

# 减少温室气体排放：医疗机构制冷剂替代潜力

——医疗机构 HFCs 制冷剂使用情况和替代技术调查报告

报告撰写：赵守冲

研究指导：李炎锋、赵昂、姜超

审稿：陈敬良

排版设计：李颖

发布日期：2020年6月

发布机构：磐之石环境与能源研究中心

### **机构介绍：**

磐之石环境与能源研究中心（REEI），前身为磐石环境与能源研究所，创立于2012年7月，是一家研究环境和能源政策的独立智库。我们以能源转型政策分析为主线，讨论如何在兼顾社会公平、气候变化、环境质量和公众健康的基础上，实现中国能源系统的低碳转型。并希望在此过程中促进多方参与、开放理性的环境政策讨论。

### **致谢：**

该报告是“医疗卫生机构空调系统能源审计和节能改造示范项目”的项目产出之一，感谢联合国开发计划署全球环境基金小额赠款计划对项目提供的资金支持。报告的撰写由北京工业大学在读硕士研究生赵守冲完成，排版设计由磐之石成员李颖完成。在报告的撰写和修改过程中，北京工业大学李炎锋教授给予了悉心的指导。报告初稿完成后，中国制冷空调工业协会陈敬良副秘书长对报告进行了认真、细致的审阅，提供了非常有帮助的修改建议和参考资料。在此特别感谢两位老师的支持。该报告还参考了磐之石的前实习生王昱瑞在实习期间帮忙整理的相关文献综述；此外，联合国开发计划署全球环境基金小额赠款计划中国项目协调员刘怡女士和能源基金会（美国）北京办事处的韩炜女士在报告的审稿工作安排方面提供了帮助；磐之石成员姜超参与了报告的校对工作，磐之石成员赵昂、林佳乔和李颖也为报告校对提供了支持。在此感谢各位老师和同仁的大力支持和辛勤工作。

# 目 录

1、项目介绍.....	2
1.1 调查背景.....	2
1.2 调查目的.....	3
1.3 调查内容.....	3
1.4 调查方法.....	3
2、常用制冷剂种类及特性分析.....	4
2.1. 制冷剂命名规则.....	4
2.2. 制冷剂环保评价指标.....	4
2.3. 常用制冷剂特性分析.....	4
3、国内医疗机构制冷剂种类调查.....	7
4、国内外制冷剂替代方案分析.....	8
4.1. 国外制冷剂替代方案分析.....	8
4.2. 我国制冷剂替代现状.....	10
4.3. 制冷剂替代方案汇总.....	11
5、HFCs 制冷剂削减的成本收益分析.....	13
6、讨论.....	15
6.1 主要结论.....	15
6.2. 本报告的不足.....	15
6.3. 建议.....	15
附录 国内医疗机构制冷剂使用情况调查.....	16

## 报告摘要

当前，减缓全球变暖已成为全球环境保护的首要课题。氢氟烃（HFCs）成为淘汰臭氧层破坏系数较高的氯氟烃（CFCs）和氢氯氟烃（HCFCs）的替代制冷剂并且得到广泛使用。但因其全球变暖潜能值（GWP）较高受到国际社会高度关注并制定了相应的使用削减计划。目前，HFCs带来的负面环境影响尚未引起医疗机构管理人员的足够重视，相应的应对政策和措施也不够完善。为了增进相关运营者和决策者对此问题的重视，本报告对国内医疗机构现阶段制冷剂使用情况进行初步调查，探讨国内外现有制冷剂替代方案的优缺点和应用前景，并对医疗机构HFCs制冷剂替换的成本和收益进行了初步的分析。据本报告所进行的初步文献调查结果显示，高GWP值的HFCs制冷剂在国内大中型医疗机构空调设备上应用比较普遍。考虑到国内外现存各种替代制冷剂均存在着不同类型的短板和缺点的情况下，需要根据医院建筑常用的机组类型、约束要求和发展策略建立可选的满足多维度要求的优化路径；需要关注国际节能环保行动的新动向、新进展，结合HFCs加速淘汰和HFCs的逐步削减行动，从技术与经济角度综合考虑，制定适用于医疗机构制冷设备行业发展的对策。

## Summary

At present, the mitigation of global warming has become the primary issue of global environmental protection. Although the HFCs are widely used to replace CFCs and HCFCs refrigerants with high ODP values, they have been received high attention by the international community because of high GWP value. The corresponding reducing application plans of HFCs have also been made. Currently, the negative environmental impact of HFCs has not received enough attention from healthcare facility managers, and the corresponding policies and measures to address it are inadequate. In order to raise the awareness of relevant operators and policy makers, this report conducts a preliminary survey on the current refrigerant use in domestic medical institutions and the characteristics and application prospects of existing refrigerant alternatives at home and abroad. In addition, the cost and benefit of replacing HFCs refrigerant in medical institutions are preliminarily analyzed. The results show that HFCs refrigerant with high GWP value are widely used in air conditioning equipment in the large and medium-sized medical institutions in China. Considering that there are different types of shortcoming and disadvantages in the existing alternative refrigerants, it is necessary to establish an alternative optimization path to meet the multi-dimensional requirements according to the types of units commonly used in hospital buildings, constraint and development strategies. It is necessary to pay attention to the new trends and progress of international energy conservation and environmental protection actions, and formulate countermeasures applicable to the development of refrigeration equipment industry for medical institution from a comprehensive technical and economic perspective, taking into account the accelerated phase-out of HFCs and gradual reduction action of HFCs.

# 1、项目介绍

## 1.1 调查背景

制冷技术广泛应用在家用电器、石油化工、冷冻冷藏、医疗卫生、学术科研等领域，在人们的学习工作生活中发挥着至关重要的作用。目前，制冷系统主要利用“液体气化制冷”的原理工作，形式主要有电驱动压缩式和热驱动吸收式两种，因电压缩式制冷系统的性能系数（COP）高于吸收式制冷系统，所以被广泛采用。制冷剂是在压缩式制冷系统中不断循环并通过其本身的状态变化以实现制冷的工作物质。在压缩式制冷系统中，经过节流的低温低压制冷剂在蒸发器中吸收热量蒸发，经过压缩机形成高温高压蒸汽后在冷凝器中放出热量冷凝，冷凝液体节流后再进入蒸发器，从而实现与外界的能量转换和传递，实现制冷的目的<sup>1</sup>。制冷装置的结构、工作参数、对环境的友好程度、运行及系统本身经济性与可靠性很大程度上与制冷剂的性质有关，制冷剂相关研究及发展直接影响到了整个制冷行业的发展。

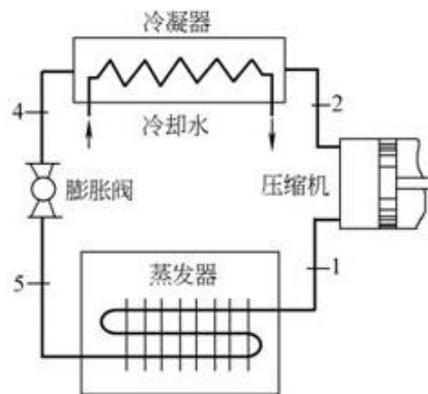


图1-1 压缩式制冷循环示意图<sup>2</sup>

19世纪中叶，人们第一次使用乙基醚作为制冷剂实现制冷循环，经过近两百年的发展，当前能用做制冷剂的物质有数十种，常见的制冷剂主要有饱和烃的卤代物、无机化合物、共沸点化合物、饱和碳氢化合物、不饱和碳氢化合物和卤代烯等。其中饱和烃的卤代物以其优越的综合性能在制冷领域中占据了极其重要的地位。但此类制冷剂对大气环境的负面影响也愈来愈引发人类社会的极大重视。

