



湿地生物多样性恢复 技术手册

北京林学会

2024年1月

目录

一、 湿地生物多样性保护与修复背景.....	1
1.1 湿地的生物多样性功能	1
1.2 北京湿地动植物资源	2
1.3 湿地退化与生物多样性	3
二、 湿地生物多样性修复目标与原则.....	7
2.1 修复目标	7
2.2 生态恢复原则.....	8
三、 退化湿地调查与评价	10
3.1 退化湿地生态调查	10
3.1.1 水文水质调查	10
3.1.2 基底	10
3.1.3 生物调查.....	11
3.1.4 社会经济及开发利用、受威胁状况.....	12
3.2 问题诊断与分析	12
3.2.1 湿地生态系统组成和结构退化状况.....	12
3.2.2 湿地生物多样性下降状况	13
3.2.3 湿地生态系统服务功能退化状况.....	13
3.2.4 湿地环境承载力退化状况	13
3.3 生态修复分区.....	14
四、 生态修复方法与技术	15
4.1 生态修复方法.....	15

4.1.1 自然修复.....	15
4.1.2 人工促进修复.....	15
4.2 生态修复技术.....	16
4.2.1 水量恢复.....	16
4.2.2 水质修复.....	18
4.2.3 植物恢复技术.....	20
4.2.4 地形塑造.....	22
4.2.5 岸带修复.....	25
4.2.6 鸟类栖息地恢复.....	26
五、 生态监测与评估.....	31
5.1 生态监测	31
5.1.1 监测内容.....	31
5.1.2 监测方法.....	32
5.1.3 监测频率.....	32
5.2 生态修复评估.....	32
5.2.1 评估内容.....	32
5.2.2 评估方法.....	33

一、湿地生物多样性保护与修复背景

1.1 湿地的生物多样性功能

湿地是处于陆地生态系统和水生生态系统之间的过渡性自然综合体,它与森林、海洋并称为全球三大生态系统,被誉为“地球之肾”、“生命的摇篮”、“物种基因库”等,湿地是自然界生物多样性最丰富的自然景观和人类最重要的生存环境。

湿地不仅具有调节气候、净化水质、蓄洪防旱、保护海岸、提供游憩场所、提供野外科研场所等功能,而且湿地还具有能够提供生物栖息场所、保护生物遗传多样性的功能。湿地拥有丰富的野生动植物资源,是众多野生动植物特别是珍稀水禽的繁殖、越冬地,约有一半的国家一级保护的鸟类生活在湿地中。中国是湿地生物多样性最丰富的国家之一,亚洲有 57 种处于濒危状态的鸟,在中国湿地已发现有 31 种,全世界有鹤类有 15 种,中国湿地记录到鹤类有 9 种。据估计,全球 40% 以上的物种生活在淡水湿地中。中国许多湿地是具有国际意义的珍稀水禽、鱼类的栖息地,贵州草海湿地,每年栖息越冬的鸟类在 180 多种 20 万只以上,其中的黑颈鹤是世界上唯一的高原鹤,也是我国特有的鹤种,属一级保护动物。黄河河口湿地是东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的“中转站”和越冬、繁殖地,这一地区有水生生物 800 多种,其中属国家重点保护的动物有文昌鱼、江豚等,还有濒危物种野大豆等上百种野生植物,有各种鸟类约 187 种,在中日

候鸟保护协定之内的有 108 种，属国家重点保护的有 32 种，辽河河口湿地也是候鸟迁徙的必经之地，每年经这里迁徙、停歇的候鸟多达 172 种，数量千万只以上。天然的湿地环境对物种保存和保护物种多样性发挥着重要的作用。湿地是重要的遗传基因库，对维持野生物种种群的存续、筛选和改良具有商品意义的物种，均具有重要的意义。

1.2 北京湿地动植物资源

北京地区虽然湿地面积相对较小，但是湿地野生动物种类多，特别是鸟类资源丰富，北京共记录到湿地野生动物共 5 类 23 目 36 科 202 种。其中，湿地鸟类 9 目 15 科 107 种；鱼类 8 目 12 科 77 种；两栖类 2 目 5 科 8 种；爬行类 3 目 3 科 9 种；哺乳类 1 目 1 科 1 种。国家重点保护野生动物共 16 种。其中，哺乳类仅麋鹿 (*Elaphurus davidianus*) 1 种，为国家 I 级保护动物，两栖类仅大鲵 (*Andrias davidianus*) 1 种，为国家 II 级保护动物，其余均为湿地鸟类，共 14 种。在湿地鸟类中，属国家 I 级保护的 3 种，属国家 II 级保护的 11 种。

湿地内共有植物 113 科 398 属 747 种，占全市植物种数 2088 种的 35.8%，其中：湿地植物（湿生、水生植物）70 科 206 属 369 种，占全市植物种数的 17.7%。按照植物门划分，被子植物有 66 科 202 属 362 种（其中：双子叶植物 48 科 138 属 231 种，单子叶植物 18 科 64 属 131 种）；蕨类植物 4 科 4 属 7 种。北京市有国家 II 级保护植物 1 种：野大豆 (*Glycine soja*)。北京市 I 级保护植物 2 种，分别

为槭叶铁线莲 (*Clematis acerifolia*) 和北京水毛茛 (*Batrachium pkinense*); II级保护野生植物 14 种, 分别为芡实 (*Euryale ferox*)、膜荚黄耆 (*Astragalus membranaceus*)、拐枣 (*Hovenia dulcis*)、宽苞水柏枝 (*Myricaria bracteata*)、中华秋海棠 (*Begonia grandis*)、白首乌 (*Cynanchum bungei*)、丹参 (*Salvia miltiorrhiza*)、黄芩 (*Scutellaria baicalensis*)、黑三棱 (*Sparganium stoloniferum*)、花蔺 (*Butomus umbellatus*)、菰 (*Zizania latifolia*)、知母 (*Anemarrhena asphodeloides*)、黄精 (*Polygonatum sibiricum*)、山丹 (*Lilium pumilum*)。

