

中文摘要

退化生态系统恢复理论与实践研究是当前生态学、地理学和区域科学的研究热点,选择典型区域、典型退化生态系统类型进行研究,具有重大理论意义和现实意义。湿地生态系统是自然界最富生物多样性和生态功能最高的生态系统,拥有重要的环境功能和效益。当前,湿地生态系统作为地球上最脆弱的生态系统之一,在自然原因和人为干扰下,发生不同程度的生态退化,影响到湿地资源的保护与利用。恢复退化湿地生态系统良好的结构与功能,重建退化湿地生态系统,对湿地保护与区域可持续发展意义重大。

本文结合国家生态保护项目——洪湖湿地和南洞庭湖湿地保护区湿地生态恢复示范项目,以两湖平原湿地生态系统为研究对象,在总结前人研究成果的基础上,应用 3S 技术,点面结合,对生态恢复理论基础、基本理论以及两湖平原湿地生态稳定性、生态退化态势和恢复对策等方面作了一定的探讨,并对典型湿地进行了生态恢复设计,以指导正在开展的两湖平原湿地生态恢复实践。文章共分 3 部分内容。

第一部分为文章理论研究部分,包括前言以及文章第一章和第二章。在这一部分,首先对文章选题意义、研究方法、技术路线以及研究区范围进行了简单介绍和界定。接着,文章对生态恢复研究做了理论综述,给出了生态恢复及恢复生态学概念,概述了国内外生态恢复研究的最新进展,提出了生态恢复的未来发展和研究趋势,并对湿地生态恢复研究进展进行了专门论述。然后,文章讨论了生态恢复的理论基础,认为生态系统演替理论是认识论基础,可持续发展是方向论基础,生态系统管理论则是方法论基础,生态恢复是建立在上述三大理论上的一种生态学研究与实践。文章还对生态恢复目标、恢复技术以及恢复理论进行了初步探讨,对湿地生态系统特征进行了论述。这一部分为两湖平原湿地生态恢复研究与实践奠定了理论基础和方法论指导。

第二部分是两湖平原湿地遥感监测分析与生态退化研究,包括文章第三、第四两章。首先,简要介绍了两湖平原湿地的演化史和开发史,并选取 1986、1996、2000 年三个时段的 TM 图像,对 20 世纪 80 年代以来的湿地演化进行了遥感监测,认为两湖平原湿地类型多样,呈现出一定的集中分布规律,数据显示平原自然湿地面积减少趋缓,但仍在减少。然后,文章论述了两湖平原湿地生态退化特征,重点分析了洪湖和南洞庭湖湿地的生态退化态势,认为两湖平原湿地退化主要表现在湿地面积萎缩、水质恶化、生物多样性降低、江湖关系变化等方面,并从自然和人为两方面对退化原因做了简单分析。最后,文章应用景观生态学和层次分析法,讨论了两湖平原湿地景观格局变化和生态稳定性变化,得出湿地处于中度稳定、但向脆弱和破碎方向演化的结论,进行湿地生态恢复是改变两湖平原湿地生态退化态势的必然选择。

文章第三部分(第五章)是针对两湖平原湿地生态退化的严峻形势,在恢复生态学的理论指导下,就两湖平原湿地生态恢复与重建进行了讨论,并给出了设计方案。文章对两湖平原典型湿地生态恢复项目区做了简单介绍后,根据生态恢复理论与以往实践经验,提出了两湖平原湿地生态恢复相应的总体目标、原则和对策,并从退耕还湿、防治污染、栖息地恢复、生物多样性保护等方面就洪湖和南洞庭湖两大示范项目区湿地生态恢复进行了初步的生态设计,规划了生态恢复实施方案,为湿地生态恢复工程提供科学依据。文章还对两湖平原湿地生态恢复监测与评价、恢复可能面临的问题进行了阐述,以推动两湖平原湿地生态恢复工程的顺利实施。

关键词: 湿地生态 退化 恢复 生态稳定性 两湖平原 3S 技术

Abstract

The study of the theory of degeneration ecosystem restoration and practice is the chief focus of ecology, geography and regional sciences. The typical region and type of degeneration ecosystem were probed to approach theoretic relevant research practice implications. Ecosystem of wetland had the richest bio-diversity of nature and had the highest ecological function, which had the important environmental function and benefit. At present, ecosystems of wetland were regarded as one of the most fragile ecosystems on the earth. It degenerated in different degree, which influenced the protection and the use of wetland resources under the natural disturbance and artificial disturbance. Resuming good structure and function of degeneration ecosystem and rebuilding degeneration ecosystem were important to wetland protection and regional sustainable development.

This paper combines with the project of national ecology protection-ecosystem restoration of protection region in Honghu Lake wetland and South Dongting Lake Wetland, and selects the wetland ecosystem of Jiang-han and Dongting Plain as research objection. The research achievement of forefathers summarized, 3S technology used, the method of linking selected spots with the entire area used, the theory of ecology resume, the ecological stability of wetland, the situation that the ecology degeneration and countermeasure of restoration, had been discussed. And ecology resume was designed on typical wetland, in order to guide the practice, which was carried of ecology resumes of wetland of the plain of Jiang-han and Dongting Plain.

There are three parts in the paper:

The content in the first part is theoretical research, which includes the preface, chapter one and chapter two. Firstly, the meaning of the title, research method, technological route and the range of studying area had been recommended and defined briefly. Secondly, the research of ecology restoration was summarized in this article, and the concepts of ecology resume and ecology were put up. The newest progress of domestic and international research of ecology resume was summed up. The development and research tendency of the ecology resume in future were proposed. And the study of the progress of ecology resumes of wetland was expanded. Then, theoretical foundation of ecology resume was discussed. Theory of evolvement of the ecosystem is the foundation of epistemology, and sustainable development theory is the foundation of direction theory, and management theory of ecological system is the foundation of Methodology. The ecology resume was a kind of research and practice of ecology of the above-mentioned three major theories. In this paper, the goal of the ecology resume, technology of the ecology resume and theory of the ecology resume were given a preliminary discussed. And the characteristic of ecosystem of wetland had been described at the same time. This part had established the theoretical foundation and methodology guidance for research and practice of the ecology resume

of Jiang-han and Dongting Plain.

The content of the second part is the analysis of survey and the study of the ecology degradation in Jiang-han and Dongting Plain using RS technology, which includes chapter three and chapter four. History of evolution and development of the wetland of Jiang-han and Dongting Plain was introduced at first. The wetland, since 1980s, was monitored there, using TM image of the three periods of 1986, 1996, and 2000. It was thought that there were various of wetlands in the plain of Jiang-han and Dongting Plain, the distribution is centralized, the reduce speed of the area of natural wetland in the plain become low, but the area was still reducing. Secondly, in the article, the ecology the character of ecology degradation of wetland in Jiang-han and Dongting Plain is discussed. Situation that the ecology of Honghu and South DongTing Lake wetland degenerated is given a special analysis. The degradation of wetland in plain of Jiang-han and Dongting Plain, displayed mainly in wither of the wetland, water deteriorating, Bio-diversity reducing, the change in relation to river and Lake, and so on. In the same time, there was a brief analysis on the reason of degradation from the two respects: nature and human. Finally, through the method of Landscape ecology and APH (Analytic Hierarchy Process), the change of landscape pattern of wetland and the change of ecological stability in Jiang-han and Dongting Plain were discussed in this paper. It was turned out that the stability degree of wetland was medium, but the wetland began to be fragile and fragmental. Carrying on the ecological resume is the solely choose to control the tendency of the degeneration.

In the third part (chapter five), aiming at the severe situation of wetland ecology degeneration of Jiang-han and Dongting Plain, under the guidance of the theory of restoration ecology, restoration and reconstruction of the ecology of Jiang-han and Dongting Plain has been discussed, and a design plan was put forward at the same time. After the brief introduction of the wetland ecology restoration project in Jiang-han and Dongting Plain, according to the theory of ecology restoration and the former practical experience, the corresponding overall goal, principle, and countermeasure, for wetland ecology restoration, were brought forth. And from returning the cultivated land to wetland, pollution prevention, habitat restoration, bio-diversity protectionist was given a preliminary ecology design of wetland restoration on the two major projects areas: Honghu Lake and South Dongting Lake, and the implementing scheme of ecology restoration was planed, which put forward scientific proof for wetland ecology restoration. At the end of this paper, some discussion on the survey and appraised to Jiang-han and Dongting Plain are given, and on the likely question were brought with the restoration, in order to accelerate the project of wetland ecology restoration.

Keyword: Ecology of wetland, Degeneration, Resume, Ecological stability, Jiang-han and Dongting Plain, 3S technology

学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是我在导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确说明并表示谢意。

作者签名：任宪友 日期：2004.5.15

学位论文使用授权声明

本人完全了解华东师范大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或其指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅。有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

学位论文作者签名：任宪友 导师签名：陈中原
日期：2004.5.15 日期：

前 言

0.1 选题背景

(1) 生态危机是人类面临的最严重的问题之一，保护和恢复生态环境刻不容缓

生态系统是人类赖以生存和发展的基础条件，离开生态环境人类也将不复存在。然而，伴随着人类社会的发展，生态环境质量非但没有同步改善，反而呈现出加速退化的趋势，引起人们的广泛关注（蔡晓明，2002；戴星翼，1998；贾灵等，1998）。尤其20世纪以来，全球人口的迅速增长，资源环境的开发利用达到了空前的程度，在推动经济增长的同时，带来了诸如土地退化、森林减少、湿地萎缩、水体污染、生物多样性丧失等一系列生态系统退化问题，对整个生态系统的演化产生了重大影响。而且，由于引起生态系统退化的因素较多，作用机理复杂，生态退化已经成为全球范围内的普遍现象。据初步统计，全球43%的陆地生态系统服务功能受到影响，由于土地荒漠化，全球每年损失423亿美元；中国国土面积的45%处于生态系统退化状态，而且退化趋势尚没有得到有效控制（任海等，2001）。

生态环境退化问题对人类生存环境以及社会经济可持续发展构成了严重威胁，研究生态系统退化机制与原理，探索有效的生态环境恢复和重建方法与途径，维持生态系统健康与安全成为我国社会经济发发展的必然选择，恢复生态学研究也成为目前生态学研究的一个热点，引起了国际科学界以及政府部门的广泛关注和重视，众多专家、学者和国际组织先后进行了一系列研究，取得了一定的成果（Rapport D. J, et al, 1998；章家恩等，1999）。生态系统健康作为全球环境管理的新目标和分析生态系统的新方法，受到人们的日益重视。如何进行生态保护和整治、恢复退化生态系统原有结构和功能，已成为提高区域生产力、改善生态环境、推动区域可持续发展战略实施的关键所在。加强恢复生态学理论研究，在适当的地区进行生态恢复的实践实验，对探索适合区域生态恢复的途径、走区域生态可持续发展道路具有重大意义（郭方等，1989；马世骏，1990；傅伯杰等，2000）。

(2) 湿地是拥有重要生态功能的脆弱生态系统

湿地是分布于陆生生态系统和水生生态系统之间的过渡性生态系统，具有独特的水文、土壤、植被特征（赵魁义等，1995）。湿地生态系统是自然界最富生物多样性和生态功能最高的生态系统之一（安树青，2003）。湿地为人类的生活、生产提供多种资源，拥有多种环境功能和效益，在蓄洪防旱、调节气候、控制土壤侵蚀、促淤造陆、降解环境污染、保护生物多样性、维护区域生态平衡等方面

起着极其重要的作用，对全球环境变化有明显的响应作用（孟宪民，1999）。湿地是人类最重要的环境资本之一，与森林生态系统、海洋生态系统并列为世界三大生态系统，被誉为“生命的摇篮”、“地球之肾”和“物种基因库”，日益受到人们的重视。

湿地生态系统是一个发展和变化的、复杂的非线性动态系统，是地球上最脆弱的生态系统之一，过渡性明显。除自然原因外，人类对湿地资源的不合理利用、管理甚至恢复工程都可能造成湿地生态结构的变化和某些生态功能的改变或丧失，导致湿地面积减少，湿地水质恶化，出现水体富营养化现象，危及湿地生物的生存与发展，严重威胁到区域乃至全球社会经济的可持续发展。保护和合理利用湿地资源、湿地环境，恢复和重建良好的湿地生态环境，恢复整个“地球生态系统的健康和完整性”，已成为全球广泛关注的研究课题。

目前，国内外针对湿地生态系统退化与生态恢复已经进行了一系列的理论研究与工程实践，取得了一定的成果，为今后的湿地生态恢复研究与实践积累了一定的基础和经验（余作岳等，1997）。随着环境意识的提高，湿地的重要性日趋为人类所重视，湿地科学已经成为当今国际学术关注的热点与焦点，成为21世纪科学研究的重点学科和研究领域（杨永兴，2002a, 2002b），与此相应，湿地生态退化机制、退化湿地生态系统恢复与重建也成为国际湿地科学领域前沿与关键问题之一（张永泽等，2001），受到高度重视。

（3）恢复生态学是一门方兴未艾的学科

恢复生态学20世纪80年代以来逐渐兴起和发展起来的一门应用生态科学，主要研究退化生态系统退化机理与原因、退化生态系统恢复与重建方法技术，是关于生态系统退化、演化和恢复机制研究和实践的理论总结，是进行生态恢复实践的科学依据，被称为“未来的希望”（刘国华等，2003）。鉴于全球和区域生态环境退化的严峻形势，生态恢复与重建已经成为当前生态科学、环境科学、地学等相关学科的研究热点，得到了众多专家、学者的关注和研究，在理论建构和实践参与方面做了大量的工作，取得了一定的成绩。首先，通过借鉴和创新，恢复生态学拥有了一些适合本学科的理论，如生态设计与自我设计理论、生态系统管理理论等（任海等，2001）。其次，世界各国尤其是发达国家，相继实施了一批相关的生态恢复项目，从生态系统恢复的物理、化学和生物过程等方面进行了研究和实验，积累了一定基础，如美国的清洁湖泊计划（CLP）等。国内的生态（湿地）恢复开展较晚，但中国科学院一些研究所、东北师范大学等研究院（所）和高等学校先后对森林、草地、湿地以及一些生态脆弱区进行了一系列研究，取得了一定的成果。

作为一门方兴未艾的学科，恢复生态学研究尚需加强。恢复生态学作为一门学科，其学科体系尚未完全建立，在理论建构和学科应用实践方面还存在这样或

那样的不足，影响和制约了学科自身的发展和学科在实践中的应用。选择典型生态系统，就系统演化规律、生态退化机制、退化生态系统的恢复与重建进行深入研究，有利于恢复生态学理论体系的完善，有利于生态恢复实践的逐步开展，体现恢复生态学在环境保护和利用方面的应用价值，对恢复生态学学科发展具有重大意义。

(4) 两湖平原湿地典型性、代表性强，有较高的研究价值

两湖平原湿地资源丰富，类型多样，具有较高的生物多样性，是我国最重要的湿地分布地区之一。然而由于对两湖平原湿地长期大规模的开发和不合理利用，平原湿地生态系统受到极大破坏，表现出明显的生态脆弱性，严重影响两湖平原社会经济的健康、协调、可持续发展。加强两湖平原湿地生态研究，合理利用湿地资源，保护湿地生态环境，进行湿地生态恢复是两湖平原未来发展的必然选择。

具体说来，文章选题定为两湖平原湿地生态恢复研究，主要是考虑以下几个方面：一、两湖平原是相对独立的地理单元，具有较强相似性，深受长江影响，湿地面积广大，提供了广阔的研究空间。二、两湖平原湿地区域是我国重要的粮、棉基地，在国家粮食安全保障体系建设方面占有重要地位，而环境保护和恢复是保证粮食生产稳定的重要前提。三、两湖平原区是我国最重要的湿地集中分布区之一，具有较强的典型性和代表性，拥有多种类型的湿地，其中东、南、西洞庭湖三块湿地还被列入国际重要湿地名录；而且，受人类活动的影响大，形成了面积广大的人工湿地——水田与鱼池，是进行湿地生态恢复研究的理想区域。四、该区生态比较脆弱，区域生态环境稳定性差，自然灾害发生频率和破坏程度大，极易引起生产力大的波动，迫切需要加强生态保护和退化生态系统恢复的理论与实践研究。

(5) 课题研究工作基础

华东师范大学资源与环境学院与中国科学院测量与地球物理研究所存在良好的科研合作关系，在人员培训与交流、合作研究等方面进行着良好的合作，并将中国科学院小港生态实验站作为资源与环境学院野外教学科研基地，进行相关研究。在此背景下，按照导师安排，结合论文选题，本人在华东师大接受一年博士基础学习后，于2002年7月—2004年4月到中国科学院测量与地球物理研究所从事科研合作和毕业论文写作，本论文即是华东师大资源与环境学院与中国科学院测量与地球物理研究所合作的成果，是在中国科学院测量与地球物理研究所从事科研工作的一部分。

中国科学院测量与地球物理所环境与灾害重点实验室长期以来对江汉平原、江汉湖群及长江中游湿地生态环境进行了大量卓有成效的研究，有较多的基础资料和研究成果积累。三年来参与的多项课题为本研究提供了科研和实验条件，主

要有：国家自然科学基金项目——洞庭湖洲滩演化的量化研究及湖泊演变趋势分析；国家林业局湿地生态科研项目——“3S”技术在全国湿地调查与监测中的应用，洪湖湿地自然保护区和南洞庭湖湿地自然保护区湿地生态恢复示范项目；中国科学院知识创新工程项目——长江中游湿地生态系统演化机制与生态修复项目；等。上述研究项目的进行和实施为本研究提供了资料收集与参与实践的便利，并为研究成果的实施提供最终验证。

0.2 研究区界定

两湖平原是湖北江汉平原和湖南洞庭湖平原的合称，位于湖北省中南部和湖南省北部，地处长江中游、汉水下游和洞庭湖环湖地区，是长江中游最大的平原。关于两湖平原地域范围的确定，迄今还没有统一标准，由于研究对象和研究目的的不同，两湖平原的界限和范围也各有不同（杨果，1998）。梅莉等在《两湖平原开发探源》将两湖平原范围定为东经 $111^{\circ} 11'$ 至 $114^{\circ} 30'$ ，北纬 $28^{\circ} 13'$ 到 $31^{\circ} 13'$ ，包括湖北约 20 个县市，湖南约 22 个县市（梅莉等，1995）。龚胜生《两湖平原城镇发展的空间过程》中，两湖平原则包括湖北省的 25 县市和湖南省 21 县市（龚胜生，1996）。《长江大辞典》对两湖平原的界定则是“大致范围西起枝江，东达武汉，北起钟祥，南抵益阳—湘阴。”（《长江大辞典》编纂委员会，1997）。《两湖平原开发探源》与《两湖平原城镇发展的空间过程》主要是从经济地理角度来对两湖平原进行界定，一些不是平原地貌的丘陵岗地被列入其中。本研究主要是从地貌类型或者说自然地理角度来研究湿地生态系统退化、恢复问题，更多地考虑自然因素，因此不取《两湖平原开发探源》与《两湖平原城镇发展的空间过程》中的两湖平原范围。

本文界定的两湖平原主要依据地貌类型和土地利用类型划分的，大致以 50m 等高线为界，西起枝江，东至武汉，北达钟祥、安陆，南到望城，包括湖北省武汉、荆州、荆门、仙桃、天门、潜江以及湖南省岳阳、益阳、常德等地市，面积约 8 万 km^2 ，人口约 3000 万，与《长江大辞典》基本含义一致（图 0—1）。当然，本研究主要是针对两湖平原湿地生态退化与恢复进行研究，在研究过程中选择两个典型的湿地区域——洪湖和南洞庭湖湿地，来分析整个两湖平原湿地生态变化，探索合理的湿地利用和恢复对策，文中对两湖平原的范围并未做过多的限定。



图 0—1：两湖平原范围示意图

0.3 主要研究内容

本研究以两湖平原湿地生态系统为研究对象,选取南洞庭湖和洪湖两块国家重要湿地为实验区,在借鉴和吸收前人理论研究和实践工作经验的基础上,结合课题组承担的国家林业局项目——洪湖和南洞庭湖湿地生态恢复示范项目的实施(实施期限 2002——2007 年),对研究区内湿地生态退化态势、退化原因以及退化湿地生态恢复与重建进行了探讨,并结合实际工作面临的问题,提出两湖平原湿地生态恢复对策与措施,并对典型湿地进行生态设计,以期能对两湖平原湿地生态的保护和恢复提供理论和技术方法上的支持,对恢复生态学的理论研究和应用实践有所裨益。

(1) 理论综述

恢复生态学是进行湿地生态退化和恢复研究的理论基础,但恢复生态学还是一门远没有发展成熟的科学(任海等, 2001; 黄铭洪等, 2003),涉及生态、地理、环境、工程、管理等诸多学科领域,需要在研究过程和生态恢复实践中逐步完善。本文对恢复生态学目前研究进展和未来发展趋势进行了初步分析,并对恢复生态学的理论基础进行归纳,阐述了恢复生态学主要的一些基本理论问题,为两湖平原湿地生态恢复研究与实践奠定理论基石。

(2) 两湖平原湿地生态演化、退化研究

通过文献索引、实地采样和遥感资料分析,建立两湖平原湿地生态系统演化序列。对目前研究区面临的湿地面积萎缩、水质恶化、生物多样性减少等湿地生态系统结构、功能退化形势进行分析,找出影响湿地生态退化的原因,为科学制订两湖平原湿地生态系统恢复策略、提出恢复途径打下基础。

(3) 两湖平原湿地生态恢复对策研究及恢复评价

在前面的理论基础和现实生态退化的形势下,文章试图就两湖平原湿地生态系统保护和恢复提出自己的见解,探寻适合研究区生态实际的对策建议,并在实施过程中进行科学评价和监测,以不断修正和完善研究区湿地生态恢复策略,更好地指导研究区湿地生态恢复实践,推动两湖平原社会经济的可持续发展。

(4) 典型湿地生态退化与恢复研究

应用 3S 技术,对两湖平原湿地生态系统(选取江汉平原洪湖湿地自然保护区为案例)的动态变化进行追踪研究,探询湿地生态系统景观格局变化,分析湿地生态稳定性,有针对性地进行区域湿地生态恢复设计,推动研究区湿地生态和社会经济的可持续发展。

0.4 研究方法与技术路线

(1) 研究方法

文章采用包括卫星遥感资料、不同时代地形图、实地调研采集样本数据以及

大量的文献资料，吸收和借鉴地理学、湿地学、生态学、遥感和地理信息系统科学、农业科学等多学科先进理论与方法，借助先进的 3S 技术的强大空间数据分析与集成能力，配合野外调研与实验，就两湖平原湿地生态系统演化、退化进行大面积、动态的时空一体化研究，找出影响研究区湿地生态退化的原因，探索该地区湿地生态动态变化的内在机理，探讨研究区湿地生态恢复方法与技术，并在此基础上，借鉴国内外生态恢复的理念和先进方法，针对性提出两湖平原湿地生态系统恢复策略，寻求适应研究区区域可持续发展的湿地利用与保护对策，用以指导正在实施的两湖地区典型湿地生态恢复实践。

(2) 数据来源

本文的数据来源主要有三个方面：一是来自参考文献，通过中国期刊网、维普数据库以及中国科学院武汉情报中心的国内外期刊、专著等；二是遥感资料，为了及时有效地反映研究区湿地生态动态变化，结合项目的实施，收集、购买了研究区内典型湿地区域 1986、1996、2000 年的遥感图像，进行处理和解译，获取基本数据；第三就是通过实地采样、实验室分析得出的数据，主要是依托中国科学院洪湖小港生态站、洪湖和南洞庭湖湿地生态监测站进行，但为了保证数据的科学性，2002 年 10 月、2003 年 3 月、2003 年 8 月先后三次到洪湖，2003 年 9 月、2004 年 2 月先后两次到洞庭湖进行野外调研与取样，获取大量资料，进行室内数据分析，并参与保护区生物资源（水禽、植物和鱼类）的本底数据调查，获取第一手数据。

(3) 技术路线

首先，通过国内外文献索引，对当前恢复生态学的学科发展、研究现状及发展趋势进行综述，探讨恢复生态学的理论基础，分析有关生态恢复的基本问题，为两湖平原湿地生态系统恢复研究与实践奠定理论基础。

其后，收集了研究区 20 世纪以来多个年代的地形图、近 20 年来的遥感图像，系统地对两湖平原湿地生态的有关文字和图片资料进行整理，解译研究区 1986、1996 和 2000 年以及 2001 年洪湖典型湿地地区遥感影像，应用 3S 技术和定性定量相结合的方法，对研究区湿地生态演化、退化进行深入研究，分析研究区湿地生态退化态势、原因和动态变化规律，找出湿地演化的内在变化机理。确定野外工作路线、所要收集的资料、样本取样方案。

利用中国科学院测量与地球物理所的科研力量与科研条件及其承担有关两湖平原项目的研究基础，在科学获取两湖平原湿地生态特征和环境数据的基础上，对两湖平原湿地生态资料进行分析，摸清湿地生态演化、退化过程与机理，评价湿地生态稳定性，找出相应的湿地恢复的方法和途径，并对生态恢复进行监测与评价（图 0—2）。

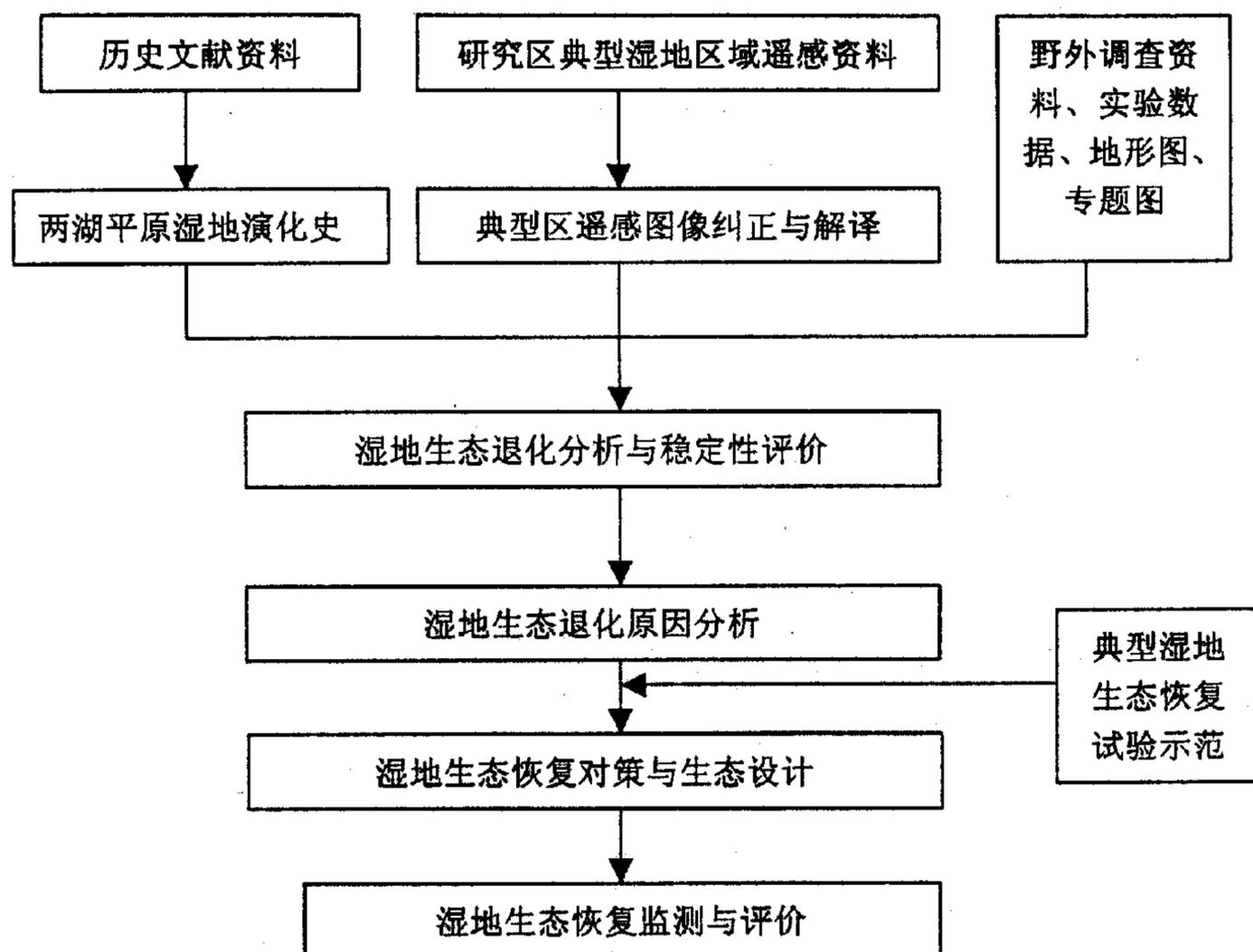


图 0—2: 本文的技术路线图

0.5 突破与创新

本文将生态恢复理论与两湖平原湿地恢复实践项目结合起来进行研究,注重理论与实践的结合,突破与创新之处有以下 3 个方面:

(1) 将可持续发展理论引入生态恢复研究领域,把生态可持续作为生态恢复的理论基础与基本目标之一,从可持续发展战略的高度来认识和实施两湖平原湿地生态恢复项目。

(2) 对两湖平原湿地生态稳定性和景观格局变化进行科学评估,提出相应生态恢复对策,并对区内南洞庭湖和洪湖典型湿地进行生态恢复设计,用于指导实践,为研究区湿地生态恢复工程项目的实施提供科学保障。

(3) 运用 3S 技术对两湖平原(以江汉平原为例)湿地生态变化进行监测,将监测成果运用到湿地恢复项目中,更好地反映了湿地生态的动态变化,对指导两湖平原湿地生态恢复实践有重要意义。

第一章 生态恢复研究综述

人生活在一定的生态环境之中，生态环境是人类社会经济可持续发展的基础，良好的生态是人类生存和生活的必要条件之一。工业革命以来，随着人口的增加和工业化的发展，资源环境的开发利用达到空前的强度，在推动全球社会经济进步的同时，也导致生态系统遭受不同程度的破坏，带来了诸如森林减少、湿地萎缩、生物多样性丧失等一系列严重的生态系统退化问题，对生物圈的演化产生了重大影响，严重制约了人类社会经济的可持续发展，甚至危及人类自身的安全，尤其是在 20 世纪中期爆发了“八大环境公害”事件，产生了严重的后果，更是引起了人们的广泛关注（刘培桐，1985），生态问题从未象现在这样突出地呈现在人们面前，考验着人类的智慧，引起人们如此的深思。生态环境退化问题已经成为维持人类生存和社会经济可持续发展的严重威胁，如何整治日趋恶化的生态环境，防止自然生态环境的退化，有效处理和解决全球生态系统退化问题，恢复和重建已经受损的生态系统原有结构和功能，是改善生态环境、提高区域生产力、实现可持续发展的关键，已经成为全球全人类面临的共同课题。加强生态恢复理论研究，在适当的地区进行生态恢复的实践实验，对探索适合区域生态恢复的途径，走区域生态可持续发展道路具有重大意义（张坤民，1997；芭芭拉·沃德等，1997；贾灵等，1998）。在此背景下，生态恢复研究成为当前国内外生态学研究的热点和国际前沿学科之一。

1.1 生态恢复与恢复生态学概念

1.1.1 生态恢复概念

生态恢复是恢复生态学研究的基本内容，科学地定义生态恢复是进行恢复生态研究和实践的必然要求。生态恢复的概念源于生态工程或生物技术，但由于研究的着眼点、研究角度以及退化生态系统的不同，对生态恢复的理解也有一定的差异，以至出现了多种关于生态恢复的定义和说法。较有代表性的有（任海等，2001；彭少麟，2003；柳劲松等，2003）：

国际恢复生态学会定义 生态恢复是帮助研究生态整合性的恢复和管理过程的科学，包括生物多样性、生态过程和结构、区域及历史情况、可持续的社会实践等广泛的范围（1995）。

美国生态学会定义 生态恢复就是有目的地把一个地方改建成定义明确的、固有的、历史上的生态系统的过程，目的是竭力仿效那种特定生态系统的结构、功能、生物多样性及其变迁过程。

美国自然资源委员会定义 生态恢复是使一个生态系统恢复到较接近干扰前的状态。

Jordan 定义 生态恢复就是使生态系统回复到先前或历史上的状态 (1995)。

Cairns 定义 使受损生态系统的结构和功能恢复到受干扰前状态的过程 (1995)。

Diamond 定义 生态恢复就是再造一个自然群落, 或再造一个自我维持, 并保持后代具有持续性的群落 (1987)。

Harper 定义 生态恢复是关于组装并试验群落和生态系统如何工作的过程 (1987)。

另外, 还有一些与生态恢复相关的概念, 如: 重建 (去除干扰使生态系统回复原有的利用方式)、改良 (改良立地条件以使原有的生物生存)、改进 (对原有受损生态系统进行改进, 提高其结构和功能)、修补 (修复部分受损的结构)、更新 (生态系统发育及更新)、再植 (恢复生态系统的部分结构和功能或先前土地利用方式)、修复 (辅助人工措施, 加快恢复) (焦居仁, 2003) 等。这些概念可看作广义的恢复概念。

综观上述各个定义, 不管其侧重点如何, 但有一点是共同的, 即生态恢复的长期目标是生态系统自身可持续性的恢复。当然, 生态恢复并不单纯是自然生态系统的次生演替, 而是人们有目的地对生态系统进行改建, 强调人类在生态恢复的主动作用; 生态恢复也并不是物种的简单恢复, 而是对系统的结构、功能生物多样性和持续性进行全面的恢复, 最关键的是系统功能的恢复和合理结构的构建。从实质上看, 生态恢复就是根据生态学原理, 通过一定的生物、生态以及工程的技术与方法, 人为地改变和切断生态系统退化的主导因子或过程, 调整、配置和优化系统内部及其外界的物质、能量和信息的流动过程和时空次序, 使生态系统的结构、功能和生态学潜力尽快成功地恢复到一定的或原有乃至更高的水平 (章家恩等, 1997)。这也是本文所说的生态恢复概念。

1.1.2 恢复生态学概念

恢复生态学是关于生态恢复的科学, 是应用生态学的分支, 是一门在 20 世纪 80 年代得到有力发展的现代生态学分支, 已经成为现代生态学最富于生命力的五大分支学科之一。恢复生态学具有很强的学科综合性, 与环境科学、农学、林学、地学、水文学、气象学、工程学、经济学、管理学、社会学等学科保持着广泛的学科交叉。

恢复生态学研究生态系统退化的原因、退化生态恢复与重建的技术与方法、生态学过程与机理, 是一门理论性与实践性都很强的学科, 尤其是实践的要求非常迫切。这里的“恢复”是指生态系统原貌或其原有功能的再现, “重建”则指在不可能或不需要再现生态系统原貌的情况下营造一个不完全雷同于过去的甚至是全新的生态系统 (赵晓英等, 1998), 主要目的是通过改良和重建退化自然生态系统, 恢复其生物学潜力。

恢复生态学主要致力于那些在自然灾变和人类活动压力下受到破坏的自然生态系统的恢复与重建,是最终检验生态学理论的判决性试验。其研究内容主要涉及两个方面:一是生态系统退化与恢复生态学过程,包括各类退化生态系统成因和驱动力、退化过程、特点等研究;二是通过生态工程技术对退化生态系统恢复与重建模式的试验示范研究,恢复受损生态系统到接近于受干扰前的自然状态,即重建该系统干扰前的结构与功能有关的物理、化学和生物学特征。

1.2 恢复生态学研究进展

1.2.1 国际恢复生态学研究进展

恢复生态学作为一门应用性极强的科学,起源于受污染的生态环境治理和受损生态系统恢复实践的陆续开展。环境污染和生态破坏自古有之,只不过在早期,人对自然的干扰程度没有超出自然生态系统承受范围,在干扰解除后生态系统即可自行恢复,无需专门进行恢复。但这一情势在近代发生了巨大变化,随着世界人口数量急剧增长和工农业的快速发展,人类活动对环境生态的破坏达到了前所未有的程度。许多地区,特别是人类活动集中地区,人类对自然生态系统的干扰、破坏,已经达到不可逆的程度,单靠自然恢复已经不可能恢复到健康生态系统的水平。为了恢复和保护人类赖以生存的生态环境,必须采取人为的生态恢复手段,结合和利用自然恢复,才能实现受损生态系统的恢复,这就促使了生态恢复实践的展开和恢复生态学的产生。

100多年前,为了适应当时生态实践的需要,恢复生态学研究发轫,进行了有关山地、草原、森林和野生生物等自然资源的一些管理研究,其中,水土保持、森林再植理论与方法沿用至今(任海等,2001)。但真正的生态恢复实验最早出现在美国,1935年Leopold及其助手一起在威斯康星州麦迪逊边缘一块24hm²的废弃农场上进行牧草恢复,认为好的生态系统应该保持系统的整体性、稳定性和生物群体的完美性,并于1941年提出土地健康的概念。同年,Clements发表论文《实验生态学为公共服务》,阐述生态学可以应用于包括土地在内的广泛领域(Keddy,1999)。此后,欧洲、北美针对各自面临的环境问题,进行了生态恢复的实践探索,主要是应用一些工程和生物措施对水体、矿山、水土流失等生态问题进行一些恢复和治理工作,取得了一定的效果。

20世纪70年代,生态恢复研究取得了较大进步,较多地关注了温带陆地、淡水生态系统退化与恢复。1975年3月在美国召开了首次“受损生态系统恢复”的国际会议,就受损生态系统的恢复和重建及其他一些重要生态学问题进行了深入探讨,在讨论生态恢复过程原理、概念和特征基础上,提出了加速生态恢复和重建的初步设想与规划。这一时期,Farnsworth提出了热带雨林生态恢复研究的一些具体方向;宫肋照利用植被演替原理在一些城市进行环境保护林研究,等

等。生态恢复的实践得到了更广泛的开展，为生态恢复学的产生奠定了基础。

80年代以后，随着全球生态系统退化态势加剧，退化引发的环境问题日益增多，人们在不同区域先后实施了一系列生态恢复工程，并加强了对退化生态系统演化、退化与恢复机理和恢复方法与技术的研究，取得了一定的成绩。1985年国际生态恢复会成立，Abler和Jordan提出生态恢复学术语，1987年Jordan等主编出版《恢复生态学——生态学研究的一种合成方法》一书，标志着恢复生态学的产生（黄铭洪等，2003）。

恢复生态学提出以后，受到生态学、地理学、管理学等学科专家、学者关注与参与，取得较快发展，在理论构建和实践方面都有明显进展（任长久，2000），相继召开了一系列相关的学术会议和活动，主要有1983年“干扰与生态系统”国际研讨会（美），1984年“恢复生态学”学术研讨会（美），1989年“第五次欧洲生态学”研讨会（意），1991年“热带退化林地的恢复”国际研讨会（澳）；1993年“华南退化坡地恢复与利用”国际研讨会（香港）；1994年“第六届国际生态学”大会（英）；1996年“首届世界恢复生态学”大会（瑞士）；1998年美国生态学会年会（美）；2000年“恢复生态学”国际大会（英）；2001年，国际恢复生态学大会（加）；2002年美国生态学会年会暨国际恢复生态学大会（彭少麟，2002），等等。国际恢复生态学会、“恢复地球”组织等一些生态恢复相关学术机构成立并得到发展。与此同时，有关生态恢复的学术论文和刊物大量涌现，相关研究论文和研究报告广泛散布在生态学、环境科学、农学、林学、地学、水利学等有关学科的刊物上，并在90年代出现了专门刊物：Restoration Ecology（《恢复生态学》）、Restoration and Management Notes（《恢复与管理文献》）、Restoration and Reclamation Review（《恢复与改良评论》）等，另有一些刊物，则开辟有关生态恢复的专栏。期间，有关生态恢复文集和专著相继问世，主要有Cairns主编《受损生态系统的恢复过程》（1980），Jordan等主编《恢复生态学——生态学研究的一种合成方法》（1987），美国国际研究理事会《水生生态系统的恢复——科学、技术和公共政策》（1992），等。另外，《受害生态系统的恢复过程》、《土地的恢复、退化土地和废弃地的改造与生态学》等著作，也都有较高价值。

可以看出，尽管国际有关生态恢复的实践历史较长，但恢复生态学作为一个独立学科被提出则很晚，只有十几年历史。这一时期，生态恢复工作主要集中在以下三方面：一是退化生态系统机理研究；二是外来物种对退化生态系统的适应；三是生态环境的非稳定性机制研究。在研究过程中呈现如下特点：（1）研究对象多元化。包括森林、草地、灌丛、水体等生态系统的生态退化与自然恢复；（2）研究积累性好、综合性强，（3）生态恢复研究的连续性强，特别注重受损自然生态学过程及其恢复机制研究；（4）注重理论与实验研究。