饱和烃的卤代物制冷剂分为4类：氟氯烃（CFCs）、氢氯氟烃（HCFCs）、氢氟烃（HFCs）、混合制冷剂。大多数常用卤代烃制冷剂对环境有显著的危害，其化合物中的氯元素会对臭氧层构成威胁，地球上已出现很多臭氧层空洞，有些漏洞已超过非洲面积<sup>3</sup>。其中CFCs类对臭氧层的破坏作用最大，例如R11、R12。1987年，全球24个国家签署了《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》（以下简称《蒙特利尔议定书》），将CFCs规定为受控物质并要求发达国家和发展中国家分别于1996年1月1日和2010年1月1日起停止CFCs生产与消费。HCFCs的臭氧层破坏系数相比CFCs明显降低，因此被视为CFCs类物质的最重要的过渡性替代物质，例如R22、R123。尽管如此，2007

<sup>1</sup> 郑俊逸. 冷水机组常用制冷剂及替代工质分析[J]. 化工与医药工程. 2019, 40(6): 50-55.

<sup>2</sup> 谭羽非, 吴家正, 朱彤. 工程热力学（第六版）[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 07

<sup>3</sup> 李连生. 制冷剂替代技术研究进展及发展趋势[J]. 制冷学报. 2011, 32(06): 53-58.

年9月召开的《蒙特利尔议定书》第19次缔约方会议将HCFCs完全淘汰时间提前了10年，从原定的2040年提早到2030年。HFCs对臭氧层无破坏作用，但是气候变暖潜能值很高，国际上将其定义为温室气体，例如R134a、R410A。2016年10月《蒙特利尔议定书》缔约方达成了减排HFCs的《基加利修正案》。根据设定的削减时间表，大部分发达国家将从2019年开始削减HFCs，到2036年在基线水平上削减85%；包括中国在内的绝大部分发展中国家将从2024年开始逐渐对HFCs生产进行冻结，2029年在基线水平上削减10%，到2045年削减80%<sup>4</sup>。

中国政府自1991年6月核准参加《蒙特利尔议定书》以来，一直积极参与政策讨论并认真履约。我国在2007年实现了对CFCs类物质消费的全面淘汰<sup>5</sup>。“十三五”期间，我国采用关闭和拆除的方式淘汰作为CFCs过渡性替代物的HCFCs生产配额以及相应的生产能力，使得HCFCs也得到了有效控制。HFCs是目前我国HCFCs的主要替代产品，2016年世界HFCs生产能力为136.15万吨/年（其中国外42.6万吨/年，国内93.55万吨/年），产量约为87万吨（其中国外42万吨，国内45万吨），我国HFCs产量超过全球的一半<sup>6</sup>。在美国和日本，目前已经开始出台法规控制HFCs的排放，我国社会各界正逐渐重视大量使用HFCs带来的负面影响，关于HFCs替代品的研发正在逐步进行。

医院作为人群密集的公共场所，为保证内部热湿环境，需要使用大型的空调制冷设备，据本报告所做调查，目前我国医院空调系统中HFCs制冷剂被广泛应用，消减HFCs用量需要较长时间和一定技术积累，因此我们认为有必要整理并分享制冷剂环境影响及替代技术开发进程等信息，帮助提高医疗卫生机构对HFCs影响全球气候变化的认识，为未来可能的设备更新换代做好准备。同时，本调查在综合考虑经济和环保相平衡的前提下，初步量化评价了医疗机构削减HFCs的成本和收益。

## 1.2 调查目的

- ①了解我国医疗卫生机构HFCs空调制冷剂的使用情况和现有替代技术；
- ②探讨我国医疗卫生机构的HFCs制冷剂削减路径；
- ③提高医疗卫生部门对HFCs影响气候变化的认识。

## 1.3 调查内容

- ①制冷剂种类、性能、对臭氧层影响及增温潜能的分析；
- ②国内医疗机构目前使用的制冷剂种类的调查；
- ③国内外现有制冷剂替代方案，替代制冷剂优缺点、适用领域及实际应用分析；
- ④HFCs 制冷剂削减的成本收益分析，包括经济成本和温室气体减排收益。

## 1.4 调查方法

本报告通过收集相关期刊文章和报道，对现有替代制冷剂的种类及性能进行整理、分析。通过搜集医疗机构空调系统及设备的维保和采购招标信息，以及制冷设备企业工程案例，整理了多家医院现有空调机组的品牌型号，并通过查询空调设备制造厂商官方网站相关产品参数了解到各种型号机组采用的制冷剂种类。

<sup>4</sup> 张霞玲, 张美琼, 王燕, 王凯明. 法律法规引导下制冷剂的替代趋势[J]. 润滑油. 2019, 34(3): 1-6.

<sup>5</sup> 美国特灵公司. 空调制冷剂的选择[R], 中央空调节能系统环保设计指南(四).

<sup>6</sup> 赵立群. HFCs 氢氟烃产业发展研究与展望[J]. 化学工业. 2018, 36(1): 16-25.

## 2、常用制冷剂种类及特性分析

### 2.1. 制冷剂命名规则

关于制冷剂的代号，目前世界通用的是美国供暖制冷工程协会于1967年制定的标准(ASHRAE Standard 34-67)中的规定。这一标准的编号方法是将制冷剂的代号同它的种属和化学构成联系起来，只要知道它的化学分子式，就可以写出它的代号。代号是由字母“R”(Refrigerant)和其后的数字组成的。

饱和碳氢化合物的卤代物分子通式为 $C_mH_nF_xCl_yBr_z$ ，其中m、n、x、y、z分别表示一个分子中含有的碳、氢、氟、氯、溴原子数量，满足关系式 $n+x+y+z = 2m+2$ 。卤代烃制冷剂的命名规则是R(m-1)(n+1)(x)B(z)，当碳原子数目为1时R后第一位数字需省略，另外如果z=0时B(z)可以省略。饱和碳氢化合物命名规则与卤代烃制冷剂相同，其中丁烷不按上述规则书写，而写成R600；另外如果属于同素异构物，则在正则分子制冷剂的基础上，在最后附加小写a、b、c等字母。

除上述碳氢化合物或卤代物外还有混合物制冷剂。已经商品化的非共沸制冷剂，按照应用的先后顺序，从R400开始顺序编号命名，共沸制冷剂则从R500开始顺序编号命名。其他各种有机物制冷剂命名从R600开始编号命名。无机物制冷剂则在字母R后加上分子的相对分子质量取整数部分加上700后得到的数字命名。

### 2.2. 制冷剂环保评价指标

制冷剂选择除了要有较好的热力性质和稳定的物理化学性质外，更应具有优良的环境特性。目前评价一种制冷剂对环境的影响主要从其全球变暖潜能值(GWP)、消耗臭氧层潜能值(ODP)和寿命期气候性能(LCCP)三个参数来进行考虑。