1.3 湿地退化与生物多样性

湿地的功能是多方面的, 除了为许多珍稀野生物种提供栖息、繁殖地外, 它还可作为直接利用的水源或补充地下水, 又能有效控制洪水和防止土壤沙化, 还能滞留沉积物、有毒物、营养物质, 从而改善环境污染; 它能以有机质的形式储存碳元素, 减少温室效应, 保护海岸不受风浪侵蚀, 提供清洁方便的运输方式。湿地在蓄水、调节河川径流、补给地下水和维持区域水平衡中发挥着重要作用, 在时空上可分配不均的降水, 通过湿地的吞吐调节, 避免水旱灾害。在湿地生物多样性保护与利用中, 面临的主要问题是湿地的盲目开垦和改造、湿地生物资源过度利用造成的湿地退化。

湿地退化是生态环境脆弱性的具体表现, 而脆弱性是生态环境的自然属性。湿地生态系统受损、退化和丧失的主要间接驱动力为人口

增长和经济发展加快，主要直接驱动力为围垦湿地用于农业、工业、交通、城镇用地；筑堤、开渠、分流等切断或改变了湿地的生态水文过程；建坝淹没湿地；过度刈割、燃烧或啃食湿地植物；过度捕捞等超强度开发湿地内的生物资源；废弃物的堆积；排放污染物；外来入侵物种的引入等。导致湿地生态系统退化的外界因素可以划分为自然因素和人为因素，二者很难界定，仅在局部地区可以分开。

（1）自然因素

自然因素主要是指全球和区域气候变化所造成的影响，全球变化主要对湿地结构与功能存在潜在的影响。由于持续高温、干旱地表水水面面积锐减、湖泊水量明显减少，甚至连续多年处于枯水状态，以致湿地矿物质富集，水的矿化度增高，形成很多盐碱化湿地，河流、湖泊的水质恶化。

北方地区气候干旱化趋势是该北京湿地退化的主要原因之一。近年来，华北地区蒸发量的增大和径流量的减少，导致河流断流和湖泊干涸，使得湿地沼泽化以及转化为滩涂，同时气温的升高和蒸发量的增大，促使北京地区原本不能满足需求的降水量进一步拉大了与蒸发量的差值，降水量对北京地区湿地水系统的补给能力降低，湿地的脆弱性增加。

（2）人为因素

湿地退化最根本的原因是人口压力和城市化进程。人口增长迫使人类不断发展农牧业、工业以及相关的服务产业。长期以来，由于人们对湿地价值缺乏必要的公共和政策性知识，未能正确处理社会经济

发展与生态环境保护之间的关系，大搞农田水利建设，从而使湿地补给水源减少，植被退化，动物栖息地丧失。

湿地盲目开垦用于农业开发等，使湿地面积大幅度缩减。围垦一方面引起水流状况发生变化、沉积物和化学污染物迁移、湿地状况变化，以及对物种迁徙路线的干扰等因素，使很多物种濒临灭绝，并导致部分物种的丧失；另一方面，湿地开发致使地下水的过度开采，水位下降，湿地水大量补充地下水，造成湿地系统物质流、能量流失衡及生态功能减弱，直接导致湿地系统的退化。

修建水库和堤防也会引起湿地退化，特别是随着水库库容以及堤防长度和高度的增加，拦截水源使得库区与河流下游以及周围的水利联系减少乃至断裂，一方面减少了平原区湖泊、沼泽、滩涂等湿地的上游水源；另一方面水利工程切断了内流区的外泄通道，导致湖泊萎缩、沼泽化，沼泽湿地变干、萎缩，使地表盐分难以向下游排泄而加剧湿地盐碱化。

工农业生产规模的不断壮大，随之而来的营养物质富集、土地盐碱化、农药杀虫剂污染以及重金属污染等一系列点源、面源污染问题日趋严重，使湿地水体受损、水质恶化、生态系统结构受到破坏、湿地功能减弱、湿地系统不断退化。

湿地管理体制的不完善常常导致湿地退化和消失。湿地资源的开发利用与保护以行业 and 部门管理为主，涉及众多部门和行业，存在国家与地方、集体与个人利益冲突；管理部门多而混乱、权限重叠；地

区间与部门间在湿地开发与保护上各自为政、条块分割；机构设置重复，无法有效管理湿地，湿地退化进一步加剧。

由于城市的建设和扩张逐渐改变着湿地原有生态系统的结构，使湿地及其生物多样性功能退化，加强湿地保护和修复，是维持湿地健康和生物多样性功能的重要途径。

二、湿地生物多样性修复目标与原则

2.1 修复目标

湿地生态修复的最终目标是为了建立一个稳定持续的生态系统，但要根据不同湿地的具体情况，在确定湿地恢复目标时结合考虑当地的环境条件、社会经济水平等。采用适当的生物、生态及工程技术，逐步恢复退化湿地生态系统结构和功能，最终达到湿地生态系统的自我持续状态，提升湿地生物多样性。湿地生态修复基本目标包括：

(1) 维持好生态系统基底稳定性。基底是一个生态系统存在的基础，发育的温床，如果基底不能达到稳定，生态系统就很难产生发展和演替。

(2) 恢复湿地良好的水状况。一是恢复湿地的水文条件；二是降低污染，改善湿地水源。

(3) 恢复湿地植被与土壤，确保湿地达到一定水平的植被覆盖率，土壤肥力显著提高。

(4) 提高物种数目与湿地生物多样性。合理构建生物群落，增加生态系统的生产力，提高系统的自我维持与抗干扰能力。

(5) 营造湿地优美景观，确保该区域的可持续发展。使湿地既达到生态需求又达到美学要求，生态恢复与周边区域的发展协调一致。

2.2 生态恢复原则

湿地生态恢复过程本质上就是对人工设计的生态工程的实施，因此具有很强的人为性与风险性，必须遵循一定的原则才能最终达到预先规划好的目标。这些原则包括：

（1）生态性原则

从维护湿地生态系统结构和功能的完整性、防止湿地退化的要求出发，通过适度人工干预，维护湿地生态过程，为湿地生物的生存提供最大的栖息空间，并改善湿地景观；工程建设优先采用有利于保护湿地环境的生态材料和工艺。

