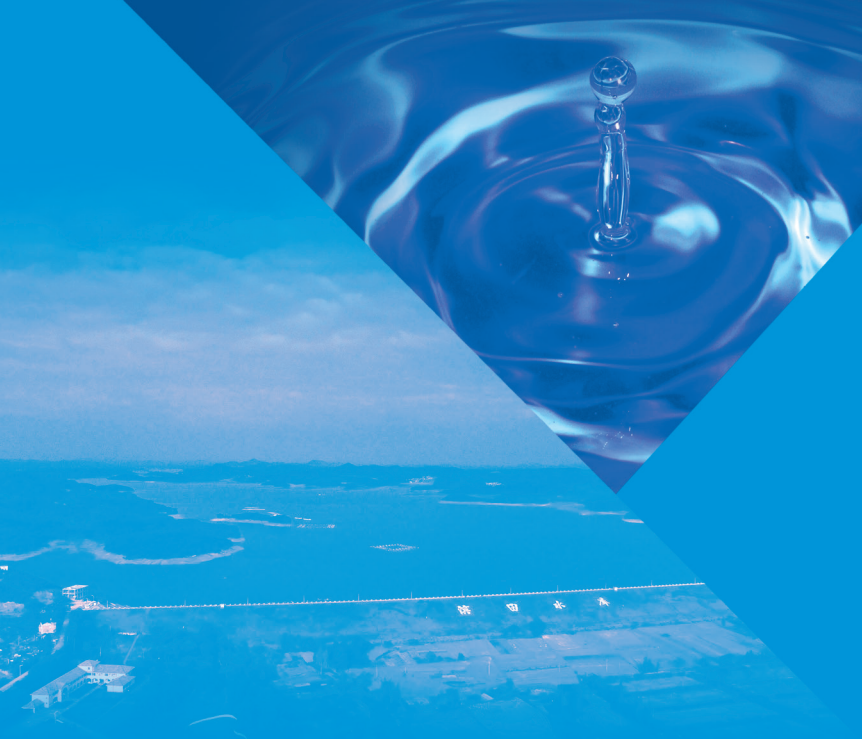
SANGSHU ZAI SHUIKU XIAOLUODAI
SHENGTAI XIUFU ZHONG DE YINGYONG

# 桑树在水库消落带生态修复中的应用

孔琼菊　傅琼华 等　编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

# 桑树在水库消落带生态修复中的应用

孔琼菊　傅琼华 等　编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn
·北京·

## 内 容 提 要

本书分析了消落带对水库生态环境的影响，归纳了水库消落带开发利用模式与生态修复技术，结合桑树在江西省水库消落带修复中的应用实例，分析和总结了桑树在水库消落带生态修复中存在的问题及原因，为桑树在水库消落带生态修复中的应用提供了借鉴。

本书可供水利工程管理者和专业技术人员阅读，也可供相关专业高等院校师生参考。

**图书在版编目（CIP）数据**

桑树在水库消落带生态修复中的应用 / 孔琼菊等编著. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2019.10
ISBN 978-7-5170-8182-1

Ⅰ. ①桑… Ⅱ. ①孔… Ⅲ. ①桑树－应用－水库－生态恢复 Ⅳ. ①TV697.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第238472号

| | |
|---|---|
| 书　　名 | **桑树在水库消落带生态修复中的应用**<br>SANGSHU ZAI SHUIKU XIAOLUODAI SHENGTAI XIUFU ZHONG DE YINGYONG |
| 作　　者 | 孔琼菊　傅琼华　等 编著 |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>（北京市海淀区玉渊潭南路1号D座　100038）<br>网址：www.waterpub.com.cn<br>E-mail：sales@waterpub.com.cn<br>电话：（010）68367658（营销中心） |
| 经　　售 | 北京科水图书销售中心（零售）<br>电话：（010）88383994、63202643、68545874<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点 |
| 排　　版 | 中国水利水电出版社微机排版中心 |
| 印　　刷 | 天津嘉恒印务有限公司 |
| 规　　格 | 170mm×240mm　16开本　6.75印张　132千字 |
| 版　　次 | 2019年10月第1版　2019年10月第1次印刷 |
| 印　　数 | 0001—1000册 |
| 定　　价 | **55.00**元 |