全球变暖潜能值是指在固定时间范围内比较一种温室气体排放相对于等量二氧化碳排放所产生的气候影响的指标，其值越大则表示该物质产生的温室效应越明显。消耗臭氧层潜能值是指比较一种物质的排放相对于CFC-11的排放所产生的臭氧层消耗的指标，其值越大代表该物质对臭氧层的破坏越大。寿命期气候性能是指综合考虑制冷剂排放的直接效应和能源利用的间接效应，以及考虑生产时所伴随的影响。

### 2.3. 常用制冷剂特性分析

目前，有研究认为制冷剂的发展经历了四代制冷剂的更替历程，这一划分方式受到学术界的普遍认可<sup>7</sup>。

第一代制冷剂的特点是容易获得，大多数制冷剂都是一些常见的溶剂和别的挥发性工质，如橡胶硫化物、二乙醚等。几乎所有的第一代制冷剂都具有不同程度的毒性、可燃性或较强的腐蚀性以及不稳定性，易引发事故，随着社会技术的发展，该类制冷剂已被淘汰。第二代制冷剂就是20世纪30年代问世的CFCs和HCFCs制冷剂。这一代制冷剂因其安全、稳定、高效的特点，快速取代第一类制冷剂在制冷技术中的应用，并占据重要地位。被广泛应用过的第二代制冷剂包括R12、R22等。但是由于其对臭氧层的巨大破坏作用，国际社会开始控制CFCs和HCFCs的生产与消耗。CFCs和HCFCs的逐步淘汰促进了保护臭氧层的第三代制冷剂的出现，具有环保特性的HFCs和天然制冷剂成为这一阶段主要的关注点，如R134a、R410A、氨等。第三代制冷剂具有不破坏臭氧层、无毒、稳定性好等特点，缺点是不能同时满足在ODP、GWP的要求，而且它们难以达到原来CFCs

<sup>7</sup> 秦越. 新型环保制冷剂的研究进展及发展趋势[J]. 化学世界. 2018, 59(1): 60-64.

或HCFCs的热力性能。第四代制冷剂的提出是为了应对当前面临的紧迫的气候变化问题，在满足不破坏臭氧层的基础上，尽可能采用更低GWP值的要求。近年来，全球范围内的多个研发机构和公司都在开展替代制冷剂的研发和评价，并取得了一些重要成果。

常见的几种制冷剂相关性质如表2-1所示。

表2-1 常见制冷剂性质和应用

名称	二氟一氯甲烷 (R22)	四氟乙烷 (R134a)	非共沸混合制冷剂R410A	二氟甲烷 (R32)	氨(R717)
分子式	CHClF <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>		CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>
类型	HCFCs	HFCs	HFCs	HFCs	无机化合物
制冷量 kcal/m <sup>3</sup>	454	216	256.7	289	520
ODP	0.05	0	0	0	0
GWP	1760	1300	1674	677	0
物理化学性质	无色无味、有一定毒性、安全性良好	无毒、无刺激性、无腐蚀性、安全性良好	由R32和R125各占50%组成，无毒、安全性良好	无毒、可燃，安全性较好	毒性大，弱可燃，对锌铜有腐蚀作用
应用	家用空调、商用空调、冷库、船用制冷设备、工业制冷	冰箱、冷柜、汽车空调、中央空调、冷库、商业制冷、冷冻冷凝机组	家用空调、小型商用空调、户式中央空调等	家用空调和小型商用空调	大型冷库
前景	被列为第二批限用禁用的制冷剂，目前仍大量使用，我国将于2030年限制淘汰	被视为温室气体，目前应用广泛，《基加利修正案》要求各国在未来逐步削减其生产和使用量	曾是国际公认的R22最佳替代品，现被视为温室气体，未来逐步削减其生产和使用量	GWP值仍较高，随着天然制冷剂HCs的发展，其使用量将逐渐减小	如果能解决密封和防爆的问题，在制冷空调系统中，将是R22理想的替代物。

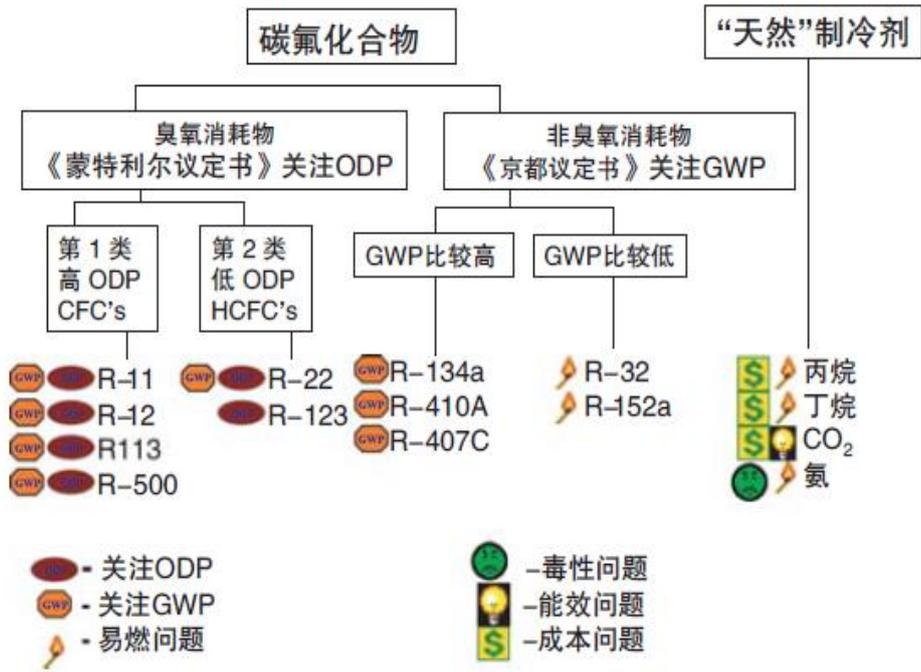


图2-1 制冷剂选择<sup>5</sup>

### 3、国内医疗机构制冷剂种类调查

医院作为人群密集的公共场所，使用功能复杂，内部热湿环境要求高，需要设置大型的集中式空调系统并24小时持续工作。由于空调使用时间长，机组的各个部件连接部位长时间受力加震动造成了密闭性的降低，再加上制冷剂一直处于流动状态，增加了制冷剂泄露的风险，从而造成可能的环境影响。所以医院建筑的制冷剂使用情况值得引起关注。本节将对国内医疗机构建筑制冷空调系统制冷剂种类的调查方法及结果进行简要介绍。

本节通过搜集国内医疗机构空调设备招标信息和制冷设备企业工程案例对全国33所医疗机构建筑的空调机组和制冷剂使用情况进行了收集分析。所涉及的医疗机构按照地域划分为东、西、南、北四个部分，见表3-1。33所医疗机构中包括公立医院31所、私立医院2所。公立医院中三级甲等规模18所、二级甲等规模10所、二级乙等规模2所，另外专科医院1所，等级不详。在搜集到的33所医疗机构的信息中，部分提及了相关医院的两种或两种以上型号空调机组，所以统计样本共有45个。由于本调查旨在了解不同医疗机构使用的制冷剂种类，不涉及制冷剂用量及制冷面积的分析，所以即使某个医院的某个型号空调机组有多台，也只按一个样本统计。详细的医疗机构信息、制冷剂使用情况和信息来源见附录。