（2）整体性原则

应维持和恢复湿地的连续性和完整性，使湿地动植物、水环境、地形地貌等组成要素形成一个连续体，保护湿地生态系统的完整性以及维持湿地资源的稳定性。

（3）协调性原则

湿地生态修复的整体风貌应与湿地生态特征相协调、体现自然野趣、地域特色和历史文化；应按照绿色最大化原则和健康原则、体现湿地的独特性、景观协调性、可观赏性等；优先采用生态材料和生态工艺、充分利用湿地所在地的自然材料，实现人与自然和谐。

(4) 经济性原则

应在保证各项功能正常的前提下，尽可能降低投资成本；既要考虑到湿地生态建设费用，还要兼顾到建成后的管理和运行费用；最大限度保护现有湿地资源，合理利用湿地水资源和生物资源等。

三、退化湿地调查与评价

3.1 退化湿地生态调查

实施修复计划重要的第一步就是对场地基本信息进行收集，包括区域水文、土壤、植被状况，修复区面积和受干扰类型，野生生物资源利用状况。对修复场地现存状况进行描述是了解实施何种修复措施及决定哪种修复方式的关键，在修复设计和实施前应先开展实地调查。

3.1.1 水文水质调查

水资源和水文状况是湿地修复场地最重要的特征。水文条件是决定能否在特定区域生长某一植物的重要因素之一，每一种植物都有其特定的水需求和忍耐值。场地的水文分析包括水源、水量、水质、水深、地下水位、淹没及饱和期、季节性涨落、洪泛持续时间和频度。对修复区域水文状况的了解将决定湿地修复的成败。理论上，在开展修复前应对场地进行至少一年的水文调查。此外，要调查靠近湖泊或池塘的修复场地在正常状态下的最高、最低水位线；临近河溪的修复场地，其冬春季低水位和夏季高水位如何影响修复区；沼泽湿地区域是否为季节性或永久性洪水淹没或处于饱和状态。水质调查包括水体受污染状况、相关水质指标（如 pH 值、溶解氧、透明度、化学需氧量、总氮、总磷）、水质类别。

3.1.2 基底

土壤或底质调查主要包括：基底地形条件、基底类型、基底物理

组成、基底理化性质、基底氮磷含量、基底微生物状况等。修复区的土壤类型影响着对植物的选择，土壤质地、pH 值、有机质含量、营养状况和压实度都会影响植物生长。有机土主要由腐烂植物或未分解植物组成，泥炭质土壤主要有粗砂、粉砂和部分黏土组成，沙质土下渗迅速，黏土相对不透水。土壤是否具有蓄水能力是湿地修复的一个关键要素，对维持湿地水文条件具有重要作用。有毒污染的土壤则需要专业人员进行处理。

对修复区地形地貌特征进行评估能够决定修复场地坡度和水深是否适宜栽种植物。库塘和湖泊的水下地貌特征决定了该区域是否适合种植浅水植物，以及是否适合种植需要淹没更深的植物（包括沉水植物）。除地形地貌外，方位（即湿地修复所选取的朝向）也是湿地修复中与地貌相关的另一个重要因素。在修复区北坡种植的植物应该是耐荫植物；相反，南坡则宜种植喜光植物。坡度、场地方位和现存生物生长状况都会对所选取的修复场地区域小气候造成影响。

3.1.3 生物调查

生物调查包括退化湿地区域内的生物种群、群落结构及多样性、珍稀濒危特有物种存活状况、外来物种威胁程度及风险等，评估退化湿地生态系统完整性和可持续性、物种多样性等。

植物调查包括：识别所选取的修复场地植物种类，明确其生活习性，包括喜阳还是耐荫、耐涝还是抗干旱、杂草生长潜力，野生植物的重要性和观赏品质。了解修复区现状植被结构及特征，判定适宜在

修复区生长的本土植物。修复区现存植被很大程度上影响着对植物的选择，现存植被可为修复区遮阴，或提供种子及植物繁殖体。

修复区现有的野生动物资源、栖息地和与之相关的临近栖息地的状况很大程度上决定了野生动物种群的恢复。野生动物会利用可提供食物、水资源以及能够躲避天敌和进行繁殖的区域。分析修复区是否有适宜其栖息和迁移的生态廊道，是否有可能将修复区那些孤立的栖息地与附近的栖息地和邻近高地栖息地连接起来。分析修复区对野生动物筑巢、躲避或繁殖具有重要意义的物理和生物生境要素，包括湿地修复区的树木、枯木和木质物残体。

3.1.4 社会经济及开发利用、受威胁状况

包括退化湿地区域内及周边常住人口数量、社会经济状况、游客数量、农业生产、渔业捕捞、养殖业、水资源利用、基础设施建设等。了解修复场地所在区域的社会、经济背景，包括人口数量、民族、地区经济发展水平、城镇居民收入水平、生活习俗、文化遗产等。

3.2 问题诊断与分析

结合湿地生态环境调查，对湿地退化状况进行评估，诊断退化湿地的生态环境问题，识别影响湿地退化的关键因子。

3.2.1 湿地生态系统组成和结构退化状况

判断湿地生态系统组分是否缺失，如缺水、原生的动植物消失等；

湿地自然结构是否完整，包括湿地生物群落结构的完整性、湿地水文过程稳定性、湿地水文连通性、水陆交接带（岸边带）连续性等。辨识湿地生态系统组分及自然结构受破坏程度及主要的影响因子。导致湿地生态系统组成和结构退化的可能原因，包括土地利用格局改变、水文状况持续改变而导致的侵蚀或干旱、流域水利工程、气候变化等。