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

**版权所有·侵权必究**

# 前　言

水库消落带又称消落区或涨落带，指的是水库周边由于水位季节性涨落而周期性地出露于水面的一段特殊区域，通常指正常蓄水位与死水位之间的区域。水库消落带作为水库的一部分，干湿交替是其主要特征。水库消落带受到水、陆生态系统的交替控制和影响，属于库区陆地生态系统与水生生态系统之间的过渡性区域，它起着承上启下的关键作用。人类活动产生的生活污水、工业污染物以及农业面源污水，均会通过消落带进入库区水体。水库消落带是水库的最后一道生态屏障，对水土流失、养分循环和非点源污染有着缓冲和过滤作用，在保障水库安全等方面具有重要作用。随着人口增长、工业进步和社会发展，土地利用需求快速增加，河流流域被过度开发，水库消落带面临着日益严重的水环境问题、水土流失问题以及库岸地质环境问题，严重威胁库区安全，水库消落带生态修复越来越重要。

本书在参考大量国内外水库消落带开发利用与生态修复资料的基础上，分析了水库消落带对水库生态环境的影响因素和特点，归纳了水库消落带的开发利用模式与各类常用的生态修复技术，梳理了水库消落带修复的常用植物，总结了桑树在三峡水库消落带修复中的应用情况和成果，并将其应用于江西省水库消落带修复中，对桑树进行的扦插育苗试验表明，桑树繁育能力强，在江西省水库消落带治理的探索应用中取得了一定的经验。全书总结了不同消落带条件下桑树的生长状况和治理效果，分析了桑树在水库消落生态修

复中存在的问题和原因，展望了水库消落带开发利用的前景，为今后桑树在水库消落带的修复应用提供了经验与教训，供有关学者及水利工程管理者参考。

本书是在傅琼华主持的“水库消落带的开发利用与生态修复技术研究”项目成果的基础上提炼编写而成。全书共分7章，第1章由孔琼菊、卢江海编写；第2章由卢江海、孔琼菊编写；第3章由卢江海、李喻鑫编写；第4章由孔琼菊、黄丽丽、刘小平编写（扦插育苗试验技术来自于江香梅、肖复明、邱凤英、严员英等）；第5章由孔琼菊、李喻鑫编写；第6章由孔琼菊编写；第7章由孔琼菊、卢江海编写。项目研究过程中，江香梅、马秀峰、喻蔚然、肖复明、邱凤英、董建良、魏春华、严员英等做了大量的工作，同时得到了江西省水利科学研究院领导、重庆海田林业科技有限公司任荣荣等的技术指导，在此表示衷心的感谢。感谢中国水利水电出版社为本书出版付出的辛勤劳动。本书在编著过程中，参阅了大量有关消落带研究的文献资料，部分内容已在参考文献中列出，但难免仍有遗漏，在此一并向参考文献的各位作者致谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有不妥之处，敬请同行和读者批评指正。

**编者**

2019年5月

# 目　录

前言

**第 1 章　绪论** …… 1
1.1　消落带的定义及分类 …… 1
1.2　水库消落带开发利用与生态修复的意义 …… 2
1.3　水库消落带开发利用与生态修复的发展水平 …… 3
1.3.1　国外水库消落带开发利用情况 …… 3
1.3.2　国内水库消落带开发利用情况 …… 4
1.3.3　江西省水库消落带开发利用现状 …… 7

**第 2 章　消落带对库区生态环境的影响** …… 10
2.1　消落带对水环境的影响 …… 10
2.1.1　水库消落带对水环境的影响 …… 10
2.1.2　水库消落带土壤环境对水环境的影响 …… 11
2.1.3　库区人类活动对水环境的影响 …… 12
2.2　消落带土壤理化性质和营养元素的变化 …… 13
2.2.1　消落带土壤理化性质的变化研究 …… 13
2.2.2　消落带土壤营养元素的变化研究 …… 14
2.3　淹没区与自然消落带植被和生物多样性的变化比较 …… 15
2.3.1　淹没区与自然消落带植被多样性变化 …… 15
2.3.2　淹没区与自然消落带生物多样性变化 …… 18

**第 3 章　水库消落带开发利用模式与生态修复技术** …… 20
3.1　水库消落带开发利用模式 …… 20
3.1.1　农业生产 …… 20
3.1.2　渔业生产 …… 21
3.1.3　林业利用 …… 23
3.1.4　旅游开发 …… 25
3.2　水库消落带生态修复技术 …… 27