虽然调查样本数量有限，但是可以大致了解到全国几个有代表性地区的大、中型医院的制冷剂使用情况。

表3-1 33所医疗机构按照地区分类结果

地区划分	北部（9所）	东部（11所）	南部（7所）	西部（6所）
所调查医疗机构地理位置	北京(4所)、山东(3所)、辽宁(1所)、河南(1所)	江苏(3所)、浙江(3所)、上海(3所)、安徽(2所)	广东(4所)、海南(2所)、江西(1所)	陕西(2所)、甘肃(2所)、四川(1所)、重庆(1所)

所收集的45个空调机组样本中，使用HFCs类制冷剂R134a和R410A的分别为27台和12台，使用HCFCs类制冷剂R22和R123的分别为4台和2台。33所医院中，使用HFCs的有27所，使用HCFCs的有3所，两种类型制冷剂都使用的有3所。

由初步调查结果可以大致判断出，自从2007年《蒙特利尔议定书》第19次缔约方会议将HCFCs完全淘汰时间提前后，近十年高GWP值的HFCs类制冷剂（R134a、R410A）在国内大中型医疗机构空调设备上得到了非常广泛的应用。国内医院HCFCs的淘汰进程明显快于《蒙特利尔议定书》规定的进程，可能因为国内医疗机构以公立为主，制冷空调设备的采购是通过政府采购渠道购买，因此采用了相对更加环保的HFCs。由调查结果也可以看出，提高医疗机构对HFCs影响全球气候变化的认识尤为重要。

## 4、国内外制冷剂替代方案分析

臭氧层破坏和全球变暖是当今人类社会共同面临的两大主要环境问题，给人类社会的可持续发展带来了巨大的压力和挑战。有科学研究结果表明，在1880年至2012年期间，全球陆地和海洋表面平均温度上升了0.85℃，气候变化导致极端天气事件频发，冰川和积雪融化加剧，水资源分布失衡，生态系统受到威胁，造成全球经济重大损失<sup>8</sup>。

为了应对这些问题，国际社会先后达成了《蒙特利尔议定书》、《京都议定书》等一系列国际公约。截至2010年1月1日，在全球范围内已实现了CFCs的全面淘汰，圆满实现了《蒙特利尔议定书》第一阶段的履约目标，HCFCs也得到了有效控制。当前国际社会削减高GWP值的HFCs的生产和消费的步伐日渐加快，制冷行业正在推进HFCs替代制冷剂的研发。

### 4.1. 国外制冷剂替代方案分析

从2000年至今，发达国家已经基本完成了HCFCs的淘汰转换<sup>7</sup>。在这一转换过程中，R410A、R134a等HFCs类制冷剂作为HCFCs的主要替代品获得了广泛的使用。随着《基加利修正案》的达成，发达国家在高GWP值的HFCs削减与替换方面也做了大量的研究和评估工作，并提出了三条主要的具有应用价值的新工作介质替代路线<sup>9</sup>：第一条是开发不饱和氟化烯烃（HFOs）类制冷工质，如R1234yf、R1234ze，该类制冷剂的特点是GWP值接近0，但是纯工质容积制冷量低、具有弱可燃性且生产成本低；第二条是采用天然制冷工质，如氨、CO<sub>2</sub>和碳氢化合物，该类制冷剂绿色环保，生产成本低，但是安全性低；第三条是开发由两种或两种以上的纯工质按照一定比例混合而成混合制冷剂工质，研究热点主要是HFOs混合制冷剂<sup>7</sup>，如R452B、R513A，其组成成分中添加了HFCs来增加热力性能和降低可燃性，相比HFOs纯工质具有更高的制冷能力，但是降低了环保性能，GWP值在600左右。除上述三种替代方案外，较低GWP值的HFCs类制冷剂（如R32，GWP=675）也得到了广泛的应用。

发达国家在新型环保制冷剂方面进行的探索目前取得了一定的成果。HFOs类制冷剂方面，杜邦、霍尼韦尔、阿科玛开发的HFOs类制冷剂R1234yf已经在美国、欧盟、日本、韩国的汽车空调领域得到了大量使用；开利公司在欧洲推出了首台使用HFOs纯工质R1234ze的水冷螺杆式冷水机组，用于中央空调。天然制冷剂方面，在美国和欧洲，NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>复叠系统在工业制冷、超市冷柜、滑雪滑冰场领域已经取得了较好的推广应用；德国、瑞典等国家把丙烷（R290）作为家用空调器行业制冷剂替代方案；全球最大的饮料公司可口可乐，选择采用CO<sub>2</sub>作为新型制冷剂，而冰淇淋生产企业联合利华公司则选择异丁烷R600a作为制冷剂用于其冷柜产品上。关于HFOs混合制冷剂，顿汉布什公司使用R513A作为R134a制冷剂的不可燃替代品，应用在亚太市场推广的DCLCG系列高速直连变频离心式冷水机组。较低GWP值的HFCs制冷剂方面，日本主要空调厂商大金、三菱等在日本国内和欧洲市场上相继推出了使用R32的家用空调，用来替代R410A。

由于天然制冷剂多数具有危险性，目前只适合于工商业制冷和充注量较少的家用空调中，未来研究热点集中在降低可燃性和减少充注量上<sup>10</sup>。在大中型空调机组领域，部分HFOs类制冷剂（如R1234ze、R1233zd等）因为极低的GWP值具有很大的潜力，将会成为未来削减HFCs的首选替代品，适合作为医院这种对空调需求较高建筑的清洁制冷剂。然而其制冷能力低、相关技术还不成熟且涉及到专利保护问题，目前虽然在欧洲有使用HFOs纯工质的机组上市，但是在大型冷水机

<sup>8</sup> 张朝晖. 制冷空调行业制冷剂替代进程解析[J]. 制冷与空调. 2015. 15(1):1-8.

<sup>9</sup> 李连生. 制冷剂替代技术研究进展及发展趋势[J]. 制冷学报. 2011, 32(6): 53-58.

<sup>10</sup> 赵文祥. 制冷剂 R290 的研究及应用现状[J]. 资源节约与环保. 2018 年第 11 期, 142-144.

组市场上并未得到大规模的推广。现阶段在大型空调机组领域，HFOs混合制冷剂得到了很大的重视，可直接替换HFCs并保证制冷效果，其更高的容积制冷量和较低的GWP值使其可作为HFCs的中长期过渡替代品<sup>11</sup>。同时，在中小型空调机组领域，R32容积制冷量比R410A稍大，且可直接替代R410A，在今后一段时间内可选用R32作为过渡替代方案。