3.2.2 湿地生物多样性下降状况

湿地动植物物种数量下降、关键种丧失、生境多样性和异质性降低等。导致湿地生物多样性下降的可能原因包括生境丧失和破碎化、水质恶化及富营养化、过度捕猎、疾病暴发、外来物种入侵、气候变化等。

3.2.3 湿地生态系统服务功能退化状况

通过湿地面积、水文、水质、生物多样性等调查结果，分析湿地生态系统服务功能退化趋势，诊断各服务功能受威胁或破坏的程度，包括水源涵养功能、水质净化功能、生物多样性保护功能、防洪功能以及以湿地生产、休闲游憩为主的社会服务功能等，并逐一辨识主导生态服务功能的关键影响因子。

3.2.4 湿地环境承载力退化状况

基于流域范围内的面源污染、工业废水及生活污水排放，分析退化湿地的污染负荷，对湿地污染物负荷承载力退化状况进行评估。

3.3 生态修复分区

具有明显生态特征、重要保护价值的生态保育区以自然修复和自然封育为主，对需要恢复的湿地生物物种、退化的湿地生态系统保育区可开展动植物栖息地修复和生态固岸修复措施。其他区域根据生态价值评价和生态修复需求确定开展水质净化、植被修复、地形塑造、机质修复、岸带修复、栖息地恢复等措施。

四、生态修复方法与技术

4.1 生态修复方法

湿地修复方法包括自然修复与人工促进修复两类。

4.1.1 自然修复

以自然的自我设计为主，即偏重于借助自然生态系统的自我修复能力、自组织能力进行湿地修复。湿地修复的过程就是消除导致湿地退化或丧失的威胁因素，从而通过自然过程恢复湿地的功能和价值。在湿地修复的初期，以最小的人为干预，即通过去除修复区域的人为干扰，如封围禁牧、禁猎禁捕、禁止砍伐和收割湿地植物、消除点源污染、拆除堤坝围堰等等，恢复湿地的水文状况，充分利用当地和邻近区域湿地的种子库，通过植物的自然生长、植被的自然更替，逐步恢复湿地的结构和功能。这种修复方法费用低廉，修复后的湿地与周围景观协调一致，主要适用于人为干扰较小、尚存有湿地特征、土壤种子库丰富的修复区域。以最小的代价，恢复重建湿地的自然生态结构和生态过程。自然修复的优势在于低成本和与周围景观的协调一致。

4.1.2 人工促进修复

人工促进修复涉及自然干预，即人类直接控制湿地修复的过程，以恢复重建湿地生态系统。这种修复方式强调人的积极主动介入，师法自然，以近自然工法，进行微地貌改造，修复湿地的基底结构；通

过水流控制设施调节和管理水量、水位变化，恢复湿地水文状况；种植适生植物、构建合理的植被结构；清除外来入侵有害生物。这种修复方法时间短、见效快，但费用相对较高，主要适用于人为干扰强度大、干扰频繁、严重退化的区域，或者只有通过湿地建造和最大限度地改进才能完成预定的目标。

在湿地修复工作中，根据场地的实际情况及修复目标需求，常常两种方法并重。事实上，按照湿地修复的基本原则和理论，好的湿地修复一定是以自然的自我设计为主、人工调控为辅。

4.2 生态修复技术

湿地修复要包括水文和水环境修复、基底结构与土壤修复、植被恢复、生境恢复四个方面。

4.2.1 水量恢复

湿地的水位高低会对水生植被的恢复产生一定的影响。特别是水位高低能够直接影响水生植物的生长，不同植物在生长过程中需要不同的水位，对水位的适应能力也各自不同。当水位出现深浅变化时，水生植物群落很可能会根据新形成的水环境梯度产生出新的优势群落。

4.2.1.1 生态补水

利用河流、人工渠道、提水泵站等措施引水，实施生态补水。湿地生态补水也可采用经净化处理的再生水。在湿地缺水区可通过现有

沟渠或临时铺设管道引入其他水体的水。利用雨水补给湿地水源是一个资源化、可持续的补水策略。也可将城市雨污分流后的雨水管通入人工湿地净化，利用自然重力出水流入缺水湿地，进行生态补水。

4.2.1.2 围堰蓄水

在由地势差异而形成的湿地中，构建围堰是恢复水量的有效措施。围堰可以保持比湿地原始状态高的水位，形成一定面积的水面，提高蓄水能力。潜坝的高低和宽度依据修复区地形、场地面积和汇水区面积而定，通常在河流上砌筑潜坝，不能阻断河流的纵向水文。

4.2.1.3 局部深挖

深挖创造湿地修复区域局部深水区和各种类型的湿地塘，增加湿地水量。这些湿地塘和深水区有助于湿地在枯水季节不致表面干涸，保障水生生物的生存空间和鸟类的饮水场所。

4.2.1.4 水位控制技术

强化对水资源的统筹规划以及统一调配，以实现在水资源的优化配置，这是保护湿地水资源、控制水位的关键方法。在湿地范围内及周边区域要严禁开采地下水，以此阻止地下水位的降低；建立健全湿地补水机制，使湿地水位变化控制在一定范围之内。通过以上方法可以使水位长期处于稳定状态，维持在适当的高度，植物群落这样的环境中会朝着某一个固定方向发生演替，经过一定时期后形成稳定的群落结构与形态；但如果水位长期处于稳定状态，缺少变化，却会造成湿地中生物多样性降低。同时湿地植物在生长的不同时期对水位要

求有明显变化，因此湿地的管理人员必须在植被恢复与后期管理中实现对湿地水位的精确控制与适度调控，以满足不同时期植物对水位的不同需求。而非规律性的水位变化会对植物因周期性水位变化而产生的适应力造成极大的损害，进一步会影响到植物的生长、繁殖甚至生存。