1.2.2 国内生态恢复学研究进展

我国是世界上生态系统退化类型最多、生态系统退化最严重的国家之一，也是较早开始生态重建实践和研究的国家之一。20世纪50年代，我国就开始了退化环境的定位观测试验和综合整治工作，其后相关工作相继展开，如50年代末华南地区退化坡地上开展荒山绿化、植被恢复，70年代“三北”防护林工程建设等，当时，工作主要集中在摸清资源家底和进行资源质和量的评价上，并对有关退化生态系统恢复进行了初步研究，实施一些零散的小规模的恢复试验。20世纪80年代以来，特别是近些年来，生态退化、环境污染等问题日趋恶化，成为困扰我国社会经济可持续发展的重要因素。在此背景下，从“七五”到“十五”期间，国家有关部委及地方政府分别从不同角度进行了有关恢复生态学的研究和实践，开展了“生态环境综合整治与恢复技术研究”、“主要类型生态系统结构、功能及提高生产力途径研究”、“亚热带退化生态系统的恢复研究”、“北方草地主要类型优化生态模式研究”和“内蒙古典型草原草地退化原因、过程、防治途径及优化模式”等课题，对生态恢复理论和实践研究都有所加强。此外，我国还先后实施了长江中上游地区防护林工程，水土流失治理工程，农牧交错区、风蚀水蚀交错区、干旱荒漠区、丘陵山地、干热河谷和湿地等生态脆弱地区退化生态环境恢复与重建工程，沿海防护林建设工程，等等。这些生态建设实践与工程，尤其是在实践上已获成功的一些生态恢复技术和案例，为生态恢复和环境治理积累了宝贵的经验（赵晓英等，1998）。

期间，我国科学家在生态系统退化的原因、程度、机理、诊断以及退化生态系统恢复与重建的机理、模式、方法和技术方面做了大量的研究，对退化生态系统的定义、内容及生态恢复理论进行了完善和提高，提出了一些具有指导意义的应用基础理论，进行了典型区域生态恢复实验，取得了显著的生态效益、社会效益和经济效益，为自然资源的可持续利用和生态环境的改善发挥了重要的作用。与此同时，围绕生态恢复与重建先后发表了一系列有关生态系统退化和人工恢复重建的论文、报告和论著，如《中国退化生态系统研究》（1995）、《生态环境综合和恢复技术研究》（1993，1995）、《热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究》（1996）、《恢复生态学导论》（2001）和《环境污染与生态恢复》（2003）、《湿地生态工程——湿地资源利用与保护的优化模式》（2003）、《生态修复工程技术》（2003）、《热带亚热带恢复生态学研究与实践》（2003），等等。

就研究范围和广度而言，我国恢复生态学研究是其它国家所不能比拟的，在某些领域已达到国际同类研究水平，在国际学术界产生了一定的影响。半个世纪以来，我国的专家、学者面对中国生态退化的实际，结合我国的生态环境建设和保护，在森林、草地、农田、采矿废弃地、湿地等生态脆弱地区进行了一系列生态退化、演化和恢复与重建研究，提出了适合中国国情的恢复生态学研究理论框

架和方法体系（彭少麟，2003），取得了较大的成绩，在研究过程中主要呈现出如下特点：（1）注重生态恢复试验与示范研究，试验实践重于基础理论研究；（2）注重人工重建研究，相对忽视自然恢复过程的研究；（3）大量集中于研究砍伐破坏后的森林和放牧干扰下的草地生态系统退化后的生物途径恢复，尤其是森林植被的人工重建研究；（4）注重恢复重建的快速性和短期性；（5）注重恢复过程中植物多样性和小气候变化研究，相对忽视动物、土壤生物（尤其是微生物）研究；（6）对恢复重建的生态效益及评价研究较多，特别是人工林重建效益，但缺乏对生态恢复重建生态功能和结构的综合评价；（7）近年来开始加强恢复重建的生态学过程的研究（包维楷等，2001）；（8）新技术应用还有待提高，研究定性和半定量居多，缺少系统的、连续的、动态的定量研究。

1.2.3 未来恢复生态学研究趋势

恢复生态学由于产生历史较短，理论和实践积累尚显不足，恢复生态学发展还面临较多的理论和应用问题，人们对生态系统的退化机理、退化状态评估还不十分清楚，对恢复的途径选择、时间界定和目标认识等还存有分歧，生态恢复还存在极大的不确定性，恢复技术尚不能满足实践需要，等等。针对上述问题，笔者认为未来恢复生态学发展应主要解决这些问题，从理论和实践上完善和充实恢复生态学研究，具体趋势可归为：

（1）恢复生态学理论构建。发展自身的理论和构建本学科的理论体系是一个学科能否存在并得以发展的重要条件，恢复生态学作为一门新兴学科，非常注重理论建设，提出了设计与自我设计等理论。但总体上恢复生态学理论建设还显不足，更多借用了相关学科的理论。必须大力加强学科理论建设，在借鉴、引用其他学科理论的基础上，创新出本学科的理论，形成一套适合自身发展和实践需要的理论体系，这将是未来恢复生态学研究的一个重大课题，值得关注。

（2）生态系统演化、退化机理研究。生态系统退化已经成为影响世界各国可持续发展的重要问题。通过恢复生态学研究，找出各类生态系统退化的原因，摸清其退化机理，科学地评价各干扰因子在退化中的贡献率，是进行生态恢复的前提，是恢复生态会理所当然的研究内容。但目前这方面的工作还有待加强，这是恢复生态学研究的又一发展趋势，也是亟待解决的重要问题之一。

（3）生态恢复技术和方法研究。恢复生态学是一门实践性、应用性极强的学科，其最终目的是要指导国家和区域生态建设实践。为了更好地进行生态恢复实践，必须大力加强恢复技术与方法研究，通过借鉴、引用、创新、创造，发展出有效的能够适应不同类型生态系统的恢复技术和方法，提出科学可行的生态恢复措施与途径。当前，恢复生态学研究在这一方面已经取得了一定的成绩，但还不能满足学科建设和生态恢复实践的需要，还应加强这方面的研究。

（4）生态恢复定量化和模型化研究。量化、模型化是当今科学发展的一

个重要趋势,能否定量化和模型化已经成为科学发展是否成熟的标志。生态系统退化、演化和恢复是一个复杂的生态过程,受多种原因影响,正确评价各因子在其中的作用,必须借助一定的概念和数学模型,定量地反映生态系统的动态变化及其与各影响因子的关系,为寻找恢复措施提供令人信服的证据。作为现代科学的恢复生态学应大力进行这方面的研究。

(5) 生态恢复与全球变化研究。全球变化研究是 20 世纪 80 年代开始的一个新兴科学领域,主要研究全球环境变化产生的原因和规律及其影响,具有高度综合、多学科交叉等特点。恢复生态学研究本身就是针对全球生态退化问题提出的,对全球及区域的生态改善和恢复进行科学深入研究,它一开始就被纳入全球变化研究领域,作为其中的一个重要课题。尤其是关键区域生态系统演化、退化与恢复过程对全球变化的适应与响应已经引起科学界的广泛关注。这不能不成为未来恢复生态学研究的一个重要发展趋势。

1.2.4 湿地生态恢复研究综述

湿地作为一个概念,仅从字面上看,就是“湿润的土地”,是非常明确的,但要确切把握湿地的定义,明晰湿地与非湿地的界限又是比较困难的。由于研究角度和任务不同,提出的有关湿地的定义多达 50 余种(安树青,2003),可大致分为广义和狭义两种定义。狭义的定义通常把湿地视为生态交错带,是陆地和水域之间的过渡区域,其水位常常较浅或接近陆地表面,主要分布在海岸带和部分内陆区域。从这个角度来讲,湿地是一个介于典型陆生生态系统和水生生态系统之间的湿生生态系统(钦佩等,1998)。广义定义以国际《湿地公约》湿地定义最为大家接受,其基本表述是:不问其为天然或人工、长久或暂时性的沼泽地、泥炭地或水域地带、静止或流动、淡水、半咸水、咸水体;包括低潮时水深不超过 6 米的水域。这个定义包括海岸地带地区的珊瑚滩和海草床、滩涂、红树林、河口、河流、淡水沼泽、沼泽森林、湖泊、盐沼及盐湖。一般认为,广义的湿地定义在湿地利用、保护和管理上更具有实际意义,研究时强调把集水区内所有水体综合起来进行研究并注重湿地与其周围陆地的联系,本文所提的湿地或湿地生态系统如没有特别说明,一般指的是广义湿地。

湿地研究始于欧洲,盛于北美。1901 年,俄国在爱沙尼亚建立第一个沼泽实验站,开始湖沼学研究(吕新华,2002)。20 世纪中叶后美国湿地研究达到较高水平,1977 年美国颁布世界第一部专门湿地保护法规;1991 年,美国国家委员会、环保局、农业部和水域生态系统恢复委员会提出在 2010 年前恢复受损河流 64 万 km²、湖泊 67 万 km²、湿地 400 万 km² 的庞大生态恢复计划,1995 年美国实施总投资为 6.85 亿美元的佛罗里达沼泽湿地恢复项目(US Research Council, 1992; Yong P., 1996)。此外,针对湿地生态退化的严峻情势,加拿大、英国、澳大利亚、越南等世界各国都对湿地生态恢复进行了有益的探索(王仁卿,1997)。

近 20 年来, 我国湿地生态恢复研究逐步开展和深入, 先后对东湖、巢湖、滇池、太湖、洪湖、保安湖、白洋淀等浅水湖泊的富营养化控制和生态恢复进行了大量的研究, 获得了许多成功的经验。三江平原沼泽一直是我国湿地研究的重点区域, 通过采用适当的水土调控技术, 合理确定区内农业开发规模与开发模式, 成功地将湿地的生态恢复与生态农业建设有机地结合起来 (崔保山等, 1999)。王克林针对洞庭湖湿地退化态势, 提出洞庭湖湿地景观结构和生态工程模式, 设计了浅水水体农业、过水洲滩等不同类型湿地生态工程模式 (王克林, 1998)。颜昌宙对云南洱海生态恢复提出滩地模式等多种湖滨带生态恢复工程模式, 归纳了湖滨湿地工程技术、水生植被恢复工程技术等多项湖滨带生态恢复技术 (颜昌宙等, 2003)。

恢复生态学为湿地生态恢复提供了理论基础, 湿地恢复的总体目标是采用适当的生物、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。不同的退化湿地生态系统, 恢复侧重点和要求有所不同。湿地生态恢复内容包括生态系统地表基底稳定性恢复、湿地水文和水质状况恢复, 湿地植被和土壤恢复、湿地物种和生物多样性恢复、湿地景观恢复等, 最终达到生态、经济和社会因素相平衡。

两湖平原湿地作为我国具有代表性和典型性的湿地分布区, 其研究一直受到学者的关注。中科院武汉水生所、南京湖泊所、武汉测地所、武汉大学、华中师范大学、华东师范大学、湖南大学、湖南师范大学、中南林业大学等单位先后对两湖平原整体或局部地区进行过全面或局部研究, 尤其是近年来, 对江汉平原、洞庭湖区的研究更是逐步深入, 取得了一系列成果。研究主要集中在以下几个方面: 土地资源与土地利用/土地覆盖研究 (赵淑清等, 2001; 黄进良等, 2002; 李仁东等, 2003; 程学军等, 2001)、水生生物研究 (黄亮等, 2002; 杨其仁等, 1998; 袁传武等, 2002; 邓学建等, 2002)、区域资源环境研究 (周乃晟等, 1992; 李景保, 1997; 杨怀仁等, 1999; 孙晓红, 2001; 李智杰, 2001; 李新民等, 1999; 朱诚等, 1997; 龚胜生, 2000; 尹玲玲, 2003)、湿地保护与利用研究 (蔡述明, 1996; 刘新平等, 2002; 吕新华, 2003)、新技术应用 (俞立中等, 1995) 等。本文就是在前人工作基础上对两湖平原湿地生态保护与恢复进行研究。

1.3 小结

本章在参阅前人文献的基础上, 就生态恢复与恢复生态学进行了概念阐述, 指出所谓生态恢复, 即是以区域生态系统可持续为主要目标, 通过一定的生物措施和工程措施, 对系统的结构、功能进行科学的调控。而恢复生态学则是针对退化生态系统, 研究其退化原因与机理、系统恢复与重建的技术与方法的一门应用性较强的学科。然后, 文章综述了当前生态恢复研究的进展、提出了未来生态恢复研究的一些趋势, 并特别对湿地生态恢复研究作了理论总结。

第二章 生态恢复理论研究

生态恢复无论是作为科学研究,还是生态建设实践,都已经在广泛的范围上开展。加强生态恢复理论和实践研究,探索生态恢复的理论基础,创新生态恢复学科体系,借鉴多学科的先进科学成果,提出适合生态恢复自身的理论,并将理论成果应用到实践中,在实践中不断积累经验、教训,无疑对各地正在开展的生态恢复工作具有重要指导意义。这里仅就生态恢复的理论依据及其一些基本问题进行阐述,以期能对两湖平原湿地生态恢复项目的实施有所帮助。

2.1 生态恢复的理论基础

2.1.1 生态系统演替理论

生态系统演替(ecosystem succession, ES)理论是恢复生态学最重要的理论基础,是实施生态恢复工程的认识论基础(杨京平等,2002)。所谓生态系统演替,是指生态系统随时间的变化,一个类型生态系统被另一个类型生态系统所替代的过程,它以生物群落的演替为基础,同时包含生命系统和非生命系统的演替(蔡晓明,2002)。演替反映群落和生态系统形成、发展的动态变化,对生态演替的研究有助于正确认识生物群落和生态系统的现状、预测其未来,为管理生态系统和进行生态修复提供科学依据。从生态系统角度看,生态演替过程就是生态系统的发展过程,意味着生态系统由幼年走向成熟,走向稳定,也即正常的生态演替会导向生态系统的稳定性,这是群落动态的一个最重要的特征,是解决当前生态危机的基础(彭少麟,2003)。

2.1.1.1 原生演替系列

原生演替(primary succession)是指从原生裸地或原生荒原上开始的群落演替(柳劲松等,2003;阎传海等,2003)。原生演替开始时土壤尚未形成,完全没有植被,植物繁殖体靠外来输入,群落的形成过程和演替速度非常缓慢,包括从岩石开始的旱生演替系列和从湖底开始的水生演替系列。旱生演替系列一般要经过地衣植物——苔藓植物——草本植物——灌木植物——乔木植物等阶段,最终演替为中生森林群落。水生演替系列的过程是:自由漂浮植物——沉水植物群落阶段——浮叶植物群落阶段——挺水植物群落阶段——湿生草本植物阶段——木本植物阶段,最终也是中生森林群落。

2.1.1.2 次生演替系列

次生演替是开始于次生裸地或次生荒原上的演替,是群落或生态系统在遭到干扰和破坏后,自然条件下自行恢复原有结构和功能的过程。其大致步骤是:首先是先锋植物种的入侵,在遭到火、虫、灾或人类活动破坏的区域生长、定居,

随着先锋植物的大量繁殖，次生裸地或荒原生态环境得到改变，向有利于生物生存的方向发展，为其他物种进入和生存开辟条件。而随着其他物种的进入，物种多样性增加，群落趋于复杂和稳定，逐步形成适合当地自然条件的生态系统并得以保持，如亚热带常绿阔叶林次生演替（图 2—1）。

不论是原生演替，还是次生演替，其演替基本过程为：（1）侵移，先锋物种进入裸地或以前不存在该物种的生境；（2）定居，物种逐渐适应环境，在新的生境生长、发育和繁殖。（3）竞争，随着生境内物种数量的增加，物种密度加大，种间竞争变得激烈，一部分物种依靠较强的适应能力定居下来，而另有一些物种则遭到排斥，逐渐衰退或消失，最后通过竞争，达到相对平衡。Odum 认为演替是一个带有合乎道理的方向性的有序过程，是可以预测的；演替是群落改变物理环境的结果，是可以控制的；演替最后走向具有自我平衡性质的稳态（顶极群落）。

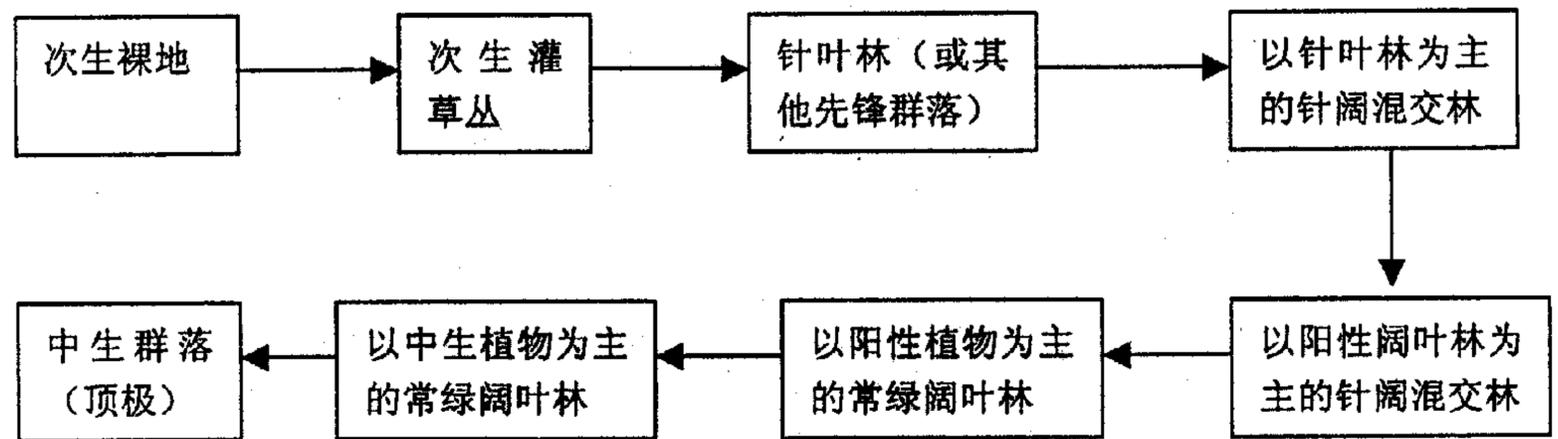


图 2—1：亚热带常绿阔叶林次生演替示意图

2.1.1.3 进展演替与逆行演替

生态系统的演替并不是都能顺着上述的途径进行演替，而是会受各种自然和人为因素的影响。按照演替趋向，可以将生态系统演替划分为进展演替和逆行演替（表 2—1）。所谓进展演替，是指生态系统从先锋群落经过一系列的阶段，植物个体数量增加，群落结构复杂化、群落利用自然界的生产力不断增强，最终到达中生性顶极群落，这种沿着顺序阶段向着顶极群落的正向演替过程称之为进展演替 (progressive succession)；反之，如果生态系统或群落演替是由顶极群落向着先锋群落演变，群落结构简单化，则称之为逆行演替 (retrogressive succession)。逆行演替多是人类的不合理活动造成的，是非正常演化，表现为生态系统的退化，功能不能得到有效发挥。

恢复生态学所讨论的生态恢复就是要尽量不中断自然的生态演替序列，避免逆行演替，使生态系统走正常演化道路，即进展演替，以保持生态系统的健康和安全。在这里生态恢复找到了自己的天然依据，因为生态系统演替有可能受到自然或人为干扰而发生不同程度的变化，进而影响生态系统的结构，扰乱系统的正常演化和健康水平，而通过生物的、工程的措施，可以对生态系统的演替施加某

种程度的影响，使退化的生态系统向人类期望的方向演替或演化，这就是生态恢复。

表 2—1:进展演替与逆行演替对比

进展演替	逆行演替
群落结构复杂化	群落结构简单化
地面最大利用	地面不充分利用
生产力最大利用	生产力不充分利用
群落生产力增加	群落生产力降低
新兴特有现象的存在	残遗特有现象的存在
群落的中生化	群落的旱生化和湿生化
群落环境的强烈改造	外界环境的轻微改造

2.1.2 可持续发展理论

可持续发展(Sustainable Development, SD)理论是关于未来发展模式选择的理论，是针对日益恶化的生态环境问题提出的。可持续发展，尤其是生态可持续发展理论，为生态恢复提供了可能，因为生态系统是可以持续的，日益恶化、变得不再可持续发展的生态系统是由于受到干扰造成的，减少甚至消除干扰将会有利于生态系统正常演替，促进生态系统的健康。事实上，生态恢复的最终目标就是维持生态系统的可持续发展，为人类社会创造一个美好的生活环境。

2.1.2.1 可持续发展内涵

布伦特兰报告从最一般意义上给出了可持续发展的概念，指出“可持续发展是既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”(世界环境与发展委员会，1987)。它包括三层最基本的涵义：一是“需要”的涵义，既要满足当代人的需要，又不危及后代人的利益；二是“限制”的涵义，限制资源与环境满足眼前和将来需要的能力，使其不超过资源和环境的承载极限；三是“协调”的涵义，协调人类社会和自然环境之间的关系，或者说协调“需要”和“限制”之间的矛盾关系，使二者之间在“适度”和“协调”的前提下求得和谐统一。

可持续发展是人类面向未来发展的最佳选择，其内涵极其丰富，是包含人口、资源、环境、社会和经济多因素的全方位发展，是生态、经济、社会三位一体的发展(张坤民，1997)。可持续发展要求生态、经济和社会三者协调发展，其核心思想是，健康的经济发展应建立在生态可持续能力、社会公正和人民积极参与自身发展决策的基础上；其目标是，既要使人类的各种需要得到满足，个人得到充分发展，又要保护资源和生态环境，不对后代人的生存和发展构成威胁。也就是说，人类在发展过程中不仅要追求经济效率，还应追求生态和谐和社会公平，最终实现人的全面发展。具体地说，可持续发展的内涵包括：

(1) 生态可持续发展。可持续发展承认资源环境的价值，要求发展以自然

资源为基础，同有限的环境承载能力相协调，在发展的同时，必须保护环境、生物多样性和地球生态的完整性，保证以持续的方式使用可再生资源，使人类的发展保持在地球承载能力之内。为此，它要求通过经济手段、技术措施和政府干预等措施，降低自然资源的耗竭速率，使之低于资源的再生速率，从而实现生态的可持续发展。事实上，正是这种有限制的发展，保护和保证了生态的可持续性，奠定了可持续发展的基础。可以说，生态可持续是可持续发展的前提，没有生态的可持续就没有人类的可持续发展。

(2) 经济可持续发展。可持续发展并不否定经济增长，但它要求重新审视如何实现经济增长，它不以保护环境为由取消经济增长，而是鼓励经济持续增长，当然这里的增长不仅包括量的增长，更包括质的提高。为此，它要求改变传统的粗放式经济增长方式，推行清洁生产，实现向以“提高效益、节约资源、减少废物”为特征的集约式经济增长方式的转变，即由传统经济增长模式转变为可持续发展模式。实际上，经济的可持续发展一方面可以提高人民的生活水平和质量，另一方面则为可持续发展提供了必要的物力和财力，推动了整个可持续发展进程的有效运行。

(3) 社会可持续发展。可持续发展以提高生活质量为目标，同社会进步相适应，强调社会公正的重要性。它要求发展应以人为本，改善人类生活质量，提高人类健康水平，不仅要实现当代人之间的公平，而且还要实现当代人与后代人之间的公平，向所有人提供实现美好生活愿望的机会。另外，可持续发展的实施以适宜的政策和法律体系为条件，强调“综合决策”和“公众参与”。

在生态、经济和社会可持续发展三者关系上，生态可持续发展是基础层次，经济可持续发展是动力层次，而社会可持续发展则是目标层次，三者不可分割，可持续发展追求的是整个生态—经济—社会复合系统的持续、稳定、健康发展。必须首先具备生态可持续发展，然后才可能有经济和社会的可持续发展；先有生态和经济的可持续发展，才会有社会的可持续发展。简单地说就是，生态可持续发展是前提和基础，经济可持续发展是条件和动力，社会可持续发展是目标和归宿（图 2—2）。可持续发展从理论上结束了长期以来发展经济与资源环境保护对立的错误观点，指出二者可以而且应当是相互联系和互为因果的（张坤民，1997；中国 21 世纪议程中心，1994）。

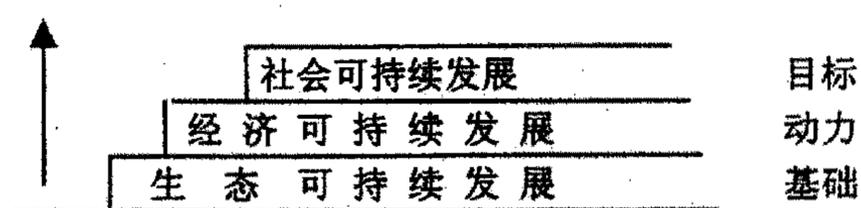


图 2—2: 可持续发展内涵的层次关系

2.1.2.2 生态可持续与生态恢复

生态环境是人类生存和发展的物质基础，是人类与其他生物共同的栖息地。生态环境为社会经济发展提供资源基础功能、环境基础功能和经济产出功能等多种功能，生态生产力是生态系统中自然资源与生态系统功能所具有的物质循环与能量转化的能力，包括生态系统中各种资源的自然生产力，如植物、动物、湿地、土壤的净初级生产力等。它不仅是一般社会生产力的基础，而且是特别高的劳动生产力的基础。生态可持续发展是人类社会可持续发展的基础和前提。所谓生态可持续发展是指生态系统良性演化，既可为当代人发展提供良好的生产、生活资源，又能为后代人保留足够的生存生活资源；既为当代人提供适宜的生态环境，又不威胁后代人的生存空间，使人类生存和生活的生态系统一直处于良好的运行状态。

生态系统可持续发展是环境管理的新方法和新目标，生态可持续性意味着生态系统功能正常发挥、结构不断优化，系统正常的物质循环、能量流动和信息传递得以维持。一个可持续的生态系统，应该是稳定的和健康的，是正常演替的，在时间上能够维持自身的组织结构，在功能上具有应对胁迫的恢复力，其内涵具体表现为活力、组织结构和恢复力三个方面。活力表示生态系统的功能，与系统整体物质代谢、能量流动有关，包含维持系统所需的能量和实现系统所有目的而获取的能量，表现为系统对压力的反应能力以及各级水平上的活性和组织水平；组织结构代表系统的复杂性，由系统组分间相互作用的多样性和数量评价，会随生态系统的次生演替而发生变化和作用（任海等，2001）；恢复力是系统对外界胁迫的抵抗能力，是系统在胁迫出现时维持系统结构和功能的能力（刘静玲等，2001）。

传统发展观单纯追求物质财富的增长，片面强调生态环境的经济效益，忽视环境的生态效益和社会效益，滥用自然资源，破坏自然环境，带来了严重的生态环境问题。可持续发展实质是要求人们从传统发展模式解脱出来，探寻一条人与自然协调发展的新模式——生态可持续模式。生态可持续首先主张“人是自然的一员”，人类的生产、生活活动应遵循生态学原理，不随意破坏自然生态系统的正常演化，实现人与自然和谐相处，协调发展。生态可持续发展强调自然界本身的发展，重视生态系统的自然演替，不再单纯从“人类中心主义”出发考虑问题，而是把问题放在一个大的“人类—环境系统”来考察，以维持整个大系统的正常演化和可持续性（陈静生等，2001）。其次，生态可持续发展强调发展的生态环境成本（贾灵等，1998），认为人类社会的发展是包含了自然成本在内的发展，而不是不计自然成本的发展，自然成本的过度丧失也许是难以弥补的，那种不计自然成本和生态环境承载力的发展不是真正意义的发展，是不可持续的发展，是暂时的。联合国曾对印度尼西亚的发展进行过评估，按传统发展模式进行

衡量, 该国 20 世纪 70、80 年代 GDP 年均增长达 7%, 而考虑自然成本后, 增长率则大幅下降, 甚至出现负值^①。

生态可持续发展表明, 生态系统演化是有方向性的, 可持续的生态系统是社会经济可持续发展的基础, 是生态系统恢复的目标之一, 实现生态系统可持续发展则是生态系统恢复的核心和最高目标 (刘鲁军等, 2000)。从生态可持续发展角度看, 生态恢复就是通过一定的措施与手段避免或减少生态系统演化的不可持续性, 维持生态系统的可持续进化, 最终是为了提高区域生态的可持续发展能力, 使生态系统为人类的生存、发展更好地服务。

2.1.3 生态系统管理理论

生态系统管理 (ecosystem management, EM) 理论是进行生态恢复的另一理论基础。生态系统管理是合理利用和保护生态系统最有效的途径, 是进行恢复生态学的方法论基础。从生态系统管理看, 所谓生态恢复就是通过一定的手段和措施, 对生态系统实施科学地调控和管理, 保持生态系统的健康。人类社会的可持续发展归根结底是生态系统管理问题 (傅伯杰等, 2002)。

2.1.3.1 生态系统管理概念

生态系统管理是一种为达到持续的自然资源利用和环境保护的管理方法 (K. A. 沃科特等, 2002), 已经得到人们的认可, 人类社会的可持续发展问题归根结底是一个生态系统管理问题, 管理和保护好人类生存的生态系统是人类得以存在和生存的前提条件。生态系统管理起源于传统林业资源管理和利用, 随着人类对各类生态系统认识和实践的深入, 生态系统管理内容不断拓展, 20 世纪 80 年代以来发表了许多关于生态系统管理方面的研究论文, 出版了一些有关生态系统管理方面的专著, 如《Implementing Ecosystem-based Management》、《Ecosystem Management: An Idiosyncratic Overview》、《Ecosystem: Balancing science with management》(有中译本), 等等。由于依据标准和出发点不同, 人们对生态系统管理进行了不同的定义, 回顾这些不同的概念虽然有些繁琐, 但对正确理解和把握生态系统管理的概念是必要的 (任海等, 2001; 彭少麟, 2003)。

Agree、Johnson 定义: 生态系统管理涉及调控生态系统内部结构和功能、输入和输出、并获得社会渴望的条件(1988)。

Overbay 定义: 利用生态学、经济学、社会学和管理学原理管理生态系统的生产、恢复, 或长期维持生态系统的整体性和理想的条件、利用、产品、价值和服务 (1992)。

美国环保局定义: 生态系统管理是指恢复和维持生态系统的健康、可持续性

^① 衡量经济社会发展的其他指标 <http://www.hnol.net> 2004-02-18

和生物多样性，同时支撑可持续的经济和社会（1995）。

美国生态学会定义：生态系统管理有明确的管理目标，并执行一定的政策和规划，基于实践和研究并根据实际情况做调整，基于对生态系统作用和过程的最佳理解，管理过程必须维持生态系统组成、结构和功能的可持续性（1996）。等等。

正如 Wood 认为，生态系统管理是综合生态、经济和社会学原理，保证生态可持续性、自然多样性与景观生产力的方式来管理生物、物理系统（1994）。综合上述定义，可以认为，所谓生态系统管理就是，应用生态学、经济学、社会学、管理学、工程学等原理、措施，对生态系统尤其是退化生态系统进行适度的调控，使生态系统能够正常演化，维持生态系统的健康状态，使生态系统组分、结构和功能达到可持续发展。简单地说，生态系统管理就是操作物理学、化学和生物学的过程，把有机体及其非生物环境以及人类活动的调节联系起来，营造一个理想的生态系统环境。

2.1.3.2 生态系统管理基本原理

生态系统管理是一项综合性的整体论管理方法，把人纳入生态系统管理系统中。事实上，人，作为高级的有智慧的生物，既是生态系统演化的产物，是生态系统的组成部分，又是生态系统重要的调控者，一定意义上，甚至可以说是生态系统的“管理者”。可以说，人对于生态系统而言，既“身在其中”，又“置身度外”。正确认识人与生态的关系，减少人类活动对生态系统的不合理干扰和破坏，对生态系统管理有着重要意义。

生态系统管理对象是由自然与人类组成的生态系统，是复杂巨系统（钱学森等，1990），需要用定性与定量集成方法进行研究。生态系统管理理论把人类、社会价值整合进生态系统，要求融合生态学、社会科学等多学科的知识和技术，对人类活动与自然因素对生态系统的干扰、生态系统退化的阈值、生态系统功能和结构的变化以及人类应对生态系统退化的恢复与管理措施进行研究。通过对生态系统结构、功能以及输出、输入施加影响，维持生态系统的正向演化，实现生态系统的健康。

生态系统管理强调保护生态系统的生物多样性和结构复杂性。对于生态系统的稳定和健康来说，一般情况下，生物多样性和组织结构愈复杂，生态系统也就愈稳定，愈健康，功能愈能得到较为充分的发挥。生态系统管理允许和鼓励长期管理生态系统的利用和活动的多样性。精华式的或功利性的管理系统，会减少生态系统复杂性，影响系统的紧密结合结构，进而降低生态系统的稳定性和可持续性，这是生态系统管理中应尽量避免的。

生态系统管理看重生态可持续性。可持续性是指生态系统受到某种干扰时保持其生产率的能力，核心是人类社会经济活动不能超越资源与环境承载能力（王

军, 1997)。在生态系统管理理论中, 可持续性不仅是生态系统管理的重要目标, 而且是管理的前提。当然, 可持续性动态变化的, 绝不只是维持生态系统目前的某种状态, 不受生态系统时空变化的影响。任何试图使生态系统“静止”在某一状态的想法都是错误的, 将导致管理的失败。

生态系统管理的要素主要有: 生态系统的可持续力, 系统管理目标, 生态系统模型, 生态系统的复杂性和相关性及动态特征, 管理的背景和尺度, 人类的作用, 生态系统的适应性, 等。生态系统管理的主要步骤有: 首先确定生态系统可持续目标和目的, 将可持续力作为主要目标; 其次调节空间尺度和时间尺度, 在生态系统的不同管理者之间寻求一致性, 制定长期的计划和协约, 使管理能够适应生态系统的变化 (傅伯杰等, 2001)。

2.1.3.3 生态系统管理与生态恢复

生态系统管理作为一种新的管理资源环境的整体论方法, 通过调节生态系统内部结构与功能以及系统内外的输入与输出, 发展与保护生态并举, 目的是实现一个地区 (或生态系统) 的长期可持续性, 即生态系统健康 (彭少麟, 2003)。恢复生态学研究生态系统退化的原因、退化生态系统恢复与重建的技术与方法、生态学过程与机理, 其目的也是通过一定的生物或工程措施, 对生态系统施加一定的影响, 实现生态系统的可持续发展。可以看出, 生态系统管理与生态恢复概念既有一致的方面, 也有差别的地方, 一致性是都要对生态系统进行程度不同的调控, 目的都是为了生态系统的健康与可持续发展; 差异性在于二者的着重点不同, 生态系统管理着重于生态系统的管理, 范围较为宽泛, 包含演化、退化、恢复等生态系统过程和结构、功能的调控; 而生态恢复则仅是针对退化生态系统的, 在把握退化机理的基础上, 通过生物的、工程的措施, 使生态系统演化由退化状态改为向健康状态演替。

2.2 生态恢复基本问题

2.2.1 生态恢复目标

确定合理的生态恢复目标是进行生态恢复实践的前提, 退化生态系统恢复的首要任务是确定生态恢复目标, 有了目标, 才可以制定相应的恢复方案, 确定生态恢复成功与否的评价标准。当然, 根据前面的论述, 生态恢复的最终目标是生态系统的可持续发展, 是整个区域的生态—社会—经济系统的可持续发展。然而, 生态可持续作为生态恢复的终极或统一目标, 由于其概念和内涵的宽泛性和不确定性, 在实际工作中并不宜于具体操作, 难免流于空洞。事实上, 生态恢复的目标是多方面、多层次的, 是很难由一个统一标准的, 应针对不同的退化生态系统类型和退化原因, 确定相应的恢复目标。

确定生态恢复目标非常复杂。生态恢复目标是由总体目标与具体目标构成的

复杂目标体系，而且还须考虑动态的、不确定的因素。但生态恢复作为一种最终要落实到实践中的工程活动，必须制定具体的生态恢复目标。没有明确、合理的目标，生态恢复将很难开展，效果也难以保证。总结前人研究成果，考虑生态恢复的生态、社会、经济和文化需求与生态恢复技术的可能性，可以将生态恢复的目标归纳为以下几个方面（蔡晓明，2002）：

2.2.1.1 生态系统的保护

保护现有的生态系统是进行生态恢复的首要目标，尽管生态恢复主要是针对退化生态系统的，但生态系统的保护仍是生态恢复的重要工作，因为对于正在退化的生态系统，在没有找到合理的恢复途径和措施之前，应尽量保证生态系统不再退化，遏止住退化的态势，为将来实施生态恢复创造条件。而且，保护好现有的生态系统对实施生态恢复的退化生态系统具有重要参考意义，是衡量退化生态系统恢复的重要参照系。

2.2.1.2 生态系统组分和结构的恢复

生态系统结构是生态系统内要素相互联系、作用的方式，是生态系统的基础。生态系统结构包含三个部分：两个以上的要素、各组分与环境的结合、各组分之间的相互关系（蔡晓明，2002）。良性的生态系统往往表现出较好的整体性，对外界干扰具有较强的抵抗力。

正确认识区域生态系统，实施生态系统恢复工程，首先必须了解系统的组分构成，把握生态系统结构特征，分析退化生态系统组分与结构的变化过程，找出系统变化的原因与机理，通过一定的措施与途径，逐步恢复生态系统原有的组分和结构，保持系统的稳定性。结构恢复的主要指标是乡土种的丰富度，即恢复所期望的物种丰富度和群落结构，确认群落结构和功能间的联结形成。

2.2.1.3 生态系统功能的恢复

退化生态系统不仅表现为生态结构的退化，而且还表现为生态功能的退化，使生态系统原有的生态功能削弱或丧失，不再拥有良好的生态功能。如湖泊生态系统由于泥沙淤积导致调蓄功能下降，森林生态系统破坏造成水土保持功能降低，以及各类水域生态系统的水体净化能力减弱，等等。生态系统功能退化给人类社会带来了严重后果，影响了区域生态—社会—经济系统的可持续发展。为此应对退化生态系统进程生态功能的恢复。

生态恢复是整个退化生态系统的全面恢复，是既要恢复生态系统的结构，又要恢复系统的各项功能（图2—3）。恢复生态系统的功能就是要维持和恢复生态系统正常的能量流动，使生态系统能够正常获得外界能量，并使能量在系统内合理流动；生态系统功能恢复就是恢复生态系统的良性循环，保持系统内部物质和营养成分的正常生物、化学和物理过程；生态系统功能恢复就是恢复生态系统的合理的信息传递，使生态系统内部的物理信息、化学信息和行为信息和营养信息

能够有效的传递（柳劲松等，2003）。

事实上，生态恢复决不只是植树造林、恢复生物多样性，其实质是要试图重新创造、引导或加速生态系统的自然演化过程，即通过人类的努力，创造良好的条件，促进一个生态系统发展成为由当地物种组成的结构合理、功能完备、系统内外信息传递顺畅的完整生态系统，以在维持生态可持续的基础上更好地为区域社会经济可持续发展服务。

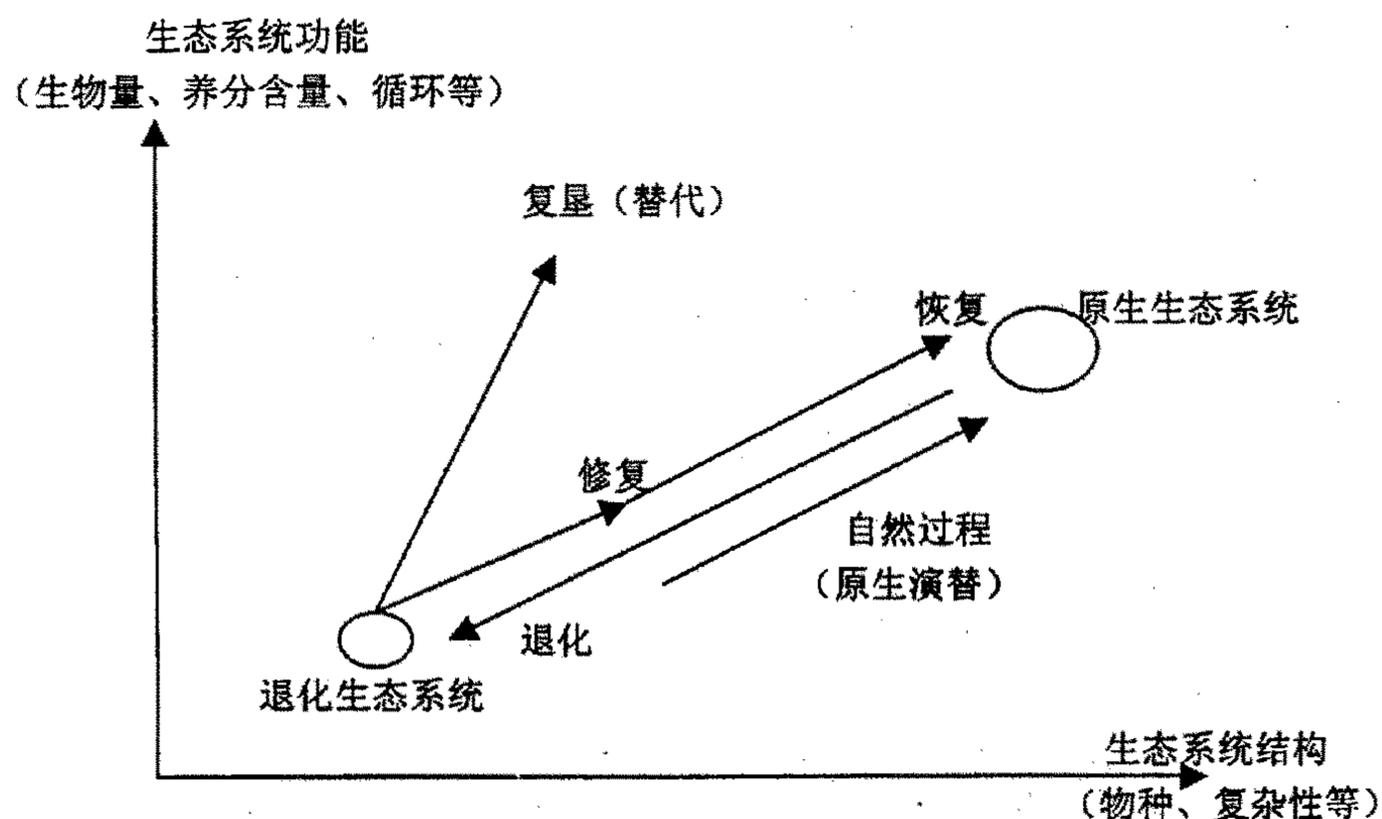


图 2—3：生态系统结构与功能恢复关系（改编自赵晓英等，2000）

2.2.2 生态恢复技术

生态恢复是一项实践性极强的应用科学，要把科学的生态恢复理论运用到具体的生态恢复实践，需要相应技术的支持，这也是目前生态恢复实际工作所面临的重大问题之一，是恢复生态学研究的一个较为薄弱的环节，应在理论研究和实践应用中加以重视。

