implementation of this system proves that the geothermal energy combined with ground source heat pump technology can be used in large area distribution systems. Since geothermal energy is available in every state, the environmental and economic impacts are felt across the country.

## **Case 2: Tongji University**

"Shanghai International Design Project": Transformation of FAW Bus Garage into new Office Building (2011)

The former FAW Siping Road parking garage is located in Yangpu District, Shanghai. Built in 1999, it covers an area of more than 40,000 square meters and can accommodate 1,000 buses. It was the largest three-dimensional bus parking garage in Shanghai urban area. After adjusting university layout in Shanghai, the parking lot of FaW Siping Road was replaced with the Hudong campus of Statistics University and put under the ownership of Tongji University. At the beginning of the second century, Tongji University continues the architectural life of FAW parking garage, realizing the creative transformation.



Figure 5-2-1 Tongji University New Office Building (Photo source: Tongji University Architectural Design and Research Institute (Group) Co., LTD. New Office Building Guide)

The transformation is based on the three floors of the parking garage, adding two The roof part of the old building is arranged according to the solar optimal height Angle to array monocrystalline silicon, polycrystalline silicon and thin film amorphous silicon solar photovoltaic panels. The additional part uses the zigzag roof combined with various forms of solar photovoltaic panels to obtain efficient sunlight Angle. The facade and additions of the old building use gray thin film amorphous silicon solar panels[ Amorphous silicon solar cells are devices that convert light energy into electricity through the photoelectric or photochemical effect.] with a 20% transmittance which in place of

the traditional shielding materials so that the multi-functions of aesthetics, shading and power generation are realized. According to a tour of the new office building of the University's Architectural Design Institute, the total installed capacity of solar photovoltaic panels reaches a peak of 630 kW, with an average annual generating capacity of about 535 milliwatt hours, which can reduce carbon dioxide emissions by 566 tons per year.

The project won the Gold Award for architectural Creation of China Architecture Association in 2014, the Gold Award for architectural Design of four places on both sides of the Taiwan Straits in 2013, the first prize for Creative Design of "Gold Innovation Award" for Young Architectural designers in Shanghai in 2012, and the 8th Far East Architecture Award.

## Chapter VI

---

# Advocacy and Activities on Sustainable Lssues

Since the United Nations Declaration on the Environment emphasized the idea of sustainability in the context of higher education, the sustainable campus planning has received increasingly extensive attention around the globe. The Stockholm Declaration (in 1972) was recognized as the first attempt in which the sustainability rationales was introduced to the platform of higher education. Following the Stockholm Declaration are the Talores Declaration (in 1990), the Halifax Declaration (in 1991), the Association of University Leaders for a Sustainable Future (in 1992), and the Swansea Declaration (in 1993), which all made remarkable efforts and attempts pertaining to the sustainability development in universities. While aiming for advanced improvements in campus sustainability, these declarations and advocacies encompass the topics ranging from campus operations to community engagements. Nowadays, a huge amount of universities around the world have signed these declarations and practiced them in their campaigns. The advocacy and education on sustainability can not only effectively raise the environmental awareness among the students and faculty, but they also enhance the implementation of sustainability agenda around the nations. China, as well, recognizes

that founding the green campuses is a vital manifestation of sustainable ideologies in higher education. Since Tsinghua University initiated 'Demonstrative Project on Building a Green University' in 1998, many Chinese universities started to follow this "greener campus" trend.

This section primarily discusses how sustainability advocacy and campaigns promote the public perception of sustainable development in universities. The cases include Swiss Federal Institute of Technology Zurich (Switzerland), Yale University (US), University of British Columbia (Canada), and Princeton University (US).

### **Case 1: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH Zürich)**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH Zürich) was the first to establish the Environmental System Science Department among all European universities. The sustainable development principles playing important roles in all school departments, ETH Zürich has integrated them into four modules: research, education, campus, and social communications. The ideologies of sustainability even perpetuates the decision making by the administrative offices of the university. Sustainability was listed as one of five priorities of the school's strategic and Development Plan in 2017-2020. ETH Zürich also completed its Sustainability Assessment Report (later referred to as the "Report"), which then won the 2018 SwissEthics Award.