多数湿地水文恢复只能依靠水位调控，对于在多个地点同时进行水文恢复时，应当首先确定水位调节对每个地点的湿地植物的生长与恢复可能产生的影响，以此为据选择植被恢复所要栽植的植物种类。

4.2.2 水质修复

沉水植物由于完全浸没于水中，因此对水质的要求极高，对水质的变化非常敏感，可以说水质的好坏将直接决定沉水植物的恢复是否成功。一般将水质的改善作为是水生植物恢复的前提与保障。水质改善技术又包括点源污染控制技术、污水处理技术、水体富营养化控制技术等。

4.2.2.1 水体富营养化控制技术

在富营养化水体中，营养物质浓度的升高会造成水生植物的大面积死亡。因此，降低水体氮、磷等营养盐含量也就成为湿地恢复尤其是植被恢复的重要内容。湿地水体中的氮、磷污染物的去除技术主要有生态浮岛——生物膜技术、仿生植物——脱氮细菌技术、释放通道阻隔技术、浮游动物培育技术、滤食性鱼类净化技术、人工促降技术、

水生植物吸收存储技术、聚磷吸收沉降技术、底泥氮磷释放技术等。这些技术与措施能够去除和控制湿地水体的氮、磷含量，并能够进一步改善水质环境，从而为开展湿地植被生态恢复创造良好的生长环境。

如果湿地水体中已经出现了较严重的富营养化现象，通过引水冲洗的方法能够破坏藻类的生长——释放 P 的循环模式，降低水中 P 含量，抑制藻类生长，同时也可以使水中 pH 随之下降，进一步减缓基底 P 的释放。当引水中富有较多钙离子与重碳酸根离子时，易产生 CaCO_3 沉淀，也能够降低水体的 pH 值。除此之外，引水冲洗还能够迅速提高透明度，改善水质，促进沉水植物的生长与湿地生态系统的恢复。

4.2.2.2 植物浮岛技术

植物浮岛技术是指在水体上建造一种载体，人工将高等水生植物或改良的陆生植物种植到富营养化水域面上，营造水上景观，通过植物根部 P 吸收、吸附消减富营养化水体中的氮、磷及有害物质，从而净化水体。此技术就是使用有机或者合成材料作为载体，然后在其上栽种植物，构建群落，改善环境。建立起来的植物浮岛相当于植物带，一方面能够吸收水中营养物质，加速漂浮物的沉淀，改善水质；另一方面，可以降低风浪对堤岸的冲击，为堤岸营造出一个相对平静的缓冲带，为水生动植物提供适宜的栖息环境。浮岛面积越大，其对风浪的拦截作用越强，对堤岸的保护作用越好，且不易受到枯水期的影响。浮床除了用于净化水质，美化景观，同时还可用于改善生物栖息场所。

4.2.3 植物恢复技术

4.2.3.1 物种的筛选与培植技术

首先明确需要恢复的湿地的类型，这是筛选植物、确定植物物种的前提。先锋物种的选择对植物群落是否能够构建以及湿地是否能够恢复成功具有重要影响。同时筛选时要注意植物的生活型，一般多选用那些具有良好适应能力、较强净化能力以及抗干扰能力的本地种。

4.2.3.2 群落结构优化配置与组建技术

引入的先锋植物在形成群落后会逐渐稳定，可以利用群落空间配置技术以及环境调控技术，将其与其他植物物种融合在一起，形成一个结构复杂、功能完善、生物多样性高的完整植物群落。在植被恢复的开始时期，不宜种植过多种类的先锋物种，一是环境无法容纳，提供其合适的栖息环境，二是会造成激烈的竞争，使植物的死亡率提高。在植被恢复的后期阶段，可以适当增加群落内物种的数量。除了考虑植物的空间配置外，还要结合植物的季节演替规律。

(1) 水面植被恢复

小型水面植被恢复：以自然恢复为主，利用湿地土壤种子库，让其自然恢复。如果缺乏土壤种子库，可适量撒播漂浮和浮叶植物的繁殖体，以小型浮叶植物为主。大型水面植被恢复：以适量撒播沉水、漂浮和浮叶植物的繁殖体为主。

在库塘、湖泊湿地修复中进行水生植物群落配置时，按照水下沉

水植物、明水面浮叶植物的群落配置格局。水体以具有 2/3 明水面为佳，浮叶植物仅覆盖水面不超过 1/3 面积。

(2) 滨水带植被恢复

根据库塘湿地、湖泊湿地、河流湿地滨岸的水位变化情况营造植物的分带格局，从水体向陆地过渡依次为沉水植物带、浮水植物带、挺水植物带、湿生植物带(包括湿生草本、灌木和乔木)，形成滨岸水平空间上的多带生态缓冲系统。这种按水位梯度构建的条带式植物群落利用了物种在空间上的生态位分化，以提高滨岸带生物多样性和生态缓冲能力，并形成多样化生境格局。

(3) 常水位出露滩地植被恢复

以种植低矮湿生植物的幼苗为主，如选取带土成丛芦苇（直径 30~40cm）种植在深为 15~25cm，坑径为 30~40cm 的种植坑中，种植密度为 1~3 丛/m²。

(4) 常水位以下植被恢复

以种植高大挺水植物的幼苗或繁殖体为主，如选取香蒲幼苗种植在深为 15~25cm 宽为 3~5cm 的种植坑中，种植密度为 25~30 株/m²。利用沉水植被构建水下生态空间也是湿地修复的重要方法，在库塘、湖泊湿地修复中，通过种植荇草、金鱼藻、黑藻等沉水植物，形成抗逆性强的“水下森林”，在净化水质的同时，为鱼类、底栖动物等水生生物提供栖息空间。

（5）陆上植被结构优化

对湿地修复区域内的陆上植物群落（灌丛、森林等），根据不同植物种对光的适应差异，形成林下垂直空间上的乔灌草分层格局。运用垂直混交技术构建“乔木+灌木+地被植物”群落，形成丰富的植被层次。保留林中空斑，在林间营造小型水塘，形成森林沼泽复合湿地系统。