对于退化生态系统，生态恢复技术大体上可以分为恢复规划技术和恢复工程技术（杨京平等，2002）。恢复规划技术主要有遥感（RS）、地理信息系统（GIS）、全球定位系统（GPS）技术以及传统规划技术；恢复工程技术主要有生物技术和工程技术。所谓生物技术就是应用选择合适的生物尤其是植物种类改造环境，使之变得更适合生物的生存；工程技术则是指利用物理或化学原理，采用工程方法直接改良环境，使之能够支持生态恢复目标的实现。上述两种技术和方法结合使用，可以加速自维持生态系统的重建，使生态恢复获得满意的结果（舒俭民等，1998）。

由于退化生态系统退化类型、阶段、过程及其响应机理不同，在进行生态恢

复时，其恢复的侧重点和技术也会不同。对一般退化生态系统而言，不管是生物技术还是工程技术，最终都是针对以下三个方面的：一是生态系统非生物或环境要素，一是生态系统生物因素，一是生态系统总体。生态恢复就是通过上述三方面的努力和改善，促进生态系统结构和功能的优化。任海等总结了一些退化生态系统恢复与重建技术（任海等，2001），可供退化生态系统恢复实施生态借鉴（表2—2）。

表 2—2：退化生态系统的恢复与重建技术体系

类型	对象	技术体系	技术类型
非生物环境因素	土壤	土壤肥力恢复技术	少耕、免耕技术；绿肥与有机肥施用技术；生物培肥技术；化学改良技术；聚土改土技术；土壤结构熟化技术
		水土流失控制与保持技术	坡面水土保持林、草技术；生物篱笆技术；土石工程技术（小水库等）；等高耕作技术；复合农林牧技术
		土壤污染控制恢复技术	土壤生物自净技术；施加抑制剂技术；增施有机肥技术；移土客土技术；深翻埋藏技术；废弃物资源化利用技术
	大气	大气污染控制	新兴能源替代技术；生物吸附技术；烟尘控制技术
		全球变化控制技术	可再生能源技术；温室气体的固定转换技术；无公害产品开发与生产技术；土地优化利用与覆盖技术
	水体	水体污染控制	物理处理技术；化学处理技术；生物处理技术；氧化塘技术；水体富营养化控制技术
		节水技术	地膜覆盖技术；集水技术；节水灌溉
生物因素	物种	物种选育繁殖	基因工程技术；种子库技术；野生生物种的驯化技术
		物种引入与恢复技术	先锋种引入技术；土壤种子库引入技术；乡土种重建技术；天地引入技术；林草植被再生技术
	种群	物种保护技术	就地保护技术；迁地保护技术；自然保护区管理技术
		种群动态调控	种群规模、年龄结构、密度、性比例等控制技术
		种群行为控制技术	种群竞争、捕食、寄生、共生、迁移等行为控制技术
	群落	群落结构优化配置与组建技术	林灌草搭配技术；群落组建技术；生态位优化配置技术；林分改造技术；择伐技术；透光抚育技术
		群落演替控制与恢复技术	原生与次生快速演替技术；封山育林技术；水生与旱生演替技术；内生与外生演替技术
生态系统	结构功能	生态评价与规划技术	土地资源评价与规划；环境评价与规划技术；景观生态评价与规划技术；4S 辅助技术（RS、GIS、GPS、ES）
		生态系统组装与集成技术	生态工程设计技术；景观设计技术；生态系统构建与集成技术
景观		生态系统间链接技术	生物保护区网络；城市农村规划技术；流域治理技术

2.2.3 生态恢复基本理论

2.2.3.1 自我设计与设计理论

自我设计与设计理论是由 van der Valk、Mitsch 和 Jorgensen 等提出的, 据称是唯一从恢复生态学中产生的理论, 对生态恢复实践具有重要指导意义。自我设计理论认为 (Mitsch, 1996), 只要有足够的时间, 随着时间的进程, 退化生态系统将根据环境条件合理地组织自身并会最终改变其组分, 即在一块退化的生态区域, 种与不种植被无所谓, 最终会出现由环境决定的植被类型和植被分布。该理论实质是退化生态系统具有自我恢复的功能, 在不施加人类影响的情况下, 退化生态系统自身会恢复到退化前的状态。

生态恢复设计理论认为, 通过工程方法和植物重建可直接恢复退化生态系统, 但恢复的类型可能是多样的。这一理论把物种的生活史作为植被恢复的重要因子, 并认为通过调整物种生活史的方法就可加快植被的恢复。这两种理论不同点在于: 自我设计理论把恢复放在生态系统层次考虑, 没有考虑缺乏种子库的情况, 其恢复的只能是环境决定的群落; 而人为设计理论把恢复放在个体或种群层次上考虑, 恢复的可能是多种结果 (彭少麟, 2001)。

2.2.3.2 生物入侵理论

入侵理论认为, 在生态恢复过程中, 退化的生态系统能否恢复要依赖于两方面的因素, 一是生物的定居能力, 即入侵生物在生态系统区域范围内能否散布和生长, 以及其散布和生长的能力, 只有具备一定的定居能力, 生物才有可能在退化生态区域生存并逐步发展, 使退化区生态状况得到改善。另一方面是安全岛, 即退化区域是否具有适于先锋植物萌发、生长和免于危险的安全点, 安全岛的存在为植物在退化生态区域生长和发育提供了基本的环境条件, 安全岛由障碍和选择性决定, 当移开一个非选择的障碍时, 就会产生一个安全岛。例如, 在湿地生态系统中移走某一种植物, 就会为另一种植物入侵提供一个临时安全岛, 如果这个新入侵种适于在此生存, 它就会逐步入侵和扩展到其他的位点。入侵理论能够解释各种入侵方式, 在生态恢复中可人为加以利用 (任海等, 2001)。

恢复生态学还应用了许多学科的理论, 主要是生态学理论。这些理论主要有: 限制性因子原理 (寻找生态系统恢复的关键因子)、热力学定律 (确定生态系统能量流动特征)、种群密度制约及分布格局原理 (确定物种的空间配置)、生态适应性理论 (尽量采用乡土种进行生态恢复)、生态位原理 (合理安排生态系统中物种及其位置)、演替理论 (缩短恢复时间, 极端退化的生态系统恢复时, 演替理论不适用, 但有指导作用)、生物多样性原理 (引进物种时强调生物多样性, 生物多样性可能导致恢复的生态系统稳定)、缀块—廊道—基底理论 (从景观层次考虑生境破碎化和整体土地利用方式) 等等。

2.3 湿地生态系统特征分析

湿地生态系统是地球上水陆相互作用形成的独特生态系统，是自然界最富生物多样性的生态景观和人类最重要的生存环境之一，在蓄洪防旱、调节气候、控制土壤侵蚀、促淤造陆、降解环境污染等方面起着极其重要的作用（任海等，2001）。湿地以水为基本要素，是人类赖以生存的基础，是人类的生存和社会发展的重要资源。湿地所产生的效益在所有自然生态系统中最高。据美国科学家研究，每公顷湿地生态系统每年创造价值达 4000 美元至 14000 美元以上，分别是热带雨林和农田系统的 2~7 倍和 45~160 倍。湿地具有无法替代的多项功能和价值，全球超过 40% 的植物和动物依赖湿地生存，湿地是生物物种的基因库和生物多样性的发源地；据统计，全球有 860 万 km² 的湿地，但由于不合理利用导致 80% 的湿地资源正在丧失或退化（崔丽娟，2001）。

湿地生态系统处于陆生生态系统和水生生态系统之间的过渡区域（图 2—4），一般由湿生、沼生和水生植物、动物、微生物等生物因子以及与其紧密相关的阳光、水分、土壤等非生物因子构成（崔丽娟，2001）。湿地生态系统是一个复杂的、非线性的、动态的巨系统，系统内部要素众多，组成复杂多样，系统与外部环境存在密切的联系，应从系统论的角度对生态系统进行把握。

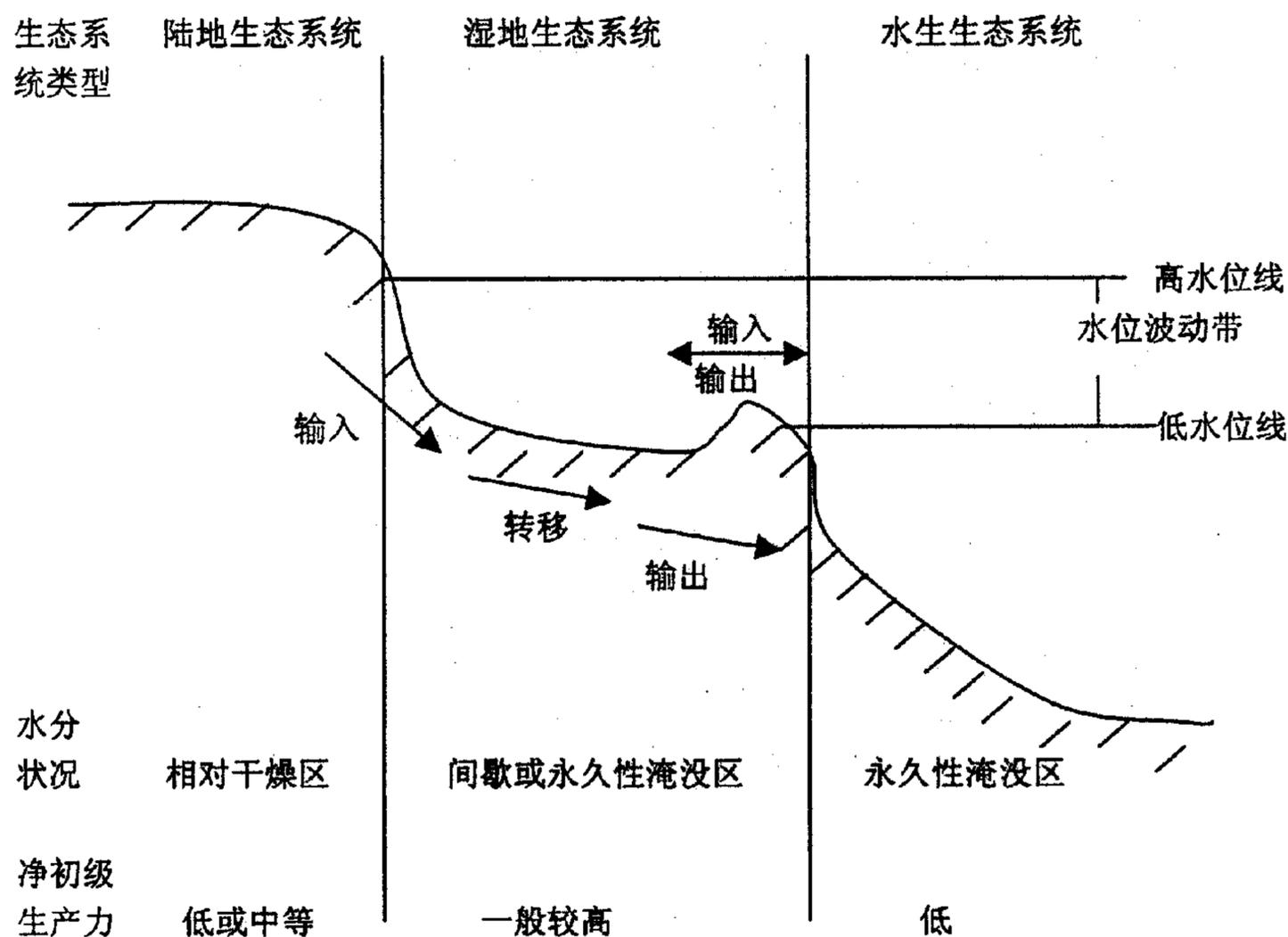


图 2—4：湿地生态系统示意图

2.3.1 整体性

整体性是系统最为鲜明、最为基本的特征之一。整体性简单的表述就是“整体大于部分之和”，即系统尽管由若干要素组成，但系统并不等于各要素的简单加和，而是系统具有一些原来各要素所没有的新功能，各个作为系统子单元的要素一旦组成系统整体，就具有独立要素原来所不具有的性质和功能，形成新的系统的质的规定性（魏宏森，1996）。系统整体性的实质是系统整体具有系统部分所不具备的性质，系统整体的性质不可能完全归结为系统要素的性质来解释。湿地生态系统退化与恢复应以湿地整体性为基础，因为就湿地生态系统退化与恢复而言，武断地通过个别要素来判定湿地是否退化或恢复有效是片面的，因为湿地作为一个自然综合体，总是要受到外界环境的干扰和影响，只要不超过湿地的缓冲能力，系统仍表现出应有的整体性，就是健康的系统，就不能说生态系统退化（崔保山，2000）。

整体性原理要求在分析生态系统退化、恢复过程时，要把分析与综合联系在一起，一方面把生态系统整体分解为部分（要素、功能或子系统）来认识（分析），另一方面要从总体上认识和把握整体生态系统特征（综合）。也就是说，在研究湿地生态系统退化与恢复时，首先要对生态系统的组成要素诸如水文、土壤、植被、动物等进行分析，或者将湿地的各项功能如调节气候、净化水质、均化洪水等逐一进行分析，或者从生态系统各子系统开始分析，然后在分析的基础上进行综合，从而完整地认识湿地生态系统整体，以科学提出湿地生态恢复对策。

2.3.2 开放性

系统的开放性是指所研究的系统作为一个开放的复杂系统，能够与周围环境进行密切的物质、能量、信息交换，并通过这种交换从外界获取负熵，防止系统内部的熵增，以达到保持系统整体有序的目的。开放性是系统得以向上发展的前提，也是系统稳定的存在条件，是必要条件。一个系统如果处于封闭状态，与外界完全没有任何交换，那么这个系统就只能自发地走向混乱无序，或迟或早总会走向“热寂”，即热力学第二定律意义上的均匀无序的热平衡混沌态。

湿地作为一个介于水生生态系统和陆地生态系统的独特的生态系统，既是生态缓冲带，又是生态脆弱带，是一个动态的、开放的活系统，开放性是湿地生态系统的一个重要特征。湿地生态系统通过物质交换、能量流动和信息传递，向周边环境进行开放，通过开放获取系统所需要的物质、能量和信息，而将无效的物质、能量和信息排放到环境中去，从而保持系统得以持续和演化。然而，由于人类活动的不断加剧，当前许多湿地生态系统受到严重干扰，系统与环境之间的联系被割裂，开放已很不充分，甚至有的湿地走向退化和死亡。围湖造田、不合理的大型水利工程、对湿地的不合理利用、污染等都会影响湿地生态系统的开放性，

改变湿地生态系统的内在结构,造成系统某些功能的减少或丧失,使系统在一定程度上失去自组织能力而变得脆弱,给湿地生态系统演替带来不利影响,使湿地生态发生退化。

湿地生态系统的开放性和开放度,是评价和衡量湿地生态系统退化趋势和恢复效果的重要因素。系统的开放是与系统的稳定、整合和健康联系在一起的,只有保持系统的开放性,才能避免系统退化;只有在开放的条件下,才能使退化湿地生态系统得到恢复。也就是说,只有在系统与系统、系统与环境之间建立良好的物质、能量和信息交换关系,系统才能从环境中获取所需的物质与能量,同时把废弃物排放到环境中,实现系统的正常有序演化。开放性的度量就是要衡量物质和能量的输入和输出以及信息交流,其中,水分的输入和输出,物种的引入和迁出是明显的标志。

2.3.3 脆弱性

脆弱性是生态系统自身针对干扰所具有的一种属性,是生态系统在特定的时空尺度上对自然干扰和人为干扰表现出来的敏感反应和恢复状态,是湿地生态系统的固有属性。脆弱性反映生态系统偏离原生环境的程度,表明生态系统对自然和人为干扰一定的敏感性,某种程度的干扰可以导致生态系统恶化和生产力萎缩,系统生态因子表现出强烈的波动性,如果不及时进行调控,生态系统将发生不可逆转的严重后果,这代表了生态系统具有不稳定性。脆弱性的根本原因是人为和自然干扰,在干扰的存在下,生态系统结构简单化,生物多样性和生物量降低,生态系统功能得不到合理发挥,最终使生态系统演化偏离正常轨道,超过生态系统和社会经济所能承受的范围,给生态系统和人类社会带来重大影响(赵桂久等,1995,)。

湿地生态系统是处于水域和陆地生态系统过渡形态的自然综合体,这种生态环境决定了湿地生态系统特殊的生物、物理、化学的功能过程和地理分布规律。水陆相互交界地带,由于受力方式和强度不同,以及频繁的侵蚀和堆积等而具有不稳定的特征,从而决定了湿地生态系统表现为一种脆弱和不稳定的特征。湿地生态系统的脆弱性主要表现在:湿地生态系统介于水陆生态系统之间,水陆相互作用强烈,受人类和自然干扰大,生态极易受破坏;生态环境的过渡性明显(黄锡畴,1996)。

湿地生态系统的脆弱性是环境自然变化和人类活动的叠加结果,随着人类向自然索取能力的增强,人类活动对湿地生态系统的影响日益增大,成为湿地生态系统脆弱性的主导因子,引起湿地面积减少、水质改变、生物多样性降低等湿地退化问题。

2.3.4 自组织性

系统自组织性是指在外界作用下开放系统具有一定的自我组织和自我稳定能力，能够在一定范围内自我调节，从而保持和恢复原来的有序状态，保持和恢复原有的结构和功能。自组织性有两层含义，一是自我维持力，即系统中物质、能量的存储能力和代谢水平；二是自我调节力，指系统保持现行状态的能力即抗干扰能力和系统受扰后回归原状态的倾向即恢复能力。系统的存在就意味着系统有一定的自组织性，系统的发展变化是自组织调节下的发展变化，系统的自组织性，首先是一种开放中的自组织，同时也意味着，系统的自组织都是系统动态中的自组织性。生态学家先后提出了许多理论如反馈理论、多样性或复杂性理论、冗余理论等与自组织有关的理论。一个组织系统之所以具有受干扰后能够迅速排除偏差，恢复到正常的稳定状态，其关键在于其中的负反馈机制。系统的自组织性和稳定性，都与系统的负反馈能力有关，与在负反馈基础上的自我调节，自我稳定能力相联系。包括组织、结构和功能的冗余性，对环境变化的耐性，对污染物的负荷能力等。

湿地生态系统演化、退化、恢复与系统的自组织性有着密切的关系，自组织性是进行生态系统管理和恢复的必要条件，是湿地生态系统能够自然恢复的基础，正是由于生态系统的自组织性，才使得生态系统在受到干扰后有自我恢复的可能。事实上，由于自然和人为的干扰，湿地生态系统的自组织水平受到不同程度的影响，影响了湿地生态系统的正常演替。自组织性是湿地生态系统的重要维生机制，自组织性越强，系统维生能力愈强。

另外，湿地生态系统还具有目的性、突变性、可调控性、高生产力和生物生态多样性等特点，这里不一一赘述。

2.4 小结

本章首先对恢复生态学的理论基础做了阐述。认为生态演替理论是生态恢复的认识论基础，生态系统演替是有规律的，一旦被打破，就会生态系统退化问题，生态恢复就是尽量减少对生态系统的人为和自然干扰，恢复生态系统自然演替的能力。生态可持续发展是生态恢复的目标和方向，所谓生态恢复就是降低生态的不可持续性，增强生态系统自身的可持续发展能力。生态系统管理理论为生态恢复提供了方法论基础，该理论表明通过一定的生态系统管理途径，可以实现某种程度的生态恢复和重建。然后文章对生态恢复一些生态恢复基本问题进行了讨论，就生态恢复的目标、技术和基本理论（自我设计与设计理论、生物入侵理论）进行了初步探讨。最后，文章从系统论角度对湿地生态系统进行了分析，认为湿地生态系统具有整体性、开放性、脆弱性和自组织性等特点。

第三章 两湖平原湿地演化与遥感监测

两湖平原地处长江中游、汉水下游和洞庭湖环湖地区，是长江中游最大的平原，包括湖北省的江汉平原和湖南省的洞庭湖平原。两湖平原湿地是我国最重要的湿地分布区之一，在湿地类型、分布及特点有较强的代表性和典型性。分析两湖平原湿地演化简史，利用遥感资料监测两湖平原湿地，分析区域湿地分布特征，对正确认识两湖平原湿地生态退化、演化态势，积极推动区域湿地生态恢复有重要意义。

3.1 两湖平原湿地演化

3.1.1 两湖平原概况

两湖平原位于湖北省中南部和湖南省北部，四面都是山地，东面与鄂东南低山丘陵、湘东平行岭谷交界，南边与湘中丘陵连接，西部为湘鄂西山地，北部与鄂东北的大别、桐柏山脉、鄂北岗地河谷平原以及豫西南南阳盆地相邻，整个地势四面高而中间低洼（中间也有高地，但只是少量的低山丘陵），又称两湖盆地。两湖平原处在中国地貌三大阶梯的第二与第三阶梯的转折地带，总地势表现为由西北向东南倾斜，但坡度不大。

两湖平原由江汉平原和洞庭湖平原共同组成，北部是江汉平原，南部是洞庭湖平原。江汉平原是长江及其最大支流——汉江共同冲积及附近湖泊淤积而成的湖积、冲积平原，由3个河间洼地组成，自北向南依次为天门河与汉水之间的刁汊湖洼地、汉水与东荆河之间的排湖洼地、以及长江与东荆河之间的四湖洼地。其地貌组合特点是以长江、汉水为主导，河流呈带状分布，隆起的天然或人工堤与条状的河间洼地平行，地表呈现出“大平小不平”的形态，以长江北面长湖—三湖—白露湖—洪湖四湖洼地为核心的地带地势最低，范围最广，俗称“水袋子”，是江汉平原的中心地区。从平原中心的低地，渐次向外呈梯级上升为岗地、丘陵。南部的洞庭湖平原亦是河湖冲积平原，地势很低，海拔一般在50m以下，平原上河渠与湖泊纵横交错，堤垸密布，垸堤通常较垸心为高，与点缀平原间的少许蚀余的残山和孤丘一起，形成平坦平原中波状起伏的微地貌。另外，两湖平原人工地貌（如堤防）发育，成为一种控制区域环境演变的重要地貌类型，完全改变了原来的自然地貌，人工地貌和自然地貌在两湖平原共同形成了一种自然——人工地貌体系。

两湖平原北部处于北亚热带，南部属于中亚热带，气候温暖湿润，热量充足，属于大陆性亚热带季风气候，气候条件优越。平原多年平均气温16~17℃，5~9月平均温度大于22℃，最热月均温为28℃，极端高温可达40℃，最冷月均温3℃，极端低温为-16℃。平原日照时数为1800~2100小时，日照百分率为40%~

50%，年均太阳辐射总量 $4.17\sim 4.89\times 10^5$ 焦耳/平方厘米， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年均活动积温 $4800\sim 5400^{\circ}\text{C}$ ，无霜期 240~275 天，适宜发展农业生产。平原年降水量丰富，多年平均降水量 1000~1500mm 降水年内分配不均匀，大部分的降水集中夏半年，其中 5~9 月的降水量占区内全年降水量的 70%以上，而冬半年两湖平原受北方干冷气流控制，降水较少。平原雨热同期，水、热条件配合较好，但水热分布不均匀，年内变率大，各种灾害性天气出现率较高。

两湖平原土壤深厚，肥力好。耕作土壤以水稻土和潮土为主，水稻土又可进一步分为潴育型水稻土、潜育型水稻土和沼泽型水稻土等亚类。其中，潴育型水稻土熟化程度高，土体发育完整，地下水位较低，是水稻种植的理想土壤。潜育型水稻土和沼泽型水稻土通常称作“低湖田”，地下水位高，长期浸水，易于种植单季稻。潮土主要分布在高亢地带，质地以壤质为主，土体疏松，地下水位低，水、肥、气、热较为协调，耕性好，适于种植其他旱地作物。两湖平原原生植被属落叶阔叶与常绿阔叶混交林，但由于人类活动的影响，原生植被多遭破坏，仅在平原边缘或区内低丘少量残存。区内植被更多地表现为人工植被类型，其中水稻田面积广大。

两湖平原水系以长江、汉水和洞庭湖四水为主要脉络，形成纵横交错的河湖湿地系统。其中，江汉平原水系以长江和汉水为主干，众多的河流与江汉湖群连在一起，形成河湖交错水网。受地形、地势影响，河流多向南、南偏东、或东偏北方向流动。洞庭湖平原则是以洞庭湖为中心，接纳湘、资、沅、澧四水，形成向心水系。洞庭湖是我国第二大淡水湖，但由于泥沙淤积，被分割为三部分，分别是主要位于岳阳的东洞庭湖、位于益阳的南洞庭湖和位于常德的西洞庭湖。

两湖平原河网纵横，湖泊众多，水资源和湿地资源都非常丰富，是我国最重要的湿地集中分布区之一。据统计，江汉平原水域面积占平原总面积的 18%，拥有大小湖泊 500 多个，加上人工湿地——水稻田和库塘，构成典型的江汉平原湿地景观（金伯欣，1992）；南洞庭湖湿地面积占到本地区总面积的 80%以上。但由于自然和人为等方面的原因，两湖平原湖泊沼泽化速度加快，湖泊面积急剧萎缩，湖容大量减少，恶化了江湖、人地关系，造成一系列生态环境问题，呈现出生态退化的态势。

3.1.2 两湖平原湿地演化简史

3.1.2.1 演化简史

两湖平原湿地生态系统演化与长江有着密切关系，史前时期，两湖平原就是一个完整的湿地生态系统。晚更新世末至全新世初，两湖平原为河湖切割平原，呈现河湖交错的湿地景观，湿地面积较小，主要湿地类型为河流湿地和湖泊湿地，湿地以自然演替为主，洞庭湖发育大面积的洲滩。

春秋战国时期，江汉平原为平原湖沼湿地景观，分布着“方九百里”的湖泊

沼泽——云梦泽。当时的云梦泽生物多样性丰富，湿地动物随处可见。当时，荆江有夏水、涌水等支流分流汇入云梦泽，并形成向东延展的陆上三角洲；春秋后期，楚国开凿废弃的分流道，连接汉水，这就是人工运河——杨水；而此时的下荆江，还是湖沼区。秦汉至南朝时期，随着荆江与汉水三角洲发育，受掀斜构造沉降和科氏力的作用，云梦泽主体局限于江汉平原东南，范围缩小。同时，荆江河道向下延伸，并在下游出现鹤水、子夏水等新的左岸分流以及若干穴口。这时的洞庭地区，洞庭湖水系尚未完全形成，还属河网交错的平原，大面积的湖泊还没有出现，仅有一些局部性小湖泊，主要分布在今东洞庭湖一带；除资水、沅水及澧水一支汇流经湖入江外，湘水、澧水主流以及西北的油水均直接入江，荆江河道比较平直，没有南向分流。南朝时期，随着云梦泽萎缩、江汉平原地势抬高，洞庭湖盆地因沉降而变低，荆江右岸开始向南分流，沅水注入洞庭盆地，但是其下游的生江水，仍然向北入注荆江，低洼的地势与荆江南分，在洞庭地区形成颇具规模的洞庭湖，湘、资、沅、澧四水均向洞庭湖汇注的格局从此形成。

唐宋时期，江汉平原不断淤积抬高，洞庭湖平原不断沉降，荆江统一河床形成后水位抬升，促使江汉平原湖泊面积逐渐减少，洞庭湖面积则不断扩展；尤其是在宋时，修建了荆江北侧的堤防，更是迫使荆江向南分流^①。从而使云梦泽主体逐渐淤积解体，大面积的湖泊不再存在，演变为星罗棋布的小湖泊——江汉湖群。这一时期，包括下荆江在内的荆江统一河床塑造形成，荆江左岸原有的常年性分流消失，涌现出众多的季节性自然分流穴口，形成历史上所谓的“九穴十三口”时期。元代，部分穴口自然淤塞，为宣泄洪水，开凿人工穴口，不久又遭自然淤废。洞庭湖面积则进一步扩大，始有“八百里洞庭”的称呼出现，长江水由北入荆江转为向南汇入洞庭湖，使洞庭湖面积有较大发展。南宋初期，荆江右岸溃决分流，形成虎渡河。

明清时期是两湖平原湿地发生重大变化的时期，在自然因素和人为因素的共同作用下，两湖平原经历了历史上最为剧烈的变化。江汉平原，由于荆江和汉江三角洲的不断发育，促使江汉湖群向东南推移；清中后期，太白湖淤塞成为沼泽，而江汉平原中最大的湖泊——洪湖形成。明嘉靖时，荆北最后一个穴口——郝穴人为堵塞，荆北大堤连成一体，从此，荆江结束了南北两侧分流的历史。荆江南侧原有的分流口进一步扩大，调弦口、太平口、藕池口、松滋口四口在这一时期先后形成。至此，四口与四水汇注入洞庭湖的格局形成。大量江水涌入地势低洼的洞庭平原，使明清之际的洞庭湖水域扩大到有史以来的极盛，据 1825 年《洞庭湖志》的附图估算，当时洞庭湖水域面积约为 6000km²。随之，洞庭湖开始由盛而衰的演变。荆江带来的大量泥沙，在洞庭湖中逐渐淤积，形成大面积的洲滩；随着湖区人口的增加，洲滩上围湖造田迅速发展，水域不断被侵夺缩小；湖泊水

^① 杨果 宋代两湖平原堤防与镇市的地理考察 武汉大学博士论文 1998

域的缩减速度，与围湖造田的规模成正比。洞庭湖水域面积的缩减，随着时间的推移而加速：年均湖泊面积缩减率，1825~1896 年仅为 8.54km²/a，1896~1932 年上升为 19.45 km²/a，1949~1954 年进一步增大为 87.0 km²/a，1954~1958 剧增为 193.5 km²/a，1995 年，洞庭湖面积仅为 2625 km²。总的说来，两湖平原湖泊湿地生态演表现为江汉平原湖泊最早是一个整体的云梦泽，面积广大，但进入历史时期后，面积就一直在减少，直到现在；而洞庭湖则经历了由小到大再变小的过程（石泉等，1996；李长安等，2001；张修桂等，1981，1999；，左鹏等，2000；张人权，2003）。

从湿地演替看（蔡述明等，1993，1997），两湖平原湿地演化早期以自然演替为主，湿地自生自灭；春秋战国以后，随着人类对两湖平原湿地的开发和利用，人类对湿地影响加大，湿地演替进入自然—人工演替阶段，人工湿地、洲滩湿地逐渐增加，自然水体湿地不断减少；20 世纪 50 年代后，人类对两湖平原湿地的改造达到前所未有的地步，湿地演替以人工演替为主，自然湿地遭到大面积围垦（20 世纪 80 年代后围养），人工湿地面积大增，成为两湖平原面积最大的湿地类型。随着人类活动对湿地的干扰，湿地生态退化态势逐渐显现。

3.1.2.2 开发简史

两湖平原湿地生态系统演化还可以通过两湖平原的开发史得以反应。从先秦到两汉时期，两湖平原的经济发展一直呈缓慢上升趋势，湿地资源也逐步从平原外围向中心逐步得到开发，尽管由于自然环境的恶劣，生产力水平还低于黄河流域。东汉以后，由于农民起义的冲击，整个黄河中下游和淮河流域陷入长期战乱和灾害的困境中，而两湖平原则由于有利的地理环境，受到冲击较少，大批人口进入该地，两湖平原自然湿地逐渐得到开发，农业生产有较大发展，甚至成为东晋南朝的重要粮仓。这时，两湖平原的地位有所上升，三国时期蜀国就是先借荆州（两湖平原的主要组成部分），以荆州为立足点进而取得成都平原，建立蜀国的，后来又发生了关羽大意失荆州的故事，说明荆州在当时的地位是很高的。

两湖平原湿地的开发利用是与垸田的形成和扩展联系在一起的。唐宋时期，我国人口、经济重心向南方转移，两湖平原开发进入一个新的阶段，兴修了大量的农田水利设施，垸田开始出现。一般认为，垸田在宋元时期开始出现，明中叶渐多、明清之际萎缩、清初恢复发展、清中叶形成高潮。其中洞庭湖垸田发展比江汉平原迟。根据张家炎研究（张家炎，1997），江汉平原垸田在明前期初兴，开始缓慢发展；明中期发展迅速，形成第一个高峰，但到了明中后期出现第一次饱和；到了清朝中期又形成垸田扩展的第二次高峰，尤其是嘉靖年间（公元 1616 年）荆江北大堤连成一线，明末汉水围堤连成一线，使江汉平原围堤内基本上成为垸田，湿地生态发生较大变化，对平原湿地景观的改造程度超过以往各代，湖泊遭到大面积的围垦，生态环境严重恶化。而且，随着荆江河床淤高，逐步形成

“悬河”，洪涝等自然灾害发生频率和灾害损失也日渐增大（张震龙，2002；黄进良，2001；赵艳，2000；刘海燕等，1998）。

建国以来，两湖平原湿地遭到更大面积的围垦，湿地生态生态系统遭到极大的破坏，湖泊湿地日趋萎缩（表 3—1），水体质量恶化，江——湖关系变化，生物多样性降低，一些生物种类甚至濒临灭绝。20 世纪 80 年代以来，两湖平原湿地生态退化问题引起越来越多的重视，一些生态保护和建设工程先后实施，并取得了一定的成绩，但问题仍不可忽视。

表 3—1：20 世纪洞庭湖与江汉平原湖泊面积变化情况 单位：km²

时代	20—30 年代	50 年代	70 年代	80 年代	90 年代
江汉平原	8330	5960	2373	2983	2608
洞庭湖	4700	3141	2740	2691	2625

资料来源：（窦鸿身等，2000；黄进良，2001）

两湖平原湿地开发和利用时空过程还表现在两湖平原城市的形成和发展上（图 3—1）。根据龚胜生研究（龚胜生，1996，2002），随着人类利用自然、利用湿地能力的提高，两湖平原湿地从外围向中心逐渐被利用和开发，自然湿地逐渐减少，人工湿地增加，并随着两湖平原湿地的开发与利用形成了从平原边缘往平原腹心的五个城市圈。五个城市圈越往平原腹心，城市形成的年代越晚，说明两湖平原自然湿地是从外围到向中心逐步得到清理和利用的，反映了湿地利用从易到难的开发过程。

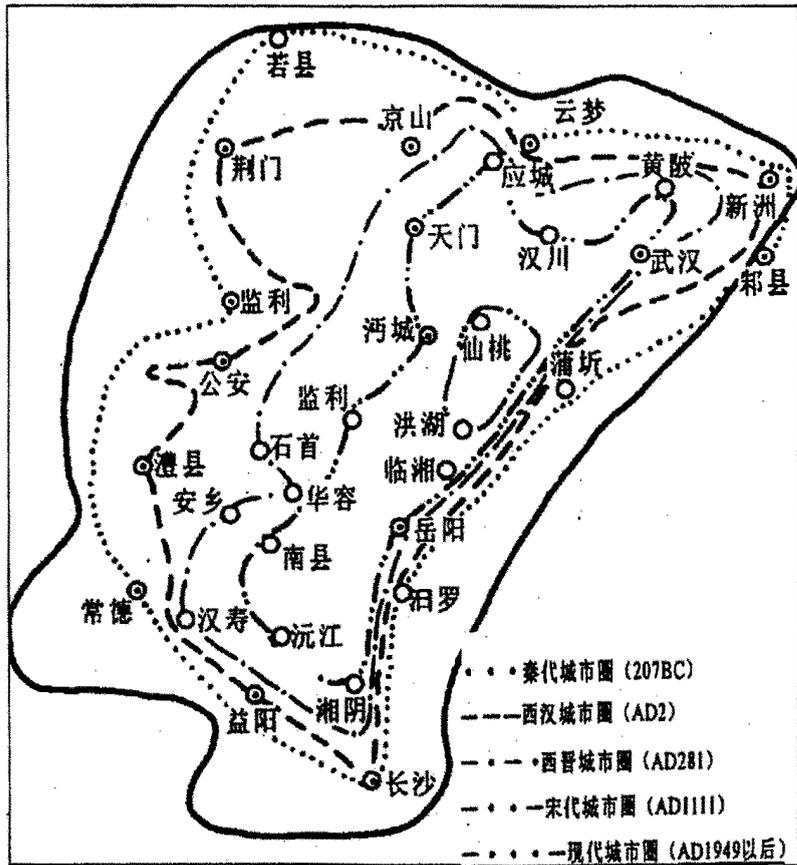


图 3—1: 两湖平原湿地城市圈产生与扩展时空变化(龚胜生, 1996)

3.2 两湖平原湿地遥感监测

湿地遥感调查与监测是应用先进的遥感技术 (RS)、地理信息系统 (GIS) 技术和全球定位系统 (GPS) 对湿地进行宏观监测的一种调查手段, 由于其良好的时效性和应用价值, 湿地遥感监测在国内外湿地研究中得到广泛应用, 成为湿地调查与监测的最重要的方式之一。两湖平原湿地生态系统系由长江及其众多支流泛滥而成的河湖湿地区域, 是我国具有代表性的主要湿地分布区之一。建国以来两湖平原湿地发生了巨大的变化, 湿地面积萎缩, 水质恶化, 环境污染日益严重, 生物多样性受到极大影响。为了客观地反映两湖平原湿地现状及其动态变化, 采用“3S”技术进行遥感监测成为两湖湿地生态退化、恢复研究的重要方法。

3.2.1 方法与流程

两湖平原湿地 3S 监测以 1996 年陆地卫星 TM 图像为基础资料 (图 3—2), 充分利用最新的 3S 技术, 将遥感技术、全球定位系统和地理信息系统技术进行综合集成, 室内作业与野外考察结合, 对两湖平原进行了较为详细的监测。监测

之所以选取 1996 年的遥感图像为数据源,是因为长江中游在 1996 和 1998 年先后发生了两次大的洪水,对两湖平原湿地生态造成很大的影响,洪水过后湿地面积、分布有许多变化,为了更好地反映两湖平原湿地生态时间演替序列,我们选择了湿地生态发生重大变化前的 1996 年为基准年。而为了反映两湖平原湿地动态变化,又选取 1986 和 2000 年的遥感图像与 1996 年进行对比分析,探索研究区湿地生态演化规律(仅在江汉平原进行)。

具体步骤为:首先,对遥感图像进行预处理和初步解译,建立影像解译判读标志(表 3—2),将预处理后的图像导入 CorelDraw 环境,根据建立起来的判读标志,对图像进行详细解译、圈绘图斑,判读湿地类型,并将其边界勾绘在相对应的图层中,同时赋予相应的湿地类型编号值;然后,将上面 CorelDraw 中生成的图形数据文件导入 ARC/INFO 环境,在 ARCEDIT 模块下进行编辑,形成 1996 年数字化湿地专题图,再通过野外实地验证、修改,进行精度评价后得到用来分析的 1996 年数字化湿地专题分布图(图 3—3、3—4)。利用 1996 年两湖平原湿地利用专题图,进行面积量算和统计,编制分类湿地面积统计表(表 3—3)。其过程如图 3—5 所示。