3.2.1 水库消落带可能出现的生态问题…… 28
3.2.2 水库消落带生态修复的阶段划分…… 28
3.2.3 生态修复需遵循的原则…… 29
3.2.4 水库消落带的生态修复技术…… 31
3.3 水库消落带生态系统健康评价…… 32

**第 4 章 水库消落带常用植物类型及桑树扦插育苗技术** …… 36
4.1 常用植物类型…… 36
4.1.1 护岸为主类…… 36
4.1.2 生态修复为主类…… 39
4.1.3 经济作物类…… 41
4.2 桑树的特点及扦插育苗技术…… 42
4.2.1 桑树特点…… 42
4.2.2 改良桑树的独有特性…… 44
4.2.3 桑树的扦插育苗技术…… 46

**第 5 章 桑树在三峡水库消落带中的应用** …… 51
5.1 重庆开县概况…… 51
5.2 “沧海桑田”生态经济建设项目 …… 52

**第 6 章 桑树在江西省水库消落带中的应用** …… 55
6.1 滨田水库消落带应用示范…… 55
6.1.1 滨田水库消落带桑树成长情况…… 56
6.1.2 滨田水库消落带应用小结…… 71
6.2 鄱阳新塘村山塘边坡应用示范…… 71
6.2.1 新塘村山塘边坡桑树成长情况 …… 72
6.2.2 新塘村山塘边坡应用小结…… 73
6.3 龙门口水库消落带应用示范…… 73
6.3.1 龙门口水库消落带桑树成长情况…… 74
6.3.2 龙门口水库消落带应用小结…… 85
6.4 南昌塔城鄱阳湖湿地应用示范…… 85
6.4.1 塔城鄱阳湖湿地桑树成长情况…… 85
6.4.2 塔城鄱阳湖湿地种植情况小结…… 85
6.5 应用示范情况总结及原因分析 …… 87
6.5.1 情况总结…… 87
6.5.2 原因分析…… 88

6.5.3　江西水库消落带与三峡水库消落带治理对比…… 89
第7章　结论与建议 …… 91
7.1　桑树在水库消落带中的应用总结…… 91
7.2　水库消落带开发利用前景…… 92
7.3　建议…… 93
参考文献 …… 94

# 第 1 章

# 绪　　论

## 1.1　消落带的定义及分类

水库是一种介于河流和湖泊之间的人工湿地。与天然湖泊不同，水库是人工建筑和自然山水相结合的复合体，主要由水体、水生生物、库岸（盆）和水库建筑物四大部分构成。通常对于大型的水库和湖泊来说，可以将其划分为 3 个区域，即水体带、湖（库）岸带和湖滨（消落）带。水体带是指接近陆地、常年淹没的水体地带，水位受降水量直接影响，其水体水质受流动污染源及湖（库）的岸边污染影响，水体带是湖（库）周边水生生物发育的物种来源基地。湖（库）岸带是指接近湖水而不被水体淹没的地带，它位于最高水位之上，是对湖（库）水影响较大、人类活动十分频繁的陆地地带，是湖滨（消落）带陆生生物的自然发育基地，同时也是泥沙和污染物的直接来源地。湖滨（消落）带是指由于湖（库）水水位在一定范围内波动，在最高水位线和最低水位线之间、周期性地被水淹没和露出水面的地带，是水陆交错带。湖滨（消落）带又被称为湖泊的“肝脏”，具有很强的解毒净化作用，同时也是水陆两种生态系统间交换的廊道，具有缓冲带和植物护岸的功能。对于水库来说，由于水库季节性水位涨落，库区周边被淹土地周期性地出露于水面的一段特殊区域，称为水库消落带。水库消落带是水生生态系统和陆地生态系统交替控制的不稳定过渡地带，季节性的水涨水落导致沿岸土地上的植被逐渐消亡，呈现出荒漠的、几乎无植被的带状区域，因此，消落带是一类特殊的湿地生态系统区域，它起着承上启下的关键作用，是生态环境十分脆弱的地带。

水库消落带问题是水库运行中较为严重的生态问题之一。一方面水库兴建后淹没了兴建前自然状态下的湿地，导致兴建前自然状态下的植物资源消亡，同时大坝截断了流域上下游之间物质、能量和信息的交流，破坏了原有生态功能的完整性；另一方面水库消落带又产生了新的退化生态系统，往往造成植被