4.2.4 地形塑造

在湿地修复工程中，适宜的地形处理有利于控制水流和营造生物适宜栖息生境，达到改善湿地环境的目的。通过微地形营造和恢复，确立湿地修复区地形基本骨架，营造湿地岸带、浅滩、深水区、浅水区和促进水体流动的地形、开敞水域分布区等地形，疏通水力连通性，促进水体中物质迁移转换速率，恢复湿地植被及生物多样性。通过挖深与填高方法营造出凹凸不平、错落有致的湿地地形。必须以恢复目标为前提，在修复区域内创造丰富的湿地地貌类型或高低起伏的地形形态。通过地形恢复，使地形不规则化和具有起伏。具有不规则形状和边缘的湿地更加接近于自然形态，拥有更大的表面来吸收地表径流中的营养物质，并且包含更多形态多样的空间和孔穴来为水生生物提供栖息和庇护场所。

4.2.4.1 营造缓坡岸带

针对库塘、湖泊、河流等湿地类型，通过对水岸地形的适度改造，

营造部分缓坡岸带，可为湿地植物着生提供基底，形成水陆间的生态缓冲带，发挥净化、拦截、过滤等生态服务功能。根据岸线发育系数恢复岸带，确定地形修复工程的空间位置，对较陡的坡岸进行削平处理，削低高地，平整岸坡，去直取弯，进行缓坡岸带地形恢复。

4.2.4.2 营造浅滩

对于石驳岸、陡坡等类型湿地岸带，需进行地形修复，营造浅滩基底。通过对临近水面起伏不平的开阔地段进行局部微地形调整（即局部土地平整），削平过高地势，减小坡度，以减缓水流冲击和侵蚀。对周围地势过高区域，通过削低过高地形、填土降低水深等方式塑造浅滩地形，营造适宜湿地植被生长和水鸟栖息的开阔环境，使其成为涉禽、两栖动物的栖息地以及鱼类的产卵场所。

4.2.4.3 营造深水区

湿地中需要保留或营造一定面积的深水区，为鱼类休息、幼鱼成长及隐匿提供庇护场所以及湿地水生动物越冬场所。深水区地形的恢复，可满足游禽栖息和觅食需求。营造深水区以凹形地形恢复为主，深挖基底形成深水区，深度应保证湿地修复区所在地最冷月份底层水体不结冰，并预留流动水体。

4.2.4.4 营造岛屿

岛屿地形营造对于拟开展修复的退化湿地来说是重要的地形恢复工程。结合不同种类湿地生物（如水鸟、爬行类等）的栖息和繁殖环境要求，通过堆土（石），进行生境岛地形恢复。

4.2.4.5 营造洼地

在平坦地面上塑造不均一分布的洼地，提高地表环境异质性。在降雨时蓄滞水，在非降雨期由于水分饱和、土壤湿润，起到释放水分、调节微气候的作用。

4.2.4.6 营造水塘

在水岸上挖掘大小、深浅不一的塘，这种地形重塑的方法通过洪水脉冲和季节性水位变动使岸边水塘与水体发生联系，形成湿地多塘系统，是旱涝调节、提高生物多样性的有效模式，为水生植物和涉禽等鸟类提供更多的生存空间。

4.2.4.7 营造急流带

急流带地形恢复采用地形抬高和地形削平相结合的方法营造，在来水方向抬高地形，与出水方向形成倾斜状地形，加速水体流动速度。急流带地形恢复可为那些喜流水的水生昆虫、鱼类提供适宜的流水环境。

4.2.4.8 营造滞水带

在出水方向抬高地形形成类似堤坝形态的基底结构，或者在出水方向基底堆积石块，恢复滞水带地形，以减缓水体流动速度的方式实现滞水效果，为着生藻类、适应静水的沉水植物、各种水生昆虫、鱼类、穴居或底栖动物提供适宜生境。以削低湿地修复区局部地势较高的区域，间接实现增加水深，以适应一些湿地植被对水位的要求，特

别是对水深有要求的挺水植被、沉水植被和浮叶植被。

除上述典型地形修复外，水下地形修复也是湿地地形修复的重要内容。对库塘、湖泊、沼泽、河流等湿地类型，通过对浅水区水下地形的适度改造，使水下地形具有起伏，通过抛石等措施，形成复杂的水下生态空间，增加湿地生境的异质性，提高水生生物多样性。

4.2.5 岸带修复

对于堤岸的恢复，应使用合理的护岸方式，一方面要能够抵抗水流冲刷、降低堤岸的水土流失，防止崩塌现象的发生；另一方面，结合水生植物植被带的建设，使堤岸能够调蓄洪水、截留沉积物、净化水质，最终建成一个能和环境和谐共处的生态堤岸。

对于不同深度的堤岸有不同的处理方法。对于处在常水位以下的堤岸，可以使用网笼、笼石或者生态混凝土来对岸坡进行保护。这样的处理既能够使堤岸具有较强的抗冲刷能力，又能利用本身生态性的材料与结构为湿地生物提供适宜的生境。对于处在平滩水位以上的堤岸，可以通过种植根系发达且易于成林的植物消减风浪，还能发挥本身植物的护岸防洪功能，成为堤岸上的绿色卫士。对于处在滩涂地带的堤岸，要尽量多种植植物物种，提高生物多样性，为其他湿地动物提供适宜的栖息环境，形成稳定的湿地生态系统。

如果堤岸陡峭，侵蚀现象严峻，植被难以恢复或者堤岸被用于特殊用途，无法使用其他恢复方法，此时可以实施以人工介质为基础的

岸边生态净化工程。此工程就是将各种人工介质（底泥烧结体、陶瓷碎块、大块毛石、多孔砼构件等）中的一种或多种随意或者有序地堆放在堤岸边，这样做既能降低风浪的冲击力，又能够为其他水生生物提供一个适宜的栖息环境，并达到净水和护岸的目的。还可以使用生态砾石床水质净化技术，即按照事先设定，在水体中投掷定量砾石，以此作为填料层，之后在其上覆盖一层土壤，并栽植生态草皮，微生物可以附着在填料层表层，与草皮相互作用，起到净化水质的作用。