为了掌握湿地动态变化,在 1996 年湿地利用专题图基础上,选取 1986 年、2000 年同期、同时相、同波段(TM4、3、2)合成的假彩色卫星数字遥感影像,进行对比分析。方法是将几何纠正和配准后的 1986 年、2000 年的陆地卫星 TM 影像与得到的 1996 年湿地专题图在 GIS 系统中通过数字图形——图像的套合和人机交互解译,直接发现变化范围,完成湿地动态变化制图,由 GIS 系统给出动态分析结果。具体操作程序是:在 MGE 环境下,在 1996 年湿地分布专题图及其遥感影像上,调入 1986 年或 2000 年的 TM 影像,根据影像的判读标志和该地区湿地区域分布规律,在影像上仔细分析新影像与 1996 年影像之间的影像特征的差异性,发现湿地类型与影像特征不符的地方,用鼠标直接勾绘出来,并赋予变化类型编号,得到相对于 1996 年的动态变化图。然后用 ARCEDIT 模块进行编辑,形成数字化的湿地分布动态变化图。应用 GPS 进行实地考察验证、纠正,结果整理汇报,并进行精度评价^①(图 3—6)。受时间、资金和实验设备(计算机不足)限制,并没有对整个两湖平原湿地进行,仅是选择江汉平原进行湿地动态变化调查与监测,而没有在洞庭湖平原同步进行。

^① 本部分工作与中国科学院测量与地球物理研究所李仁东研究员、薛怀平助研、吴胜军博士合作完成。



图 3—2：两湖平原湿地卫星遥感影像图

表 3—2：两湖平原湿地遥感解译判读标志

土地利用类型名称	判读标志
河流	自然弯曲条带状，蓝或深蓝色，色调均匀，影像结构均一
河滩湿地	浅黄色，条状分布，纹理均匀，沿河分布，不规则，随河流弯曲
湖泊	几何特征明显，呈自然形态，深蓝或浅蓝色，色调均匀，影像结构均一
湖泊滩地	浅红色，呈自然形态，不规则，分布在湖泊边缘
坑塘	深蓝或浅蓝色，均匀，几何特征明显，有人工塑造痕迹，影像结构均一
水田	深红，均匀，几何特征明显，边界清晰，形状规则，影像结构均一细腻
旱地	多为黄色或白色，多在台地顶部，色调不均匀，形状不规则
林地	鲜红色或深红色、棕红色，多分布在丘陵
草地	偏黄绿色调或偏灰白色调，当覆盖度较大时有淡红色调
建设用地	居民区呈青灰色、白色，较规则；分城镇用地和居民点用地
未利用地	一般呈白色或淡青色，不规则

表 3—3：两湖平原湿地类型面积

湿地类型	面积 (km ²)	占总面积百分比 (%)
河流湿地	1733.89	6.17
河流滩地	616.39	2.19
湖泊湿地	1544.51	5.50
湖泊滩地	2006.24	7.14
坑塘	261.56	0.93
水田	17294.42	61.58
湿地小计	23457.01	83.51
非湿地	4628.88	16.48

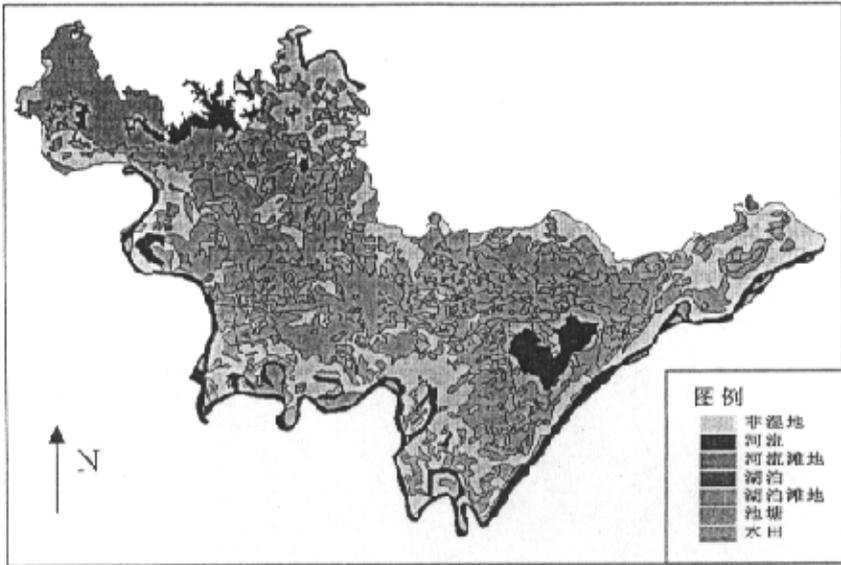


图 3—3：江汉平原（核心区）湿地遥感解译图

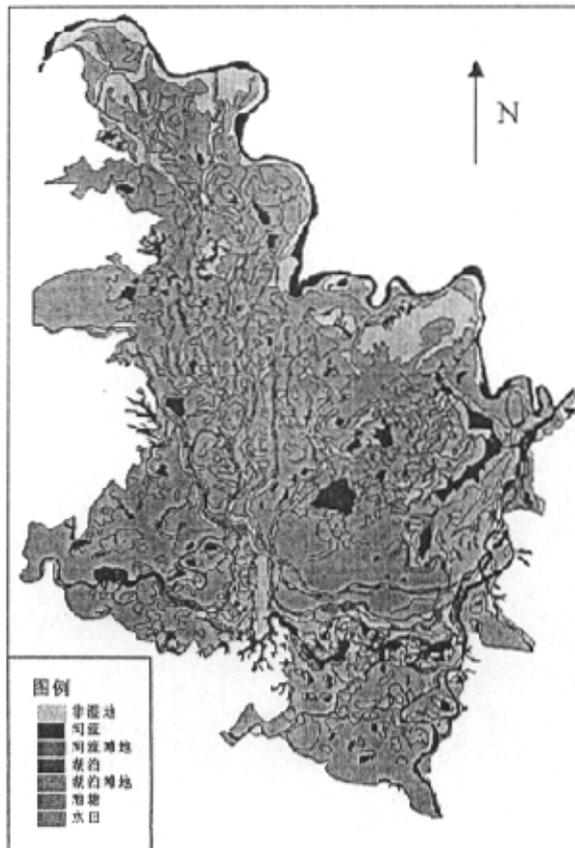


图 3—4：洞庭湖平原湿地遥感解译图

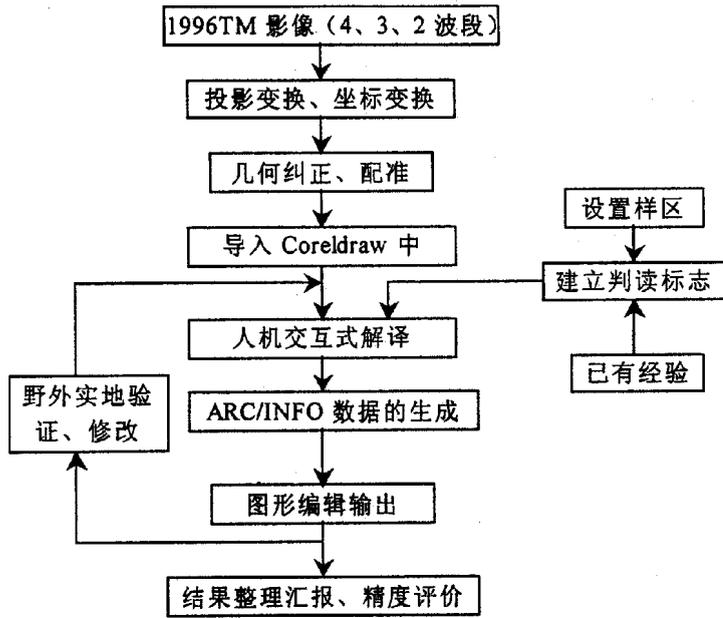


图 3—5：1996 年遥感影像解译过程

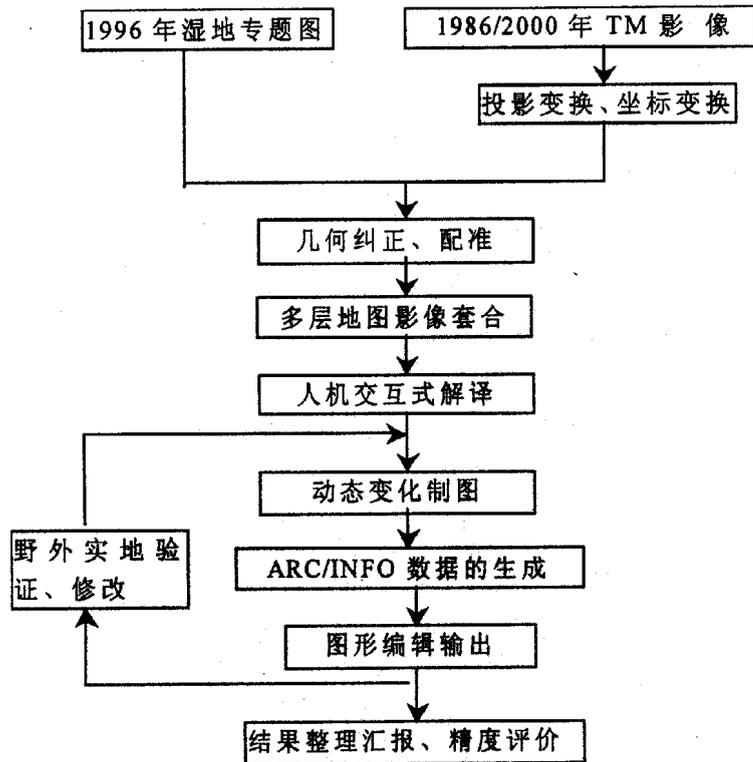


图 3—6：湿地动态变化监测过程

3.2.2 湿地动态分析

根据上述湿地动态变化遥感监测方法与步骤,对江汉平原湿地进行监测,将土地(湿地)进行分类(基本按土地利用类型,并在土地利用类型基础上结合江汉平原土壤类型图、地形图细分),得到江汉平原1986、1996以及2000年的湿地动态变化结果(表3—4、3—5、3—6)。

表3—4: 江汉平原湿地变为非湿地面积一览表

编码	项目	变化情况(hm ²)		
		1986~1996	1996~2000	合计
112530	丘陵水田变成工业用地		46.62233	46.62233
113510	平原水田变成城镇用地	95.84192		95.84192
113520	平原水田变成居民地	68.3828	443.73983	512.12263
113530	平原水田变成工业用地		439.96279	439.96279
410123	河流变成旱地(平原)	201.42016	31.74247	233.16263
420122	湖泊变成旱地(丘陵)	5.67181.8		5.67188
420123	湖泊变成旱地(平原)	402.83991	77.96795	480.80781.6
420240	湖泊变成园地		10.3544	10.3544
420310	湖泊变成草地		440.90512	440.90512
430121	坑塘变成旱地(山区)		3.47693	3.47693
430122	坑塘变成旱地(丘陵)	12.1771		12.1771
430123	坑塘变成旱地(平原)	6739.93242	329.75378	7069.6862
430230	坑塘变成疏林地	39.44908	4.58331	44.03239
430240	坑塘变成园地	15.13773		15.13773
430310	坑塘变成草地		565.62752	565.62752
430510	坑塘变成城镇用地	43.91924		43.91924
430520	坑塘变成居民地	12.68212	1.66819	14.35031
460123	河滩变成旱地(平原)	8.11448	227.58603	235.70051
640123	沼泽变成旱地(平原)	7.73736	56.88877	64.62613
小计	湿地变成非湿地	7653.3062	2680.87942	10334.18562

表 3—5: 江汉平原非湿地变为湿地面积一览表

编 码	项 目	变 化 情 况 (hm ²)		
		1986~1996	1996~2000	小计
111121	山区旱地变成水田	11.28643		11.28643
121430	山区旱地变成坑塘		17.10203	17.10203
122430	丘陵旱地变成坑塘	12.1771	6.59102	18.76812
123113	平原旱地变成水田	95.66142		95.66142
123420	平原旱地变成湖泊		47.19781	47.19781
123430	平原旱地变成坑塘	738.8976	1384.16478	2123.06238
123460	平原旱地变成河滩	11.43171	110.38898	121.82069
210113	有林地变成水田(平原)		67.52489	67.52489
210430	有林地变成坑塘		19.53493	19.53493
230113	疏林地变成水田(平原)	17.15778		17.15778
230420	疏林地变成湖泊	157.88639	5.05717	162.94356
230430	疏林地变成坑塘	3.50367	3.35465	6.85832
230460	疏林地变成河滩	78.35292		78.35292
240113	园地变成水田(平原)	98.2634	41.58456	139.84796
240430	园地变成坑塘	13.28703	28.53855	41.82558
310113	草地变成水田(平原)		8.55527	8.55527
310410	草地变成河流	244.45518		244.45518
310420	草地变成湖泊		62.75643	62.75643
310430	草地变成坑塘		59.00227	59.00227
510113	城镇用地变成水田(平原)	95.84192		95.84192
510430	城镇用地变成坑塘	71.04431		71.04431
510460	城镇用地变成河滩	29.90044		29.90044
520113	居民地变成水田(平原)	68.3828		68.3828
520430	居民地变成坑塘	556.35024	22.43466	578.7849
530112	工业用地变成水田(丘陵)	11.6231		11.6231
530113	工业用地变成水田(平原)	154.50849		154.50849
650430	裸土变成坑塘		3.04001	3.04001
小计	非湿地变湿地	2470.01193	1886.82801	4356.83994

表 3—6: 江汉平原湿地内部结构变化一览表

编码	项目	变化情况 (hm ²)		
		1986~1996	1996~2000	小计
112430	丘陵水田变成坑塘	10.89698	149.21878	160.11576
113420	平原水田变成湖泊	121.89866	356.98313	478.88179
113430	平原水田变成坑塘	2464.86799	14256.28887	16721.15686
113460	平原水田变成河滩	291.44955	3.65917	295.10872
410113	河流变成水田(平原)	6.02477	40.9623	46.98707
410460	河流变成河滩	292.36199	1882.02044	2174.38243
410640	河流变成沼泽	87.30578		87.30578
420112	湖泊变成水田(丘陵)		4.14919	4.14919
420113	湖泊变成水田(平原)	121.89866	725.6920	847.59066
420460	湖泊变成河滩	6346.59347	921.39401	7267.98748
420640	湖泊变成沼泽	256.44675	767.18061	1023.62736
430111	坑塘变成水田(山区)	9.4796	6.56489	16.04449
430112	坑塘变成水田(丘陵)	10.89698	44.98452	55.8815
430113	坑塘变成水田(平原)	2464.86799	2445.09534	4909.96333
430460	坑塘变成河滩	1218.75707	4403.15566	5621.91273
430640	坑塘变成沼泽	30.38233	150.07575	180.45808
460113	河滩变成水田(平原)	291.44955	88.20417	379.65372
460410	河滩变成河流		14.61957	14.61957
460420	河滩变成湖泊	627.22898	815.85592	1443.0849
460430	河滩变成坑塘	2536.77916	979.1287	3515.90786
640113	沼泽变成水田(平原)		119.15877	119.15877
640410	沼泽变成河流	215.74423		215.74423
640420	沼泽变成湖泊		48.48066	48.48066
640430	沼泽变成坑塘	416.34966	217.23136	633.58102
640460	沼泽变成河滩	86.69005		86.69005
小计	湿地变湿地	17908.3702	28440.10381	46348.47401

通过以上数据分析可以看出, 1986~1996年, 江汉平原湿地变为非湿地约 7653hm², 非湿地变为湿地约 2470hm², 净变化(湿地总面积减少)约 5183hm², 年均减少 518.3hm²; 期间, 湿地不同类型之间相互转化面积为 17908hm², 其中, 大部分是由自然湿地转变为人工湿地。1996~2000年, 江汉平原湿地变为非湿地 2681hm², 非湿地变为湿地 1887hm², 净变化(湿地总面积减少) 794hm², 年均减少 199hm²; 湿地间相互转化面积为 28440hm²。可以看出, 20世纪80年代以来, 江汉平原湿地面积, 尤其是自然湿地面积, 一直在减少, 但后期减少幅度变小, 这一动态变化分析说明了江汉平原湿地面积萎缩的事实, 湿地退化是客观存在的 (Xuelei Wang, 2000)。当然, 湿地面积萎缩并不只是江汉平原, 而是整个两湖

平原湿地面积都在减少,只是由于工作条件的限制,只做了江汉平原湿地变化的遥感监测。

3.3 两湖平原湿地类型与分布特点

两湖平原是我国湿地资源集中分布地区之一,洞庭湖、洪湖分居我国淡水湖泊面积的第二和第七位,是两湖平原地区面积最大的两个湖泊,面积分别为2625km²、344km²。另外,还有长湖、梁子湖、刁汊湖、东湖等。我国最长河流——长江自西向东贯穿两湖平原,平原内河流水系发达,主要分为江汉湖群水系和洞庭湖水系,除长江外还有汉水、东荆河、澧水、资水、沅江、湘江等主要河流,河流湿地面积较大。另外,两湖平原还拥有大面积的人工湿地,水田面积和鱼池面积、产量在全国占有重要地位。据遥感监测资料,两湖平原湿地中,人工湿地面积最大,占全区总面积的60%以上;自然湿地面积比例也能达到平原总面积的20%以上,湿地面积合计占平原总面积的80%以上。

3.3.1 湿地类型多样

两湖平原作为我国最重要的湿地集中分布区之一,拥有除近海及海岸湿地之外的河流湿地、湖泊湿地、库塘、人工湿地等湿地类型,是我国拥有湿地类型最多的地区之一。依据遥感图像判读、水体淹没和植被覆盖等标准将两湖平原湿地进行分类,共有河流水面、湖泊滩地等近20种类(蔡述明等,1997;易朝路等,1998)。具体见表3—7。

3.3.2 分布特征

两湖平原湿地资源分布比较集中,分列在长江的南北两侧。具体说来,主要分布在湖南省洞庭湖湖区和湖北省江汉平原以洪湖为代表的江汉湖群地区。两湖平原湿地与长江关系密切,河流湿地都属于长江水系,湖泊湿地与长江之间有着频繁而又复杂的地表水、地下水补给与调节关系,许多湖泊本身就是通江的。这种集中分布的特点有利于两湖平原湿地的统筹开发和生物多样性的保持。

一般说来,河流湿地多呈现为带状分布,中间是河流水面,向外依次分布泥沙滩地、草滩地和芦苇滩地,顺河流流向延伸;湖泊湿地则多表现围环状分布,尤其是规模较大的湖泊湿地生态系统,其中心低洼处分布着湖泊水面,向外依次泥沙滩地、草滩地、芦苇滩地河防护林滩地,这种分布在洞庭湖湿地系统特别明显,而江汉平原由于大面积的湖泊湿地减少,呈现出不完整的环状、半环状分布;人工湿地系统分布方式比较多样,池塘、水库多呈斑状分布,沼泽型水稻土、潜育型水稻土、潜育型水稻土大致构成同心状分布,淹育型水稻土则带状分布在地势较高的河流天然堤上。

从地域分布上看,河流湿地系统主要分布在两湖平原的中部和洞庭湖区,长

江、汉江、洞庭湖四水是区域主要河流湿地系统；对于湖泊湿地而言，洼地湖泊湿地主要在区内地势低洼处，岗边湖分布在江汉平原四湖地区西部边缘和洞庭湖北部丘陵与平原交界处，弓形湖沿长江及其支流分布，壅塞湖只见于洞庭湖区。人工湿地则广泛分布于两湖平原(蔡述明等, 1997)。

表 3—7: 两湖平原湿地类型及主要特征(蔡述明等, 1997)

系	类	种	主要特征
河流 湿地 系统	河流水体类	河流水体	常年被水淹没
	河流沼泽、 滩地类	河流芦苇滩地	季节性被水淹没, 表面生长芦苇
		河流草滩地	季节性被水淹没, 表面生长喜湿草芦苇
		河流泥沙滩地	季节性被水淹没, 表面缺乏植被
		防护林滩地	季节性被水淹没, 表面以防护林为主
湖泊 湿地 系统	湖泊水体类	壅塞湖	常年被水淹没
		弓形湖	常年被水淹没
		洼地湖	常年被水淹没
		岗边湖	常年被水淹没
	湖泊沼泽、 滩地类	湖泊草滩地	季节性被水淹没, 表面生长湿生草丛
		湖泊泥沙滩地	季节性被水淹没, 表面缺乏植被
湖泊芦苇滩地		季节性被水淹没, 表面生长芦苇	
人工 湿地 系统	人工湿地水 体类	渠道	常年被水淹没
		池塘	常年被水淹没
		水库	常年被水淹没
	人工湿地 水稻土类	沼泽型水稻土	季节性被水淹没
		潜育型水稻土	季节性被水淹没
		淤育型水稻土	季节性被水淹没
		淹育型水稻土	季节性被水淹没

3.4 小结

本章在概述两湖平原基本自然概括的基础上, 探讨了两湖平原湿地生态演化和开发简史。然后, 利用 3S 技术对两湖平原湿地现状及动态变化进行遥感监测, 分析了江汉平原湿地的变化。最后, 在遥感监测数据基础上, 分析了两湖平原湿地的类型和分布特点, 认为两湖平原湿地类型多样, 分布有规律地集中分布。

第四章 两湖平原湿地生态退化与稳定性评价

湿地生态退化是指湿地生态系统演化在自然或人为干扰下发生偏离正常自然状态的演化,退化是人为干扰和自然因素叠加作用造成的。生态系统退化往往造成湿地生态系统面积减少,物种组成、群落或系统结构改变,生物多样性降低,生物生产力降低,生物利用和改造环境能力弱化、功能衰退,土壤和微环境恶化,生物间相互关系改变,系统内物质循环、能量流动出现危机和障碍,本质是湿地生态系统结构紊乱、功能削弱和自然景观退化(杨京平等,2002)。当然,对不同区域的不同湿地生态系统类型,其退化表现是不完全一样的。

4.1 两湖平原湿地生态退化特征

两湖平原湿地系长江及其众多支流泛滥而成的河湖湿地区域,是我国具有代表性的主要湿地分布区之一。由于长期对湿地资源的过度利用,两湖平原湿地面积显著减少,尤其是自然湿地面积,导致湿地生态环境质量的严重退化。两湖平原湿地生态系统退化总的表现是湿地面积萎缩,湿地资源遭到过度利用,湿地水质恶化,环境污染日益严重,生物多样性受到极大影响。

4.1.1 自然湿地面积减少

自1949年以来,两湖平原地区人口增加了1倍多,人口的猛增对土地和粮食提出了更大的需求,为了缓解日益突出的人地(尤其是耕地)矛盾,与水争地,向湖要粮问题突出,自然湿地资源得到了大规模的开发,围湖造田、筑堤建垸一度在长江中游湖区成为热潮。特别是在20世纪六、七十年代,围湖更是达到了前所未有的程度(石超艺等,2002),自然湿地资源不断受到蚕食,湖泊数量减少,在不到半个世纪的时间内,两湖平原湖面面积就减少了1/2以上。湿地面积减少,湖泊萎缩,造成平原调蓄能力下降,洪涝灾害出现频率及危害程度有所加剧,严重影响两湖平原社会经济的可持续发展。此外,两湖平原水系上游的水土流失也使得平原泥沙淤积加快,加剧湖泊萎缩、自然湿地减少的趋势。

4.1.2 湿地污染加重

建国以来,两湖平原工农业生产得到了较快的发展,人民生活水平有了较大提高。随着平原工农业生产的发展、城市建设的扩大和乡镇企业的异军突起,“三废”排放问题也逐渐显现出来,大量工业废水、城市生活污水未经处理便直接向湿地水体排放,严重污染了两湖平原湿地河湖水体,使湿地水质恶化,影响了湿地生态功能的正常发挥。

另外,两湖平原经济结构比较单一,以农为主,随着化肥、农药在农业生产中的大量使用,湿地水体富营养化趋势加快,其中武汉东湖、墨水湖已经呈现出

富营养化状态。富营养化使湿地水体浮游生物种类单一，甚至出现一些藻类爆发性增殖，给整个生境造成极大的影响。即使是洞庭湖、洪湖等广阔水面，尽管目前还只是处于中营养化阶段，但形势也不容乐观，正处于向富营养化过渡的阶段，稍不注意，就很有可能发展为富营养化。而由于这些湖泊面积广大，一旦形成富营养化，就极不易治理，使整个湖区生境恶化，给湖区的生态环境和社会经济带来极大的危害。

4.1.3 湿地生物多样性减少

两湖平原湖泊、河流是长江中游湿地重要类型分布区，也是物种多样性富集区，但近几十年来生物多样性严重受损。两湖平原湿地资源不合理的开发利用，改变了平原湿地生态环境，影响到湿地动植物的生存与生长，使一些生物由于不能适应改变了的生存环境而退出该地区，甚至最终灭绝。另外，两湖平原还存在着较为严重的酷渔滥捕、过度开发利用、种植、养殖物种单一等现象，使平原湿地生物资源受到极大的破坏，湿地生物物种减少，生物生产量降低，生物多样性受到严重威胁。有关资料显示，江汉平原湖泊鱼类从建国初的 100 种已降到目前的 50 多种，如四大家鱼、赤眼鲮、鳊鲃等逐年减少，甚至面临绝迹。长江中游的白鲟、江豚、白暨豚成为濒危物种；鱼类小型化日益明显；一些原来在此过冬的候鸟不到本区越冬。

事实上，在人为和自然因素干扰下，两湖平原湿地生态系统的结构与功能都发生了退化，人工湿地面积增加，自然湿地面积减少，调蓄洪水、维持生物多样性等湿地功能受到较大破坏，制约了湿地生态系统的正常演化。为了更清楚地说明两湖平原湿地退化态势，结合国家湿地生态恢复示范项目——南洞庭湖和洪湖湿地生态恢复项目，对两大典型湿地生态退化做进一步分析。

4.2 两湖平原典型湿地退化分析

4.2.1 洪湖湿地生态退化分析

4.2.1.1 湿地面积减少

建国以来，伴随着洪湖地区人口增加和社会经济发展，人地矛盾突出，洪湖湿地得到大规模的开发，围湖造田、筑堤建垸一度在洪湖地区成为热潮，湖泊遭到大面积的围垦，大量的湖泊滩地被开垦为耕地，使得洪湖湿地面积呈下降趋势（蔡述明，1993），尤其是自然湿地的面积减少更是迅速（图 4—1，4—2，4—3，4—4，4—5），2000 年洪湖湖面面积只有 1950 年的 45.26%（表 4—1）。而面积大小是否适宜是湿地能否得到有效保护的重要方面，洪湖湿地面积应保持稳定。



图 4—1: 20 世纪 20 年代洪湖地区湖泊分布



图 4—2: 20 世纪 40—50 年代洪湖地区湖泊分布



图 4—3: 20 世纪 70 年代洪湖地区湖泊分布



图 4—4: 20 世纪 90 年代洪湖地区湖泊分布

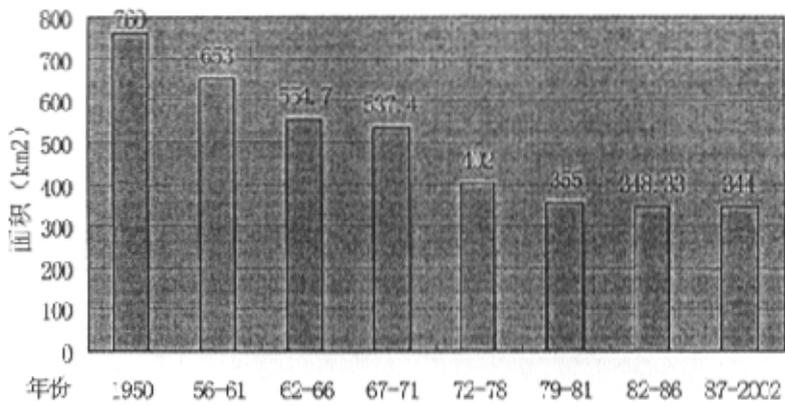


图 4—5: 建国以来洪湖水面积变化

表 4—1: 历年洪湖被围垦情况

年份	面积 (km ²)	历年平均围垦率 (km ² /年)	面积变化 (%)
1950	760		100
1956-1961	653	8.92	85.92
1962-1966	554.70	19.67	72.98
1967-1971	537.40	3.45	70.71
1972-1978	402.00	19.33	52.89
1979-1981	355.00	15.67	46.71
1982-1986	348.33	44.47	45.58
1987-2002	344.00		45.26

资料来源: 中国科学院测量与地球物理所, 洪湖湿地管理局 洪湖综合科学考察报告 2002

胡鸿兴, 万晖 著 湖北鸟兽多样性及保护研究 武汉: 武汉大学出版社 1995

洪湖湿地面积的减少还可以从湿地类型内部结构变化得到反映。为了定量表述和分析湿地类型变化, 引申出湿地类型变化动态度的概念, 单一研究样区的综合湿地类型变化动态度可表达为:

$$WD = 100 \times \left(\sum_{i,j=1}^n \frac{|\Delta WU_{i-j}|}{WU_i} \right) \cdot \frac{1}{t}$$

式中 WU_i 为监测起始时间第 i 类湿地类型总面积; ΔWU_{i-j} 为由监测起始至监测时间段内 i 类湿地类型转换面积之和; t 为监测时段长度, 当 t 的时间单位设定为年时, WD 的值是该研究样区的湿地年变化率。

一个特定范围的湿地变化是各类湿地类型变化的结果, 湿地变化及其变化量可定量地表述该特定范围湿地变化的综合程度和变化趋势。湿地类型变化量可表达为:

$$\Delta W_{b-a} = 100 \times \left(\sum_{i=1}^n A_i \times C_{ib} - \sum_{i=1}^n A_i \times C_{ia} \right)$$

这里 A_i 为第 i 类的湿地分组指数, 表示第 i 类湿地在湿地总体变化中的权重。 C_{ib} 和 C_{ia} 分别为 b 时间和 a 时间第 i 类湿地面积百分比。在分析 a 时间至 b 时间的湿地状况时, 如果 ΔW_{b-a} 为正值, 则该区域湿地处于发展期, 否则处于调整期或衰退期。这里选取洪湖保护区面积最大、最有代表性的两类自然湿地——浅水湖泊和滨湖湿地进行分析。

通过湿地类型变化动态度 (表 4—2, 图 4—6) 可以看出, 1953~1977 年, 洪湖浅水湖泊 ΔW 值一直为负值, 且湿地类型变化量很大, 这个阶段浅水湖泊一直处于衰退期, 面积迅速缩小, 1977 年浅水湖泊面积不到 1953 年面积的一半; 1978~1987 年, 浅水湖泊和滨湖滩地的湿地类型变化动态度较小, 浅水湖泊的缩减速度明显减小, 滨湖滩地 ΔW 值为正值, 滨湖滩地面积不断增大; 1988~

1992年, 湿地类型动态变化量 ΔW 比较大, 湿地格局在这一段时间内变化较大。浅水湖泊面积迅速增大, 滨湖滩地迅速缩减; 1993~2001年, 湿地总面积略有减小, 但WD和 ΔW 值都相对较小。浅水湖泊湿地变化动态度WD只有0.76, 面积相对1992年略有减少, 而滨湖滩地面积略有增加, 2001年洪湖湿地总体格局相对于1992年变化不大, 表明洪湖湿地面积逐步稳定。

表 4—2: 洪湖自然湿地类型变化动态度及类型变化量统计表

年份	1953	1967	1977	1978	1981	1983	1987	1988	1992	2001
浅水湖泊 km ²	604.24	393.25	250.23	223.52	213.26	207.23	191.53	238.46	330.09	307.40
WD	—	2.49	3.64	10.67	1.53	1.41	1.89	24.50	9.61	0.76
ΔW	—	-29.62	-23.35	-7.51	-2.87	-1.70	-4.42	-13.61	25.66	-6.38
滨湖滩地 km ²	108.18	219.19	105.36	132.07	142.23	148.36	199.35	152.42	25.33	36.54
WD	—	7.33	5.19	25.35	2.56	2.15	8.59	23.54	20.85	4.92
ΔW	—	15.58	-18.59	7.51	2.86	1.72	14.34	-10.98	-32.34	3.15

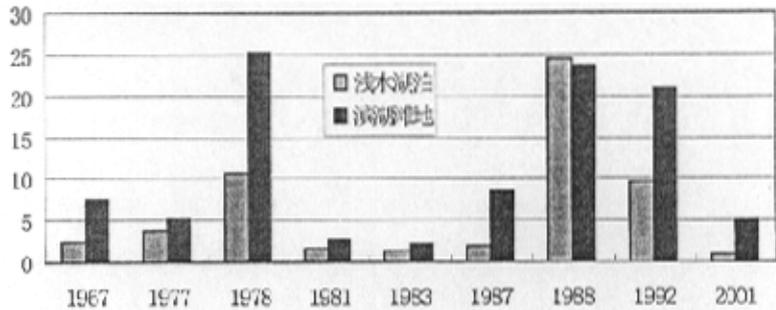


图 4—6: 洪湖自然湿地类型变化动态度

4.2.1.2 湿地水质恶化

洪湖湿地水质感官性状好, 湖水清澈, 水质状况总体良好, 处于中营养化阶段, 但水质发展态势不容乐观, 水体中总磷、总氮等的含量有上升趋势, 正处于向富营养化过渡的阶段。湖区大量的工业废水、城市生活污水未经处理便直接向湿地水体排放, 渔民生活污染、游船污染等, 都对洪湖水质造成一定的影响, 污染了洪湖水质, 影响了湿地生态功能的正常发挥。而且, 洪湖地区经济结构比较单一, 以农为主, 化肥、农药在农业生产中的大量使用, 给湖泊水质形成极大的

压力，使湖区湖泊富营养化趋势加快。另一方面，由于洪湖面积广大，一旦形成富营养化，就极不易治理，使整个湖区生境恶化，给湖区的生态环境和社会经济带来极大的危害。

另外，洪湖大规模围网和围堤养鱼活动，也造成了洪湖湿地生态系统结构的直接破坏，成为目前除因工农业入湖污染物增加造成湖泊生态环境恶化之外的最主要内部因素。洪湖围网养鱼主要分布在湖泊沿岸的湿地地区，这里一般水生植被发育，围网养鱼活动大量消耗水生植被，从而造成水生植被的消失，降低了湖泊湿地的自净能力，恶化了水体水质，使洪湖水体悬浮物明显上升，COD含量也在较高水平上波动（图4—7，4—8，表4—3），损害了湿地系统生态系统的生态功能。据初步统计，洪湖2000年前湖泊围网面积约占湖泊面积的30%左右，目前已超过50%，在养鱼过程中不但对围网区的湿地生态结构造成破坏，而且对非围网区无节制的捞草，已使得全湖的水生植被遭受破坏，水体富营养化问题日益突出。湖水的总氮含量为每升3.49毫克，已达到富—重富营养水平；总磷含量每升0.138毫克，是国家渔业Ⅲ类水标准（每升0.05）的2倍多。

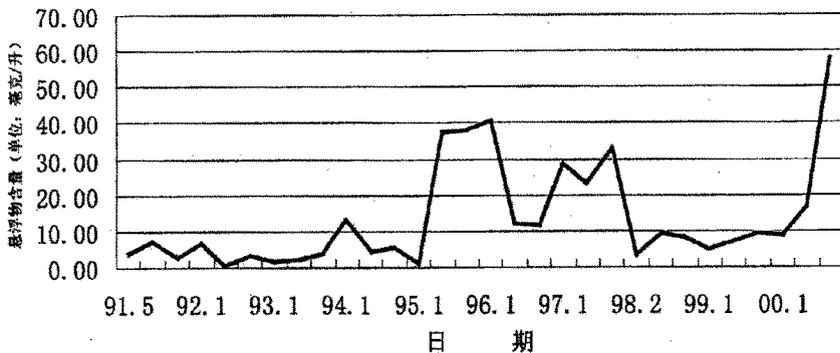


图 4—7: 20 世纪 90 年代洪湖水体悬浮物含量变化

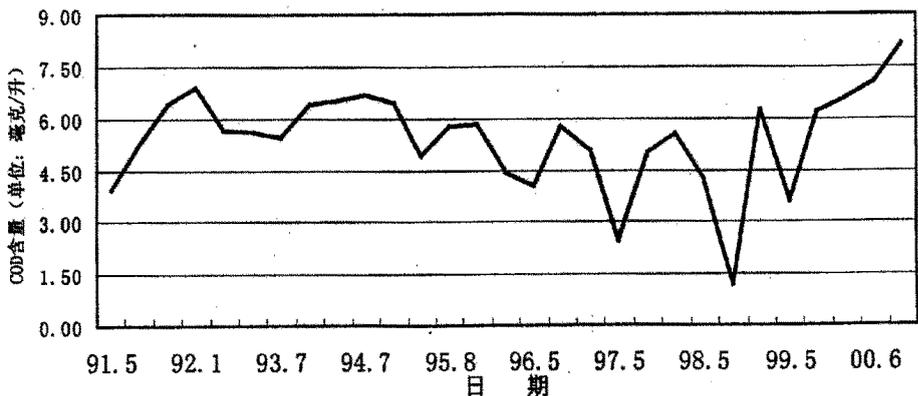


图 4—8: 20 世纪 90 年代洪湖 COD 含量变化

表 4—3: 20 世纪 50 年代以来洪湖水质变化情况(唐训贵, 2003)

时间	1959—60	1965—72	1973—81	1982—96	1997—2002
PH	8.0	8.5	8.1	8.8	8.9
总硬度		4.9	4.9	7.17	8.9
溶解氧 (mg/L)		13.8	9.5	8.03	7.9
化学耗氧量 (mg/L)		4.0	4.1	6.07	6.09
硝酸盐 (mg/L)	0.051	0.10	0.121	0.141	0.143
亚硝酸盐 (mg/L)	0.0037	0.006	0.013	0.16	0.162
氨氮 (mg/L)	0.278	0.136	0.189	0.21	0.231
磷酸盐 (mg/L)	0.0167	0.021	0.001	0.038	0.093
氯 (mg/L)	4.55	2.9	5.6	10.2	
铁 (mg/L)	0.506	0.101	0.035	0.59	

4.2.1.3 湿地生物多样性减少

洪湖湿地保护区是一个生物多样性较为丰富的保护区, 2002 年洪湖综合科学考察报告显示, 洪湖湿地拥有维管束植物 472 种 21 变种 1 变型种, 浮游植物 280 种; 拥有脊椎动物 221 种, 浮游动物 379 种、底栖动物 98 种。作为我国重要的水禽越冬地、繁殖地和迁徙“驿站”, 洪湖湿地还吸引了大批的湿地水禽, 据近几年统计, 达 65 种之多。其中, 有国家一级重点保护植物 2 种, 二级重点保护植物 8 种; 有国家重点保护动物 21 种, 其中一级 6 种, 二级 15 种。此外, 洪湖还拥有一些在国际生物保护中占重要地位的物种, 其中属于一级保护的有白鹤、黑鹤、中华秋沙鸭、白尾海雕、白肩雕和大鸨等 6 种; 属于二级保护的有白琵鹭、大天鹅、小天鹅、疣鼻天鹅、斑嘴鹈鹕、鸳鸯、鸮、灰鹤和毛脚鱼凫等 9 种。

洪湖湿地保护区生物多样性正受到破坏, 表现在: 生物资源遭到破坏, 生物物种、生产量减少, 天然鱼类、水禽多样性降低, 捕猎种类和产量下降等(表 4—4, 4—5, 4—6, 4—7, 4—8, 图 4—9, 4—10)。据调查, 20 世纪 60 年代的主要优势种菱角、苦草、竹叶眼子菜、莲等, 到 80 年代已经大为减少, 微齿眼子菜、穗花狐尾藻则成为全湖的优势种, 优势群落总数比 60 年代减少了 6 个。而到了 90 年代, 微齿眼子菜、穗花狐尾藻则进一步成为绝对优势群落。目前, 洪湖野生的芦苇、茭白、菱、芡实等经济植物逐渐消失, 植物物种多样性减少趋势令人担忧。鱼类种群结构趋于单一, 数量减少、产量降低、个体趋于小型化, 大型经济鱼类越来越少。湖区湿地水禽物种多样性日趋下降, 种群数量锐减, 经

济水禽群落资源衰退，产量下降，原有的一些水生动物，如中华鲟、白暨豚、江豚等，已很少见到或近乎绝迹；一些原来在此过冬的候鸟也不到本区越冬，资料显示，目前洪湖越冬水禽的种群数只有 20 世纪 80 年代的 75%，尤其是国家重点保护鸟类如白鹤、黑鹤等种群数量逐年减少（胡鸿兴等，1995）。最新资料更是令人担忧，2004 年洪湖湿地水禽考察发现，洪湖湿地水鸟又有减少，洪湖湿地生态景观已经发生巨大变化^①。

表 4—4：20 世纪后期洪湖水禽多样性指数变化（胡鸿兴等，1995）

年份	1951-60	1961-70	1971-80	1981-85	1988	1989	1990	1991
多样性指数	1.239	1.539	1.141	0.987	0.929	0.705	0.683	0.522