表4-1列出了国外不同种类替代制冷剂的特性、应用现状和前景<sup>7,10,12,13</sup>，其中重点列举了天然制冷剂和混合制冷剂的特性以及应用情况。

表4-1 国外替代制冷剂介绍

替代制冷剂种类	制冷剂名称	特点	应用现状和前景
不饱和氟化烯烃 (HFOs)	HFO-1234yf、 HFO-1234ze	ODP=0, GWP<10, 无毒性, 弱可燃性, 容积制冷量较小, 系统应用性能系数COP较低, 价格昂贵	目前在欧美和日本HFO-1234yf已应用于汽车空调器上; HFO-1234ze在大型离心式冷水机组产品领域有比较好的前景, 但是相关技术还未成熟
天然制冷剂	氨 (R717)	ODP=0, GWP=0, 制冷效率高, 性能与R22相当, 易燃易爆, 有毒	目前在冷冻冷藏和工业领域应用广泛, 在楼宇空调中被限制使用。在未来需要解决密封和防爆的问题
	二氧化碳 (R744)	ODP=0, GWP=1, CO <sub>2</sub> 制冷系统具有工作压力高、压差大、压比小、运动部件间隙难以控制、润滑较困难等问题	压缩机的开发是制约CO <sub>2</sub> 制冷剂替代技术发展的难点
	烷烃制冷剂 (HCs) (如丙烷 (HC-290)、 异丁烷 (HC-600a))	ODP=0、GWP值低、无毒、理论制冷效率高, 具有强可燃性	德国、瑞典等欧洲国家把R290作为房间空调器行业制冷剂替代方案, R600a已在欧洲冷藏冷冻行业中占主导地位。HCs唯一的缺点在于可燃性, 现阶段只适用于充注量较小的情景, 需要通过技术手段确保使用安全, 未来研究热点集中在减少充注量、提高安全性等方面
混合制冷剂	HFCs混合制冷剂(如 R407C、R410A)	制冷效果优异, 但GWP值较高, 对地球变暖影响大	现阶段研究最多和最成熟的混合制冷剂, 但是高GWP值的HFCs混合制冷剂, 由于受到温室效益的约束, 只能作为过渡性临时替代剂
	HFOs混合制冷剂 (R513A、R452B等)	制冷能力与HFCs相当, ODP=0, GWP值较HFCs有大幅降低, 约为600	与HFCs设备相兼容, 可作为直接替代品。应用于螺杆冷水机组或离心冷水机组, 在大型空调机组领域可作为HFCs的中长期过渡替代品

<sup>11</sup> 《制冷与空调》微信公众号文章. 基加利修正案生效后替代制冷剂的选择与对策思考. 链接:  
<https://mp.weixin.qq.com/s/mP-X402k2W8YxA7uNW8tLg>

替代制冷剂种类	制冷剂名称	特点	应用现状和前景
较低GWP值的HFCs制冷剂	R32	ODP=0, GWP= 675, 属于典型的易爆炸性制冷剂	目前在家用空调和中小型商用空调领域得到了广泛应用。但是其GWP值仍属于基加利修正案的限制范围, 随着天然制冷剂HCs的发展, 其使用量将逐渐减小

## 4. 2. 我国制冷剂替代现状

目前中国已成为全球最大的制冷空调设备的生产国和消费国, 在未来较长一段时期内中国经济仍将保持较快的增长, 制冷剂的消费总量也将不断增加。目前中国制冷空调行业正在实施加速淘汰HCFCs工作, HFCs作为主要替代品, HCFCs的淘汰过程将驱动HFCs的消费和排放的快速增长。我国低GWP制冷剂的研究在借鉴发达国家的研究成果的基础上不断开拓创新。

2012年, 格力电器率先研发出R32新型环保冷媒空调, 并获得全球首张VDE认证证书<sup>12</sup>。R32家用空调在短时间内就获得了国内和欧洲市场的认可, 成为R22、R410A空调替代者之一。在国内家用空调市场上, 近几年R32空调的占比提升非常迅速, 已经超过30%<sup>13</sup>。然而, 随着《基加利修正案》的达成, GWP值为675的R32在未来将会被限制使用。相比之下, GWP值接近0的R290将成为未来家用空调领域更具有潜力的环保替代方案。作为全球最大的家用空调制造国, 中国是R290制冷剂在全球推广的中坚力量。截止2015年底, 已经开展了18条生产线的R290空调器替代改造项目和4条R290空调器压缩机的改造项目, 主要空调器制造商均已具备了R290空调量产的条件, 海尔、格力、美的、TCL等企业的R290空调自2015年开始已先后上市<sup>14</sup>。

另外, 国内空调企业积极与国际上大型制冷剂生产企业展开合作, 2012年海尔集团与美国霍尼韦尔共同推出全球首台使用新型HFOs类混合制冷剂Solstice L41 (R452B, GWP值低于500) 的空调机, 开启了HFOs在中央空调领域的发展。2017年, 美的集团选用科慕公司的欧特昂XL55(R452B) 替代R410A, 成为美的中央空调销往北美的单元机产品制冷剂<sup>15</sup>。2018年, 中国制冷空调工业协会联合科慕公司、高校、行业主机及压缩机制造企业启动了R513A制冷剂应用研究项目, 研究评估R513A制冷剂在冷水(热泵)机组中的应用特性, 该项目组成员单位针对R513A螺杆式单冷、热泵机组, 开展了换热器、压缩机、节流机构、材料兼容性等方面的适用性研究与优化设计, 目前已经初步完成样机测试阶段的工作<sup>16</sup>。

综合以上介绍, 目前世界上很多国家已经意识到了高GWP值HFCs制冷剂为环境带来的负面影响, 已经有奥地利、澳大利亚、巴巴多斯、比利时、贝宁、保加利亚、日本等87个《蒙特利尔议定书》缔约方批准基加利修正案<sup>17</sup>, 对我国来说, 目前正处在批准基加利修正案的准备阶段, 如

<sup>12</sup> 国家电网. 格力获全球首张 R32 环保冷媒空调 VDE 认证. 链接: <http://ac.cheaa.com/2012/1212/348685.shtml>

<sup>13</sup> 制冷快报. R32 空调: 短暂繁华后前景堪忧. 链接: [https://bao.hvacr.cn/201910\\_2084326.html](https://bao.hvacr.cn/201910_2084326.html)

<sup>14</sup> 国家电网. HFCs 大限将至, 全球就削减 HFCs 达成一致. 链接: [https://www.sohu.com/a/116324623\\_327591](https://www.sohu.com/a/116324623_327591).

<sup>15</sup> 邓雅静. HFOs 制冷剂在冷水机组上的应用: 混配形式为主, 进展缓慢[J]. 电器. 2017 年第 7 期. I0020 页.

<sup>16</sup> 中国制冷与空调网. R513A 制冷剂应用研究项目第四次工作组会议召开. 链接: [http://www.chinarefac.com/refrigerant\\_show.aspx?id=14187&from=timeline](http://www.chinarefac.com/refrigerant_show.aspx?id=14187&from=timeline)

<sup>17</sup> 贾琼, 国家电网. 全球变暖持续 R290 空调市场化进入关键时期. <http://news.cheaa.com/2019/1022/563735.shtml>

果在当前的HCFCs淘汰进程中简单地选择高GWP的HFCs作为替代物,那么未来一旦中国批准基加利修正案后会存在二次转换的风险,面临巨大的HFCs替代压力,制冷空调行业各界对此需高度关注,提前做好相关的应对准备工作。

### 4.3. 制冷剂替代方案汇总

根据目前国内外制冷剂替代的研究和应用进展,总结出了未来制冷剂替代的参考方案如表4-2所示。根据上一节调查内容,国内大中型医疗机构空调制冷设备大多为冷水(热泵)机组和多联式空调(热泵)机组,所以相关制冷剂替代方案可为医疗机构提供参考。

表4-2 未来制冷剂替代方案汇总<sup>8</sup>

产品类型	当前使用制冷剂	未来可能替代物
小型冷水(热泵)机组	R22 R410A	R410A(近期) R32(中长期)
大中冷水(热泵)机组	R22 R123 R134a	R134a(近期) R1234ze(中长期) HFOs混合制冷剂(中长期) R513A(中长期)
热泵热水机	R22 R134a R410A R407C	R134a(近期) R410A(近期) R32(中长期) CO <sub>2</sub> (中长期) HFOs混合制冷剂(中长期)
单元式空调机	R22 R142b R410A R407C	R410A(近期) R32(中长期) HFOs混合制冷剂(中长期)
多联式空调(热泵)机组	R410A	R410A(近期) R32(中长期) HFOs混合制冷剂(中长期)