4.2.6 鸟类栖息地恢复

鸟类生境恢复是湿地修复工作的重要内容。鸟类栖息地需满足三个条件，即为鸟类提供栖息场所、避敌场所和食物来源。在恢复技术上主要是多样化生境单元构建和食源供给两大方面，依主要保护对象特性而定。可按栖息、繁殖和觅食活动分别进行微地形改造、底质改造、水位控制和补充食源地配置。在自然食物链不能满足觅食需求时，可通过农田留存作物（如稻谷、玉米等）等方式补充食源。

4.2.6.1 微地形改造

湿地鸟类包括涉禽（鸕形目、鹤形目、鹳形目）和游禽（雁形目、鹈形目）等。水域、裸地、植被是影响湿地中涉禽、游禽分布的三个重要生境单元。湿地鸟类的生存，需要水域、裸地、植被三种要素共存，且不同生境单元的组合也会影响鸟类种类和数量。涉禽觅食和栖息需要浅滩环境，游禽需要开阔明水面和深水域。因此，营造浅滩一大水面复合生境可为湿地鸟类提供多种栖息环境。同时通过挖掘或淤

填等方式构建不同水深环境以提高生境异质性。湿地植被为鸟类筑巢觅食、躲避天敌入侵和人类干扰等创造了天然的庇护环境，配置乔灌草混交的植物群落以满足不同喜好的鸟类。枯木或倒木也是重要的小型生境单元，能够为鸟类提供庇护和栖息生境，在其腐烂的同时也为苔藓、草本植物的生长提供基质。从岸边伸向开放水域的倒木可为水禽、爬行动物和两栖动物提供栖木，并且能够成为鱼类和水生昆虫的庇护场所。

根据地形、水文特征、植被类型、水鸟种类等确定生境岛的形状、大小、空间异质性和高程等。地形凸起区域如高滩、岛屿等可设计成鸟岛，其上再挖掘湿洼地或浅水塘，并种植低矮的湿生草本植物，这种孤立岛状地形是鸟类等湿地生物隔绝外界干扰的重要结构。针对不同的鸟类，设计不同水位深浅的缓坡水域。

4.2.6.2 底质改造

很多鸟类需要吞咽少量沙子以帮助消化植物性食物。因此，生境恢复与改善中，对一些完全是淤泥质的底质，可适当在局部区域斑块状铺设粗砂，形成有利于鸟类生存的镶嵌状底质斑块。

4.2.6.3 植被恢复和控制

植被是鸟类重要的栖息地、庇护地、觅食场所和繁殖场所，针对不同鸟类栖息、觅食和繁殖习性，进行植物种类和不同群落结构的配置。植被恢复和控制包括食源性植被恢复、生态隔离带植被恢复和干扰性植被控制。应按照主要保护鸟类和优势水鸟的觅食习性，恢复相

应的食源性水生植被和外围保护隔离带植被；同时，控制地面植被干扰和侵占水鸟的栖息觅食空间。

4.2.6.4 食源供给

在自然食物链不能满足觅食需求时，可通过种植食源植物、农田留存作物（如稻谷、小麦、玉米等）等方式补充食源。鸟类食源主要包括底栖动物、鱼虾、植物种子、球茎和果实等。游禽多以水中昆虫、鱼类及植物为食，涉禽喜在滩涂觅食软体动物、昆虫、小鱼等，鸣禽多在水边灌丛或密林中找寻浆果、草籽、昆虫等为食。因此，营造鸟类栖息地时应尽量创造多种食源，满足不同鸟类的食物需求。在湿地周边根据鸟类的取食和栖息需要种植植物，具体可参考表 4-1 部分植物吸引鸟类名称表。

表 4-1 部分植物吸引鸟类名称表

序号	植物名	鸟名	鸟种
1	金银木	暗绿绣眼鸟、白眉鸫、白头鹎、斑鸫、宝兴歌鸫、北红尾鸫、赤颈鸫、大山雀、红喉歌鸫、红尾鸫、红胁蓝尾鸫、红嘴蓝鹊、灰喜鹊、栗耳短脚鹎、普通朱雀、树麻雀、太平鸟、乌鸫、喜鹊、小太平鸟、燕雀、银喉长尾山雀、珠颈斑鸠、棕头鸦雀	24
2	圆柏	白头鹎、大山雀、黑头鹎、黑尾蜡嘴雀、红尾鸫、灰椋鸟、灰喜鹊、金翅雀、树麻雀、太平鸟、乌鸫、喜鹊、小太平鸟、燕雀、沼泽山雀	15
3	侧柏	白头鹎，斑鸫、赤颈鸫、戴菊、黑头鹎、灰喜鹊、树麻雀、太平鸟、小太平鸟、燕雀	10