表 4—5：20 世纪洪湖湿地生物种群变化

项目	50 年代	60 年代	80 年代	90 年代
鱼的种类	>90 种	76 种	54 种	30 种完成生活史
优势种	四大四大家鱼和洄游型鱼类	鲤、鲫、鳊	鲫、黄颡、红鳍原白	鲫、黄颡、红鳍原白
单产 (kg/hm ²)	154.5	129.5	114.0	
水生植物种类		92	68	123
优势种		菱、马来眼子菜、黑藻	黄丝草、杂草、菰、黑藻	微齿眼子菜、穗花狐尾藻、金鱼藻
生物量 (g/m ²)		3275	4423	4118
藻类			92 属	84 属
优势种			绿藻、硅藻、蓝藻	绿藻、硅藻、蓝藻
生物量 (mg/l)			2.44	1.81
浮游动物种类		30 种	40 种	44 种
生物量 (mg/l)			0.168	0.473
地栖动物种类			66 种	98 种
优势种		寡毛类、摇蚊幼虫	腹足类、寡毛类	螺类、寡毛类
生物量 (g/m ²)		789.3	139.3	110.0
鸟类		9 科 38 种	18 科 51 种	
优势种		雁类	骨顶鸡、扇尾沙雉	
猎获量 (t)		330	130	
水禽物种多样性		1.539	0.987	0.522

资料来源：中国科学院测量与地球物理所，洪湖湿地管理局 历年洪湖综合科学考察报告

^① 湖北日报 2004—2—25

表 4—6：洪湖天然捕获鱼多样性指数变化

年份	1955	1956	1957	1958	1959	1960
多样性指数	2.093	2.853	2.123	2.088	1.978	1.928
年份	61-70	1977	1981	1987	1989	1991
多样性指数	1.938	1.955	1.839	1.951	2.005	1.628

资料来源：胡鸿兴，万晖 著 湖北鸟兽多样性及保护研究 武汉：武汉大学出版社 1995

表 4—7：20 世纪 50 年代以来洪湖捕捞鱼类变化

年代	20 世纪 50 年代	20 世纪 80 年代	20 世纪 90 年代
主要捕捞种类	鲤、鲫、乌鳢等	鲫、黄颡和红鳍原等 3 种	
捕捞产量	1.0×10^4	3000~7000	
鱼获物特征	大中型鱼	小型鱼类	一龄鱼, 20~30g

资料来源：中国科学院测量与地球物理所，洪湖湿地管理局 历年洪湖综合科学考察报告

表 4—8：洪湖湿地黄颡鱼历年平均体长、体重及各龄组比例（胡鸿兴等，1995）

年份 \ 年龄		1	2	3	4
		1982	14.8	27.0	44.2
	体重 (g)	14.8	27.0	44.2	68.0
	体长 (cm)	9.2	11.8	14.5	16.8
	比例 (%)	64.5	22.0	11.5	2.0
1988	11.95	25.62	34.10	47.62	
	体重 (g)	11.95	25.62	34.10	47.62
	体长 (cm)	8.87	10.66	12.24	13.41
	比例 (%)	34.7	39.53	20.76	5.01
1992	10.80	23.70	32.00	45.70	
	体重 (g)	10.80	23.70	32.00	45.70
	体长 (cm)	8.78	10.00	12.10	12.97
	比例 (%)	37.0	35.45	16.65	10.90

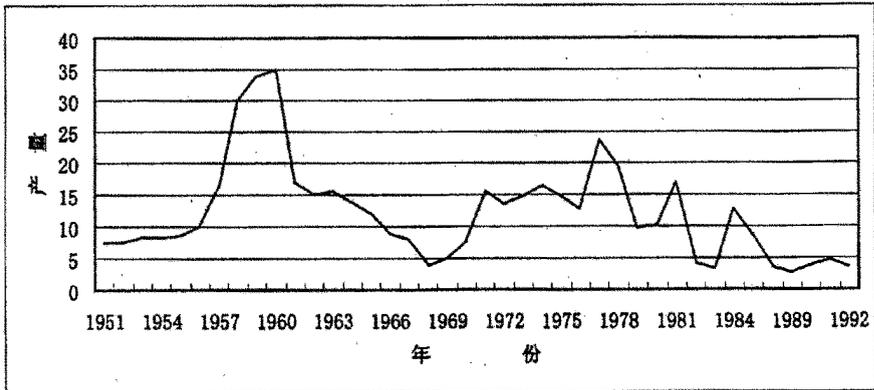


图 4—9：洪湖各年水禽产量变化曲线（产量单位：万公斤）

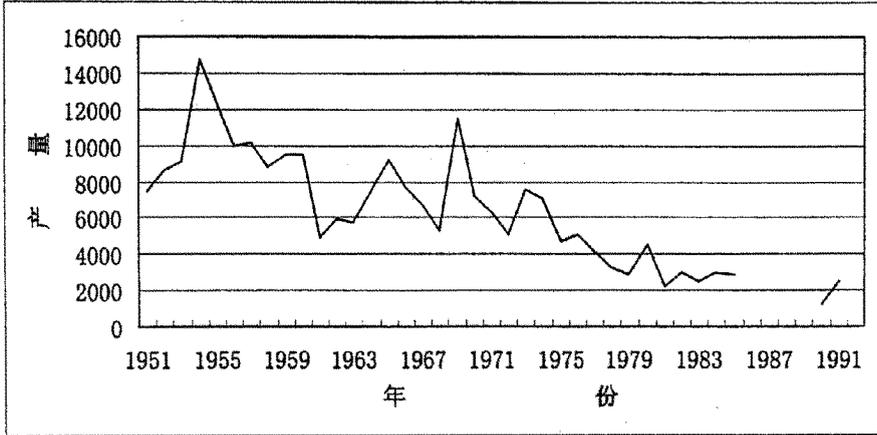


图 4—10：洪湖历年天然鱼捕获量变化曲线（产量单位：吨）

4.2.1.4 湿地生态系统功能退化

洪湖及其子湖的围垦，洪湖与长江的人为阻隔，造成洪湖湿地生态系统结构单一，洪湖湿地生态系统演化有退化的趋向，区域生态环境表现出某种程度的不健康状态，环境稳定性变差，湿地生态环境恶化。自然湿地持续减少，人工湿地面积逐步增加，改变了洪湖湿地的演化趋势，对洪湖湿地的演化产生了巨大影响，使洪湖湿地不稳定性增加，系统变得更加脆弱。围湖造田及湿地的开发，改变了原有的湖沼湿地的生态系统结构，使生态系统结构趋于简单，组成种类趋于单一，生产力降低，湿地生态系统功能减弱。如：洪湖湖沼湿地的主要功能之一是调节区域性洪水过程，通过截留暴雨径流，削弱延缓洪峰流量，起到减少洪涝灾害的作用。由于围垦缩小了湿地和湖沼面积，减少了洪道与湖盆的过水断面，这样湖沼湿地的蓄水能力减弱。

洪湖湿地生态系统功能退化还表现在湿地环境的变化上，挺水植被逐步扩展，呈现出加速沼泽化的趋势（图 4—11，4—12，4—13，4—14，表 4—9，4—10）（俞立中等，1993）。20 世纪 90 年代以前，洪湖沼泽化趋势一度比较明显，成为影响洪湖湖泊湿地演化的重要因子。近年来，通过加大洪湖湿地渔业开发力度和采取有效的调控水位等多种措施，洪湖湿地沼泽化趋势得到极大的扭转，但沼泽化问题仍不可忽视，应尽量避免沼泽化的再度发生，保持湖泊水面的稳定性（Xuelei Wang, 2002）。

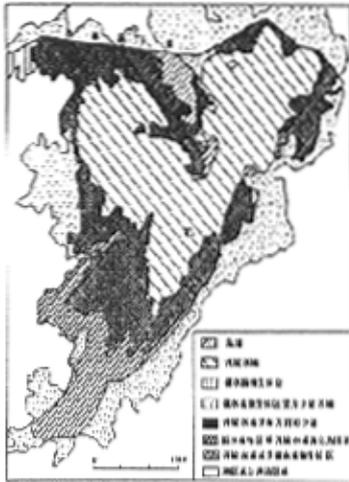


图 4—11: 洪湖环境变化 (1953~1967)



图 4—12: 洪湖环境变化 (1967~1977)



图 4—13: 洪湖环境变化 (1977~1983)



图 4—14: 洪湖环境变化 (1983~1988)

表 4—9: 洪湖湿地环境变化 (1953~1977) 单位: km^2

项目	1953	1967	1977
挺水植物生长区	108.181	219.193	105.361
开放水域	604.244	235.412	250.232
沼泽	12.309	62.155	0.768
封闭小湖		3.827	55.431

表 4—10: 洪湖湿地环境变化 (1976~1988)

单位: km²

项目	1976	1983	1988
挺水植物生长茂盛区	45.884	83.769	93.006
挺水植物生长稀疏区	61.651	75.639	18.010
挺水植物生长收割区			33.574
开放水域	254.864	202.942	218.375
封闭小湖	55.431	55.431	55.431

4.2.1.5 江—湖关系发生变化

洪湖湿地演化与长江关系密切, 研究洪湖与长江的关系对探讨区域湿地保护与管理具有重要意义, 洪湖地区湿地的消长与变化都与长江水文有着密切关系, 只有理清长江水文特征变化与洪湖湿地演化的关系, 才能更好地把握洪湖地区湿地演化规律, 找准湿地生态退化的根本原因, 进而提出适合洪湖区域特色的湿地恢复与重建对策。洪湖作为长江中游的重要湖泊之一, 是分滞长江洪水的重要场所。

1958 年洪湖隔堤建成, 洪湖与长江的水文和生物联系发生巨大变化, 二者之间的物质、能量交换受到阻碍, 导致洪湖湿地面积减少乃至部分湿地消失, 湿地生态功能下降, 使长江的鱼、蟹、鳊等苗种不能进入洪湖, 湖区的鱼不能溯江产卵繁殖, 使水产资源、渔业生产量大大下降。另外, 随着洪湖泥沙淤积逐渐严重, 洪湖湿地的调蓄功能日益减弱。而由于洪湖水体出路堵闭, 来水拦截, 内部淤积, 带来湖区外河水位不断上升, 抬高了整个湖区的水位, 拉长了湖区汛期, 洪涝灾害威胁越来越大 (冉宗植等, 1991)。

4.2.2 南洞庭湖湿地生态退化分析

4.2.2.1 湿地泥沙淤积

南洞庭湖是东、西洞庭湖的连接通道, 承接西洞庭湖和湘江、资水的来水, 泥沙也主要来自西洞庭湖转泻的部分泥沙和沅、资、澧诸水等河流的来沙。由于泥沙大量淤积, 逐渐由量变发展到质变, 调洪削峰作用日益减弱。加上出路堵闭, 来水拦截, 带来湖区外河水位不断上升, 抬高了整个湖区的水位, 造成南洞庭湖湖床抬高, 田面高程相对下降, 形成“垸老田低”的情形, 使地下水位升高, 稻田土壤次生潜育化严重 (窦鸿身等, 2000)。

运用 20 世纪 50 年代、70 年代和 90 年代的南洞庭湖湖底地形图, 利用 GIS 技术对淤积变化进行对比分析 (对比湖域边界以 90 年代范围为准), 发现南洞庭湖在 20 世纪 50 年代至 70 年代平均淤高 0.58m, 淤高速率为 2.52 cm/a; 70 年

代至 90 年代平均淤积高度 0.48m, 淤高速率为 2.29cm/a; 从整个时间段看, 平均淤积高度 1.06m, 淤高速率为 2.41cm/a。泥沙淤积还反映在湖底高程权重变化上(表 4—11), 南洞庭湖湖底 22~26m 高程的面积由 50 年代的 62.93%减少到 70 年代的 48.93%, 90 年代的 35.95%。而湖底大于 26 米高程的面积, 则由 50 年代的 32.68%, 增加到 70 年代的 46.58%, 90 年代的 59.55% (张人权等, 2003)。

表 4—11: 南洞庭湖高程权重 (%) 统计表

高程	Z≤21	21 < Z ≤ 22	22 < Z ≤ 26	> 26	> 29.117
50 年代	3.82	0.56	62.93	32.68	3.15
70 年代	3.48	1.01	48.93	46.58	5.51
90 年代	3.92	0.56	35.95	59.55	9.55

资料来源: 湖南地勘局 三峡工程建成后洞庭湖区地质环境发展趋势分析

南洞庭湖淤积分布特征表现为随着时间发展从西向东、从北向南推移。期间北部淤积厚度大部分为 2~5 米, 厚者可达 7 米以上。而在南部其淤积厚度大部分小于 2 米, 主要分布在万子湖及横岭湖。淤积对南洞庭湖湿地影响是相当明显的, 使区内湖泊面积与容量缩小, 调蓄功能衰退, 抬高水位, 拉长湖区汛期, 湖区洪涝灾害威胁越来越大。而且, 在湿地脱沼泽和半脱沼泽过程中, 地下水位受到地表水的经常补给, 使区内农田继续保持潜育化状态, 并向深层发育, 使土壤的水、肥、气、热矛盾激化, 最终导致湿地土壤结构恶化与破坏, 土地适宜性降低, 给整个湖区农业经济发展带来严重影响^①。

关于泥沙淤积问题, 还应考虑三峡工程的影响。三峡工程建成后, 荆江三口分流分沙形势发生较大变化, 分流量、分沙量都显著降低, 进入南洞庭湖的水沙也会相应减少, 对缓解整个洞庭湖的泥沙淤积速度、减少淤积量, 增加有效防洪湖容有重要意义 (聂芳容, 2001; 童潜明, 2002)。根据湖南省地勘局预测, 南洞庭湖在预测期内 (2010~2034 年) 构造升降速率略小于泥沙淤积速率, 泥沙主要淤积在东西湖、万子湖、沱漣湖等处, 使南洞庭湖湖底平均高程抬升趋势趋缓, 但仍然是抬升的^② (表 4—12)。这将为南洞庭湖自然湿地恢复提供良好的机遇。

表 4—12: 三峡工程前后南洞庭湖湖底高程变化

时间	1952	1975	1995	2010	2034	2081
湖底平均高程(m)	25.21	25.79	26.27	26.34	26.35	26.79
速率 cm/a	2.52	2.29	0.47	0.042	0.936	

^① 湖南省科学技术咨询中心洞庭湖区整治开发规划课题组 湖南省洞庭湖区整治开发规划泥沙防治及利用 (内部资料) 1987

^② 湖南地勘局 洞庭湖区地质环境发展趋势分析 (内部资料) 1998

4.2.2.2 自然湿地面积减少

泥沙淤积造成南洞庭湖天然湖泊湿地面积缩小,这是南洞庭湖湿地面临的重大生态问题之一。随着湖泊泥沙淤积的累积和大规模的围湖筑垸,南洞庭湖自然湖泊湿地遭到大面积的围垦,面积急剧减少(图 4—15, 4—16, 4—17, 4—18, 4—19)。湿地面积变化对湖区产生了较大影响,减少了南洞庭湖的自然调蓄容积,削弱了湿地对洪水的调蓄和缓冲功能,给南洞庭湖湖区带来了一系列的恶果,使自然鱼类栖息空间缩小,水产资源明显下降;湖区大洪涝年份出现机率增大,近 20 年湖区出现大洪涝灾害的频率不断上升,目前已达 40%左右;同时,洪涝受灾害程度加剧,造成的损失增加。

泥沙淤积、围垦和湿地面积减少还使洞庭湖湖口水位上升,据长江流域规划办公室计算,洞庭湖区每围垦滩地 1000km²,在高水位时,湖口城陵矶的水位抬高约 0.3m,南洞庭湖水位也相应抬高。水位的抬升会造成出湖泥沙量减少,湖盆泥沙沉积量增加,人为地扩张湖滩地,加速湖泊本身的萎缩,表现出明显的湖泊沼泽化趋势;水位的升高还使出湖洪峰流量减少,加重湖区防洪负担;还会造成区内内湖面积减少,堤外滩地泥沙沉积量增加,湖区内湖蓄纳溃水能力削弱,增加了湖区防洪的压力和投入,既增加了国家投资和生产成本,又一定程度上加重了湖区排涝的负担。

4.2.2.3 湿地生物多样性降低

南洞庭湖湿地是水禽的重要栖息地,保持一定数量的湿地面积对于南洞庭湖地区的大量水禽和水生动植物有重要意义。然而,由于对洞庭湖湿地资源不合理的开发利用,对湿地的管理“失效”,以及泥沙过多淤积等,改变了湖区湿地生态和水禽栖息环境,进而影响南洞庭湖洪湖湿地动植物的生存、生长与繁殖,影响湿地水禽的栖息、繁殖和越冬,使在此栖息的水禽无论从种类上,还是从数量上都呈现下降趋势,使湿地生物种群组成和优势种发生变化,造成一些生物不能适应生存环境而退出南洞庭湖湖区,有些物种甚至有可能最终灭绝。大通湖水生植物多样性变化反映了这一点(简永兴等, 2002)(表 4—13)。

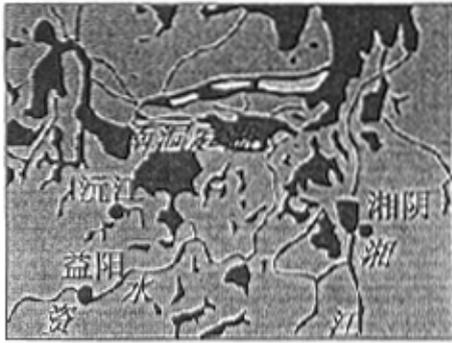


图 4—15: 20 世纪 20、30 年代南洞庭湖水面



图 4—16: 20 世纪 50 年代南洞庭湖水面



图 4—17: 20 世纪 70 年代南洞庭湖水面



图 4—18: 20 世纪 80 年代南洞庭湖水面

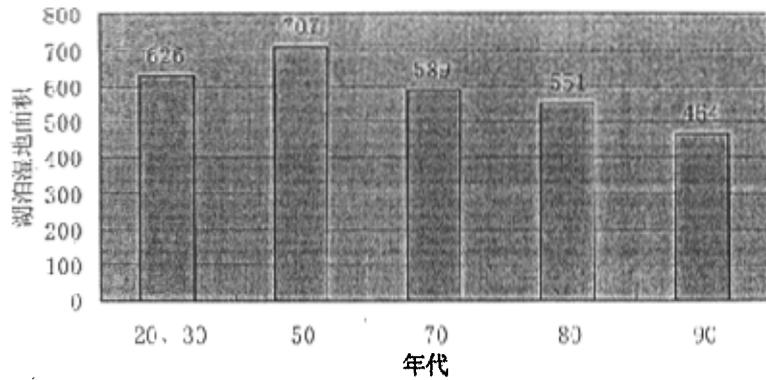


图 4—19: 20 世纪南洞庭湖湖泊湿地面积变化 (单位: km²)
根据湖南省南洞庭湖湿地和水禽自然保护区综合考察报告数据整理而成

表 4—13: 南洞庭湖大通湖水生植物多样性变化 (简永兴等, 2002)

	20 世纪 70 年代初	2000 年	变化量
水生植被覆盖率 (%)	70	10.60	-59.40
狭义水生植物种数 (种)	28	19	-9
群丛类型数 (个)	11	6	-5

南洞庭湖区的许多野生动物都具有相当高的经济价值,但多年来由于人类不合理的开发利用和过度的捕猎使许多野生动物遭到了毁灭性的破坏。目前渔民的网具无奇不有,有害渔具遍布洞庭湖,每到渔汛期,外来渔民大量涌入,增大了捕捞密度,形成了掠夺式经营的局面,导致鱼类产量和数量急剧减少,中华鲟、江豚等珍贵鱼类几乎绝迹;对鸟类的过度捕猎、捡拾鸟蛋的现象在南洞庭湖湖区还很严重,特别是在迁徙季节使用排铳、地枪、毒杀等方式和手段进行猎取,导致鸟类种类和数量急剧减少。半个世纪以来,湖区鸭科种类已由 20 世纪 50 年代的 31 种减为目前的 25 种;鱼类年均捕捞量也由 20 世纪 50 年代的 3×10^4 吨/年,下降到目前的 1.10×10^4 吨/年,并且鱼类小型化现象严重,经济鱼类比重减少,经济效益逐年下降。据笔者 2003 年调查,南洞庭湖区域“迷魂阵”比较普遍。“迷魂阵”一次捕获小鱼成千上万,对鱼类资源有着极其严重的破坏作用。这样下去,不但水禽的食物减少,种群数量降低,而且会使洞庭湖的生物结构发生巨大变化,向着不利人们生活的方向发展。

4.2.2.4 环境污染, 湿地生态功能衰退

一方面由于大面积开发湿地,围垦湖泊,造成南洞庭湖湿地的净化能力受到影响,甚至出现下降;另一方面,则是湖区工农业生产排放的污染物使湿地发生污染,湿地生态系统逐渐恶化。只不过,由于南洞庭湖换水周期较短,污染物富积程度尚不十分严重,但到换水周期较长的枯水季节,南洞庭湖污染仍不可忽视。

据湖南省洞庭湖环境保护监测站的调查,环湖工业污染,每年排放到南洞庭湖的工业废水达 24000 吨,远超出南洞庭湖的自然净化能力,直接威胁鱼类的安全以及鸟类的食物、栖息地,给湿地生态系统造成污染,并使其生态功能严重衰退,野生动植物种类和数量急剧减少。

另外,南洞庭湖湿地还存在湿地水位上升、渍涝灾害加重、钉螺繁生、血吸虫病严重、人工湿地生态恶化等问题。

总之,南洞庭湖湿地生态面临着严重威胁,伴随着南洞庭湖及其周围子湖的围垦,污染问题的日益突出和生物栖息地的减少,湿地生物多样性降低,使南洞庭湖湿地生态系统结构趋于单一,生态系统演化有退化的趋向,环境稳定性变差,湿地生态环境恶化。表现为自然湿地持续减少,人工湿地面积逐步增加,改变了南洞庭湖湿地的自然演化趋势,使南洞庭湖湿地生态系统的不稳定性增加,系统变得更加脆弱。

4.3 两湖平原湿地生态系统退化原因分析

湿地生态系统退化原因与前述的退化特征与态势是密切相关的,在本章前面对两湖平原湿地退化特征的论述中都带有一定的原因分析,这里仅进行一下归纳,不再展开。

两湖平原湿地生态出现种种问题,原因是多方面的,是人类活动和自然演变的综合效应,是自然因素和人为因素影响叠加的结果,其中人为因素起主导作用。人口压力的增大,对湿地的价值缺乏公共和政策性知识,缺乏对湿地保护的政策愿望,造成湿地生态系统退化(任宪友等,2004)。人类活动的影响对湿地的形成与消失异常强烈,严重影响着湿地的形成与发展。当前,人为原因对两湖平原湿地生态系统的影响愈来愈显著,随着人类向区域湿地自然环境索取能力的增强,人类活动通过叠加在自然变化背景上的影响程度日趋增强,已成为两湖平原湿地生态退化的主导力量,给两湖平原湿地生态演化带来了重大影响,改变了湿地生态系统的结构和功能,使系统正常的物质、能量和信息流动与传递受到影响,制约了两湖平原湿地生态系统的正常演化,如围湖造田、环境污染、江湖阻隔等。事实上,当某些不利因素(干扰)对湿地生态系统的作用超过生态系统自身的调节能力时,生态系统就会出现退化现象。

4.3.1 自然因素

在湿地生态系统中,无论是生产者、消费者,还是分解者,它们的生存和生活均与栖息地的土质、温度、降水、风力等自然因素密切相关。自然因子的改变可能会破坏湿地生态系统生存空间、土壤肥力,造成湿地面积萎缩、土壤退化、生物种类和数量减少,生态系统的功能丧失,系统生产力下降。稳定的生态系统一旦被破坏,就可能长时间内无法恢复。影响两湖平原湿地生态系统退化的自然因子主要有地貌因子、气候因子和水文因子。

4.3.1.1 地貌因子

两湖平原地势平坦,湖泊密布、河网交织、堤垸纵横。由于河流泛滥冲积作用和人类活动的影响,地表略有起伏,在地势低洼地带,形成湖沼洼地湿地。由于地势低洼,荆江段已经形成“地上河”,两湖平原则成为区域受水地带,是荆江洪水的“调蓄池”和天然调节器。两湖平原湿地独特的地貌类型及其地貌过程,当然也就为该区域泥沙淤积、天然湿地面积减少和洪涝灾害的频繁发生提供了有利的地貌条件。同时,两湖平原在地质构造运动中长期处于不均匀运动状态,也会造成两湖平原湿地脆弱的生态环境,使湿地生态发生退化。

4.3.1.2 气候因子

两湖平原湖区位于典型的亚热带季风区,受东南季风、西南季风、副热带高压及西风带环流综合影响,天气系统不稳定特征明显,暴雨、旱灾等发生频率较

高。多年数据显示，两湖平原湿地区域年降雨量在 1000~1400mm，主要集中在 5~9 月，占全年的 70%左右。此一时期，往往由于雨量过于集中，频频发生暴雨，使得洪涝灾害出现几率大。而旱灾往往发生在冬春季节。

4.3.1.3 水文因子

水文因子包括地表水系和地下水系对湿地生态系统影响的因素。两湖平原河湖网密布，水资源丰富，地表径流量大，但由于降水的时空分布不均，地表径流量不稳定，常常造成地表径流集中而形成洪涝灾害，来水不足而形成干旱威胁，尤其是春旱。平坦开阔的两湖平原四面环山，两湖平原境内水系多发育于山区，地表径流从上游地区带来的泥沙淤积在两湖平原湿地区域，改变了两湖平原的水系格局。而湖泊还存在着自然演替过程，易导致水域环境的异变，如湖底高出垸田，垸内易积水成泽；湖盆变浅，水位壅高；洪道淤塞，过水断面缩小等。地下水系受到区域微地貌形态和境内外河流、湖泊水系补给关系的影响，两湖平原湖区地下水位埋深较浅，易造成土壤渍害化。因此，地表水系和地下水系的影响常常造成两湖平原湿地生态系统的稳定性。

4.3.2 人为干扰

人是生态系统中最活跃、最积极的因素。随着科技的进步、生产力的发展、社会需求的增加，人类以不同的方式愈来愈强烈地干扰着湿地生态系统的稳态，但湿地生态系统退化反过来又会最终影响到人类自身的生存与发展。人类对湿地生态系统的干扰方式多种多样，使湿地生态系统的结构和功能发生了较大的影响，造成生态系统出现结构性或功能性失衡，湿地生态不能正常演化，出现退化的特征。所谓湿地生态系统结构性失衡，是指在人类活动的干扰下，湿地生态系统结构发生变化，即由于人类对自然资源环境的无度索取，引起湿地生态系统结构变化。如乱捕滥猎、围湖造田等，造成湿地生态系统的结构性失衡。而湿地生态系统功能性失衡，则是指人类活动对湿地生态系统功能的干扰，即由于大量工业和生活废弃物排入自然界，改变了原有的生态系统自我调节、自我净化的能力，造成了生态系统的功能性失衡。针对两湖平原湿地退化实际，人为因素主要有：

4.3.2.1 围湖造田与围网养鱼

围湖造田是造成两湖平原湿地面积减少的主要原因。围湖造田历史悠久，自南宋就已开始，20 世纪 50 年代以来，随着人口的增加，人地矛盾突出，在当时“以粮为纲”思想指导下，两湖平原湿地遭到大面积的围垦，使湿地面积急剧减少，具体数字前已述及，不再赘述。围湖垦殖，导致两湖地区河湖系统紊乱，内蓄外排比例失调，渍涝不断，引起种、养、蓄、运之间的矛盾（张家玉，1990）。

围网养鱼是 80 年代后在江汉平原湖泊湿地广泛出现的一种现象，恶化了湖区水质，影响到湿地生物多样性。由于过量放养草食性鱼类，水生植被被彻底破

坏, 出现水体荒漠化。在水体食物链中, 初级生产力这一能量和物质输入的环节被阻断, 天然水生生物资源贫乏, 必须要有人类长期的物质输入才能维持一个简单的鱼类区系及湖泊湿地生态系统的物质能量平衡。但这同时又会导致湖泊的富营养化现象。据初步估算, 洪湖湖面至少一半以上被围养。以 DO 为例, 20 世纪 90 年代以来, 其含量与围网面积呈明显的负相关 (图 4—20)。因为, 随着围网的扩大, 水草资源遭到破坏, 而植物光合作用会使水中 DO 含量增高。

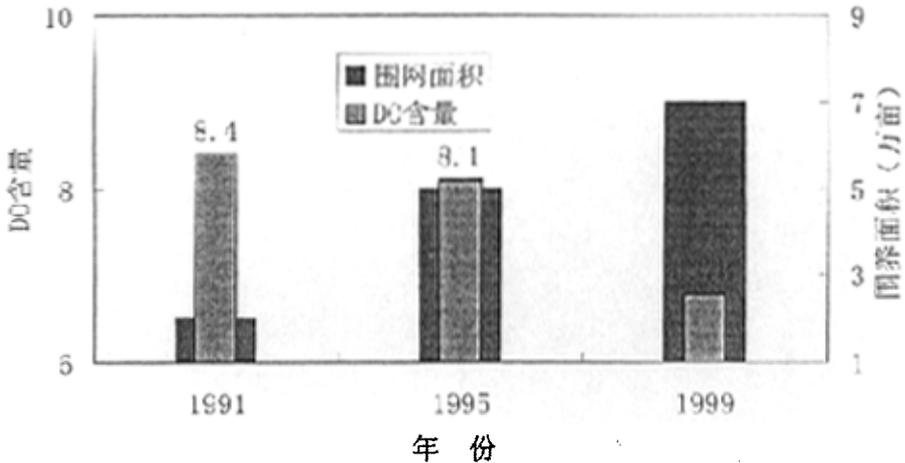


图 4—20: 洪湖 DO 含量与围网面积相关示意图

4.3.2.2 污染物排放

两湖平原人口密度较大, 是湖北、湖南省经济发达地区, 工业企业 (特别是乡镇企业) 较为发达。乡镇企业往往带来超标污染物排放, 尤其是一些“十五小”企业, 如小造纸, 对整个流域湿地的污染更是严重; 两湖平原是我国重要的粮食生产基地, 农业生产中大量使用农药、化肥, 影响了本区湿地质量, 而且对湖泊水质也造成较大影响; 还有城市污水的排放问题, 随着两湖平原城市化进程加速、城市人口的增加, 其对湿地生态造成的环境污染也不容忽视。对于湖泊湿地来说, 上述污染物的排放加上规模化的湖泊养殖所带来的湖泊污染和富营养化问题日趋严重, 使两湖平原湿地生态系统和湿地功能受到破坏。

4.3.2.3 不合理工程影响

大型工程建设必须进行环境影响评价是近 20 年开始实施的一项措施, 在此之前许多工程是很少考虑环境影响的, 以至于一些工程由于设计、运行的不合理, 对生态环境造成一定的负面影响。在两湖平原湿地区, 这类工程主要有水利工程环境影响靠不周、交通道路选线不当等, 甚至一些生态工程也由于现实的原因对湿地生态造成一定的影响。如水利工程项目多以防洪除涝为目的, 由于修建时对湿地价值认识还不充分, 对湿地保护考虑不够, 以致一些工程在给人们带来较大社会经济效益的同时, 也对区内湿地生态产生了重大影响, 使湿地被疏干, 面积

萎缩。

另外,造成两湖平原湿地生态退化的原因还有对湿地的价值缺乏必要的公共和政策性知识,湿地保护机构不健全,组织决策分散,缺乏对湿地环境影响评价的应用及成本效益分析,对保护生态环境重要性认识不足等方面。开发指导思想存在重开发、轻保护的误区,缺乏受训的管理人员。

4.4 两湖平原湿地生态稳定性分析

系统稳定性反映系统抵抗外界干扰能力和系统的脆弱程度。系统稳定性本质上是系统各要素的稳定性。两湖平原湿地系统是由自然湿地生态系统和人工湿地生态系统组成的复杂的、开放的巨系统,其稳定性取决于系统自身的稳定性强度和来自系统以外的所有因素的干扰强度。分析两湖平原湿地生态系统的稳定性,对理解和正确认识两湖平原湿地退化,探讨湿地生态退化的原因,都有重要意义。当然,由于两湖平原湿地生态系统不仅有一般生态稳定性特征和固有属性,而且更具有河湖湿地生态系统的个别属性;不仅具有系统内部机理作用引起的缓慢自然演变,更有系统外部环境变化引起的非线性、非渐变等叠置作用,人们很难用单个要素指标把整个湿地生态系统稳定性完整地描绘出来。这里以两湖平原典型湿地——洪湖湿地为例,从平原湿地景观格局和生态稳定性两方面来讨论湿地生态的稳定性,以期能对分析湿地退化原因和恢复对策提供可靠依据。

4.4.1 湿地景观格局分析

4.4.1.1 分析方法

景观空间格局与异质性定量描述是分析景观结构、功能及过程的基础。通过景观格局分析可以把景观的空间特征与时间过程联系起来,较为清楚地对景观内在规律性进行分析和描述。为了更好地反映洪湖湿地景观格局变化,在对江汉平原湿地遥感监测的基础上,又选择洪湖湿地进行景观格局分析,以更好地理解形成和控制湿地景观空间格局的因子和机制,深刻把握洪湖湿地景观过程(陈康娟等,2002;王学雷等,2001)。

根据遥感图像解译结果,绘出洪湖湿地类型图(图4—21),统计出洪湖湿地各类湿地景观类型的面积、周长和斑块数(表4—14),并应用相应的公式,计算出洪湖湿地各项景观格局指数(表4—15)。

(1) 景观多样性指数(H)

H值大小反映景观要素多少和各景观要素所占比例的变化。计算公式如下:

$$H = -\sum_{k=1}^m [p_k \ln(p_k)]$$

式中, p_k 是k种景观类型占总面积的比,m是研究区中景观类型的总数。



图 4—21：洪湖湿地分类分布图

(2) 优势度指数 (D)

优势度指数表示景观多样性对最大多样性的偏离程度，或描述景观由少数几个主要的景观类型控制的程度。计算公式为：

$$D = H_{\max} + \sum_{k=1}^m [p_k \ln(p_k)]$$

$$H_{\max} = \ln(m),$$

p_k 、 m 同上， H_{\max} 为研究区各类型景观所占比例相等时，景观最大多样性指数。

(3) 均匀度指数

均匀度是描述景观里不同景观类型的分配均匀程度。Romme 相对均匀度计算公式为：

$$E = (D/H_{\max}) \times 100\%$$

式中， E 是均匀度指数（百分数）， D 是修正了的 Simpson 指数， H_{\max} 是在给定丰富度条件下景观最大可能均匀度。 H 和 H_{\max} 计算公式为：

$$D = H_{\max} + \sum_{k=1}^m [p_k \ln(p_k)]$$

$$H_{\max} = \ln(m)$$

p_k 和 m 的定义同上；均匀度和优势度一样，也是描述景观由少数几个主要景观类型控制的程度。这两个指数可以彼此验证。

(4) 景观破碎度

描述景观被分割的破碎程度。计算公式为：

$$FS = 1 - \frac{1}{R}$$

$$R = \sum_{k=1}^n \left[\frac{p_k}{\sqrt{2\pi * a_k}} \left[\frac{a_k}{A_k} \right] \right]$$

其中, $\frac{a_k}{A_k}$ 为单个斑块面积与所有斑块面积的比值。

表 4—14: 洪湖各类湿地景观类型统计表

类型	湿地景观类型的面积 (km ²)	面积所占比例 (%)	各类湿地周长 (km)	斑块个数	斑块数所占比例 (%)
鱼池	544.5543	21.86	2011.940	223	21.28
湖泊	231.8640	9.31	277.298	8	0.76
水稻田	484.8398	19.46	3368.261	546	52.10
人工沟渠	8.9238	0.36	150.964	3	0.29
莲藕池	69.9061	2.81	439.836	108	10.31
河流	138.0914	5.54	555.889	6	0.57
河流滩地	77.6924	3.12	334.246	22	2.10
城镇	37.2134	1.49	238.950	30	2.86
库塘	0.2781	0.01	3.543	3	0.29
旱地	791.7997	31.79	3614.571	83	7.92
湖泊滩地	105.8898	4.25	407.970	16	1.52

表 4—15: 湿地景观格局指数

景观格局指数	景观多样性指数 (H)	最大多样性指数 (H _{max})	优势度指数 (D)	均匀度指数 (E)	景观破碎度 (FS)
总计数值	2.629	3.459	0.830	0.667	0.4207

4.4.1.2 景观格局结果分析

根据景观多样性的生态意义,景观由单一要素构成(均质)时,多样性指数为0;由两个以上的要素构成的景观,当各景观类型所占比例相等时,其景观的多样性为最高;景观多样性指数随各景观类型比例差异的增大而下降。洪湖湿地景观多样性指数为2.629,最大多样性指数为3.459,说明按照确定的湿地景观类型,各类湿地景观所占比例有一定差异,多样性偏低。

从优势度指数来看,优势度指数越大,表明偏离程度越大,即组成景观各景观类型所占比例差异大,或者说某一种或少数景观类型占优势;优势度小则表明偏离程度小,即组成景观的各种景观类型所占比例大致相当;优势度为0,表示组成景观各种景观类型所占比例相等,景观完全均质,即由一种景观类型组成。洪湖湿地优势度指数为0.830,说明组成景观的各类景观类型所占比例相差较

大，少数景观类型占优势。

均匀度指数也是描述景观由少数几个主要景观类型控制的程度。本区的均匀度指数为 0.667，说明本区的均匀度不高，景观为少数类型所控制。鱼池、水稻田、湖泊在整个洪湖湿地景观中占有控制地位，它们所占面积分别为：21.86%、19.46%、9.31%，构成洪湖湿地景观主体。

通过上述三个指标分析，可以看出，洪湖湿地是少数几种湿地类型为主的湿地区域，各类型湿地所占比例差别较大。这与洪湖当地的实际是相符的。由于围垦和渔业养殖的发展，湖泊滩地和河流滩地面积减少较快，水稻田和鱼池面积较大，占有控制地位。

景观形状破碎化指数 $FS \in (0, 1)$ ，0 表示景观没有被破坏，1 表示景观被完全破坏。一般认为，人类不合理活动的干扰会加剧景观破碎化进程。景观破碎化不仅导致生物多样性丧失，也会破坏土地利用景观稳定性，降低土地利用的持续性。洪湖湿地景观破碎度为 0.4207，说明在人类活动的干扰下，洪湖湿地景观已经遭到一定程度的破坏，呈现出一定的生态不稳定性，形势不容乐观。

4.4.2 湿地生态稳定性分析

4.4.2.1 分析方法——层次分析法

层次分析法 (AHP) 是 20 世纪 70 年代提出、现已较为成熟的研究方法。所谓层次分析法是指将一个复杂的多目标决策问题作为一个系统，将目标分解为多个分目标或准则，进而分解为多指标的若干层次，通过定性指标模糊量化方法算出层次单排序和总排序，以此作为多指标优化决策的系统方法。其优点在于：(1) 能使复杂的系统问题，通过绘出层次结构图，使问题结构化、条理清晰、形象直观，便于讨论和修改；(2) 使多指标决策问题在考虑问题时尽可能全面周到、统筹兼顾；(3) 能将定性的问题通过专家咨询等模糊量化，使科学决策的空间更加广阔；(4) 能有效利用计算机的计算功能。

运用层次分析法确定权重系数大体可分为四个步骤：①建立复杂问题的递阶层次结构。②构造两两比较的判断矩阵。③判断矩阵单排序，即本层次某元素对上一层次重要性次序的权值。④计算各层元素的组合权重，即层次总排序。

其中②是将人的比较判断量化的过程，受人的主观因素影响很大。而判断矩阵又是计算权重的根据，是唯一的信息来源，对最终结果有决定性影响。因此，构造判断矩阵是 AHP 中非常重要的一步。判断矩阵是指某一指标层面上各元素之间相互重要性量化判断所构成的方阵。判断矩阵元素量化标度可分为 9 级，如表 4—16 所示。

表 4—16: 判断矩阵标度准则

行与列权衡	标度	行与列权衡	标度
B_i 与 B_j 同等重要	$B_{ij}=1$	B_i 与 B_j 同等重要	$B_{ij}=1$
B_i 比 B_j 稍重要	$B_{ij}=3$	B_i 比 B_j 稍差些	$B_{ij}=1/3$
B_i 比 B_j 明显重要	$B_{ij}=5$	B_i 比 B_j 明显差	$B_{ij}=1/5$
B_i 比 B_j 重要得多	$B_{ij}=7$	B_i 比 B_j 差得多	$B_{ij}=1/7$
B_i 比 B_j 绝对重要	$B_{ij}=9$	B_i 比 B_j 绝对差	$B_{ij}=1/9$

由两两比较判断的方式导出各因素相对于某一属性的排序是 AHP 的特色。在调查表中要设计好含意清楚、明确的表格，咨询时专家要反复回答问题：针对准则 A 的两个元素 b_i 与 b_j 哪一个更重要，重要多少，并按 1~9 比例标度对重要性程度赋值。由于矩阵具有互反性的特点，每位专家只需做出 $n(n-1)/2$ 次判断即可。在调查中，将空白判断矩阵发给每一位专家进行打分。回收后对不同专家意见进行数学综合，构成判断矩阵。

判断矩阵单排序，是指本层次某元素对上一层次重要性次序的权值。设 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 为某层次判断矩阵 B 的特征向量，若满足

$$BW = \lambda_{\max} W$$

称为该层次单排序。式中 λ_{\max} 为矩阵 B 的最大特征根：

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \sum_{i=1}^n [(BW)_i / nW_i]$$