产品类型	当前使用制冷剂	未来可能替代物
工商用冷冻冷藏设备和压缩冷凝机组	R22 R134a R404A 氨	R134a（近期） 氨/CO <sub>2</sub> （中长期） R32（中长期） HFOs混合制冷剂（中长期） HCs（中长期）

虽然目前尚未找到完全理想的制冷剂替代物，但就国际议定书的规定和长远的发展趋势而言，国际上普遍使用的高GWP的HFCs制冷剂也会在气候变化问题日益严峻的情况下逐步削减并被最终取代。未来中长期内如何切实有效地控制HFCs制冷剂的使用，加快转向更加低碳环保的替代制冷剂，政府和行业各界需要制定适宜的政策和战略，并尽早采取行动，通过政府的统筹规划和组织管理，行业机构、高校科研院及企业届的积极协调参与，共同为全球减排温室气体、保护生态环境做出贡献。

## 5、HFCs 制冷剂削减的成本收益分析

为了应对气候变化，中国提出了“CO<sub>2</sub>排放量在2030年左右到达峰值以及单位国内生产总值CO<sub>2</sub>排放量比2005年下降60%~65%”的自主行动目标<sup>18</sup>。消减和替代具有温室效应的HFCs制冷剂能够达到减排的实际效果，满足我国可持续发展的要求。

2013年，国外有研究表明在全球范围内削减HFCs能够使本世纪末全球气温升高幅度减缓0.5℃，可以对巴黎协议中由国际社会一致通过的控制全球平均气温不高于工业时代前水平2℃的目标做出很大的贡献<sup>19</sup>。联合国环境规划署（UNEP）评估，相比不受控情况，到2050年中国消减HFCs可带来减少300亿~400亿吨二氧化碳当量的气候效益，为全球降温0.5℃贡献三分之一的力量<sup>20</sup>。HFCs替换的时间和速度对于可以实现的气候收益有很重要的作用。概括来说，及早实施削减政策并且加快替代进程可以实现更高的减排成果。

虽然使用低GWP值替代制冷剂可以获得可观的环保效益，但是其带来的经济成本的增加也同样不可忽视。

作为研究热门的大型冷水机组新型替代制冷剂，HFOs类纯工质如R1233zd、R1234ze等的GWP接近于0，但是容积制冷量低，直接替换HFCs会导致机组制冷能力的下降。顿汉布什公司研究人员分别将R1234ze和R134a在同一台螺杆式冷水机组上开展制冷循环性能试验，采用R1234ze制冷剂，其容积制冷量有所衰减（约24%）<sup>21</sup>。为达到HFCs产生的制冷量，需要对机组进行重新设计或直接更换新机组。虽然目前欧洲已经推出HFOs纯工质冷水机组，但是由于目前HFOs纯工质替代技术还不成熟、涉及到高昂的专利费用、原料价格昂贵（R1234ze每kg达到500元以上，相比HFCs高出20倍），当前在冷水机组市场并未得到大规模推广。现阶段在国内医疗机构大型空调机组中使用纯HFOs作为替换制冷剂并不合适，可先选择使用热物性较好的HFOs混合制冷剂作为一种中长期过渡方案，等专利到期、技术成熟且前景明朗后再大规模推广HFOs类纯工质。

上一节介绍过的欧特昂XL55（R452B）属于HFOs混合制冷剂的一种，由R1234yf、R32和R125组成。其与R410A设备具有良好兼容性，GWP值为600，较R410A降低65%，热物性较优且可获得性较好，是较成熟的实现2040年削减任务的可选方案之一。以在一个8冷吨的多联机系统上替代R410A为例来计算减排成本，该机组上使用R410A，需要充注10.8kg，而2019年R410A的售价约为28元/kg；如果考虑选用R452B直接替代，需要充注9kg，可实现16吨的CO<sub>2</sub>当量减排，而2019年国内R452B的市场售价约为230元/kg。所以，如不考虑应用新制冷剂带来的系统改造和其他技术研发等费用，可大致估算用R452B替代R410A，其CO<sub>2</sub>当量削减成本为110元/吨<sup>11</sup>。

医疗机构中小型空调机组制冷剂替换成本方面，在一台12000Btu的整体式单冷机组上，利用R32和R410A制冷剂进行匹配实验对比。在满足相同制冷量和EER的情况下，使用R32时压缩机和两器配置容量减少，灌注量减少40%，蒸发器尺寸宽度和U管数减少25%，冷凝器的宽度和管径同样也有减小。所以，在满足相同制冷量和EER的情况下，可以大幅降低系统的配置成本<sup>22</sup>。从经济角度，目前R32均价为31000元/吨，R410A均价为28000元/吨，由于使用R32可减少40%灌注量，这意味着制冷剂原材料成本减少33.6%。

<sup>18</sup> 李海鹰. 浅谈巴黎气候大会后中国碳减排问题[J]. 现代商业. 2017年第11期, 163-164.

<sup>19</sup> Y. Xu, D. Zaelke. The role of HFCs in mitigating 21st century climate change[J]. Atmospheric Chemistry and Physics. 13(12): 6083-6089.

<sup>20</sup> 王礼, 何小渝. 中国制冷空调行业制冷剂替代策略的思考. 制冷与空调. 2011. 11(1): 95-100

<sup>21</sup> 杜国良. R1234ze与R134a在冷水机组中的应用对比与探讨[J]. 制冷与空调. 第18卷, 第8期.

<sup>22</sup> 何志超. 整体式空调系统中R32替换R410A的对比分析[J]. 家电科技. 2015, 第08期, 50-51

综合上面的分析，虽然目前在制冷空调领域削减高GWP值HFCs制冷剂的相关技术还未完全成熟，而且经济成本较大，但是高GWP值HFCs的淘汰在国际上已经形成了共识，使用替代制冷剂带来的环保收益巨大，符合我国节能减排的政策趋势，在未来不可避免。现阶段在国内医疗机构中，大型空调机组可先考虑选择使用热物性较好的HFOs混合制冷剂作为一种中长期过渡方案；中小型空调机组可选用R32作为过渡替代方案。

## 6、讨论

### 6.1 主要结论

本报告首先介绍了制冷技术发展进程中常见的几种制冷剂的性质和对大气环境的影响,其次通过在网上搜集资料的方式对全国 33 所医疗机构建筑的制冷设备和制冷剂种类进行了调查分析,最后结合国内外现有制冷剂替代方案对医疗机构 HFCs 制冷剂削减的成本和收益进行了初步的分析。

通过制冷剂的发展进程可以发现制冷剂的发展是与环境保护密切相关的,制冷剂的发展趋势体现了环境可持续发展的要求。面对日益严重的气候问题,国际上签署了一系列的议定书,从淘汰CFCs到限制HCFCs,再到提出削减高GWP的HFCs,无不体现出生态环境可持续发展的中心原则。

得益于国际社会的重视,目前CFCs制冷剂已被全面淘汰,HCFCs也得到了有效控制,削减高GWP值的HFCs的步伐日益加快。虽然目前世界各国都在制冷剂替代方案上进行了深入的研究,但是在全球范围内尚未找到完全理想的制冷剂替代物。