4	柿树	八哥、白头鹎、大斑啄木鸟、大嘴乌鸦、红尾鸫、红嘴蓝鹊、灰椋鸟、灰头绿啄木鸟、灰喜鹊、树麻雀、丝光椋鸟、乌鸫、喜鹊、燕雀	14
5	麦冬	黑尾蜡嘴雀、灰椋鸟、灰喜鹊、树麻雀、田鸫、乌鸫、喜鹊、燕雀、珠颈斑鸠	9
6	油松	黄雀、灰喜鹊、金翅雀、树麻雀、太平鸟、小太平鸟、燕雀、沼泽山雀、珠颈斑鸠、大斑啄木鸟、黑头鹁、黄腹山雀	12
7	榆树	白头鹎、大山雀、黄腹山雀、灰椋鸟、灰喜鹊、金翅雀、树麻雀、锡嘴雀、小太平鸟、燕雀、沼泽山雀	11
8	紫薇	褐头山雀、黄雀、树麻雀、沼泽山雀、棕头鸦雀	5
9	西府海棠	白头鹎、红嘴蓝鹊、灰喜鹊、树麻雀、乌鸫、锡嘴雀、喜鹊、燕雀	8
10	银杏	白头鹎、黑尾蜡嘴雀、红尾鸫、灰椋鸟、灰喜鹊、丝光椋鸟、喜鹊、小太平鸟、燕雀	9
11	毛白杨	白头鹎、黑尾蜡嘴雀、灰喜鹊、太平鸟、乌鸫、喜鹊、小太平鸟、燕雀	8
12	杜仲	黑头蜡嘴雀、黑尾蜡嘴雀、灰喜鹊、喜鹊、燕雀	5
13	芦苇	白头鹎、树麻雀、文须雀、燕雀、棕头鸦雀	5
14	芦蒿	棕头鸦雀	1
15	加杨	白头鹎、赤颈鸫、灰椋鸟、灰喜鹊、树麻雀、太平鸟、喜鹊、燕雀	8
16	爬山虎	灰喜鹊	1
17	沙棘	斑鸫、北朱雀、赤颈鸫、褐头山雀、黑颈鸫	5
18	女贞	太平鸟、小太平鸟、白头鹎	3
19	元宝枫	黑尾蜡嘴雀、灰喜鹊、树麻雀、锡嘴雀	4

20	旱柳	白头鹎、大山雀、红嘴蓝鹊、树麻雀、燕雀、沼泽山雀	6
21	三裂叶 薯	棕头鸦雀	1
22	君迁子	灰喜鹊、树麻雀	2
23	连翘	白头鹎、灰椋鸟、灰喜鹊、树麻雀	4
24	紫叶小 檉	树麻雀、乌鸫	2
25	刺槐	树麻雀、灰喜鹊	2
26	大花玉 兰	红嘴蓝鹊、乌鸫、丝光椋鸟、灰喜鹊、白头鹎	5
27	桑树	白头鹎、大山雀、黑尾蜡嘴雀、喜鹊	4
28	水杉	白头鹎、大山雀	2
29	五角枫	喜鹊、黑尾蜡嘴雀、锡嘴雀	3
30	荚蒾	乌鸫	1
31	茜草	山噪鹛	1

五、生态监测与评估

5.1 生态监测

在湿地修复和管理中，特别是在评价修复成功性方面，监测都起着重要作用。在湿地修复项目计划确定以后，就应拟定相应的监测方案实施路线、监测频率。

湿地修复前监测应对受扰状态进行恢复前监测可以为湿地修复提供有效的基础数据。监测内容包括水文状况、水质、土壤(或底质)、生物(包括植物与野生动物)、生境、社会经济与文化特征、开发利用等人为干扰状况等。修复前的监测可为有效修复湿地，从修复强度和修复成功性上提供可资比较的指标，增强对修复后湿地生态系统变化的了解。

湿地修复的后期监测旨在对湿地水文、水质、生物资源和土壤的短期及长期变化进行记录，以获取湿地修复特别是湿地生物及其栖息地修复成效的信息。修复后监测能够使管理者了解湿地生态系统是否已变为自我维持状态，或修复过程已达到的程度，修复后湿地生物多样性及其它功能是否得到提升。

5.1.1 监测内容

以恢复生物多样性功能为主要目标的湿地修复，应重点监测动植物种类、数量、栖息地质量等。湿地修复后的持续监测指标包括水文条件、土壤、植物、动物、水环境质量等五个方面，具体监测指标参

照 DB11/T1301-2015。

5.1.2 监测方法

后期监测常用定性与定量结合的方法，为湿地管理维护提供优化信息。定性方法主要是野外现场考察与拍摄照片、摄像来获取湿地修复每一个阶段的信息。通过定性调查，能够观测到湿地植被、动物的空间变化格局及分布规律，整体预判湿地修复的效果。定量调查是通过定量测定沉积物、土壤和水体的相关指标，定量调查动植物群落结构、相关数量指标、生态系统结构和功能，更准确地判断湿地修复的成效。

5.1.3 监测频率

监测频率取决于湿地修复目标和成效标准、自然变化程度和速率。由于湿地的物理、化学和生物作用随季节不同而有较大变化，因此，修复后的持续监测频率应该考虑季节性的采样监测。对植被的监测应选择生长季早期和末期。对野生动物的监测（尤其是鸟类监测）应选择繁殖期、筑巢期、迁徙季节进行，并结合植被的生长季节和野外动物的活动规律开展。

5.2 生态修复评估

5.2.1 评估内容

湿地修复成效评估是一个综合性评估，评估重点是湿地结构修复

的合理性、有效性和湿地功能恢复的有效性。可参照对照湿地（即在湿地范围内或周边选择的未退化湿地区域）进行评估，其主要内容包括：

（1）湿地生态系统非生物要素评估：包括水文状况、水环境状况、湿地率、沉积物和土壤结构等。

（2）湿地生境评估：包括基底地形、底质物理结构及其理化性质、滨岸带物理结构、滨岸带植被、生境岛空间布局及结构、关键种生境质量、功能生境恢复情况等。

（3）湿地生态系统生物要素评估：包括动植物种类组成、种群数量、群落结构、植被盖度、多样性指数、珍稀保护物种数量等；

湿地修复成效评估应更注重湿地生物多样性功能恢复的评估，恢复后的湿地功能应与其条件类似的自然湿地的生态功能一致。

5.2.2 评估方法

对修复的湿地结构、生物多样性指标进行监测，并与对照湿地进行对比，从而评估湿地修复的有效性。修复前、修复过程中以及修复工作完成后，每月（或每个季节）选择同一参照点进行定点拍摄，并与对照湿地进行对比，可直观评估湿地修复效果。采用植被盖度、生物多样性、生物完整性指数与反映生态过程的指标相结合综合评估判断湿地的修复成效。