特征向量 W 的计算方法很多，比较常用的是方根法。其使用方法为：给定判断矩阵 $b = (b_{ij})_{n \times n}$ ，求几何平均值：

$$M_i = \left[\prod_{j=1}^n b_{ij} \right]^{1/n}, \quad i=1, 2, \dots, n$$

对向量 $M = (M_1, M_2, \dots, M_n)$ 进行规范化处理：

$$W_i = M_i / \sum_{i=1}^n M_i, \quad 0 \leq W_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^n W_i = 1$$

则 $W_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为矩阵 B 的特征向量。

在咨询中允许专家做出违反常识的判断，允许出现判断的不一致性。例如专家做出这样的判断：A 比 B 重要，B 比 C 重要，而 C 又比 A 重要，这称为次序不一致性。又如 A 比 B 重要 3 倍，A 比 C 重要 3 倍，而 B 又比 C 重要 5 倍，这称为

基本不一致性。所以允许出现上述两种不一致性，一方面是由于客观世界的复杂性和人们认识的多样性；另一方面是由于 n 个元素两两比较时无固定的参照物。但是要求判断矩阵有大体的一致性却是应该的，即需要进行一致性检验。

检验判断矩阵是否一致，用两种指标进行检验： $C \cdot I$ 与 $C \cdot R$ 。 $C \cdot I$ 称为判断矩阵偏离一致性指标：

$$C \cdot I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

当 $\lambda_{\max} = n$ 时， $C \cdot I = 0$ ，表示判断矩阵具有完全的一致性。 $C \cdot I > 0$ 时，需要用 $C \cdot R$ 检验后才能有结论。

$C \cdot R$ 称为判断矩阵随机一致性指标：

$$C \cdot R = \frac{C \cdot I}{R \cdot I}$$

式中 $R \cdot I$ 为平均一致性指标，可查表（表 4—17）得到。

表 4—17: $R \cdot I$ 数值

判断矩阵维数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R \cdot I$	0	0	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当 $C \cdot R = 0$ 时，判断矩阵具有完全一致性；

当 $C \cdot R < 0.1$ 时，判断矩阵有满意的随机一致性；

当 $C \cdot R > 0.1$ 时，判断矩阵应再进行调整。

在此之后，如符合一致性要求，便可进行层次总排序。

4.4.2.2 生态稳定性评价

将洪湖湿地生态系统稳定性指标分为三个层次，第一层就是湿地稳定性；第二层次有 3 个指标——功能、环境和人为指标，第三层次有 14 个指标，如表 4—18 所示。然后分层建立比较判断矩阵。

根据专家反馈的调查表统计数据，可建立目标层与准则层判断矩阵（限于篇幅，不一一列出）。在求得各层次的相对权重以后，最终求出各稳定性评价因子的权重的总排序结果。同时，从对洪湖湿地当前系统稳定性的综合影响的角度，对每一个评价因子进行赋值（ V_i ）。由于许多评价指标难以定量或目前无法定量，采用专家打分的方法确定其等级值（ V_i ）。这里将各项指标分出 10 个稳定等级（表 4—19），从 1 到 10 表示稳定性越来越高。最后对各指标加权求和，所得结果即为洪湖湿地当前系统稳定性程度，公式为：

$$R = \sum_{i=1}^m W_i \times V_i$$

其中 m 为评价指标个数， V_i 为对洪湖湿地系统稳定性的赋值。

表 4—18: 湿地生态系统稳定性指标

目标层 A	准则层 C	子准则层 P.	
洪湖湿地生态稳定性	C1: 湿地功能指标	P ₁₁	湿地调蓄能力
		P ₁₂	湿地净化能力
		P ₁₃	气候调节能力
		P ₁₄	湿地生物多样性维系能力
	C2: 湿地环境指标	P ₂₁	湿地景观格局
		P ₂₂	区域微地貌条件
		P ₂₃	湿地区域气候
		P ₂₄	土地利用结构
		P ₂₅	湿地水质
		P ₂₆	旱涝灾害系数
	C3: 人为影响指标	P ₃₁	人口密度
		P ₃₂	区域经济发展规模
		P ₃₃	城镇化水平
		P ₃₄	政策法规

表 4—19: 层次总排序及稳定性赋值

层次 A	C ₁	C ₂	C ₃	P 层次总排序结果 W _i	稳定性赋值 V _i
层次 P	0.163	0.540	0.297		
P ₁₁	0.436			0.071	6
P ₁₂	0.217			0.035	5
P ₁₃	0.060			0.011	8
P ₁₄	0.287			0.047	6
P ₂₁		0.219		0.118	5
P ₂₂		0.069		0.037	8
P ₂₃		0.067		0.036	7
P ₂₄		0.126		0.068	6
P ₂₅		0.265		0.143	6
P ₂₆		0.254		0.137	5
P ₃₁			0.099	0.029	8
P ₃₂			0.104	0.031	8
P ₃₃			0.185	0.055	8
P ₃₄			0.612	0.182	5

可以看出, 人为原因是影响洪湖湿地系统稳定性的最重要因素, 20 世纪 50 年代以来, 洪湖湿地在面积和类型方面发生的每一次重大变化无不与人类活动密

切相关；目前，洪湖湿地景观稳定程度为 5.9，为中度稳定，湿地生态系统抵抗外界干扰的能力不是很强，存在着明显的退化威胁，在洪湖湿地的开发和保护过程中应研究如何加强正向演替，尽量减少逆向演替。

4.5 小结

本章首先对两湖平原湿地生态退化态势进行了分析，特别是对典型湿地——南洞庭湖和洪湖湿地生态退化进行了较为详细的论述，认为湿地退化主要表现在自然湿地面积减少、湿地水质污染、生物多样性降低等方面。然后，文章针对两湖平原湿地生态退化从自然和人为因素两方面进行了初步的原因分析，并应用景观生态分析法和层次分析法讨论了典型湿地景观格局变化及生态稳定性，认为研究区湿地生态处于中度稳定状态，但在向脆弱和破碎方向演化。正是在这样的背景下，两湖平原湿地生态恢复示范项目——洪湖和南洞庭湖湿地恢复项目得以立项、规划和实施。

第五章 两湖平原湿地生态恢复对策与设计

湿地是地球上独特的生态系统,其功能和价值已为许多学者所讨论研究。由于近代以来人口快速增长、经济不断发展,人类对湿地生态造成的压力越来越大,使湿地生态特征发生了明显的变化,合理利用、保护湿地和有效恢复退化湿地生态系统已成为多方关注的焦点,采取的实际行动也多种多样,如设立自然保护区,严格控制湿地开垦,依法保护和利用湿地,湿地生态恢复工程等。但由于对湿地认识不到位、管理不完善、恢复能力不足、湿地法规不健全等因素的影响,目前世界上仍有许多湿地遭到破坏和丧失。目前,美国、加拿大等许多国家已将湿地“没有净损失”作为国家湿地保护与恢复的目标,通过湿地生态恢复、重建以及调整来增加或平衡湿地。

5.1 两湖平原湿地生态恢复示范项目区介绍

在人为和自然干扰下,两湖平原湿地生态发生退化是不争的事实,而生态退化给两湖平原可持续发展带来了极大的不利影响。为了保护两湖平原湿地环境和生物多样性,维护湿地自然生态系统生态特性和功能,最大限度地发挥湿地生态系统的多种功能和效益,保护湿地资源可持续利用,建设一个稳定、健康、功能多样的湿地生态系统,针对两湖平原湿地生态实际,实施湿地生态恢复战略,成为必然选择。为了将湿地生态恢复实施好,使恢复取得良好的效果,国家有关部门先后在该区域设置了一系列自然保护区,并在洪湖和南洞庭湖实施湿地生态恢复示范项目,以期通过典型湿地生态系统的恢复研究与实践,积累经验,摸索适合当地湿地生态特点的恢复模式,进而带动两湖平原整个区域湿地保护与恢复工作的进一步开展。

洪湖和南洞庭湖湿地自然保护区生态恢复项目于2003年全面启动,项目选择中国科学院测量与地球物理研究所、湖北省环境与灾害监测与评估重点实验室为科技支撑单位,主要负责湿地恢复工程项目中湿地恢复的技术手段和方法的分析与效益评价。为了更好地完成上述任务,课题组对上述两个典型湿地区域生态演化进行了长期跟踪调查与研究,多次到实地进行生态取样和实验,获取了大量的、动态的和连续的湿地生态变化信息。在占有大量资料的基础上,结合保护区湿地生态实际,对南洞庭湖和洪湖保护区湿地生态恢复进行了对策研究与生态设计,用以指导湿地生态恢复实践,真正承担起为湿地生态恢复工程提供科技支撑和方法支持的责任。

5.1.1 洪湖湿地自然保护区简介

洪湖湿地自然保护区位于湖北省中南部,是湖北省最大的湖泊湿地类型的自然保护区(图5—1)。洪湖系长江和汉水支流东荆河之间的大型浅水洼地壅塞湖,

中心位于北纬 $29^{\circ} 49'$ ，东经 $113^{\circ} 17'$ ，东西长 23.4km，南北宽 20.8km，岸线长度 104.5km，岸线发展系数为 1.56，现存湖泊面积 344km^2 。其中，保护区面积为 37088hm^2 。

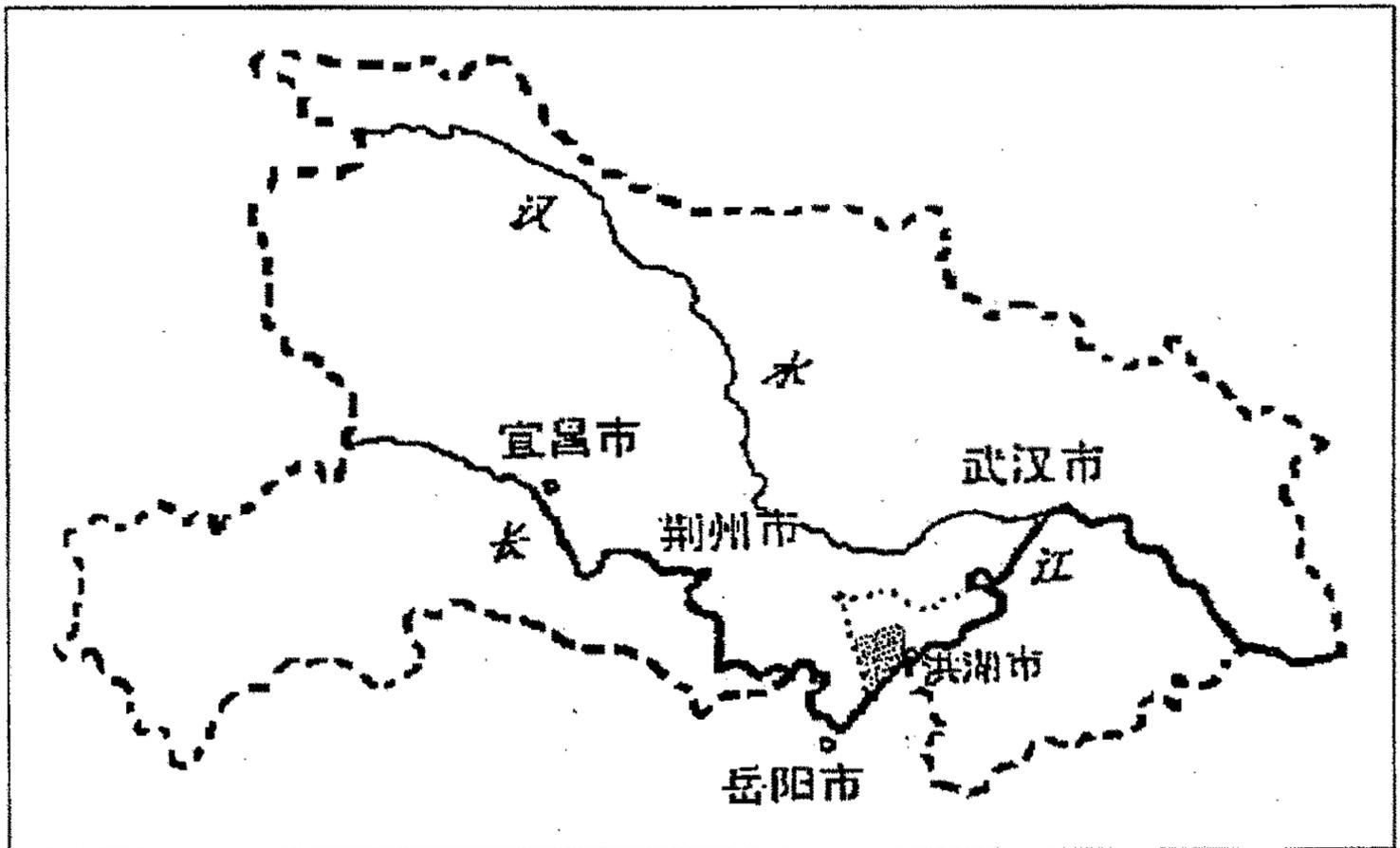


图 5—1：洪湖湿地自然保护区位置图（图中阴影部分）

洪湖湿地保护区地貌类型比较单一，主要是冲积、湖积平原，由一系列河间洼地组成，微地貌形态分异比较明显，既有沿江高亢平原也有河间低湿平原。洪湖所在的四湖地区是长江和东荆河之间的河间洼地，洼地两侧为河流沉积物、天然堤或人工堤堆积，中间洼地处潜水不畅，雍塞成湖。河间低湿平原是洪湖自然保护区主要的地貌类型，其内部又为湖泊和湖垸所构成，湖泊所占的面积是保护区总面积的 82%。

洪湖是江汉平原四湖流域地势最低、面积最大的湖泊，以调蓄洪水为主，兼有灌溉、养殖、航运、旅游等多项功能。洪湖汇水面积广阔，西北部至长湖边缘，北部达到峰口至老新口一线，南以荆江大堤、洪湖大堤为界。区域内地形平坦，地面海拔一般在 24~28m 之间，自西北略向东南倾斜。湖区的地面径流主要通过四湖总干渠汇入洪湖，然后经若干涵闸向长江进行排蓄。洪湖多年平均入湖水量 $19.6 \times 10^8 \text{m}^3$ ，年平均最大水位变幅为 24.0~26.5m，洪湖水位的涨落变化，主要取决于四湖流域降水与上游地区的来水；由于江湖隔断，洪湖水位变化趋向平缓，一般年份的水位差在 2m 左右，而在出现严重洪涝年份，最高水位在 27m 以上，年内水位差则超过 3m。

洪湖湿地地势低洼，三面临水，分别由长江、汉水和东荆河环绕。每年 5~

10 月为江水上涨期,大部分地面高程低于江河水位,其中 5~8 月大部分地面径流不能自排入江。在江河涨水时期,流域内正值雨季,大暴雨多出现在 5~8 月份,而且往往强度大,范围广,降雨过程长。这样,洪湖流域经常形成外洪内涝,成为长江中游地区名副其实的“水袋子”。

洪湖湿地自然保护区属于北亚热带湿润季风气候,四季分明,冬季寒冷干燥,盛行东北季风;夏季气候炎热多雨,多为东南季风或西南季风控制;而春、秋两季为过渡季节,两种季风交替出现。洪湖湿地光能充足,降水充沛,热量丰富,雨热同季。区内年辐射总量为 440~460kJ/cm²,其中 4~11 月总辐射量约占全年的 72%左右;年降水量平均在 1000~1300 mm 之间,且 4~10 月份总降水量约占全年总降水量的 77%;本区平均径流深度为 360mm,径流量为 37.35×10⁸m³;现有湖泊可调蓄容量为 8.16×10⁸m³;因此,如果年降水量和本区产流量超过平均值以上则会产生不同程度的内涝灾害。年积温(≥10℃)一般为 5100~5300℃,初日在 4 月上旬,终日在 11 月上旬,平均日照数 1987.7 小时,无霜期长,一般为 250 天以上。

洪湖湿地自然保护区是河湖冲积、淤积物组成的低洼地、沼泽。区内土壤类型主要是水稻土。水稻土是现代沼泽化土经过自然演化和围垦,在长期水耕熟化过程中发育起来的,其中主要有潜育型水稻土和沼泽型水稻土。洪湖主要植物群落有:菰群落、莲群落、菰+莲群落、浮萍群落、水鳖群落、苕菜群落、乌菱群落、菱-穗花狐尾藻+微齿眼子菜+金鱼藻群落、竹叶眼子菜—苦草群落、苦草群落、黑藻群落、光叶眼子菜群落、穗花狐尾藻群落、穗花狐尾藻+微齿眼子菜+金鱼藻群落、金鱼藻+菹草+穗花狐尾藻群落、微齿眼子菜群落。

洪湖水质一直是洪湖湿地重点监测项目,设有排水闸、柳口、小港和湖心四个监测断面,进行一年三次的常年监测(丰水季、平水季和枯水季),监测项目包括 22 项,按照国家地面水监测技术规范要求实施例行化监测。为了获取第一手资料,科学准确地反映洪湖水质变化,我们在洪湖地区设立了 12 个取样位(图 5—2),其中 10 个站在大湖内,另 2 个站分别位于子贝渊河(主要入湖口)和小港(主要出湖口),对 12 个站位进行特定的季节性定点取样分析,监测项目共包括 25 项。

监测结果总体反映出洪湖湿地水质感官性状好,湖水清澈。对照《地面水环境质量标准》II 类水质标准,除化学耗氧量和总磷略为超标,一般化学性状指标均属正常,有毒有害物质检出率不高,湖水无明显污染,总体上达到地面水 II 类标准,保持着良好的水质(表 5—1)。另外,洪湖湿地水质状况具有一定的时空变化,表现出某种程度的年际变化和季节变化规律(图 5—3, 5—4),其中溶解氧浓度高低与洪湖水位变化具有较好的相关性。在空间分布上,DO 表现出南部和西北部高,湖心一带偏低,这是由于南部和西北部水域水草茂密,而湖心一带

水草少，植物的光合作用会使湖水中氧的含量增高（图 5—5）。

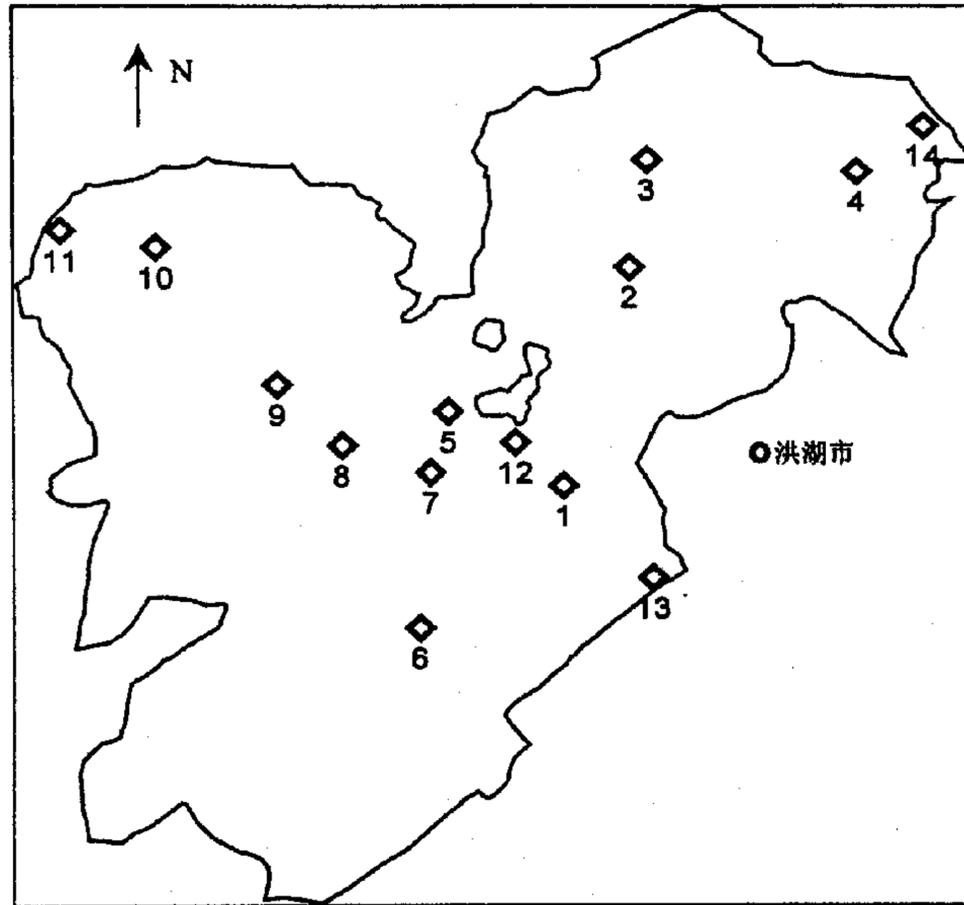


图 5—2：洪湖水质监测点位置示意图

(编号 1~10 为取样监测点；11—柳口，12—湖心，13—排水闸，14—小港)

表 5—1：洪湖湖泊水质现状 单位：mg/L (PH、总硬度除外)

项目	PH 值	悬浮物	总硬度	DO	COD	BOD	NH ₄ ⁺
数值	8.46	16.923	5.404	7.403	5.536	1.97	0.213
项目	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	TP	挥发酚	氰化物	砷化物	六价铬
数值	0.0176	0.144	0.0517	0.0019	0.0022	0.0036	0.0048

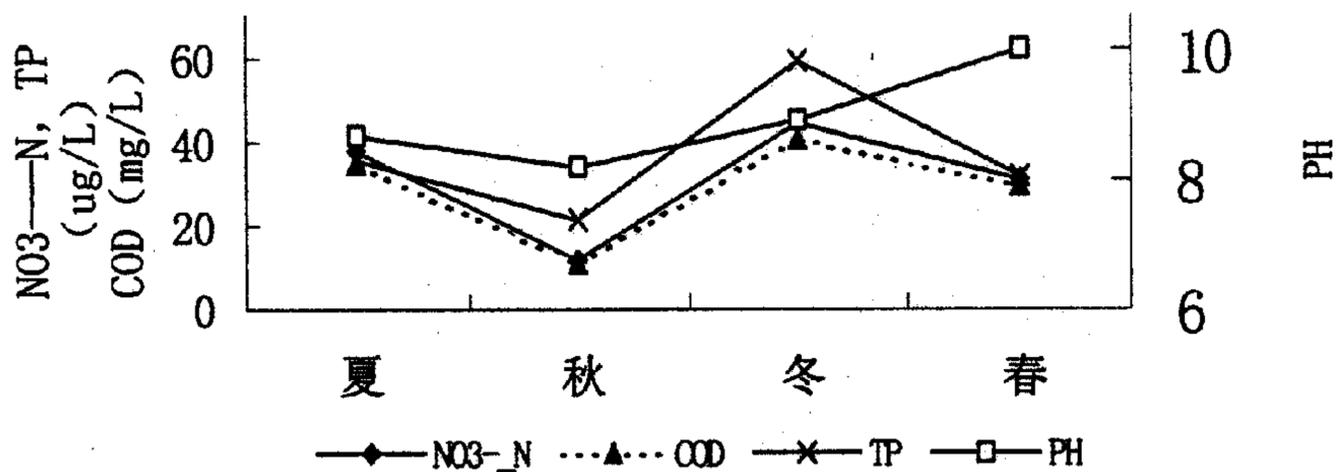


图 5—3：洪湖水质季节变化

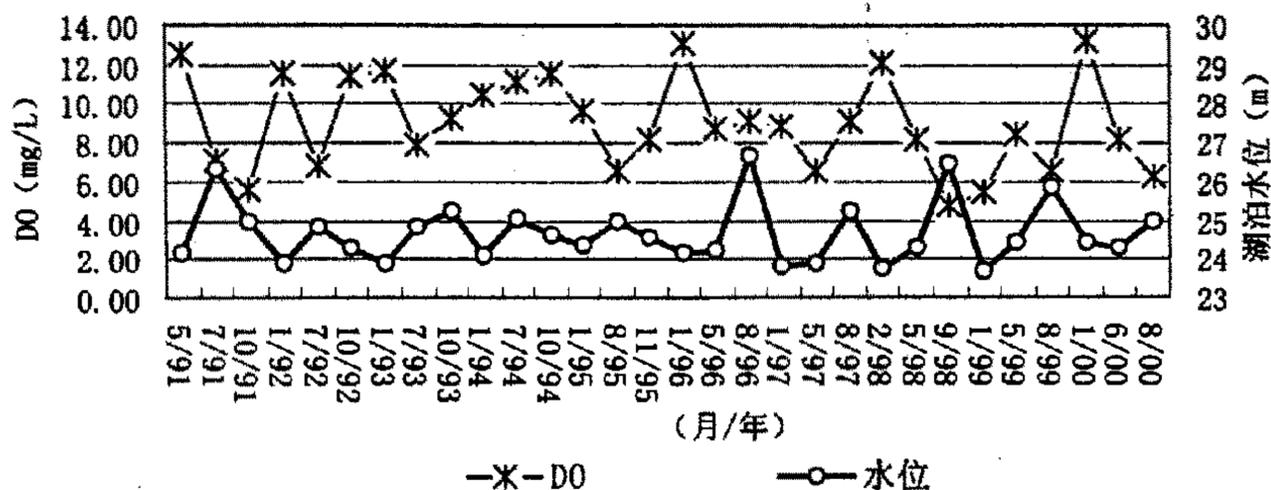


图 5—4: 洪湖湿地水质溶解氧 (DO) 与同期水位的年际变化

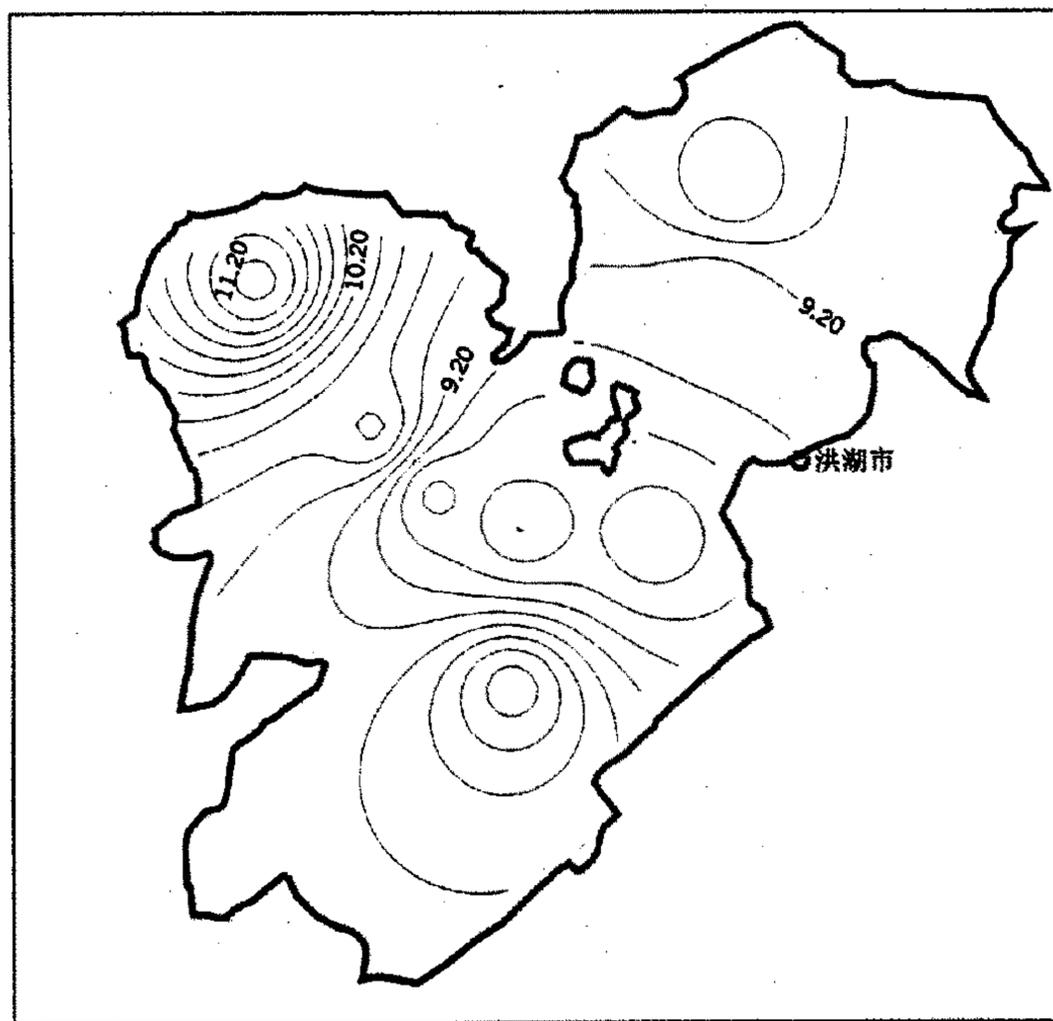


图 5—5: 洪湖湿地溶解氧 (DO) 空间分布

洪湖湿地自然保护区涉及洪湖和沿湖 10 个乡镇。据 2001 年统计, 区内现有人口 1.58 万人, 主要从事渔业生产。2001 年区内各种水产品总量近 10 万吨。洪湖自然风光秀美壮观、水质好、水生动植物资源十分丰富, 每年来洪湖参观旅游的中外游客达 20 多万人次。2001 年人均年纯收入达 2361 元, 比 1995 年增长了 29%, 人平可支配收入 2320 元。

为了更好地保护洪湖湿地, 湖北省 2000 年批准设立洪湖湿地省级自然保护区。保护区建设的总体目标是: 通过保护湿地, 为生物提供良好的栖息地, 维护生物多样性和湿地生态平衡, 在此基础上持续, 合理、综合地利用湿地资源, 充分发挥湿地的多种功能, 同时不断提高湿地自然保护区的建设和管理水平, 最终

将洪湖湿地建成集资源环境保护、科学研究、宣传教育、生态旅游、多种经营、休闲度假于一体的综合性的湿地自然保护区。

5.1.2 南洞庭湖湿地自然保护区简介

南洞庭湖湿地自然保护区位于我国第二大淡水湖泊——洞庭湖的西南部，有湘江、资水和长江三口及沅澧水汇流注入，总面积 1680km²。南洞庭湖湿地保护区跨 112° 18' 15" ~112° 56' 15" E, 28° 36' 15" ~29° 3' 45" N。由于洞庭湖吞吐湘、资、沅、澧和长江三口之水，使南洞庭湖湿地具有“水涨成湖、水落为洲”的地貌特征。辖区由沅江市、益阳市资阳区、赫山区、国营茶盘洲农场等单位环抱，周边有 19 个乡镇（场），其中有一个渔业乡和 5 个芦苇场。

南洞庭湖湿地自然保护区属长江中下游洞庭平原堆积而成的沼泽地貌。境内河流纵横，湖泊星罗棋布，全区由 118 个湖洲和 18 个湖泊组成。洞庭湖是个调蓄型湖泊，湖洲地面海拔高度为 29m~33.5m，常年水位为 29m~32m，历史最高洪峰水位（98 年）为 38.09m，冬枯极限水位为 26.58~27.2m。

南洞庭湖保护区土壤主要为潮土、沼泽土和沼泽化草甸土。区内土层深厚，泥沙相间，层次分明，有的还夹有半腐解状的有机质，土壤剖面呈现铁锈斑纹和植物死根，大多有石灰性反应。PH 值在 6.5~7.6 之间，有机质含量为 1~3%，全氮、全磷的含量分别为 0.10~0.18%、0.1~0.2%，氮、磷、钾的含量分别为 60~130ppm、6~16ppm、40~80ppm。

南洞庭湖湿地属过水性湖泊湿地，湖水更换周期最长为 19 天。据检测，水质属国家标准 II 类，PH 值 7.37~7.54，溶解氧 6.77~8.05mg/L，高锰酸盐指数 2.19~3.81，溶解性总磷 0.029~0.0333。湖泊最深处在洪水季节为 4.2~10.03m，在枯水季节为 1.18~1.8m，冬季一般 0.45~1m，产生很多湖汊。

南洞庭湖保护区属亚热带湿润型气候，阳光充足，雨量充沛，日照和无霜期都比较长。冬春季节多寒潮风，夏秋季节易生成洪涝灾害。南洞庭湖区域年均降雨量 1300~1400mm，多集中在 5~9 月，约占全年降雨量的 70%。年降雨日数为 140~150 天，年干燥度为 0.8 左右，夏季干燥度在 0.8~1.0 之间，属夏季半湿润地区。年平均气温接近 17℃，一月份平均温度 4.0℃~4.5℃，七月份平均温度 29℃~29.5℃，年较差 29℃左右，日平气温等于或低于 0℃的日数年均在 20 天以上，常年有冰冻 3~4 天，积雪 5~8 天。该区极限高温 39.4℃，极限低温 -11.2℃。全年日照大多在 1700~1800 小时，日平气温在 10℃以上的累计积温在 5300~5400℃，无霜期 275~280 天，平均风速 3m/s~1m/s 左右，以南北风或偏南北风频率最高，全年大风日数在 10 天以上。

南洞庭湖保护区是一个过水、吞吐型湖泊，湿地类型非常多，根据国际湿地公约，拥有除近海及海岸湿地外的其他河流、湖泊、沼泽和沼泽化草甸、库塘和人工湿地等多种类型湿地（表 5—2）。

表 5—2: 南洞庭湖湿地类型、面积、比例

景观类型		面积(hm ²)	百分比(%)
自然湿地	河溪	1980	1.4
	湖泊	46354	32.6
	淡水沼泽	15109	10.5
	草地沼泽	14386	10.1
	树木沼泽	4387	3.1
	芦苇沼泽	24165	17.0
人工湿地	池塘	1334	1.0
	灌溉地	34667	24.3
合 计		142382	100

南洞庭湖作为整个洞庭湖的一部分,其与东洞庭湖、西洞庭湖共同组成湿地生态系统是我国最大的湿地生态系统之一,正是由于其独特性的存在,洞庭湖的三个组成部分分别进入了国际重要湿地行列,这在全世界都是少有的。南洞庭湖湿地又是地球上内陆湿地中最具特色的湿地类型,介于欧亚大陆腹地沙漠与热带森林、西部高山与东南部海洋之间最重要的湿地地貌景观,从地理、地貌以及景观学上具有不可替代的重要位置。

在生物多样性上,南洞庭湖湿地生物无论是湿地植物,还是湿地动物,无论是从种的水平上,还是从个体数量上,以及生态类型组合上均具有较好的生物多样性特征。据初步统计,南洞庭湖地区有植物 154 科, 475 属, 864 种; 维管植物 92 科, 270 属, 426 种, 其中蕨类植物 14 科、18 种; 裸子植物 1 科 2 种(均为引种栽培); 被子植物 77 科、252 属、406 种^①, 其中, 热带分布和泛热带分布型比例最大(表 5—3)。区内有鸟类 16 目 43 科 164 种, 其中冬候鸟 91 种, 夏候鸟 49 种, 留鸟和旅鸟 24 种, 其中已记录到国家一级保护的鸟类 6 种, 国家二级保护的鸟类 26 种, 列为地方保护的约 33 种。区内珍稀濒危物种较多, 具开发价值的经济生物资源(如食用鱼、观赏鸟、药用、饲用、食用植物)也十分丰富。南洞庭湖湿地自然保护区是我国重要的生物多样性区域和典型多样的湿地生态景观区, 在保护生物多样性、维持生态平衡、调蓄洪水等方面具有重要意义。

^①益阳市林业局, 中南林学院 南洞庭湖湿地自然保护区植物资源调查报告(内部资料) 2001

表 5—3：南洞庭湖湿地种子植物属分布型统计

编号	分 布 型	属数	占总数的%
1	世界分布	60	23.6
2	泛热带分布	60	23.6
3	热带亚洲和热带美洲间断分布	3	1.2
4	旧世界热带分布	11	4.3
5	热带亚洲至热带大洋洲分布	7	2.7
6	热带亚洲至热带非洲分布	5	2
7	热带亚洲分布	10	3.9
8	北温带分布	44	17.3
9	东亚和北美洲间断分布	11	4.3
10	旧世界温带分布	19	7.5
11	温带亚洲分布	3	1.2
12	地中海区、西亚至中亚分布	1	0.4
13	中亚分布	0	0
14	东亚分布	19	7.5
15	中国特有分布	1	0.5
合计		254	100

资料来源：益阳市林业局，中南林学院 南洞庭湖湿地自然保护区植物资源调查报告（内部资料） 2001

5.2 两湖平原湿地生态恢复目的与原则

5.2.1 恢复目的

所谓湿地生态恢复是指根据生态学原理，通过一定的生物、生态以及工程的技术与方法，人为地改变和切断生态系统退化的主导因子或过程，调整、配置和优化系统内部及其外界的物质、能量和信息的流动过程和时空次序，使湿地生态系统的结构、功能和生态学潜力尽快成功地恢复到一定的水平。湿地生态恢复项目是一项复杂的系统工程，其基本过程重要有：净化水质、引种乡土种、稳定湿地面积等（图 5—6）。把握两湖平原湿地生态演化规律、对退化的湿地进行恢复，使湿地资源能在有效保护的前提下支撑社会经济的健康、稳定和持续发展，已成为区域生态环境建设的一项艰巨课题。

为了推动两湖平原湿地区域生态—社会—经济复合系统的有序、健康发展，应对区域湿地生态系统演化与修复、区域江—湖关系进行研究，探索湿地生态健康评价、预警机制，寻找适合当地社会经济协调发展的生态对策，实施生态恢复措施。通过实施生态恢复项目，为两湖平原湿地资源的合理利用、有效保护和管理提供科学依据，推动区域整体生态环境建设水平，提高区域生态、社会、经

济综合效益。

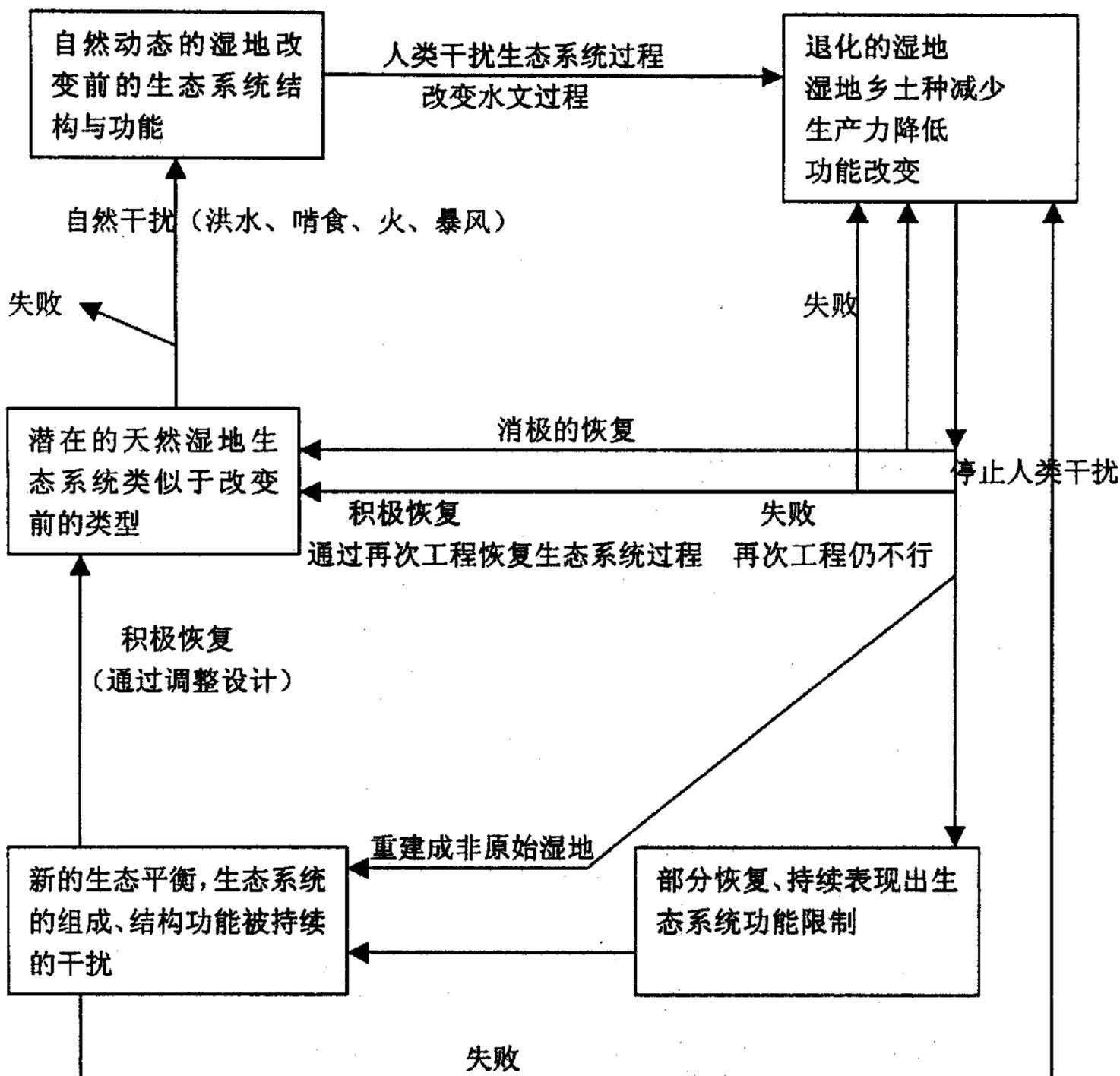


图 5—6: 湿地生态恢复过程示意图 (转引自任海等, 2001)