高GWP值的HFCs制冷剂在国内大中型医疗机构空调设备上得到了非常广泛的应用,提高各界对HFCs影响气候变化的认识尤为重要。虽然现阶段削减HFCs制冷剂的相关技术还未完全成熟,而且经济成本较大,但是使用替代制冷剂带来的环保收益巨大,符合我国节能减排的政策趋势,在未来不可避免。现阶段在国内医疗机构中,针对大中型空调机组可先考虑选择使用热物性较好的HFOs混合制冷剂作为一种中长期过渡方案,针对中小型空调机组可先考虑采用R32等GWP较低的解决方案。

### 6.2. 本报告的不足

由于相关资料较少,本报告只调查了全国33所医疗机构空调设备制冷剂使用情况,其调查分析结果不足以全面反映国内医疗机构制冷剂使用情况。另外,本报告只初步介绍了部分HFOs类纯工质和混合工质替换HFCs所增加的成本,未考虑其它更多的替代方案,还不能对削减HFCs制冷剂的成本和收益进行全面的量化分析。

### 6.3. 建议

在未来中长期内如何切实有效地控制HFCs制冷剂的使用,加快转向更加低碳环保的替代制冷剂,政府和行业各界需要制定适宜的政策和战略,并尽早采取行动,通过政府的统筹规划和组织管理,行业机构、高校科研院及企业届的积极协调参与,共同为全球减排温室气体、保护生态环境做出贡献。

## 附录 国内医疗机构制冷剂使用情况调查

地区	医院名称	规模	工程时间	空调设备型号	制冷剂种类	信息来源
北部	北京市海军总医院	三级甲等	2019	顿汉布什 WCFX36 系列水冷螺杆式冷水机组	R134a (HFCs)	中国人民解放军总医院第六医学中心公开采购信息公告系统 <a href="http://183.60.29.7:8090/IndexNew.aspx">http://183.60.29.7:8090/IndexNew.aspx</a>
				约克 YK 系列水冷离心式冷水机组	R134a (HFCs)	
				约克 YS 系列水冷螺杆式冷水机组	R134a (HFCs)	
				约克 YCAB 系列风冷涡旋热泵机组	R22 (HCFCs)	
	山东省滨州市阳信县人民医院	二级甲等	2019	顿汉布什降膜式蒸发冷螺杆冷水机组	R134a (HFCs)	产业在线：国内最大冷量蒸发冷机组助力医院建设 <a href="http://cac.chinaiol.com/s/1119/98204117.html">http://cac.chinaiol.com/s/1119/98204117.html</a>
	北京华康中医医院	私立	2019	LG 直流变频多联机商用中央空调	R410A (HFCs)	国泰良友中央空调解决方案专家工程案例 <a href="http://www.bjgtlykt.com/yldwal298.html">http://www.bjgtlykt.com/yldwal298.html</a>
	北京清华长庚医院	三级甲等	2017	麦克维尔 WSC087 系列离心式冷水机	R134a (HFCs)	北京清华长庚医院 2017~2018 年供冷系统维保招标公告招标文件附件 <a href="http://www.btch.edu.cn/xxdt/zbx_xxd/28169.htm">http://www.btch.edu.cn/xxdt/zbx_xxd/28169.htm</a>
麦克维尔 WSC113 系列离心式冷水机				R134a (HFCs)		

地区	医院名称	规模	工程时间	空调设备型号	制冷剂种类	信息来源
	辽宁北票市中医院	二级甲等	2019	欧科模块式风冷热泵机组 EKAC460BR1	R410A (HFCs)	北票市中医院中央空调主机采购及安装项目中标公告 <a href="http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201910/t20191017_13125476.htm">http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201910/t20191017_13125476.htm</a>
	山东青岛市妇女儿童医院	三级甲等	2019	顿汉布什DCLC550N离心式冷水机	R134a (HFCs)	青岛市妇女儿童医院中央空调设备、暖通管路维修保养项目中标公告中标清单附件 <a href="http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201910/t20191010_13070017.htm">http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201910/t20191010_13070017.htm</a>
				乐金离心式冷水机LTP080水冷离心机	R134a (HFCs)	
	北京大学第三医院	三级甲等	2019	东芝SMMS直流变速多联式中央空调	R410A (HFCs)	东芝空调产品应用实例欣赏 <a href="https://www.toshiba-airconditioning.com.cn/example_hospital.aspx">https://www.toshiba-airconditioning.com.cn/example_hospital.aspx</a>
	山东省济宁医学院附属医院	三级甲等	2011	格力离心式水冷冷水机组	R134a (HFCs)	格力商用中央空调样板工程 <a href="http://www.gree.com/pczwb/cpzx/greezykt/ybgc/wtws/20160413/detail-13823.shtml">http://www.gree.com/pczwb/cpzx/greezykt/ybgc/wtws/20160413/detail-13823.shtml</a>
	河南省郑州市第二人民医院	二级甲等	2011	格力离心式水冷冷水机组	R134a (HFCs)	格力商用中央空调样板工程 <a href="http://www.gree.com/pczwb/cpzx/greezykt/ybgc/wtws/20160413/detail-13822.shtml">http://www.gree.com/pczwb/cpzx/greezykt/ybgc/wtws/20160413/detail-13822.shtml</a>
东部	浙江杭州之江医院	三级甲等	2019	麦克维尔磁悬浮变频离心式冷水机组WXE	R134a (HFCs)	麦克维尔案例研究 <a href="http://www.mcquay.com.cn/alyj/list_14.aspx?page=3">http://www.mcquay.com.cn/alyj/list_14.aspx?page=3</a>
	江苏苏州第九人民医院	三级甲等	2017	WCC定频离心式冷水机组	R134a (HFCs)	麦克维尔案例研究

地区	医院名称	规模	工程时间	空调设备型号	制冷剂种类	信息来源
	院			WSC 变频离心式冷水机组	R134a (HFCs)	<a href="http://www.mcquay.com.cn/alyj/list_14.aspx?page=5">http://www.mcquay.com.cn/alyj/list_14.aspx?page=5</a>
	浙江省浦江县人民医院	二级甲等	2012	海尔中央空调 MXSKYN	R22 (HCFCs)	浙江政府采购网 <a href="http://zfcg.czt.zj.gov.cn/innerUsed_noticeDetails/index.html?noticeId=794788">http://zfcg.czt.zj.gov.cn/innerUsed_noticeDetails/index.html?noticeId=794788</a>
	江苏南京鼓楼医院	三级甲等	2019	海尔水冷磁悬浮离心机组	R134a (HFCs)	海尔商业解决方案网页下政府公建方案—查看经典案例 <a href="https://www.haier.com/cn/business/central_air_conditioning/business_central/fiveprogram/building/">https://www.haier.com/cn/business/central_air_conditioning/business_central/fiveprogram/building/</a>
海尔普通离心式冷水机组				R134a (HFCs)		
	浙江杭州市肿瘤医院	三级甲等	2012	美意 MAC0220	R22 (HCFCs)	关于杭州市肿瘤医院中央空调在线询价合同公告附件 <a href="http://zfcg.czt.zj.gov.cn/innerUsed_noticeDetails/index.html?noticeId=6177935">http://zfcg.czt.zj.gov.cn/innerUsed_noticeDetails/index.html?noticeId=6177935</a>
	江苏无锡市中医医院	三级甲等	2013	特灵 RTHD 高效型螺杆式水冷冷水机组	R134a (HFCs)	特灵中国官方网站医院案例 <a href="https://www.trane.com/commercial/asia-pacific/china/zh/markets/healthcare/healthcare-case-studies/_-.html">https://www.trane.com/commercial/asia-pacific/china/zh/markets/healthcare/healthcare-case-studies/_-.html</a>
特灵三级压缩离心式冷水机组				R123 (HCFCs)		
	上海市静安区中心医院	二级甲等	2012	特灵 高效水冷离心式制冷主机	R134a (HFCs)	特灵中国官方网站医院案例 <a href="https://www.trane.com/commercial/asia-pacific/china/zh/markets/healthcare/healthcare-case-studies/jingan.html">https://www.trane.com/commercial/asia-pacific/china/zh/markets/healthcare/healthcare-case-studies/jingan.html</a>
	上海交通大学医学院附属第九人民医院奉	二级甲等	2019	东芝 SMMS 直流变速多联式中央空调系统	R410A (HFCs)	东芝空调产品应用实例欣赏 <a href="https://www.toshiba-airconditioning.com.cn/example_">https://www.toshiba-airconditioning.com.cn/example_</a>