破坏，生物多样性下降，小气候恶化，库岸遭受侵蚀，严重威胁库区安全。消落带的数量和种类繁多，功能相对复杂，不同区域、不同时段差异性较显著，导致其未形成统一的定义。20 世纪 70 年代末，消落带被认为是陆地上与水体发生作用的植被区域。之后，Lowrance 等将消落带的定义拓展为广义和狭义两种：广义上消落带是指靠近河边植物群落（包括组成、植物种类复杂度）及土壤湿度等高低植被明显不同的地带，即受河水直接影响的植被区域；狭义上消落带是指河水与陆地交界处的两边，直至受河水影响消失为止的地带。大部分学者主要以狭义概念作为研究基础。消落带分类对消落带的治理以及模型的建立有重大作用，只有正确划分消落带类型，才能充分合理地利用各种资源进行植被恢复工作。国外对消落带类型划分鲜见报道，而国内多是以消落带形成的原因、地质地貌特征、人类影响的方式及消落带开发利用的时间段等进行分类。消落带按形成原因可分为自然消落带和人工消落带。谢德体等考虑了人类活动影响情况，将消落带划分为城镇消落带、农村消落带、库中岛屿消落带、受人类活动影响的消落带 4 类；谢会兰等结合消落带被淹区域出露水面的时间不同，将消落带划分为常年利用区、季节性利用区和暂时性利用区。

本书所称的水库消落带是指由于水库季节性水位涨落和周期性蓄水泄洪而使周边被淹没的土地周期性地出露于水面的一段特殊区域。根据南方地区水库消落带土壤质地和坡度等条件，将水库消落带分为土质缓坡型消落带、土质陡坡型消落带、岛屿缓坡型消落带、岩质陡坡型消落带。

## 1.2 水库消落带开发利用与生态修复的意义

随着人口增长、工业进步和社会发展，土地利用需求快速增加，河流流域被过度开发，水库的生态问题已经不容忽视，研究、保护水库生态是目前人们非常关注的问题。水库生态系统自身有一套完整的信息、物质、能量循环机制，它不是独立于周围环境的，而是与其他生态系统也存在着物质、能量、信息交换。其中，水库生态系统与陆地生态系统的相互作用最为显著，水体的很多生物物质和能量源都来自于陆地生态系统（如水库中许多初级消费者以碎屑为食，这些碎屑主要来源于由陆地植被冲入或落入的有机物质），而两者之间主要是通过水库消落带相互作用的。水库消落带将两者紧密地联系起来，成为两者相互作用的重要纽带和桥梁。水库消落带上的植被对水陆生态系统间的物流、能流、信息流和生物流等发挥着廊道、过滤器和屏障的作用。

水库消落带作为一种生态交错带，受到库区水位变化的强烈影响，具有明显的边缘效应，其植物群落组成、结构和分布格局以及生态环境因子等与远离水库的植被群落相比有着较大的差异。水库消落带生态系统对增加动植物物种

种源、提高生物多样性和生态系统生产力、进行水土污染治理和保护、稳定库岸、美化环境、开展旅游活动等均有着重要的现实意义和潜在价值。因此，保持水库消落带生态系统的生态平衡、生态安全、生态健康，对维持水库生态系统的生态功能、保护水库生态有十分重要的意义和价值。

水库消落带所处环境特殊，淹没与出露交替，生态环境变化大，一般植物难以适应。水位回落时水库消落带呈裸露状态，干旱贫瘠；水位回升后水库消落带则长期受淹。普通的水生植物不抗旱，旱生植物不耐淹，而贫瘦的坡面环境更限制了适宜生存植物的选择。水库消落带的水陆两栖植物必须能够抵抗反复多次的水体浸泡，抗污耐污，并具备一定的水质净化能力。本书选择耐旱、耐淹的两栖植物（如改良桑树）应用于水库消落带治理，不仅能解决消落带的有关问题和治理难题，而且能改善生态环境，促进水库的可持续发展，营造水库消落带护岸林，增加库区生物量，减少水库淤积，延长水库寿命，维护库区生态安全，对缓解库区人地矛盾、促进库区经济社会的可持续发展有重要的现实意义和社会意义。