结合两湖平原湿地实际, 将两湖平原湿地生态恢复的基本目标定为 (任宪友等, 2004): 实现区域湿地生态系统地表基底的稳定性、恢复湿地良好的水状况 (恢复湿地的水文条件、改善湿地的水环境质量)、恢复植被和土壤、增加物种组成和生物多样性、实现生物群落的恢复、恢复湿地景观、实现区域社会、经济的可持续发展。根本目的是再现或重建一个自然的、自我维持的湿地生态系统, 实现区域生态、经济和社会因素平衡和可持续发展。

恢复年限是两湖平原湿地生态恢复的重要问题。所谓湿地生态恢复就是要恢复原来生态系统的结构和功能, 但原来的生态系统指的是哪个时期的生态系统呢? 当时的湿地水文条件、植被和生物多样性是个什么状态呢? 这是进行生态恢复的首要明确的问题, 也就是说湿地生态恢复要到什么的状态才算达到目的。根据两湖平原湿地演化简史, 以 20 世纪 50 年代为界, 两湖平原湿地生态发生了巨大变化, 湿地生态退化趋势加速。为此, 选择 20 世纪 50 年代作为两湖平原湿

地生态恢复的参照年代，如果湿地生态系统恢复到基本与当时的湿地生态相似，能够实现湿地生态系统原有的自然功能（国家林业局野生动植物保护司，2001），我们就认为湿地恢复已经实现了目的。当然，由于自然条件和人为因素的变化，要完全恢复到当时的情况是不可能的（如通江问题），只能是尽量接近。

5.2.2 恢复原则

湿地生态恢复是湿地生态系统退化地区保护和改善生态环境的有效途径，进行退化湿地生态恢复正越来越多地得到人们的理解和支持，国内外进行一系列的湿地生态恢复研究与实验，取得了宝贵的经验和教训。我国十分重视湿地生态保护与恢复工作，近年已将湿地保护列入每年的政府工作报告。在群众广泛参与下，我国湿地生态建设和保护工作取得了一定的成绩。但是由于过去对湿地生态退化的认识不足，采取措施不够得力或不够合理，在进行湿地生态保护和恢复过程中，出现了一些误区，影响了湿地生态保护、生态恢复工作的成效（解焱，2002）。为了更好地实施两湖平原湿地保护与恢复，避免和减少湿地生态恢复中出现偏差和问题，在进行退化湿地生态系统恢复和重建过程中，应遵循一定的原则，以使两湖平原湿地生态恢复能够顺利实施，并取得理想效果。任海等总结了生态恢复的自然法则、社会经济技术原则和美学原则等共3大方面28个原则（任海等，2001），基本上都可以用于两湖平原湿地生态恢复，这里不一一赘述，只选取三个重要原则加以论述。

5.2.2.1 控制外来物种原则

外来物种是相对于当地生态系统而言的，是当地生态系统中原来没有的物种，借助人类活动越过不能自然逾越的空间障碍而进入当地生态系统。如果外来物种在当地生态系统中大量繁殖和扩散，就会对当地生态系统造成明显改变，变成外来入侵种（解焱，2002）。外来物种入侵有三层含义：（1）物种通过有意或无意的人为活动被引进到其自然分布范围以外的非原产地；（2）物种在当地自然或人为生态系统中建立了可自我维持的种群；（3）造成自然湿地生态系统或景观明显变化，或给当地的自然或人为生态系统造成损害。

外来物种入侵的主要危害是占据当地植物生存的空间和养分，通过各种方式杀死或排挤当地土著植物，改变当地的生态环境，影响当地的生产、生活，危害当地生态系统的安全和健康，给区域自然—社会—经济复合系统带来很大的危害。一般说来，外来物种进入一个生态系统，往往由于缺少天敌，生长和繁殖速度很快，对当地乡土物种产生较大的冲击，造成当地物种与生物量的减少。而由于当地植物的减少，导致依靠当地植物生存的动物减少，引起生态系统的单一化，从而导致很多相应的生态问题（万方浩，2000）。

外来物种的入侵往往给当地造成巨大的经济和生态效益损失。据美国、印度、南非向联合国提交的报告称，这3个国家每年由此造成的经济损失分别为1500

亿美元、1300 亿美元和 800 多亿美元，这还不包括那些无法计算的隐性损失。资料显示，外来入侵物种给我国也造成了巨大经济损失，平均每年损失 574 亿元人民币^①。而且，外来物种还有可能造成本地乡土物种的减少，以至变为濒危物种，甚至灭绝。据统计，全世界濒危物种名录中的植物，大约有 35—46% 是部分或完全由外来生物入侵引起的。

两湖平原湿地生态系统是一个相对独立的地理单元，有着自己特定的物种和生态系统组成，并在长期的生存与竞争中形成相互依存的动态平衡关系，任何一个物种受到损害，都有可能对整个湿地生态系统安全和健康造成重大影响。当前，人们对两湖平原湿地区域外来物种的认识还不够明确，在控制或引进新的物种方面存在一定的模糊认识，在没有慎重考虑和研究外来物种会对当地湿地生态系统如何和将产生多大影响的前提下，一些物种就被不经意引入，给以后的湿地生态稳定性造成极大的不确定性，根据笔者在两湖平原，尤其是洪湖和南洞庭湖湿地的实际调查，已经有一些当地原来没有的物种被引入，如意杨等，引起一些专业人士的担心。尽管外来物种会对当地湿地生态系统产生多大影响还有待于今后观察和研究，但影响肯定是存在的，在今后的两湖平原湿地生态恢复监测中应密切关注。20 世纪 90 年代，洪湖渔民从江苏引进一种水草做鱼类的饵料，现在已经对洪湖湿地“产生一定的负面影响”^②。

为此，应加强外来物种入侵研究，将严格控制外来物种作为两湖平原湿地生态恢复的重要原则，谨慎地对待物种的引进。基于外来物种影响的不确定性，在对待外来物种的问题上，要提高防范意识，尽量避免引进外来物种，生物恢复以本地种为主。如实在要引进外来种，则必须进行外来物种对两湖平原湿地环境影响评价研究，严格甄别，在确认影响控制在可承受的范围内才能引进，将外来物种对两湖平原湿地生态的影响和危害降到最低。

5.2.2.2 地域性原则

首先，退化湿地生态系统本身具有地域性。生态恢复是针对具体的退化湿地生态系统区域而言的，是对特定的退化湿地生态系统实施生态恢复工程，而不是针对所有的湿地生态系统（或湿地区域）。不同的湿地区域退化生态系统类型不同，其退化态势、特点和原因也不尽相同，呈现出一定的地域性和差异性，如我国西北地区内流河、湖泊湿地生态系统退化主要是来水减少、湿地面临沙漠化的威胁，三江平原沼泽湿地则是开发过度、土地变得贫瘠问题，而长江中下游地区湿地生态系统退化又表现为水质恶化、生物多样性减少等。对于两湖平原湿地而言，地域差异性也是存在的，如前所述洪湖与南洞庭湖湿地就有明显的区别，洪湖湿地退化主要表现为系统开放性发生变化，与长江的联系有巨大变化；而南洞

^①科技日报 2001—12—14

^②笔者在洪湖与南洞庭湖湿地野外调查访谈记录

庭湖湿地则是泥沙淤积问题，生态系统退化特征有着一定的差异性，在进行湿地生态恢复时，必须区别对待。

其次，湿地生态恢复的实施具有地域性。实施湿地生态恢复工程，就是要调整人类对湿地生态系统的看法和对湿地生态系统的行为，协调好人与湿地的关系，使退化湿地生态系统的结构和功能得到改善，实现湿地生态的可持续发展，更好地为人类社会服务。任何湿地生态恢复措施的实施，最终都要落实到具体的地域上。不同的地域和生态系统，具有不同的结构功能和生态特点，生态过程也有差别，这就要求采取不同的生态恢复措施。在两湖平原湿地生态恢复上尽管总体上有一定的共性，但具体实施恢复工程时，地域性还是比较明显的，如武汉东湖和洪湖湿地实施生态恢复是不完全一样的，作为城市湖泊湿地的东湖，生态恢复主要是治理生活和企业污染达到恢复生物多样性的目的，而洪湖湿地则主要是恢复通江（长江）联系、维持湿地面积和恢复栖息地。

再次，湿地生态恢复的内容也有地域性。湿地生态恢复内容无非是恢复湿地生态系统区域的水文、生物、地貌等自然生态状况，而这些都是有地域性的，不同的地域，其水文、生物、地貌是有差异的。在不同的区域进行湿地生态恢复，应按照不同地域湿地的生态特点，通过相应措施，恢复和重建当地原有湿地的自然地理面貌，恢复原有的湿地生态环境。具体到两湖平原湿地生态恢复，则要针对平原上不同地域湿地的不同水文、地貌和生物状况等恢复内容，实施不同的湿地恢复措施。

5.2.2.3 公众参与原则

退化湿地生态系统的恢复离不开当地公众的支持，恢复措施的实施需要公众的理解与参与，公众参与的广度与深度是评价湿地生态恢复的重要方面。通过广泛的公众参与，不仅可以充分发扬民主，提高湿地生态恢复决策的正确性，更好地协调人与环境的关系；还可以更好地依靠和发动群众参与两湖平原湿地生态恢复实践，保护当地生态环境。另外，公众参与还有利于提高公众保护环境、保护湿地的意识和责任感，积极维护公众自身的环境权益，推动湿地生态保护和恢复工作的顺利开展（湿地国际——中国办事处，2001）。

公众参与是实施湿地生态恢复的重要方面，湿地生态恢复工程的全面有效实施离不开广大人民群众积极广泛参与和支持，公众参与的深度和广度直接影响着退化湿地生态系统的演化，甚至在某种程度上决定湿地生态恢复的目的能否最终达到。生态恢复要求人们转变传统观念，减少人类活动对生态系统的过多干扰。从生态恢复最终收益者看，生态恢复是针对退化生态系统的，收益的是生活在生态系统中的所有生物，当然包括人，而且，人是生态恢复的最终收益者。因此，任何湿地生态恢复都必须在广大公众的积极参与下进行，离开退化湿地生态系统当地公众的参与，湿地生态恢复就难以实施。事实上，湿地生态恢复是针对区域

湿地生态系统退化问题提出来的,而湿地生态系统退化问题的出现并不只是某个或某些个人的责任,而是全体民众都负有或大或小的责任,从责任分摊的角度讲,湿地生态恢复也必须在公众的广泛参与和监督下实施。

两湖平原湿地生态恢复需要公众广泛而又深入地参与,公众参与的程度和深度将直接影响湿地生态恢复的进程,成为能否顺利实施生态恢复工程的关键。两湖平原湿地作为一种重要环境资源,为当地人民提供了安居乐业的资源基础、物质产品和环境场所,保护和恢复两湖平原湿地良好的生态环境,符合当地群众的最后利益,公众有参与湿地生态恢复的利益驱使和一定的积极性(湿地国际——中国办事处,2001)。但两湖平原湿地生态退化也主要是由当地人们过去不合理地开发、利用湿地资源造成的,当地公众理应参与到湿地恢复工作中来,承担自己应该承担的责任,也就是说公众参与两湖平原湿地生态恢复还有其义务的一方面。但受多方面原因的影响,两湖平原地区公众对湿地生态恢复的参与意识、参与效果不容乐观,尽管公众中多数人对环境污染、生态退化不满,但当实施湿地生态恢复要暂时牺牲人们的某些利益时,湿地生态恢复往往会遭到人们的阻碍,给工程实施带来很大的困难。要使广大公众积极参与生态恢复实践,目前还存在一定的难度。

针对两湖平原地区公众参与湿地生态保护和恢复的现状,应通过广泛的宣传和教育,努力提高公众参与意识,多方面创造条件,鼓励并引导公众积极地参与到生态恢复实践中去。可以通过以下多种途径来促进公众参与:(1)努力普及环境教育,大力进行湿地生态保护宣传,提高公众的湿地保护意识;(2)定期、如实公布有关退化湿地生态系统的生态与发展信息,给公众“湿地知情权”,让公众了解两湖平原湿地生态退化的真确信息;(3)完善公众参与湿地生态恢复的决策机制,提高公众监督湿地生态恢复的积极性,真正让公众参与到两湖平原湿地生态恢复实践中去;(4)建立、健全相关法律制度和赔偿制度,从法律和经济上保证公众的有效参与。

此外,在进行两湖平原湿地生态恢复时,遵循的原则还有:可行性原则,生物措施与工程措施相结合原则,湿地保护与恢复并重原则,规划、环评先行原则,美学原则,等(任海等,2001)。

5.3 两湖平原湿地生态恢复对策与设计

两湖平原湿地区域作为我国重要的湿地分布区,是我国的商品粮、棉基地,对维护我国粮食安全、生态安全具有重大意义。按照前述对两湖平原湿地生态现状的分析,实施湿地生态恢复事在必行。两湖平原湿地生态恢复就是在生态恢复理论指导下,遵循生态演替理论,应用生态系统管理方法,对湿地生态演替进行适当调控,以实现两湖平原湿地生态的可持续。

结合两湖平原已经开展的工作和我们的课题成果,按照生态恢复的基本原

理,应用相应的恢复技术,依据生态恢复设计与自我设计理论,对典型湿地——洪湖和南洞庭湖湿地从湿地面积、栖息地恢复、水质保护等方面进行生态恢复设计,力求通过一定的生物或工程措施对湿地生态进行恢复,使湿地保持和恢复良好的生态环境,推动区域可持续发展。

5.3.1 两湖平原湿地生态保护与恢复对策

5.3.1.1 制订湿地保护与恢复规划

湿地拥有净化污染、调蓄洪水和维护生物多样性等方面的生态、经济功能,是重要的国土战略资源。结合两湖平原湿地生态和社会经济发展实际,尽快制定适合两湖平原湿地生态特点的湿地保护和恢复规划,并把湿地生态恢复规划纳入区域经济社会整体发展规划中,正确认识和处理湿地保护与恢复问题。规划根据湿地退化特点、类型和受干扰方式的不同,安排不同的保护和恢复途径和措施,扭转湿地生态退化的态势。做到宜农则农,宜牧则牧,宜渔则渔,综合利用。并参照土地利用总体规划中基本农田的划分方法,划定湿地的绝对保护区、一般保护区,明确湿地保护和恢复的范围、程度,确立合理的湿地生态恢复方式、途径,将湿地生态恢复与区域社会经济的全面、协调和可持续发展结合起来,实现区域生态、社会和经济效益的整体提高。

5.3.1.2 加强湿地自然保护区建设

设立自然保护区是保护自然资源和生物多样性、恢复湿地生态功能的有效手段。通过设立湿地自然保护区,确立湿地生态恢复与保护的主要管理机构,更好地协调湿地生态恢复与湿地资源开发、利用和保护的关系,将湿地利用控制在生态可恢复的范围内。目前,两湖平原地区已经设立了洞庭湖(3个)、洪湖、梁子湖和石首天鹅洲等多个国家级或省级自然保护区。其中,东洞庭湖、西洞庭湖和南洞庭湖湿地被列入了国际重要湿地名录,受到国际社会的广泛关注,象这样一个湖泊分为三个保护区都被列入国际重要湿地,在世界上都是罕见的。当前所要做的工作是:一方面在湿地资源分布集中、湿地生态形势严峻、但尚未设立保护区的地区争取尽快设立不同等级的保护区,完成对湿地生态保护和恢复的机构设置;另一方面,提升现有湿地保护区的等级,完善和强化保护区在保护和恢复湿地生态方面的管理、协调职能,切实发挥保护区在湿地生态恢复中的作用。

5.3.1.3 提高对湿地恢复的认识

两湖平原湿地生态恢复有赖于公众湿地利用和保护观念的转变,只有让当地居民真正认识到湿地恢复的重要性,认识到保护和恢复湿地的必要性,才能将湿地生态恢复落到实处,才能让公众从内心里支持和推动湿地生态恢复,离开公众的支持与参与,湿地生态恢复将很难取得成功。为此,必须转变不利于湿地生态保护和恢复的湿地利用观,克服“人定胜天”的观念,尊重自然演变规律;改变

“以粮为纲”观念，调整经济结构；转变“以土为本”观念，进行退田还湿等等（蔡述明，2002），提高全社会对湿地利用、保护和恢复的认识。

具体措施建议有：（1）充分发挥教育在提高社会环保意识的功能，提倡湿地知识进课堂，营造一个良好的湿地保护、退化湿地恢复的公共环境，将有关湿地生态保护、恢复和可持续利用内容纳入到各级各类教育活动中，提高全民对湿地生态重要性的认识，推动公众积极参与到湿地生态保护与恢复中；（2）运用各种手段，加大宣传力度，加强群众性的湿地保护科普活动，通过“湿地日”、“爱鸟周”等开展形式多样的宣传活动，借助广播电视、报纸杂志、网络等媒体广泛宣传、传播湿地保护与恢复知识，使公众了解湿地退化与恢复的真确信息，增强公众参与意识，提高公众参与湿地保护和恢复的有效性和积极性。

5.3.1.4 退田还湿，稳定湿地面积

1998年长江流域全流域特大洪涝灾害告诉人们，湿地作为一种环境资源具有重要的生态功能和价值，进行湿地生态恢复是现实所需，具有较强的现实性和紧迫性。必须切实保护两湖平原湿地，恢复湿地原有生态结构与功能，走湿地生态可持续之路。为此，应认真实施“平垸行洪、退田还湖”政策，严格禁止对湿地盲目围垦，稳定区内湿地面积，增加湖区调蓄能力，扩大蓄水面积，划定“平退”范围，有计划地进行退田还湖、退田还湿工作，确保退耕工作落到实处。

也应该清醒地看到，在当前人口压力巨大、人地矛盾十分突出的情况下，“平退”工作还面临着很大的困难，有着较大的艰巨性。尤其是随着时间的流逝，洪涝灾害所造成的损失在人们头脑中的记忆会逐渐淡忘，湖区围垦就会很容易出现反弹。为此，必须从源头上对湖区围垦进行治理，具体措施有：（1）严格控制人口数量，努力提高湖区人口素质，并在必要时进行湿地生态移民，使区内人口总量控制在湿地生态承载力范围之内；（2）妥善安置富余劳动力和转产劳动力，将他们由湿地生态的破坏者变为湿地生态的保护者、恢复者；（3）加强对退田还湿工作的领导、监督，确保不出现反复、反弹。

5.3.1.5 保护湿地水质

湿地水质污染主要是由于人类对湿地资源的不合理利用所致，也必须通过人类的努力来控制污水的排放，遏止湖泊富营养化趋势，以改善两湖平原湿地水质。具体可加强以下几个方面的工作：（1）合理调整农业生产结构，开发生态农业，控制农业面源污染；（2）制定严格的工业污水排放标准，进行污染物总量控制；（3）加快城镇污水处理厂建设，控制生活污水向湖区湿地排放；（4）禁止向湖泊水域倾倒垃圾、废渣，控制船只污染。

5.3.1.6 加强湿地恢复研究与国际交流

借鉴最新生态学、环境学、地理学、工程学理论和技术，加强相关学科研究与实验，积极开展湿地生态恢复理论和实践研究，为逐步展开的湿地恢复提供科

学理论支持。加强湿地科学研究的国内外合作与交流,借鉴国内外先进经验,吸收教训,积极进行湿地生态环境监测与评价,诊断两湖平原湿地生态健康状况,预测湿地生态系统发展趋势,制定出科学的湿地资源保护、管理对策和生态恢复措施,为有效管理和合理利用湿地资源提供科学依据。

上述对策只是提供了进行两湖平原湿地生态恢复的总体思路,仅有这些对策对两湖平原湿地恢复是远远不够的,还必须积极实施湿地生态恢复工程,通过一定的工程措施和生物措施,重建湿地生态系统的合理结构,协调系统内部与外部的关系,使系统保持高效的系统功能,以达到湿地生态系统自维持状态,为此就要针对具体退化湿地进行湿地生态恢复设计。下面就对结合洪湖和南洞庭湖湿地进行初步的生态恢复设计,并将逐步应用到实际工作中。

5.3.2 洪湖湿地生态恢复设计

根据洪湖湿地综合科学考察报告,对洪湖湿地保护区进行生态功能分区,将洪湖湿地保护区分为核心区、缓冲区和实验区等功能区,并进行不同程度的保护与恢复。除依法定程序和条件经批准外,禁止任何单位和个人进入核心区,即使是从事科学研究活动也不允许进入;缓冲区只准进入从事科学研究观测活动;实验区可以进行从事科学试验、教学实习、参观考察、旅游等活动,对于上述功能分区的划分和规定,应严格执行,将对湿地生态的影响控制在最小范围。根据洪湖湿地恢复项目规划,对洪湖湿地的核心区和缓冲区进行综合整治保护,在实验区进行恢复工程,设计布局如图 5—7。

5.3.2.1 退田还湖

任何湿地生态恢复都必须在一定的区域范围内进行,面积适宜与否一定程度上反映湿地生态恢复区物种多样性和对物种实施保护功能的大小。洪湖湿地自然保护区总面积 37088hm²,其中核心区 5960hm²,缓冲区 3566hm²,试验区 27562hm²,区内涉及森林、湖泊、沼泽等多种湿地生态类型,这些湿地为保护区内生物的生存、栖息和繁殖提供了必需的生存环境条件,为维持洪湖区域较高的物种、群落多样性和湿地生态可持续奠定良好的基础。

但正如前面所述,洪湖自然湿地的面积总体上一直在减少,已经开始影响了区域湿地生物的生长和生存,使区域生物多样性受到极大影响,为了更好地保护和恢复洪湖湿地生物多样性,维持湿地生态系统的健康与安全,必须保持湿地,尤其是自然湿地面积的稳定性。对比前面所确定的生态恢复目标,洪湖湿地的面积显然是要适当增加,为此,应积极进行退田还湖,将一些海拔高度较低的低产田、冷浸田退出,恢复为湖面。根据实地考察与测量,选择洪湖南部螺山镇洪湖大堤内的低产田进行退田还湖,初步确定退田面积为 400hm²。通过退田还湖,扩大了湖泊湿地面积,为湖泊水生生物提供更大的生存环境,对保持湿地面积适宜性、自然性和维持湿地生物多样性都具有重要意义。



图 5—7：洪湖湿地生态恢复设计示意

5.3.2.2 湿地植被恢复

洪湖湿地植被对于维护浅湖、湖滩沼泽生态性功能起着决定性的作用。洪湖湿地植被在生态类型上,沉水植物占大多数,而挺水和浮叶植物以及湖岸与湖堤的湿生植被较少,不利于水禽的觅食、栖息和繁殖活动。在群落组成上,洪湖湿地物种多样性指数越来越小,优势种趋于单一,甚至出现了一些绝对优势种,而经济和保护价值较大物种却越来越少。长此以往,会对湿地的多样性保护和植物资源的可持续利用产生不利影响,使湿地生态系统功能失调,退化态势明显。恢复洪湖湿地植被合理结构刻不容缓,应对湖滩、浅湖的挺水、浮叶植物进行恢复,加大湖堤、湖岸湿生植被恢复,并对生长过快过多的穗齿狐尾藻等通过调节水位进行控制。

结合洪湖湿地实际,湿地植被恢复主要在洪湖东岸的浅水湖滩及湖堤进行,主要恢复的植被有:

(1) 防护林营造 选择洪湖东部新闸干渠两岸营造防护林,树种选用当地长势好、分布广、具有很高保护与利用价值的水杉,面积为 500 hm^2 ;

(2) 芦苇、菇草种植 选择蒋庄湖、官墩湖滩分小区种植芦苇、菇草 1000 hm^2 ,每个小区设计为 50×100m,小区之间留出一定的间隔,分区时考虑芦苇、菇草的原有自然分布;

(3) 挺水、浮叶植物恢复 在蒋庄湖、官墩湖等深水位湖区,选择种植莲、菱等挺水、浮叶混合植物群,面积为 1000 hm^2 ;

(4) 沉水植物控制 洪湖沉水植物控制有两种途径,一是通过放养和恢复食草性鱼类,控制沉水植物的过度繁殖;二是通过提高水草生长季节的水位来控制。

5.3.2.3 栖息地恢复

栖息地是鸟类栖息、繁殖和生活的重要环境,栖息地恢复是保护湿地生物多样性的措施。洪湖湿地是白鹤、天鹅等许多水禽的栖息地,但由于围垦、围养和湿地生物变化,使洪湖湿地栖息地受到一定程度的破坏,影响了当地留鸟的繁殖和生存,对候鸟来此越冬、栖息和迁徙造成不同程度的影响,使洪湖水禽种类和数量都有所减少。

洪湖湿地栖息地恢复主要包括两方面的内容:(1)核心区绝对保护,核心区是鸟类最重要的栖息地,这是因为洪湖核心区有一部分属于湖泊滩地,良好的水生植被为鸟类栖息提供了优越条件,对此要绝对加以保护,该项工作已经开始,洪湖湿地自然保护区已在近期(2003年底)获得核心区 50 年的土地使用权,并开始对区内围网进行清理,为核心区保护打下良好基础。(2)围堰工程,是栖息地恢复以及在枯水季节保持湿地面积的重要措施。洪湖秋季季节水位太低,一些湖滩、沼泽失去湿地生态系统特征,使得冬季水禽的栖息地大为减少,为了在一

些重要区域保持水禽栖息地面积,选择实施围堰恢复工程,结合洪湖湿地实际,拟建围堰 500hm²,其高度一般为 0.5~1m,高于低水位,低于大湖围堤,主要布局在核心区周围。

5.3.2.4 污染防治

针对洪湖湿地污染情况,主要进行以下工作:

(1) 城市污水处理,随着洪湖市及洪湖流域上游其他城市的发展,城市污水排放总量有所增加,给洪湖湿地水质带来一定的影响。为此,应对洪湖流域城市排放的污水进行治理,作到按国家标准达标排放。

(2) 围网清理,大面积的围网养鱼和捞草养鱼已经成为造成洪湖湿地污染的最重要原因之一,据初步估算,围网已经占洪湖大湖水面的一半以上,在湖面形成事实上的人为阻隔,影响了鱼类和水禽的栖息活动,必须对围网规模和区域进行合理规划,将围网的范围限制在湿地生态可以承受的阈值内,为此,要对恢复区,特别是核心区的围网进行清理,初步安排清理围栏约 10000m。

(3) 农业面源污染防治,对流域内农业化肥、农药的使用进行控制,多使用有机肥、农家肥,利用天敌防止病虫害,减少农药的使用量。

(4) 富营养化防治,对进入洪湖湿地的营养源进行控制和预防,遏止洪湖的富营养化趋势(金相灿,2001)。

5.3.2.5 灌江纳苗

灌江纳苗是恢复洪湖野生鱼类生物多样性的重要措施,是洪湖与长江阻隔后采取的保护洪湖鱼类多样性的补救性措施。洪湖阻隔前,洪湖和长江中生长着海洄游鱼类、江湖洄游鱼类、河流鱼类和定居鱼类,其中江河洄游鱼类种类最多。但在 50 年代后期,洪湖因水利调蓄、建闸节制而成为阻隔湖泊,鱼类之间的交流受到极大影响,河流繁殖的鱼类幼鱼无法正常进入湖泊摄食、生长,只能在开闸时有少量进入,从而使得湖泊的鱼类群落结构发生了很大变化,种类减少,结构趋于简单,有的甚至灭绝,鱼类中食肉性种类多,野生食草性和滤食性少,鱼的数量也大为减少,湖泊生态环境不断恶化。针对此种情况,需要定期开闸引进长江中的鱼苗或幼鱼以补充洪湖鱼类资源,这种措施称为“灌江纳苗”^①。灌江纳苗主要有两种方式:

(1) “顺灌”,即在长江鱼类繁殖季节,当江水水位高于洪湖水位时,在鱼苗汛期开闸引水,纳入鱼苗。对于“顺灌”来讲,尽管江湖洄游鱼类(洪湖江段主要有鲢、鳙、草、青、鳊、鳊、赤眼鳟和鳊等,其中以鳊鱼的数量最多)的数量有限,但由于繁殖力大,早期仔、幼鱼资源量比较丰富,作为“顺灌”的资源是可以得到保证的,效果较好,洪湖灌江纳苗应以“顺灌”为主。但由于受调蓄、

^① 中国科学院水生生物研究所 洪湖水体生物生产力综合开发及湖泊生态环境优化的研究(内部资料) 1987~1989

灌溉、洄游季节等条件的限制，洪湖“顺灌纳苗”事实上一直没有进行，使鱼类由长江进入洪湖受到一定影响。可考虑对已有新堤闸中的1~2个闸门进行改造，在其内侧建消力池，在洄游季节通过缓冲保持一定的长江水进入洪湖，从而带来江中的鱼苗或幼鱼引入消力池，使洄游性鱼类在繁殖季节随江水“顺灌”入湖。选择根据洪湖洄游鱼苗密度和径流量确定的“顺灌”最佳时期有二：一是5月上旬，长江的洪水季节开始之前，尽量灌进鳊鱼等凶猛形鱼类的鱼苗，这不仅可增加湖中优质商品鱼的数量，而且可以控制湖中繁殖过剩的小型鱼类的种群数量；二是6月中、下旬以后，以四大家鱼为主的江湖洄游鱼类正值繁殖盛期，并有许多产出较早的个体长成不同规格的幼鱼，应及时开闸纳入。对于鱼苗，须掌握江汛高峰和引水量，但对于当年幼鱼，则只要适当延长开闸时间，即使流速缓慢，也有较好效果。

(2)“倒灌”，在退水季节，洪湖湖水位高于长江时，开闸放水，利用鱼类的逆流习性吸引其入湖。“倒灌纳苗”是洪湖“灌江纳苗”最经常的方式，一般每年都要进行，一般是在每年冬春季的洪湖湖水外泻长江时，顺便进行。与“顺灌”效果相比，“倒灌”纳入鱼苗的种类和数量均不及“顺灌”多。主要是由于江湖阻隔后，洄游性鱼类的摄食场所所剩无几，造成资源量下降，作为“倒灌”的资源量相当有限。事实上，枯水季节洪湖开闸排水年年进行，一般从当年10月下旬开始，至次年五月初止，“倒灌”通道已经存在，持续时间也比较长，但增殖效果却不明显（常剑波等，1999）。

5.3.2.6 恢复江（长江）湖（洪湖）的联系

江湖阻隔给洪湖湿地生态带来了较大的影响，应在综合考虑各种生态需水量和协调洪湖各项生态功能的基础上，科学合理地调整洪湖水体的时空变化，在不妨碍洪湖防洪功能的同时尽量兼顾其多项生态功能，适当调整洪湖通江时间，以最大限度地发挥洪湖湿地的功能。事实上，根据对1980~2002年均洪湖水位与长江水位对比（图5—8），二者一般在每年的春秋两季会有一个时间相交，且前后有一段时间二者水位相差很少，这时就可以考虑开闸，让洪湖水体与长江水体自由流动（通过闸口），而春秋两季往往正是鱼类溯江产卵和洄游湖泊的时间，通过适当调整通江时间，有利于鱼类在洪湖与长江之间进行回游、交换和产卵，这正是“灌江纳苗”的初衷。结合目前洪湖开闸时间，考虑洪湖湿地多种生态功能发挥，尤其是灌江纳苗，通过协调应该也可以适当调整洪湖水体与长江相通的时间，如可与实施“顺灌”相结合，在每年6月中、下旬视鱼苗的情况，及时开闸通江。

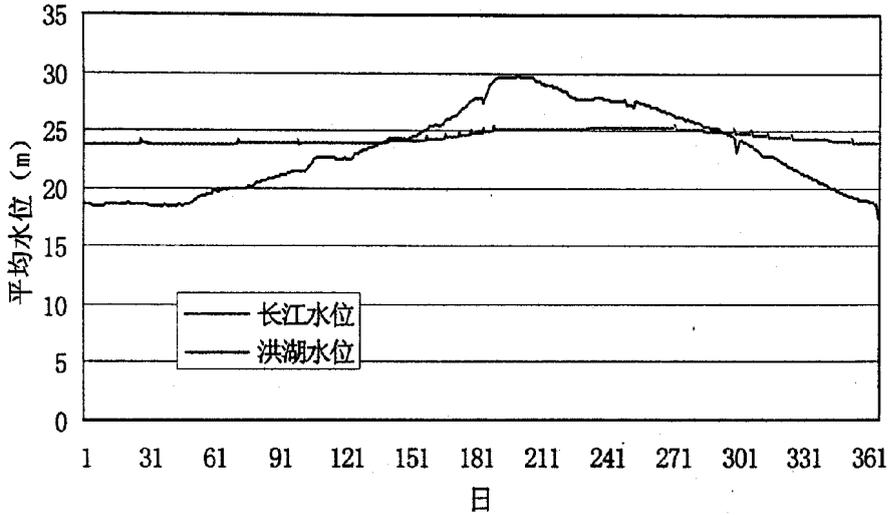


图 5—8: 长江水位 (铜山站) 与洪湖水位 (1980~2002 年均水位) 比较

5.3.3 南洞庭湖湿地生态恢复设计

与洪湖相对应,南洞庭湖湿地保护区也进行了功能分区,划为核心区、缓冲区和实验区,对湿地生态进行不同程度的保护与恢复(图 5—9)。南洞庭湖湿地生态恢复主要包含退田还湖、生物多样性保护、水禽栖息地恢复等。

5.3.3.1 退田还湖

同洪湖一样,退田还湖是恢复南洞庭湖湿地面积的重要举措。事实上,退田还湖的意义已经强调的很多,无须赘述,这里只是结合南洞庭湖湿地自然保护区实际,给出退田还湖的实施方案。南洞庭湖湿地保护区退田还湖选择在沅江市畔山洲,面积约为 100hm^2 ,退后将整个畔山洲作为南洞庭湖湿地恢复项目实施的重要区域之一。该工作 1998 年后已经开始进行,根据笔者 2004 年 2 月实地考察,目前区内人口已经基本完全退出,整体进展还比较顺利;但问题仍然存在,主要是由于后续工作没有跟上,或者说配套工程不够完善,退田不够彻底,耕地基本没有退出,农业耕作仍普遍存在,人类对当地湿地生态仍有较大影响,一旦洪水来临,损失不容低估。应按照湖南省原来退田还湖规划,对该区域实施“双退”,人、田都退出来,为湿地生态恢复实施提供场所,主要恢复安排有营造防护林、栖息地(林)、麋鹿放养等。

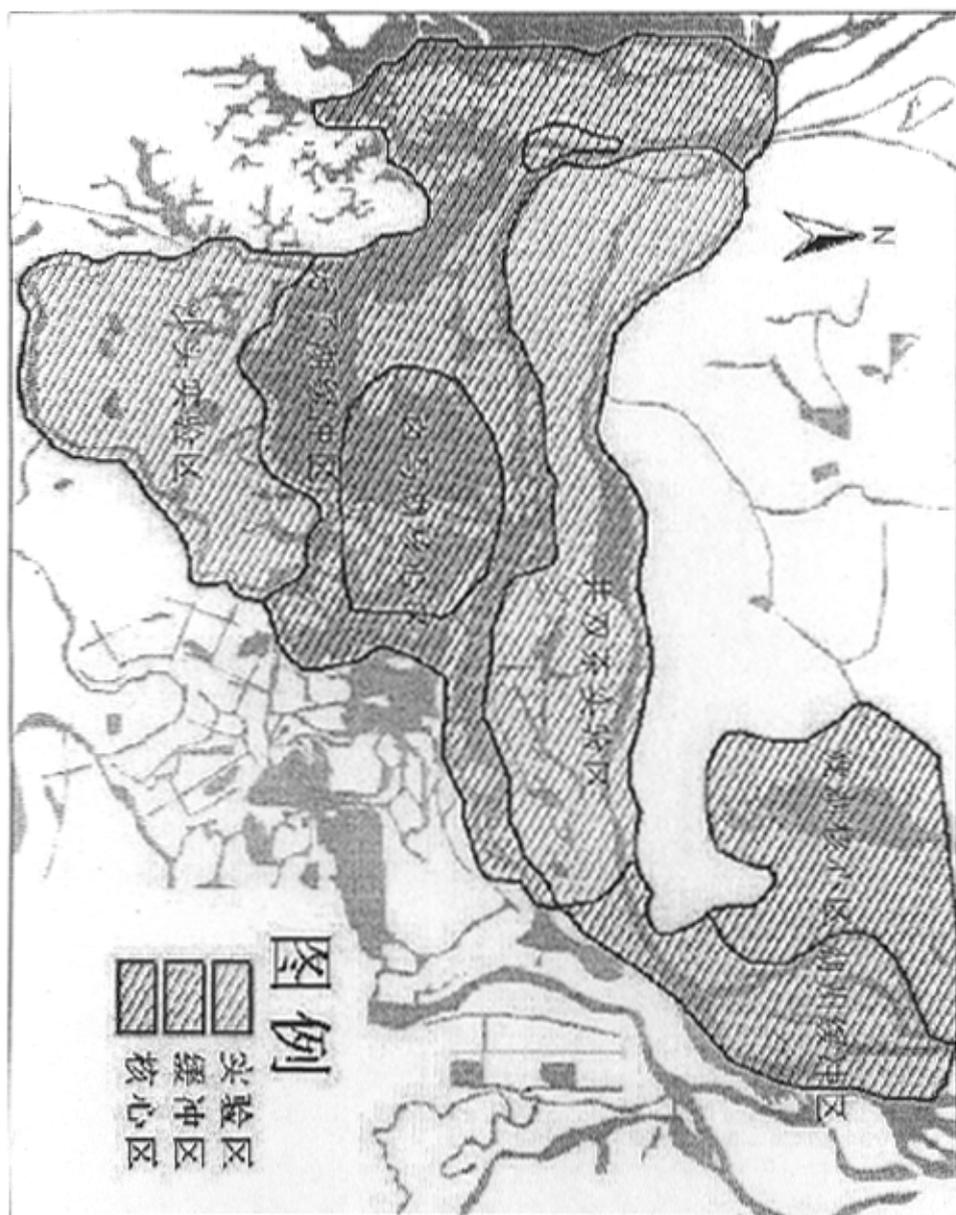


图 5—9：南洞庭湖湿地生态功能分区示意

5.3.3.2 湿地生物多样性保护

(1) 麋鹿自然放养。南洞庭湖湿地区域由于缺乏大型食草动物，部分水域水生植物过于茂密，降低了水中含氧量，影响了其他水生动物，特别是鱼类的生活；另外，由于没有制约因子，苦草、蓼草、莎草及芦苇等物种在南洞庭湖一些滩涂地上繁衍，占领了洲滩全部或大部，使生物多样性急剧下降；水生植物的过于繁盛还会阻碍行洪季节行洪，降低洪水的流速，加快泥沙淤积及湿地退化。为了缓解这一情势，考虑引进洞庭湖区原有的大型食草型动物——麋鹿。麋鹿原来就在洞庭湖区分布，后在我国消失，20世纪80年代后，从国外引回，分布在北京、江苏大丰和湖北石首三个较小区域。为了保护国家珍稀物种——麋鹿，使南洞庭湖湿地恢复麋鹿自然种群，逐步恢复南洞庭湖的原有功能和生物多样性，考虑在南洞庭湖湿地自然保护区畔山洲垸退田后，建立占地100hm²的麋鹿放养基地（图5—10）。

(2) 芦苇移植，芦苇作为两湖平原湿地生态系统中的一个广布种，分布并不合理，芦苇植被的退化会直接导致湿地生态系统的生物量减少，对生态系统生物链造成极大负面影响，威胁到系统的生物多样性。这是因为，在湿地生态系统中，芦苇具有重要的生态功能，芦苇的大量富积，会滋生低等植物、浮游生物和软体动物的生存，形成良好的生物链，进而促进湿地生态系统内鱼类、甲壳类、浮游动物以及鸟类生物圈的稳定。而且，芦苇还具有极强的降解污染物、改善湿地水质的功能。为此，考虑在南洞庭湖进行芦苇移植工程，地点选择在卤马湖附近，移植优质芦苇面积约为650hm²。

5.3.3.3 水禽栖息地恢复

作为水禽繁殖地、迁徙地和栖息地，保护和恢复一定面积人为干扰较少的湿地，具有重要意义，为了更好地保护南洞庭湖区水禽的栖息和生存，拟对南洞庭湖湿地生境进行一定的改造，恢复一些水禽栖息地，给水禽提供良好的栖息环境，拟进行的工作有：

(1) 改造湿地生境。生境好坏直接影响鹤、鸕等水禽栖息地质量，影响水禽的栖息、繁殖与生存。为了解除或缓解影响保护区湿地生态环境的胁迫因子，恢复退化湿地和受破坏的水禽栖息地，在卤马湖区域选择面积约为500hm²（拟分两处）的合适地方实施矮围蓄水工程。通过该工程，使矮围范围内湿地在冬枯水位时，仍可以保持一定深度的水位，使湿水生生物的生态环境不致遭到大的破坏。