The report is developed by a combination of the Global Reporting Initiatives (GRI) and Sustainable Campus Charter of the International Sustainable Campus Network (ISCN), and it echoes the UN Sustainable Development Goals (SDGs) for the first time in the 2017-2018 report. The greenhouse gas emissions (GHG) accounting system at ETH Zürich invokes the GHG Protocol, which measures and reports six greenhouse gases under the Kyoto Protocol---carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), hydrofluorocarbons (HFCs), total carbon fluoride (PFCs) and sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>). GHG Protocol specifies three scopes for the GHG measurement and reporting: in

addition to the emissions from campus operations, the electricity purchases and business trips are also included.

The report sets out a series of concrete and measurable targets for 2017-2018. It includes 41 targets in 15 broad categories, most of which are set by the school's Environmental Committee (i.e. energy, waste disposal, etc.). These quantifiable goals play essential roles in baseline testing and progress monitoring.

### **Case 2: Yale University**

In 1900, Yale University established the first College of Forestry in the United States, which not only trained the first group of forestry workers, but also initiated an environmental movement that combined civil construction, waste management, energy generation, scientific research, and teaching that together shaped our modern concept of environmental protection and education. The Yale School of Forestry was renamed the Yale School of The Environment (formerly Yale School of Forestry and The Environment) in 2020. In 2005, Yale University officially established the Campus Sustainability Department, which is responsible for developing and coordinating campus sustainability strategies. Four years later, all of the constructions in Yale campus have been deferring to the sustainable building standards. In 2012, Yale's greenhouse gas emissions were 16% lower than in 2005.

The Yale Climate Change Initiative has also been made applicable to local communities through a set of guidelines, which broadens the target group to staff, faculty, and people not associated with the school, not just the students. Yale University believes that the change of individual mindset and behavior is a fairly important component in thinking of societal efforts on climate change, in addition to the improvements of the infrastructure. Therefore, Yale has been offering a wide range of programs and campaigns that appeal to the broader public, encouraging more involvements around the local communities. The school has given specific guidance on green commuting, paper waste reduction, water and energy saving, sustainable

consuming, and so forth.

Yale University has developed multiple versions of "environmental certificates" that apply to different scenarios or activities, such as campus events, offices, laboratories, and sports. Certificates are issued by the school's sustainability department, which makes participants coming from various backgrounds feel more engaged and rewarded, and encourages more effective individual and team participation.

### Case 3: University of British Columbia

In 1990, the University of British Columbia (UBC) signed the Talloires Manifesto and decided to incorporate and highlight the concept of sustainability in universities under the Ten-Point Action Plan. UBC became the first Canadian university to adopt a sustainable development approach in 1997 and then, in 1998, the first to establish a sustainability department. Currently, the school's approach to achieve sustainability is coordinated by eight school departments together (Figure 6-3-1). In 2019, UBC ranked first in ranking of climate devotions by Times Higher Education.



Figure the 6-3-1 UBC sustainable development policy in the main branch (photo source: <https://sustain.ubc.ca/about/who-we-are>)



The Internship Program for Sustainable Development Scholars (referred to as the Internship Program later) is an innovative flagship program at UBC. By pairing graduate students with the sustainability partners, the Internship Program enables the scholars to conduct hands-on research projects to promote sustainability around the communities and nearby regions. The topics of the research projects involve climate adaptation, local food products, green consuming, transportation, zero waste, green architecture, greenhouse gas emission reduction, biodiversity, health, and so forth. This Internship Program not only provides students with opportunities of research and internships with payments, but also connects students to mentors who are able to support them academically and professionally.

#### **Case 4: Princeton University**

In 2008, Princeton University published their first plan on sustainable developments, the Sustainability Action Plan of 2008. The Plan clarifies three major goals: reducing greenhouse gas emissions, saving natural resources, and encouraging environmentally focused research, teaching, and community engagements. On the third goal aforementioned, Princeton introduces an innovative project “Campus as Lab” (CAL), which aims to incorporate the notion of sustainability into school’s teaching and research. Since 2008, Princeton university’s CAL program has allowed students and faculty to use the campus as a research laboratory for cases studies regarding sustainability. In recent years, Princeton university has released the 2019 Sustainable Development Action Plan, which was built on the 2008 action plan, and set out more detailed goals (Figure 6-4-1). One of them is the Princeton 2046 carbon neutral Goal (Figure 6-4-2), which is expected to happen in the same year the university celebrated its 300th anniversary.