## 1.3 水库消落带开发利用与生态修复的发展水平

### 1.3.1 国外水库消落带开发利用情况

国外很多国家如美国、芬兰、苏联、英国、加拿大，在19世纪末到20世纪初就开始了对湿地的系统研究。现在，湿地的研究和保护已经引起了各国政府的关注。湿地科学是研究湿地形成、发育、演化、生态过程、功能及其机制和保护与利用的科学，它是由地理科学、环境科学、水文科学、生态科学和资源科学等多学科交叉而成的边缘学科，因而国外对湿地的研究也从上述多个方面展开。

当前国际湿地研究前沿主要涉及以下领域：①湿地管理和保护，现在的湿地保护已经不再局限于建立湿地保护区和与水禽有关的湿地管理的狭隘认识范围内，而是放眼于景观和生态系统这个大范围的保护与管理，并进行跨地区与全球范围的相互合作；②湿地的形成、发育与演化；③湿地古环境重建；④湿地生态系统的生态过程与动态、湿地生物多样性保护、湿地温室气体排放、温室效应和全球环境变化；⑤湿地退化机制；⑥退化湿地恢复与重建及人工湿地构建；⑦湿地生态系统健康与湿地评价；⑧泥炭地与泥炭开发利用；⑨湿地生态工程模式与管理技术、新技术、新手段与新方法的利用等。

湿地涉及诸多生态问题，国外对湿地开展了丰富的研究，在如湿地对P的去除机理，湿地对营养物的去除机理，公众对湿地保护区的支付意愿，以及

海岸湿地、潟湖湿地等方面都有显著的成果。美国环境保护署（EPA）研究团队总结了湿地状况的快速评价方法，在美国，稳定湿地面积、重建湿地的复合景观、丰富生物多样性、减少水体污染和控制外来种的入侵与扩张、促进湿地原有植物的定居与扩增以及原有植被的恢复是湿地恢复的关键，也是恢复工程设计与实施的核心。英国开展了关于湿地及其范围内的集约化农业行为之间的关系研究。此外，国际上对湿地的管理也开展了广泛的研究，提出了湿地评价水文地貌法（HGM）模型、多目标决策管理等，同时也开展了保护湿地的生态工程研究。

按湿地分类标准，水库和湖泊均属于湿地的一种。水库消落带研究已成为当前国际上生态学、环境科学、地学、经济学、生态健康学等学科研究的一个新热点，而消落带的开发与恢复、保护与管理、生态修复研究则是消落带研究中的重点与热点领域。

由于西方国家人地矛盾不突出，社会经济较为发达，其水库大多修建于人口稀少的地区，因而水库对环境的影响大多集中于水库对水质、野生动植物种群、上下游生态系统变化、局地气候、温室效应等方面。

### 1.3.2 国内水库消落带开发利用情况

目前，我国的湿地研究主要是对湿地的整体研究，研究方向包括宏观研究自然湿地的演变规律和微观研究湿地的开发利用与保护两个方面。对于濒水湿地，特别是濒湖湿地（湖岸带湿地）随湿地整体演变而变化的研究工作开展得不多；对于水库和湖泊的湖岸带，尤其是湖泊的湖岸带，国内开展了多方面的研究，如洞庭湖、太湖、鄱阳湖、白洋淀等湖岸带湿地研究；对水库形成的库岸带湿地、特别是消落带的研究开展得很少。人工湖（库）不如自然湖泊经历的时间长，演变不很显著，但是它对人类的影响更为直接，更加巨大，也更需要研究。目前，我国湿地区划、保护规划、功能规划、退化湿地恢复规划以及湿地评价的方法、标准、指标体系还在制定过程之中，对湿地健康预警、湿地构建、退化恢复、重建理论与技术的研究还相对落后。

湿地恢复的理论基础是恢复生态学。湿地恢复的基本目标包括：①实现生态系统地表基底的稳定性；②恢复良好的水状况；③恢复植被和土壤，保证一定的植被覆盖率和土壤肥力；④增加生物多样性和实现群落恢复；⑤恢复景观和美学享受；⑥实现社会经济的可持续发展。

根据湿地的构成和生态系统特征，湿地的生态恢复可概括为湿地生境恢复、湿地生物恢复和湿地生态系统结构与功能恢复，主要内容包括：①湿地生境恢复技术，包括基底改造、水土流失控制、污水处理、水体富营养化控制，目标是通过采取各类技术措施，提高生境的异质性和稳定性；②湿地生物恢复