地区	医院名称	规模	工程时间	空调设备型号	制冷剂种类	信息来源
	城分院					hospital.aspx
	上海市第六人民医院	三级甲等	2011	格力模块化直流变频多联机 组	R410A (HFCs)	格力商用中央空调样板工程 <a href="http://www.gree.com/pczwb/cpzx/greezykt/ybgc/wtws/20160413/detail-13821.shtml">http://www.gree.com/pczwb/cpzx/greezykt/ybgc/wtws/20160413/detail-13821.shtml</a>
	安徽合肥市中心医院	三级甲等	2010	格力离心式水冷冷水机组	R134a (HFCs)	格力商用中央空调样板工程 <a href="http://www.gree.com/pczwb/cpzx/greezykt/ybgc/wtws/20160413/detail-13802.shtml">http://www.gree.com/pczwb/cpzx/greezykt/ybgc/wtws/20160413/detail-13802.shtml</a>
	安徽池州第二人民医院	二级甲等	2009	格力螺杆机组	R134a (HFCs)	格力商用中央空调样板工程 <a href="http://www.gree.com/pczwb/cpzx/greezykt/ybgc/wtws/20160413/detail-13789.shtml">http://www.gree.com/pczwb/cpzx/greezykt/ybgc/wtws/20160413/detail-13789.shtml</a>
南部	广东乐昌市第二人民医院	二级乙等	2019	格力 GMV-560WM/X	R410A (HFCs)	乐昌市第二人民医院中央空调等设备的中标、成交公告报价 明细附件 <a href="http://www.ccg.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/202001/t20200102_13690909.htm">http://www.ccg.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/202001/t20200102_13690909.htm</a>
	广东梅州市梅县区中 医医院	二级甲等	2019	约克模块式水冷冷水机组 YCWE042XSME50	R410A (HFCs)	梅州市梅县区中医医院中央空调+空气能热水项目的中标、 成交公告报价明细附件 <a href="http://www.ccg.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201912/t20191219_13600652.htm">http://www.ccg.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201912/t20191219_13600652.htm</a>
	广东湛江中心人民医 院	三级甲等	2019	麦克维尔板管蒸发式冷凝螺 杆冷水机组 WSCZ660CSX-A	R134a (HFCs)	湛江中心人民医院中央空调系统维保项目的中标结果公告 招标文件附件

地区	医院名称	规模	工程时间	空调设备型号	制冷剂种类	信息来源
				麦克维尔板管蒸发式冷凝螺杆热泵 WSCZ1120CSX-A	R134a (HFCs)	<a href="http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201911/t20191106_13270042.htm">http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201911/t20191106_13270042.htm</a>
				麦克维尔螺杆蒸发式冷凝冷水机 WSCZ480PSX-A	R134a (HFCs)	
	江西省赣州市南康区第二人民医院	二级甲等	2019	格力 GMV-2720WM/X	R410A (HFCs)	中国政府采购网 <a href="http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201912/t20191212_13551459.htm">http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201912/t20191212_13551459.htm</a>
	海南博鳌恒大国际医院	私立	2019	双级压缩离心式冷水机组 WTC/WCT	R134a (HFCs)	麦克维尔案例研究 <a href="http://www.mcquay.com.cn/alyj/list_14.aspx?page=11">http://www.mcquay.com.cn/alyj/list_14.aspx?page=11</a>
	广东肇庆市怀集县第三人民医院	精神卫生专科医院	2019	模块式风冷热泵机组	R410A (HFCs) (招标文件提出的要求)	中国政府采购网 <a href="http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201909/t20190911_12888083.htm">http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201909/t20190911_12888083.htm</a>
	海南三亚人民医院	三级甲等	2008	格力螺杆机组	R134a (HFCs)	格力商用中央空调样板工程 <a href="http://www.gree.com/pczwb/cpzx/greezykt/ybgc/wtws/20160413/detail-13790.shtml">http://www.gree.com/pczwb/cpzx/greezykt/ybgc/wtws/20160413/detail-13790.shtml</a>
格力商用变频多联机组				R410A (HFCs)		
西部	重庆开县人民医院	三级甲等	2019	麦克维尔 MWSC 系列水源热泵机组	R134a (HFCs)	麦克维尔案例研究 <a href="http://www.mcquay.com.cn/alyj/list_14.aspx?page=22">http://www.mcquay.com.cn/alyj/list_14.aspx?page=22</a>
	甘肃兰州市西固区人民医院	二级甲等	2016	海尔多联式室外机 RFC532MXSKYA	R22 (HCFCs)	中国政府采购网 <a href="http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201608/t20160811_7170002.htm">http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/zbgg/201608/t20160811_7170002.htm</a>

地区	医院名称	规模	工程时间	空调设备型号	制冷剂种类	信息来源
	陕西省铜川市耀州区 人民医院	二级乙等	2018	双级压缩离心式冷水机组 WTC/WCT	R134a (HFCs)	中国政府采购网 <a href="http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/cjgg/201811/t20181116_11126990.htm">http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/cjgg/201811/t20181116_11126990.htm</a>
	陕西西安市中医医院	三级甲等	2019	开利涡旋式风冷热泵换季机组	R410A (HFCs)	中国政府采购网 <a href="http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/cjgg/201909/t20190905_12840851.htm">http://www.ccgp.gov.cn/cggg/dfgg/cjgg/201909/t20190905_12840851.htm</a>
	甘肃省人民医院	三级甲等	2009	特灵 RTHD 螺杆式冷水机组	R134a (HFCs)	特灵中国官方网站医院案例 <a href="https://www.trane.com/commercial/asia-pacific/china/zh/markets/healthcare/healthcare-case-studies/GANSU.html">https://www.trane.com/commercial/asia-pacific/china/zh/markets/healthcare/healthcare-case-studies/GANSU.html</a>
特灵三级压缩离心式冷水机组				R123 (HCFCs)		
	四川大学华西第二医院	三级甲等	2019	东芝 SMMS 直流变速多联式中央空调	R410A (HFCs)	东芝空调产品应用实例欣赏 <a href="https://www.toshiba-airconditioning.com.cn/example_hospital.aspx">https://www.toshiba-airconditioning.com.cn/example_hospital.aspx</a>