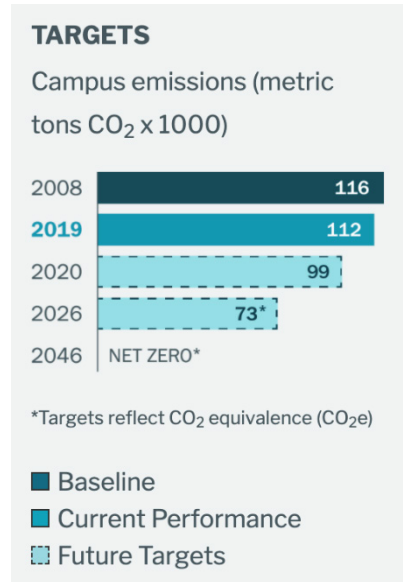


Figure 6-4-1 Timeline for the Princeton Sustainability Action Plan (Aim at Net Zero for 2046)(photo source: <https://sustain.princeton.edu/sustainability-action-plan/ghg-emissions>)

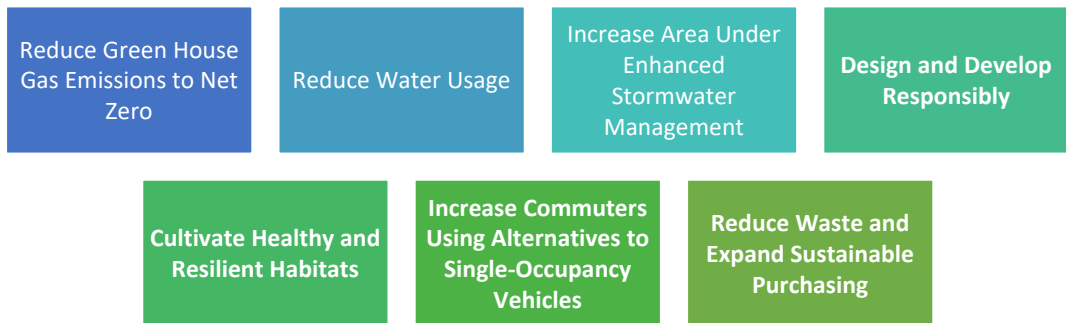


Figure6-4-2 : Proposed Approaches to Achieve 2019 Princeton Sustainability Action Plan(photo source: <https://sustain.princeton.edu/sustainability-action-plan>)

Students and staff can use the campus database for scientific research and education projects, including campus energy database, campus energy heat map, campus hydrometeorological database, campus food purchase data, campus satellite information, campus waste database and campus natural habitat information. The campus energy heat map was developed by three alumni in 2015, it was also an output from a course final project and the CAL project.

Currently, Princeton university is conducting four CAL projects led by students and professors, covering topics such as investigating campus kitchen waste composting, unsustainable palm oil products used on campus, and reducing ambient air pollution through technology.

## Epilogue

---

In 2007, a group of ambitious and zealous fellows gathered together to establish the China Youth Climate Action Network (CYCAN). Their mission is to empower Chinese youths to seize the opportunities and tackle social challenges posed by climate change and energy revolutions. From attending the United Nations Climate Change Conference in Copenhagen in 2009, to witnessing the Paris Agreement adoption in 2015, CYCAN has been diligently exploring the approaches that lead to a carbon-neutral future. Despite the resistances and challenges along the way, we see a great amount of young people joining and fighting with us, who are so determined and hard-bitten in their efforts against the environmental threats. 2020 is a strange and hazardous year, where the global COVID-19 pandemic has permanently switched the outlook of human living conditions and lifestyles. Though we are still working on the battle with the COVID-19 virus, there already seems to be endless conversations and worries around the question “where the post-pandemic era will take us to?” At the meantime, we should be aware of how the impending global climate crisis just resembles this brutal pandemic, in terms of their impacts to our entire human civilization and our swift social developments.