技术，包括物种选育和培育、物种引入、物种保护、种群动态调控、群落优化配置与组建、群落演替控制与恢复等；③生态系统结构与功能恢复技术，包括物种与生物多样性的恢复与维持技术、生态系统恢复关键技术，生态系统结构与功能的优化配置、生态系统重构及其调控技术等。目前国内对大型湖泊的湖滨带、河岸带和湿地的生态重建研究较多，如太湖、洞庭湖、洪泽湖、洱海等的生态重建取得了显著成绩。但总的来说，我国河岸带及其退化生态系统的重建理论与实践研究均较为薄弱，大型内陆湖泊和湿地受到污染和人为干扰，其湖滨带湿地生态系统受到损坏，功能被削弱。

如前所述，广义的“消落带”定义中包括河流的河岸带与湖泊的湖滨带，它们在长时间的生态系统自然演替和生物的自然选择中，已经建立起动态的平衡，其区域的生态系统已经适应水陆交错的自然生态环境。在河道中兴建水库，使得这一平衡状态被打破，人工水库的修建不仅改变了原有近水地带的生态环境，提高了水位线，同时扩大了自然条件下河流的水位消落范围。随着水库蓄水量和淹没范围的增加，水库消落带生态环境问题就明显突出。

在我国，水库附近往往有大量居民，水库消落带基本上都处于水库移民自发利用的阶段。国内对水库消落带的研究起步较晚，研究内容主要集中在消落带土地利用模式、消落带功能、消落带管理以及树种的选择和受淹时间内植物能正常生长的期限，大多数研究都关注消落带的农业利用模式或渔业利用模式。这些研究认为消落带具有广泛的经济利用价值，但大都忽略了消落带的生态保护：一方面这些研究绝大多数是宏观的定性研究，有些定性研究仅仅是在总结某一特定地区情况的基础上得出的结论，不具有普遍意义，缺乏普遍适用性；另一方面，有关消落带定量方面的研究目前还很少，这给消落带生态系统的建设、保护与管理带来了一定的困难。

目前，我国一些已建成的大型水库开展了一些水库消落带的研究工作，如水库消落带土地利用优化方法研究、新丰江水库消落带岸坡侵蚀研究、李氏禾的水土保持特性及其在新丰江水库消落带的应用等。这些研究主要集中在消落带植物区系、群落分类和植被功能分析以及水库消落带的生态环境和土地资源的开发利用等方面，对水库消落带植被人工重建技术的研究相对较少。

消落带植被是生长在消落带区域内植物的总和，是消落带功能的主体，其特征及生态过程由水位涨落过程、区域气候、地质构造、沿库岸上下及两侧的生物和非生物等共同决定，并与局部地形、地貌、土壤、水文、干扰级别等密切相关。

在水库消落带内种植植物的研究基本集中在对树种的选择方面，研究结果表明：池杉、落羽杉、垂柳均能耐一定水淹。在整株淹没后，垂柳成活率下降，池杉、落羽杉则不受影响；水淹时间为 200d 时，池杉、落羽杉的生长量

处于正常范围内。在水库消落带种草、养鱼、防淤减积综合效益研究方面，研究结果表明：在南方水库消落带种植黑麦草，在荒山堤坝种植扁穗牛鞭草、岸杂一号狗牙根和皇草，在幼林行间种植鸡脚草、拉丁鲁白三叶等饲草配套养鱼，能起到防止水土流失和防淤减积的效果，经济、生态和社会效益显著。总的来说，目前国内关于水库消落带的研究开展得比较少，而且不是很深入，采用的手段也大多是种植草皮和一些耐水性的树种，如两栖植物落羽杉、澳洲白千层、两栖榕、水翁、蒲桃、李氏禾、香根草等，这些措施在防止水土流失和防淤减积试验上取得了一定的效果。

三峡工程完工后，对三峡水库消落带的研究逐渐多了起来，研究内容主要包括库区消落带内被淹没土壤的重金属元素分析、消落带景观生态变化、地质灾害、土地利用方式、生态环境问题、消落带土壤对磷元素的吸附特征等，并对三峡库区消落带的生态重建进行了初步研究。

2010 年 1 月，为了探索新的治理三峡水库消落带的方式，同时又能够带来较好的经济效益，饲料桑树（桑树经改良后的品种，以下统称“桑树”）首次在三峡水库消落带里种植，并取得了成功。

在“长江三峡水库消落带桑树耐水淹试验”中，对高程 167～175m 范围内的 23 块坡地、稻田土上种植的桑树在不同淹没深度、淹没时间的成活率进行了研究，结果发现桑树具有极强的耐水淹特性，根系发达的多年生桑树在水淹 13.2m、水淹时间 214d 后，仍能存活并发芽展叶，形成新的树冠，而 1 年生桑树实生苗耐水淹时间的临界点为 150d。在高程 170～175m 范围内种植的 1 年生桑树实生苗生长 6 个月，经过 1～2 次刈割后被淹没，在经历 90～118d 的没顶水淹后，仍能正常萌发，萌发率达 62.6%；随着水淹时间增加、淹没深度加大，桑树实生苗萌发率减小。同时，因为坡地排水条件比稻田土排水条件好，相同高程、相同淹没条件下，出露后坡地的发芽率比稻田土上的发芽率高，保留秋枝比不保留秋枝（枝叶全割）的发芽率高。

根据华南地区水库消落带与其他地区消落带的不同特点，对华南地区水库消落带进行了植被恢复研究，针对华南地区水库消落带适生植物进行了一系列模拟筛选及现场试验，试验结果表明：6 种草本植物（铺地黍、李氏禾、狗牙根、香根草、芦苇、芦竹）的模拟试验中，适合华南地区水库消落带生长的两种草本植物为铺地黍和狗牙根。各种植物（铺地黍、狗牙根、马唐、蟛蜞菊、水杉、水翁、水蒲桃、水榕、葛藤）在新丰江水库消落带的现场适生试验结果表明铺地黍和水翁为适生先锋植物，狗牙根、蟛蜞菊、水杉及水蒲桃为适生辅助植物，马唐和水石榕为不适生植物。具体表现为在受水淹影响的高程区段，大多数植物的活力明显受到水淹的影响：①草本植物方面，铺地黍和蟛蜞菊在水淹之后均能够迅速生长，铺地黍在退水后 7d 之内就发芽，蟛蜞菊也能够在

退水 15d 后开始发芽，铺地黍在退水后 30d 的单位面积生物量及覆盖率最大，分别为 621.32g/m$^2$ 和 41.67%，同时生物量增长速率也最大；而蟛蜞菊的覆盖率增长最快，狗牙根长时间并未见发芽，在退水 30d 后开始发芽，且生长极其缓慢，马唐基本死亡。②乔木中水翁生长状况最好，水退后 2d 就能长新叶，除水石榕在水淹之后无发芽迹象外，水杉和水蒲桃均能快速恢复生长；葛藤能够适应消落带非淹没环境，在阻挡雨水冲刷、降低土壤水分蒸发方面起到较大作用，在水库消落带植被恢复中的作用显著。

新丰江水库消落带中适生植物种植区域的植物丰富度要明显高于未种植区域，在受到水淹影响的高程区段表现得尤为突出，这说明适生植物的种植并不仅是简单地增加了消落带的植物多样性，在一定程度上它能为其他植物改善生境，增加其他植物进入消落带生态系统的可能性。

根据前人针对水库消落带适生植物筛选的研究成果及使用的技术方法，在新丰江水库消落带植被恢复现场试验的基础上，改进并扩展了原有几种消落带植被恢复技术方案，提出了针对不同类型消落带（土质型消落带、岛屿型消落带、岩质型消落带）的植被恢复技术方案，并针对各类型消落带技术方案进行了经济技术工程造价分析，分析结果表明：岛屿型消落带造价最高，约为 178384 元/万 m$^2$，岩质型消落带植被工程造价最低，而土质型消落带植被工程造价略低于岛屿型消落带；所有类型消落带造价中以苗木及必备物资费用最高。

### 1.3.3 江西省水库消落带开发利用现状

本书项目组对江西省部分大中型水库消落带进行了实地调研，收集、整理了 189 座大中型水库消落带的治理情况调查表，调查结果显示：江西省 189 座大中型水库中，消落带已局部治理或全部治理的水库共有 18 座，占 9.5%；消落带未治理的水库有 171 座，占 90.5%。其中，局部治理或全部治理的水库消落带主要以种树或种草皮为主；未治理的水库消落带主要利用模式包括：①已种农作物或者局部种农作物；②未种农作物，一直荒芜着；③长满了杂树、杂草，不适宜开发利用等。通过调查可知，已治理的水库消落带，其治理方式多数以在地势较高的地方种树或者种草皮为主，治理效果不明显；没有治理的消落带几乎没有利用，偶有当地居民在水位降低时或者是地势较高的地方，自发地种一些蔬菜等，水位上涨时则被淹没。