Imagine a wildfire that spans for days and even months, a drought that brings agonizing crop failures, an extinction event of a species that used to thrive in Amazon, a drowned town near the coast, and so forth. These ongoing tragic losses around the world often feel distant and irrelevant to us. However, there will be eventually a moment of our turn to endure these violences and costs, because the climate impacts evolve like grim pandemic that is only less rapid and less predictable. Note that in our prosperous social developments, the majority of the manifestations by the environmental problems still remain at the stage of “flickering warning light,” but we should not be negligent to any of the signals the nature sends us. Instead, we should be eternally reflecting upon what we do.

Climate Change is a global issue, so world-wide collaborations is the key. China, taking on huge responsibilities, has taken the lead to promise on transformations with regard to energy usage and carbon profile. Universities, as a miniature of urban communities and the hub for well-educated future leaders, should become the pioneers and exemplary models for low-carbon transformations. They should be continuously boosting the impetus for eco-friendly transformations in the context of cities and the nation. Many domestic universities and the ones abroad have developed myriad of advanced tools and approaches while undergoing their low-carbon transformations. These tips and tools should be invaluable resources and support for the rest of Chinese universities to conduct their own transformations. In this manual, here unfolds the cases studies of the low-carbon universities around the world, which will discuss the outcomes of the renovative attempts on campus planning, infrastructure renewing, and green policy making. These experimental strategies and unique cases will undoubtedly become the guidance and driving force for the eco-friendly transformations in a broad range of Chinese universities.

If this manual inspired you as a reader, prompted the first steps on low-carbon agendas, or advanced the existing carbon-neutral progresses, then its mission would be well-accomplished.

We are sincerely looking forward to seeing you in our sustainable future!

# 结语

---

## Conclusion

2007年，一群有理想与热情的小伙伴在此聚集，成立了（中国）青年应对气候变化行动网络（简称CYCAN），希望能与中国青年一起把握机遇，应对气候变化和能源变革所带来的挑战。从2009年次参与哥本哈根联合国气候谈判大会，到2015年见证《巴黎协定》的诞生，CYCAN正在通向零碳未来的道路上探索。沿途当然有阻力与困难，但更有许多同行者的身影，迈着坚定而有力的步伐在不断前行。2020年，是充满危机的一年：疫情或许会永久性地改变人类的生存环境和生活方式，“后疫情时代我们何去何从”的问题在困扰着我们每一个人。但和迅猛的疫情相比，气候危机更为棘手。一场山火、一次旱灾、一个物种的灭绝、一座城市的消失，这些遥远的、正在发生的事件，好像与我们毫无关系，却又与我们息息相关。事实上，在人类社会快速发展的过程中，警示的红灯一直在闪烁，自然界屡屡向人类的无度索取和蛮横征服发出警示。

气候变化是一个全球性问题，全球合作是其中一把关键钥匙。中国作为负责任的大国，已经率先做出了转型承诺，低碳转型的潮流势不可挡。校园作为城市的缩影，可以成为低碳转型的先行者、示范地，由点到面不断推动城市、国家的转型。在高校低碳转型的过程中，有许多国内外高校的先进经验可供借鉴，从不同校园低碳转型的不同方面给予帮助。在编写手册的过程中，一个个案例在眼前展开，仿佛一个个跳跃的音符，世界范围内的高校正通过校园规划、设备改造、政策制定等方式积极探索，共同谱写一曲美妙的绿色乐章。

如果本手册能够对您有所启发，迈出了高校低碳承诺、低碳转型的第一步，那就完成了它的使命。

期待与您在未来再次相遇！



本项目由联合国开发计划署全球环境基金小额赠款项目资助，由欧洲联盟与互满爱人与人基金会（互满爱人与人西班牙会员）共同支持。  
本册仅代表编写团队观点，与资助方立场无关。

本案例手册通过各类公开渠道收集资料，翻译整理而成  
如有疑问或纠错，欢迎与我们的工作人员联系

 E-mail: [cycanoffice@cycan.org.cn](mailto:cycanoffice@cycan.org.cn)

 Tel: 010 - 5332 8086

 Web: [www.cycan.org](http://www.cycan.org)

 Add: 北京市朝阳区霄云路35号中国乐势力音乐广场五层