在调查中，共有 149 座水库填报了消落带面积。经统计，正常蓄水位以上的水库消落带面积达 17 万亩❶，估算江西全省大中型水库消落带面积约有 28

❶ 1 亩≈666.7m$^2$。

万亩，而消落带面积达到万亩以上的有吉安螺滩水库、乐平共产主义水库等。经调查，水库水位变化是消落带生态系统健康和完整的主要影响因素。水库水位变化按是否受人为因素影响可分为自然水位变化和人为调节水位变化。自然水位变化受气候变化、季节变更控制，其水位变化特征是雨季水位上涨，旱季水位下降；人为调节水位变化受不同的经济社会目的控制，水位变化差异很大。通常，自然水位变化具有暂时性、稳定性，雨季或洪泛时期，消落带被淹没，洪水过后，消落带便重新暴露出水面；而人为调节水位变化，其消落带的淹水时间更为长久。

调查发现，消落带土地的坡度决定消落带土地成陆期间出露面积的大小及形态，影响和控制消落带土壤的冲刷侵蚀与泥沙淤积、地质灾害的发育发生及库岸带稳定性，影响消落带湿地生态系统规模及特征。坡度与面积相关性极为显著，坡度越小，消落带出露成陆的面积越大，因此可按坡度对消落带进行划分。即坡度小、面积大、水浅的地区可以适当利用。一般情况下，坡度小于 7°，水深浅、面积大的消落带可以种植防护林；坡度为 7°～25°，水浅的消落带可以作为生物多样性培育保护区；坡度大于 25°的消落带，在长时间的降雨地表径流和水库涨落及风浪的冲刷侵蚀作用下，显露出成土母岩，大多植物难以生长存活，所以，坡度大于 25°的消落带一般为不可以利用的区域，该区域以保护为主。

从水位高程（水深）角度来看，消落带不同水位高程区段可以表征消落带淹没与出露成陆的季节及时间长短，结合水库调度运行特征，可将消落带水位高程划分为 3 个区段：①设计标高水位线至大坝坝顶高程标高之间，此区段受水位影响最小，可选择的物种最多，但是一般情况下坡度较陡，可利用的消落带面积也较少，估算面积约为消落带总面积的 1/5；②设计标高水位线至正常蓄水位之间，此区间消落带估算面积约为消落带总面积的 2/5，但是因受水位影响稍大，此区间可选择苗高较高的水杉、水松、落羽杉、池杉等树种造林，苗高一般要在 2m 以上；③正常蓄水位至非汛期常水位之间，此区间消落带估算面积约为消落带总面积的 2/5，此区段受水位影响最大，可以根据各水库消落带的具体情况实现水产养殖或者少量的种植等，也可选择较大的水杉、水松、池杉、落羽杉为主要造林树种。

按相对于水库的位置，消落带可以划分为库尾消落带、松软堆积缓坡平坝型消落带、硬岩陡坡型消落带。库尾消落带可依据消落带水陆交替的时期、频率和区域范围，实现水产养殖、饲草种植等利用模式。松软堆积缓坡平坝型消落带为坡度缓、浸水浅、冲蚀弱的地带，可选用乔、灌、草结合的紧密结构林带来保护库岸，减少水土流失，保护生态。硬岩陡坡型消落带地形陡峭、坡度大，难以利用，主要是以保护为主，对于集镇附近易发生地质灾害的地区进行

实时监测并加强防治。

按消落带的土地利用类型和利用特点，可以将消落带分为农村居民点用地、草地（菜地）、林地、水田、滩地及其他等 6 类。滩地及其他一般为不可利用的区域。

综合考虑水库水位、水深、坡度、消落带相对于水库的位置、土地利用等因素，江西省大中型水库消落带可以利用（含短时期利用和长期利用）的面积估算约为 70%，即 1.31 万 $hm^2$；不能利用只能保护的面积约为 30%，即 0.56 万 $hm^2$。可利用的消落带中已利用的面积仅约为 12%，即 0.16 万 $hm^2$；约 88%的面积未曾利用和治理，即 1.15 万 $hm^2$。