(2) 建立水禽食料基地。为了满足水禽对食料的需要，在与珍稀水禽物原有生境相似、无外界干扰而又不受污染威胁的滩地草洲建立水禽食料基地，种植或放养水禽喜欢栖息、觅食的植物或鱼类，供水禽食用，面积200hm²。

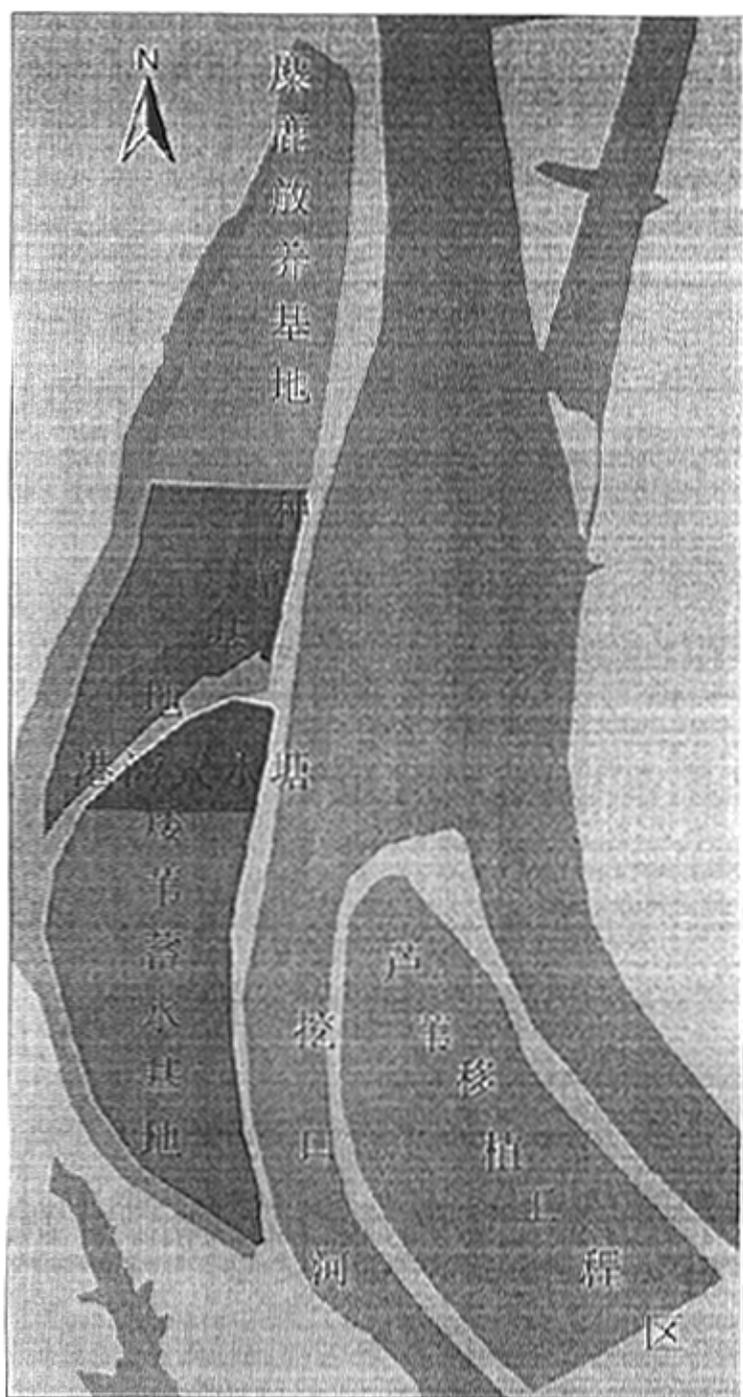


图 5—10：畔山洲湿地恢复设计示意

(3) 栖息地恢复。将退田后的畔山洲垸恢复为栖息地，为此，要在全部退出后在适当的地方决堤引水，平垸行洪，将原来的低产水稻田恢复为湿地，为湿地生物提供栖息地环境。

(4) 恢复水鸟生境。为了保护好水鸟生境，选择卤马湖约 300hm² 的区域进行水鸟生境恢复工程。

此外，还应在退化的芦苇沼泽湿地进行芦苇湿地恢复，开展生态系统恢复工程，恢复和重建退化了的芦苇沼泽植被。

5.3.3.4 污染和富营养化治理

主要是控制湿地污染和防止湿地水体富营养化。对最终进入南洞庭湖的污染源进行认真排查和清理，对点源污染保证达标方可排放，对面源污染尽量控制，对大湖内船只的污染加强管理，保证南洞庭湖湿地整体水质能够保持在一个较好的水平上。

富营养化对湿地演化造成了巨大影响，破坏了湿地水的生态平衡，降低了湿地水体的利用效益，使水中生物多样性受到影响。针对南洞庭湖万子湖区富营养化态势，选择这一重富营养化湿地水域进行生态工程综合治理，以恢复受破坏的湿地，面积约 650 hm²，主要措施有种植可除氮、磷的浮萍、荷花以及投放喜食“水华”藻类的白鲢、花鲢鱼苗等生物措施，净化污水，恢复已经发生退化了的湿地生态系统。

5.4 湿地生态恢复监测与评价

5.4.1 湿地生态恢复的监测

5.4.1.1 监测方法

所谓湿地生态恢复监测就是运用可比的方法，在时间或空间上对特定的退化或恢复的湿地生态系统类型、数量、结构和功能等方面中一个或几个要素进行定期的测定和观察，以了解研究区湿地生态系统的健康状况，预测和评估退化湿地生态系统的恢复趋势，制定出科学的湿地生态系统保护和管理对策，为两湖平原湿地生态保护、生态建设及生态恢复提供重要依据。湿地生态恢复监测是生态系统保护、恢复和管理的基础性工作，是生态系统恢复和管理的基本内容。通常情况下，生态恢复前和恢复后的监测都是必要的。在拟订恢复项目计划的同时，就要考虑并确定监测方案实施路线、采样频率和强度，制订各种需要监测指标。

生态恢复前监测至少在恢复计划实施的前一年进行。对受扰状态进行恢复前监测可以为恢复提供有效的基础数据。如监测水文状况、水质、生物状况等。因为从时空尺度讲，这种受扰状态在生态恢复后将不复存在，取而代之的是全新或改变了的生态类型，因此恢复前的监测也为有效恢复生态，从恢复强度和恢复的成功性上提供了可以比较的指标，增强了对恢复后生态系统变化的理解。

恢复后监测和评价同样是一个关键问题。它能够使管理者和决策者知道何时生态系统已经转换为自我持续性状态或者已达到什么程度,恢复的趋势过程是否有效的。如果通过监测发现恢复后的生态系统状态与希望中的状态不相吻合或不能发挥有效的功能,就需要即时予以诊断并采取相应措施。

生态恢复监测涉及土壤、水文、气象气候、地貌、遥感、环境、动物、植物、水生生物、底栖生物等多种因子,须在一定的生态总体规划及技术支持下进行,并构建指标体系,以反映生态系统结构和功能特点及动态变化。主要方式有:

(1) 宏观监测

宏观监测即是对湿地生态系统进行整体和宏观的监测,从整体上对退化、恢复生态系统的结构、面积及退化、恢复状况等情况进行宏观把握,为湿地生态系统恢复与管理提供宏观依据。随着遥感和计算机技术的发展,3S和计算机等新技术已越来越多地被应用到生态系统保护、恢复、管理等方面。依靠3S技术和专家预测预报系统,可以高效、及时、准确地对恢复退化湿地生态系统进行长期监测。对于两湖平原湿地生态恢复监测而言,其宏观信息的获取主要以遥感手段为主,遥感方法已经成为进行大规模生态系统调查与监测的有效平台。

(2) 定位监测

定位监测是指选取一定类型的典型湿地,由地方监测点和定位监测点所组成的监测网络,目的是为了对某个或某类生态系统的结构、功能、保护和利用等方面进行深入了解,以此为依据掌握整个生态系统的动态变化及其利用和保护管理等方面的情况,对湿地生态环境变化进行研究。通过定位监测,可以深入研究生态系统结构、功能及环境效应,了解监测生态系统的生态特点及生态变化过程,为生态系统退化提前发出预警,有效保护和合理利用生态系统。生态恢复定位监测所选的监测数据应具有连续性、可比性,即兼有信息的空间和时间序列。

(3) 定期监测

湿地生态系统是一个复杂的、开放的动态巨系统,生态系统结构、功能都会随着时间的推移而发生一定的变化,生态系统具有明显的时相变化、季相变化和年际变化。为了反映湿地生态系统的时间动态变化,应对两湖平原湿地生态系统进行定期监测与调查。所谓定期监测与调查即是指每隔一定的时间对所监测的生态系统进行一些相关项目的监测,获取必要的资料,通过对同一地区、同一项目在不同时间所获取的资料进行对比分析,可以对湿地生态系统在特定的时间内发生的变化有所了解,并通过资料的分析预测监测退化湿地生态系统的运行状况,为两湖平原湿地生态系统恢复和管理提供依据。

5.4.1.2 指标选取与分析

两湖平原湿地生态恢复指标须具备较高的代表性、综合性和可操作性,在不同的监测台站之间尽量实现监测内容的可比性,并针对不同监测台站的特殊监测

项目或目的增加特定的指标，以突出各自特点。当然，由于湿地类型多种多样，各地自然条件、社会经济条件各不相同，不可能指望一个或几个指标适用于各种条件，必须依据具体湿地的功能、生物多样性状况和珍稀物种存在的状况来筛选一系列指标，形成湿地监测指标体系（图 5—11）。依据上述要求，建立两湖平原湿地生态恢复监测指标体系（表 5—4）。

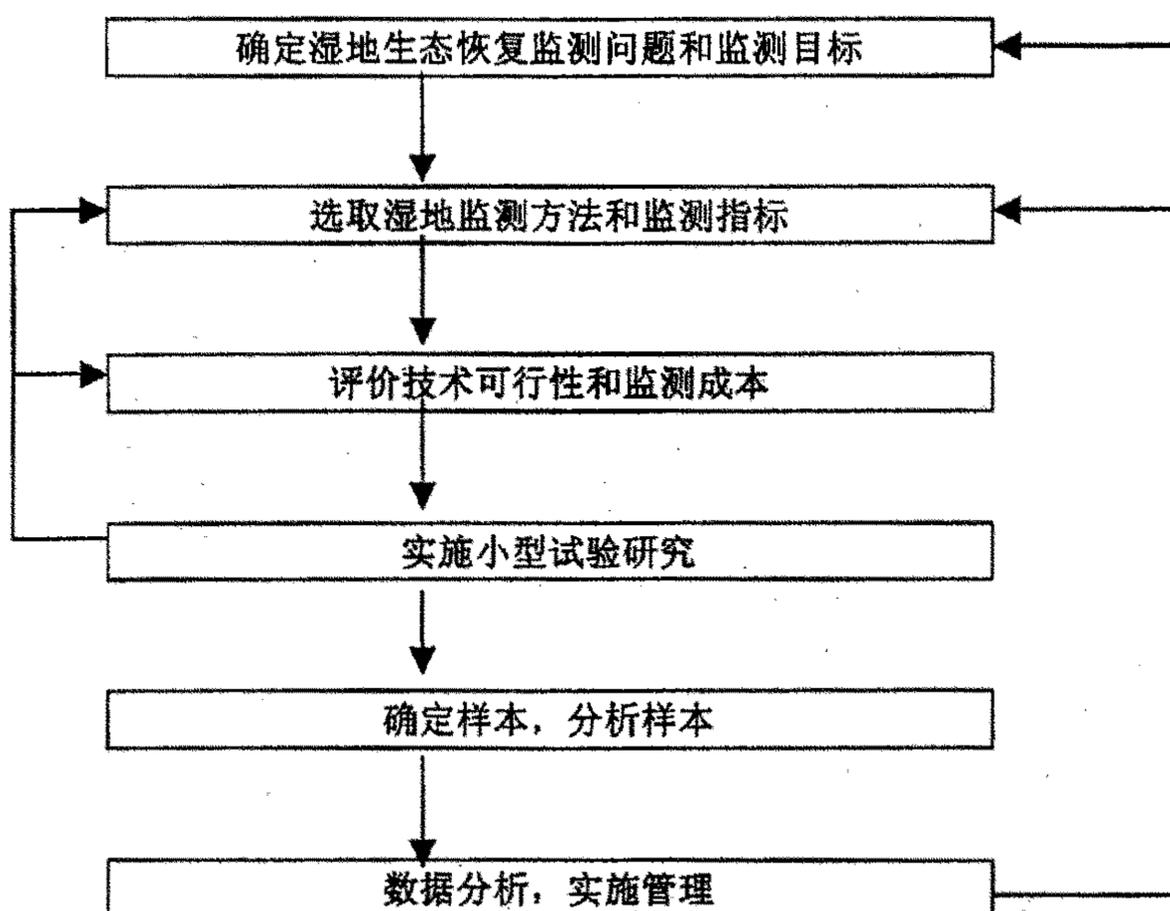


图 5—11：两湖平原湿地生态恢复监测步骤

湿地生态恢复监测为湿地生态恢复提供最本底的基础数据，是评价和衡量湿地生态恢复效果最真实的第一手资料，是进行湿地生态恢复评价的基础。通过两湖平原湿地生态恢复监测，逐步建立适合两湖平原湿地生态特点的指标和评价体系，进而建立退化生态系统恢复监测专家系统和信息管理系统，准确掌握湿地生态保护、利用和恢复状况，科学地分析影响两湖平原湿地生态退化、演化的主导因子，制定出有利于发挥两湖平原湿地生态系统综合效益的恢复对策和生态设计，使湿地生态系统更加健康发展，实现生态系统的可持续发展。

当然，由于南洞庭湖湿地和洪湖湿地生态恢复工程都才刚刚开始（2003 年底资金才真正开投入），监测站点还没有设置到位，生态恢复监测只是挂靠在水利、环保、林业等部门进行了一些恢复前的零散的水位、水质、生物监测，再就是一些高等学校和科研单位进行一些专题或部门监测与调查。这些监测与调查都为湿地生态恢复提供有益帮助，对生态恢复工程的实施有重大意义。事实上，前面对两湖平原湿地生态退化的分析就是建立在多次的生态监测与调查基础上的。但由于原来的监测与调查不够系统，时间序列还不能完全建立，尚不足以完

全支持两湖平原湿地生态恢复工程的实施与评价, 需要在今后加强, 尤其是恢复后的监测更要结合恢复工程的实施加紧进行。

表 5.4: 两湖平原湿地生态恢复监测指标体系

监测类型	监测因子	监测指标	技术方法
自然环境监测	自然环境因子	位置、海拔、地貌类型、土壤、气温、大气湿度、气候状况等	实地调查或查找资料
湿地面积变化监测	湿地生境	生境类型及分布	实地调查
	空间指标	生境的不协调和破碎化程度 生境类型的面积 河流长度	实地调查 地图 遥感和 GIS
	发展趋势	发展趋势分析 与其它区域发展趋势的对照分析	地图 遥感和 GIS
湿地水文系统的监测	水位	地表水位、地下水位	实测水位、压力计
	湿地的水量平衡	降水量 地表水入流量和出流量 地下水入流量和出流量 蒸发量	雨量计 流量计 利用达西定律计算 蒸发皿
	盐度	地表水和地下水的盐度	盐度计
	水温	地表水和地下水的温度	温度计
	水文指标	透明度 PH 值 化学需氧量、生化需氧量	透明读盘 PH 试纸 化学化验
水质变化的监测	有害物质的含量	各有毒物质的浓度 生物体内有毒物质浓度	直接测量 直接测量
	水中的营养物质	进入湿地中的营养物质的数量 水中各营养物质的浓度 沉积物中各营养物质浓度 总磷和总硫量	化学化验 直接测量 直接测量 直接测定
土壤监测	潜育化、沼泽化	土壤养分含量及有效态含量 PH 值、土壤颗粒组成、空隙度、透水率等	实地调查 化学化验
生物监测	微生物、植物、动物	物种组成、种群数量、优势种及变化、水禽种、数、分布、迁徙、物种间影响、对生境的影响	实地调查或查找资料
湿地利用状况的监测	渔业和水产养殖	监测其活动、捕获的数量、影响等	有关部门或直接调查
	畜牧业	监测放牧造成的压力、影响	有关部门或直接调查
	狩猎	监测狩猎的压力、对生物的影响	有关部门或直接调查
	旅游和休闲、土地利用状况	监测对湿地面积的影响、对湿地造成的污染、对生物栖息地的影响等	有关部门或直接调查
社会经济状况监测	人口、经济	人口数量、人口密度、农业总产值、工业总产值、主要产业	从有关部门得到数据 或直接调查
湿地威胁因子监测	各种威胁因子	基建和城市化、围垦、水土流失、污染、水源补给等	直接调查

5.4.2 湿地生态恢复评价

两湖平原湿地生态恢复评价就是按照明确目标测定恢复项目、恢复措施的进程和效果，往往会涉及许多的因素，并必须建立在拥有大量的监测数据基础上，否则就是预分析、预评价，要到实践中去求证。由于两湖平原湿地生态恢复今年是实施的第一年，现在想给出一个完善的评价结果来是不现实的。这儿只介绍一下评价方法，而把实际工作留在研究区湿地生态恢复过程中，在项目的实施过程中进行监测与评价。湿地生态恢复评价正处于探索与研究中，有关的方法及手段也层出不穷。由于两湖平原湿地生态恢复刚刚开始，完善的生态恢复评价受资料限制，还难以进行，这里仅介绍一种可以用于生态恢复评价的方法——综合指数法，真正的生态恢复评价工作在今后的南洞庭湖湿地和洪湖湿地生态恢复实践后同步进行。

综合指数法就是将众多的生态恢复评价因子通过量化和标准化，赋予适当的权重，最终给出一个反映湿地生态恢复状态的综合指数，通过综合指数比较，分析和评价生态环境质量的变化。

综合指数法可以方便地用于横向和纵向比较，通过对生态恢复前后综合指数的比较，得出恢复是否取得理想结果的结论。运用综合指数法的难处在于如何建立表征各个因子质量变化的标准体系，并科学地赋予相应的权重进行计量（杨京平，2002）。但由于该方法简明扼要，便于比较，仍不失为进行两湖平原湿地生态恢复评价的较好方法之一。该方法过程如图 5—12。

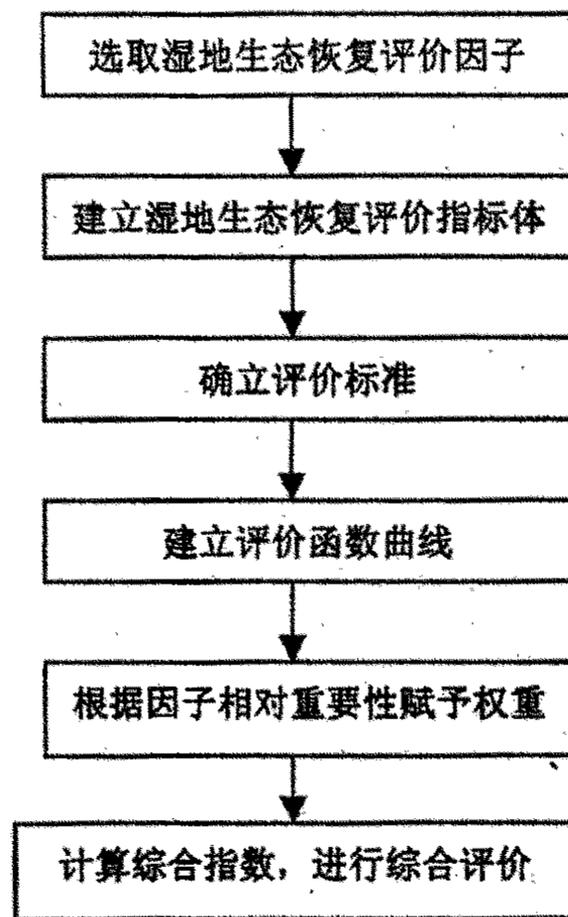


图 5—12：综合指数法评价流程图

综合指数一般可以通过下面的公式得到:

$$E = \sum_{i=1}^n (E_{hi} - E_{gi}) \times W_i$$

式中, E 为湿地生态恢复前后生态质量; E_{hi} 为湿地生态恢复后 i 因子的生态指标; E_{gi} 为湿地生态恢复前 i 因子的生态指标; W_i 为 i 因子的权重

当然, 可用于湿地生态恢复评价的方法还有多种, 如景观生态分析、层次分析法、综合模糊评价法(崔保山等, 2002)、生态价值计算(崔丽娟, 2001)等。事实上, 本文在第四章曾就层次分析法和景观分析法进行过论述, 并进行洪湖湿地生态稳定性和景观格局分析, 适用性还比较理想, 这里不再赘述。

5.5 湿地恢复项目实施面临问题分析

两湖平原湿地生态问题正受到日益广泛的关注, 进行适当的湿地生态恢复已经成为保护当地湿地资源、促进湿地生态可持续发展的必然选择。两湖平原湿地生态恢复已经分区、分阶段开展, 洪湖和南洞庭湖湿地分别被列入国家林业局湿地生态恢复示范项目, 得到了资金和技术上的支持, 正顺利实施。实施两湖平原湿地生态恢复, 无疑具有重大的生态、社会和经济效益, 对推动区域全面、协调、可持续发展具有重要意义。但也应对生态恢复过程中已经或可能出现的问题有足够的认识, 正确对待和处理这些问题, 对两湖平原湿地生态恢复顺利实施有重大推动作用。下面就在湿地生态恢复中可能出现的问题进行简要归纳, 以期能对正在实施的湿地生态恢复有所警示, 算作抛砖引玉。

5.4.1 血吸虫病问题

血吸虫病一直是困扰两湖平原湿地人民的一种人畜传染病, 一旦到患病后期往往难以治愈, 给当地人民生命财产安全造成极大破坏。时干时湿、时水时陆的芦苇洲和湖草洲是钉螺生长的最佳生态环境, 两湖平原湿地区域由于泥沙淤积、流水不畅, 为钉螺的扩散、繁殖创造了条件, 使血吸虫病流行有了可能。

实施生态恢复工程后, 两湖平原湿地区域潜水层地下水位提供, 可能在低湖田地区使原已脱沼化的水稻土重新沼泽化。沼泽化过程有利于钉螺生存繁殖, 这将加重血吸虫病流行。为此, 应积极采取措施, 通过灭螺、合理处理人畜粪便、撒药等途径, 控制两湖平原湿地血吸虫病的流行。

5.4.2 职能部门关系协调问题

对于两湖平原湿地生态恢复工程, 部门与地区之间由于湿地权属关系不明确, 存在一定的冲突, 不同部门、不同地区或不同利益集团客观上存在着利益冲突, 导致对生态恢复的不理解、不支持甚至破坏湿地生态。根据南洞庭湖和洪湖湿地实际, 对于区域内的湿地至少有林业、水利、环保、水产、农业等多个部门

有权对湿地水域宣称有管辖权，而多头管理的最终结果就是利益大家争、困难大家推，使湿地生态进一步退化，使湿地保护与恢复实施不能取得理想效果。为此，应积极探索湿地管理制度、产权创新，将湿地生态恢复真正作到权责明晰，顺利开展和实施（于秀波，2002）。

5.4.3 渔民安置与替代产业

生态恢复不可避免会对区内的渔民生活、生产造成一定的影响，甚至一些人可能会由于实施湿地生态恢复工程，需搬离原来的生活区域。如何安置这部分渔民，让他们愿意搬离，并能安心在迁入区生活，就成为进行湿地生态恢复必须要考虑的问题之一，处理的好，湿地就能得以顺利实施，否则，就难以进行。在进行生态恢复前，必须对此有充分认识，采取有效措施妥善安置。

另外，不管渔民是否离开恢复区，恢复都要求改变原来不合理的湿地利用方式，探索湿地可持续利用模式。其中，发展替代产业是重要一环，选择适合当地的替代产业，对增加人民收入、提高民众参与湿地保护与恢复的积极性有重要意义，应加强研究。

5.4.4 湿地生态旅游问题

湿地生态旅游对于两湖平原湿地生态恢复具有重要意义，可以为湿地生态恢复提供资金支持，推动公众提供湿地意识，自觉参与湿地生态恢复工作，最终带动当地社会经济的全面、协调和可持续发展。两湖平原地区湿地生态旅游资源丰富，优美的自然风光，独特的湿地人文景观，为生态旅游提供良好的开发条件。开发两湖平原湿地生态旅游必须以可持续发展为指导，制订科学规划，进行开发项目环境影响评价，正确处理旅游开发与生态保护、生态恢复的关系，完善生态旅游配套服务建设，采取措施提高公众生态旅游意识和旅游商品开发能力，推动两湖平原湿地生态旅游健康发展。

5.5 小结

本章是上一部分的继续，是对两湖平原湿地生态退化的一种回应，那就是要进行湿地生态恢复与设计。文章首先对正在和将要在两湖平原实施的湿地生态恢复项目进行简单介绍，对两大项目区——南洞庭湖和洪湖湿地自然保护区概况阐述后，先就两湖平原湿地生态恢复提出了相应的总体目标和对策，重点就示范项目区湿地生态恢复进行了生态设计，以便为湿地生态恢复实践提供实施方案。文章的最后则对两湖平原湿地生态恢复项目所要进行的生态恢复监测与评价、恢复可能面临的问题进行了阐述，以期推动两湖平原湿地生态恢复全面顺利实施，并取得理想的效果。

第六章 结论与讨论

本文以当今学科热点——生态恢复为选题,以两湖平原湿地生态系统为研究对象,结合国家林业局洪湖和南洞庭湖湿地生态恢复示范项目,以点带面,点面结合,从理论与实践两方面对两湖平原湿地生态退化、恢复进行讨论与阐述,认为在研究区实施湿地生态恢复既是区域湿地生态退化的必然要求,又是一项具有可操作性的生态建设实践。

6.1 主要结论

在理论上,本文首先对生态恢复和恢复生态学进行了概念界定,在对国内外恢复生态学研究综述的基础上,探讨了生态恢复的三个重要理论基础,认为生态恢复的认识论基础是群落生态演替理论,目标和方向论基础是可持续发展(生态可持续)理论,方法论基础是生态系统管理理论。文章还讨论了生态恢复的一些基本问题,就生态恢复的目标、技术和基本理论进行了阐述与探讨,认为生态恢复是在一定的理论指导下为了达到一定的目标、遵循一定的原则、依靠相应的生态恢复技术、通过科学的恢复对策与生态设计实现的。

在实践上,文章以两湖平原湿地生态系统为工作对象,以南洞庭湖和洪湖湿地自然保护区恢复实践为实验区,通过以点带面、点面结合的方式,对典型湿地生态系统退化、生态稳定性、景观格局进行分析,认为两湖平原湿地生态系统存在着湿地面积萎缩、水质污染加剧、生物多样性降低、生态系统结构与功能退化等问题,影响了区域社会经济全面、协调、可持续发展。两湖平原湿地生态退化是由自然和人为原因共同叠加造成的,但人为原因的贡献较大,并呈增长趋势。基于两湖平原湿地生态退化的实际,文章提出了两湖平原湿地恢复的原则与对策,就南洞庭湖和洪湖两大典型湿地进行了生态恢复设计和恢复监测规划,并将上述成果逐步应用到当地生态恢复实际工作中。

在研究方法上,本文运用先进的技术与方法对两湖平原湿地生态系统退化、演化与恢复进行研究。应用3S技术对两湖平原湿地生态动态变化进行监测,佐证两湖平原湿地生态退化(面积退化)的事实存在和退化趋势。应用层次分析法、景观生态分析法对两湖平原典型湿地——洪湖湿地进行生态稳定性和景观格局变化分析,得出洪湖湿地为中度稳定,洪湖湿地生态受到一定破坏的结论。

6.2 研究进展与突破

文章结合参与的两湖平原典型湿地——洪湖和南洞庭湖湿地自然保护区湿地生态恢复示范项目,依托中国科学院测量与地球物理所湖北省环境与灾害研究室研究力量,对两湖平原湿地生态退化态势、退化原因和恢复对策与生态措施进行了研究和设计。本研究强调理论与实践相结合,突出应用特色,以理论指导实

践, 用实践丰富、验证理论, 取得了一些初步的研究进展与突破, 主要体现在:

(1) 从认识论、方法论、目标论出发, 探讨了生态恢复的理论基础, 将可持续发展理论, 尤其是生态可持续理论, 引入湿地生态恢复研究与实践, 把生态可持续作为湿地生态恢复的理论基础与基本目标之一, 从区域和全球可持续发展战略的高度来认识和指导两湖平原湿地生态恢复实践。

(2) 针对两湖平原湿地生态系统退化的事实, 在分析湿地退化原因的基础上, 提出两湖平原湿地生态恢复的原则与目标, 给出了相应的湿地生态恢复对策与建议, 并对南洞庭湖和洪湖两大典型湿地自然保护区进行湿地生态恢复设计, 为区域湿地生态恢复工程的实施提供科学依据。

(3) 将 3S 技术和数学方法用于两湖平原湿地生态退化、恢复研究。运用 3S 技术对江汉平原湿地动态变化进行遥感监测与分析, 将结果应用到湿地生态退化与恢复研究与实际工作中, 对评价两湖平原湿地生态恢复、指导恢复实践有重要意义。

6.3 有待完善的工作

受时间、资料和研究手段限制, 加之所依托课题刚刚开始, 本研究仍存在许多有待完善的地方, 有待今后深入研究和完善。

(1) 生态恢复理论研究有待深入

生态恢复主要研究退化生态系统退化机理与原因、退化生态系统恢复与重建方法技术, 是关于生态系统退化、演化和恢复机制研究和实践的理论总结, 已经成为当今科学的研究热点。但受相关学科科技水平制约, 恢复生态学学科体系尚未完全建立, 在理论建构和学科应用方面还存在一些不足, 有待进一步深入研究。

(2) 湿地生态退化、恢复评价需进一步探索

尽管本文对研究区湿地生态退化进行了较为详细的分析, 也作了一些初步分析, 但受信息提取、资料收集、方法制约, 对两湖平原湿地生态退化、恢复的评价还稍显不足, 有关这方面的工作应在今后的工作中进一步探索。

(3) 研究手段尚需改进

本文应用了 3S 技术和一些数学方法, 取得了一定的效果, 推动两湖平原湿地生态恢复研究与实践。但是, 由于受实验条件、工作平台及本人学术水平的影响, 研究方法还不够先进, 生态实验与实践还需进一步改进, 相关工作要进一步完善和加强。

(4) 湿地生态恢复设计还有待实践验证

文中应用生态学、环境学、地理学理论对南洞庭湖和洪湖湿地生态恢复进行了设计, 期望能对生态恢复实践有所帮助, 但是那毕竟还只是理论上的探讨, 受时间限制, 只是个别方案在局部地区进行了实践, 大部分工作还应在今后的两湖平原湿地生态恢复实践中进行检验, 并不断加以改进, 这也是本研究有待进行的工作。

作。

总之，本文尽管在湿地生态恢复理论与实践方面作了一些有益的探索，取得了一定的成绩，但对于两湖平原湿地生态恢复实践而言，这些工作还仅仅是一个小小的开始，以后的路还很长很长，本人愿意在这一领域继续作进一步的探索，并希望得到相关专家的指导。

参考文献

中文文献

1. 安树青 湿地生态工程[M] 北京: 化学工业出版社 2003 1~4
2. 芭芭拉·沃德, 勒内·杜波斯 只有一个地球[M] 长春: 吉林人民出版社 1997 47~57
3. 包维楷, 刘照光, 刘庆 生态恢复重建研究与发展现状及存在的主要问题[J] 世界科技研究与发展 2001, 23 (1): 44~48
4. 卞鸿翔, 王万川, 龚循礼 洞庭湖的变迁[M] 长沙: 湖南科学技术出版社 1993 81~93, 209~225
5. 蔡述明 长江中游湿地开发、利用和保护[A] 见: 陈宜瑜 中国湿地研究[C] 长春: 吉林科学技术出版社, 1996 161~176
6. 蔡述明, 蔡延松 保护湿地, 促进经济、社会可持续发展[J] 科技导报 2000 (12) 43~44
7. 蔡述明, 杜耘 江汉湖群湖泊资源特点及其开发利用保护[J] 华中师范大学学报(自然科学版), 2000, 34(4): 476~481
8. 蔡述明, 马毅杰, 朱海虹 等 三峡工程与沿江湿地及河口盐渍化土地[M] 北京: 科学出版社, 1997, 57~65
9. 蔡述明, 夏贤英 四湖地区湿地资源及其开发[J] 长江流域资源与环境 1993, 2 (2): 137~142
10. 蔡述明, 周新宇 人类活动对长江中游湿地生态系统的冲击[J] 地理科学 1996, 16 (2): 129~136
11. 蔡述明, 王学雷, 曾艳红 湖北省湿地的保护与利用[J] 长江流域资源与环境 2002, 11 (5): 437~441
12. 蔡述明, 曾艳红 长江中下游环境的主要问题及其对策[J] 长江流域资源与环境 2002, 11 (6): 564~568
13. 蔡晓明 生态系统生态学[M] 北京: 科学出版社 2002 297, 22~27
14. 常剑波, 曹文宣 通江湖泊的渔业意义及其管理对策[J] 长江流域资源与环境 1999, 8 (2): 153~157
15. 《长江大辞典》编纂委员会 长江大辞典[M] 武汉: 武汉出版社 1997, 8
16. 陈静生, 蔡运龙, 王学军 人类—环境系统及其可持续性[M] 北京: 商务印书馆 2001 322~343
17. 陈康娟, 王学雷 人类活动下的四湖地区湿地景观格局分析[J] 长江流域资源与环境 2002, 11 (3): 219~223
18. 崔保山 湿地生态系统健康评价理论与实践 北京: 中国科学院研究生院博士论文 2000
19. 崔保山, 刘兴土 湿地恢复研究综述[J] 地球科学进展 1999, 14 (1): 10~15
20. 崔丽娟 湿地价值评价研究[M] 北京: 科学出版社 2001, 34~49
21. 程学军, 李仁东, 薛怀平 武汉市近期土地利用的动态监测研究[J] 华中师范大学学报(自然科学版) 2001, 35 (1): 111~114
22. 戴星翼 走向绿色的发展[M] 上海: 复旦大学出版社 1998 33~63
23. 邓学建, 王斌, 雷刚 东洞庭湖冬季鸟类及其多样性分析[J] 动物学杂志 2002, 36 (3): 54~56
24. 窦鸿身, 姜加虎 洞庭湖[M] 合肥: 中国科学技术大学出版社 2000, 128~166
25. 傅伯杰, 陈利顶, 马克明等 景观生态学原理及应用[M] 北京: 科学出版社 2002, 167~171
26. 傅伯杰, 刘世梁, 马克明 生态系统综合评价的内容与方法[J] 生态学报 2001, 21 (11): 1885~1892
27. 傅伯杰, 于秀波 中国生态环境的新特点及其对策[J] 环境科学 2000, 21 (5): 104~106
28. 龚胜生 两湖平原城镇发展的空间过程[J] 地理学报 1996, 51 (6): 489~500
29. 龚胜生 长江中游洪灾的历史地理考察[J] 华中师范大学学报(自然科学版) 2000, 34 (4): 485~488
30. 龚胜生 江汉—洞庭湖平原湿地的历史变迁与可持续利用[J] 长江流域资源与环境 2002, 11(6): 569~574
31. 郭方, 余文涛 加强我国生态环境建设[J] 环境科学 1989, 10 (4): 3~6
32. <http://www.china-epa.com>
33. 国家林业局等 中国湿地保护行动计划[M] 北京: 中国林业出版社 2000
34. 胡鸿兴, 万晖 湖北鸟兽多样性及保护研究[M] 武汉: 武汉大学出版社 1995 124~131
35. 黄进良 近 500 年江汉平原湖区土地开发的历史反思[J] 华中师范大学学报(自然科学版) 2001, 35 (4): 485~488
36. 黄进良, 饶鸣, 张宇宾 湖北土地利用区划与可持续利用区域模式[J] 华中师范大学学报(自然科学版) 2002, 36 (4): 521~525
37. 黄亮, 李伟, 吴莹等 长江中游若干湖泊中水生植物体内重金属分布[J] 环境科学研究 2002, 15 (6): 1~4
38. 黄铭洪 环境污染与生态恢复[M] 北京: 科学出版社 2003, 54
39. 黄锡畴 沼泽生态系统的性质[A] 见: 陈宜瑜 主编 中国湿地研究[C] 长春: 吉林科学出版社 1996 15~23
40. 贾灵, 李建会 全球环境变化——人类面临的共同挑战[M] 武汉: 湖北教育出版社 1998 230~245, 51~53
41. 焦居仁 生态修复的要点与思考[J] 中国水土保持 2003 (2): 1~2
42. 简永兴, 王建波, 何国庆等 洞庭湖区三个湖泊水生植物多样性比较研究[J] 水生生物学报 2002, 26 (2): 160~167

43. 金伯欣 江汉湖群综合研究[M] 武汉: 湖北科学技术出版社 1992, 1~45
44. 金相灿 湖泊富营养化控制和管理技术[M] 北京: 化学工业出版社 2001 112~174
45. 李长安, 杜耘, 吴宜进等 长江中游环境演化与防洪对策[M] 武汉: 中国地质大学出版社 2001, 22~80
46. 李景保, 朱红旗, 龙经文 从湖泊水域环境异变论洞庭湖区洪涝灾害[J] 灾害学 1997, 12 (4): 80~84
47. 李仁东, 庄大方, 王宏志等 洞庭湖区近 20 年土地利用/覆盖变化的时空特征[J] 地理科学进展 2003, 22 (2): 164~173
48. 李智杰 长江荆江河段 1998 年洪水分析[J] 人民长江 2001, 32 (2): 18~20
49. 李新民, 余刚鹏, 刘明等 长江中游地区水资源利用[J] 1999, 33 (1): 142~143
50. 刘国华, 舒洪岚 编译 未来的希望: 恢复生态学与保护生物学[J] 江西林业科技, 2003
51. 刘海燕, 曹艳英 江汉平原湿地开发及其对环境的影响[J] 地理学与国土研究 1998, 14 (2): 16~19
52. 刘静玲等 人口、资源与环境[M] 北京: 化学工业出版社 2001 182~194
53. 刘鲁君, 王健民, 叶亚平 生态建设理论与实践[J] 环境导报 2000 (4): 32~34
54. 柳劲松, 王丽华, 宋秀娟 环境生态学基础[M] 北京: 化学工业出版社 2003 239~248, 81~88, 95~105
55. 刘培桐 环境学概论[M] 北京: 高等教育出版社 1985 8
56. 刘培哲 可持续发展——通向未来的新发展[J] 中国人口·资源与环境 1994 (3)
57. 刘士余, 赵小敏 长江中游湖区农业生态经济系统分析[J] 江西农业大学学报(社会科学版) 2002, 1 (3): 25~29
58. 刘新平, 高昌海, 刘明等 长江中游湿地生态替代产业开发模式与对策研究[J] 资源科学 2002, 24 (3): 65~70
59. 吕新华 湿地研究综述及文献信息索引 世界自然基金会长江项目报告 2002
60. 吕新华, 刘清 长江流域的湿地资源及其恢复保护[J] 地理与地理信息科学 2003, 19 (1): 70~73
61. 孟宪民 湿地与全球环境变化[J] 地理科学 1999, 19 (5): 385~389
62. 马世骏 中国生态环境问题分析及治理策略: 以区域生态工程为主体的生态建设[J] 管理世界 1990 (3): 166~170
63. 梅莉, 张国雄 两湖平原开发探源[M] 南昌: 江西教育出版社 1995, 1
64. 聂芳容 三峡工程与洞庭湖[M] 长沙: 湖南人民出版社 2001, 294~298
65. 彭少麟 热带亚热带恢复生态学研究与实践[M] 北京: 科学出版社 2003 1~4, 48, 390~395,
66. 彭少麟 退化生态系统恢复与恢复生态学 中国基础科学 2001 (3)
67. 彭少麟, 赵平, 申卫军 了解和恢复生态系统[J] 热带亚热带植物学报 2002, 10 (3): 293~294
68. 钱学森等 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J] 自然杂志 1990 (1)
69. 钦佩, 安树青, 颜京松 生态工程学[M] 南京: 南京大学出版社, 1998 89
70. 任长久 现代生态学研究热点——恢复生态学[A] 北京大学环境科学中心编 面向 21 世纪的环境科学与可持续发展[C] 北京: 科学出版社 2000 370~375
71. 冉宗植, 蔡述明 江汉——洞庭平原的涝地农业与江湖整治 见: 长江流域资源、生态、环境与经济开发研究论文集 北京: 科学出版社 1991
72. 任海, 彭少麟 恢复生态学导论[M] 北京: 科学出版社 2001 1~3, 10~23, 65~69, 114~117, 123~128
73. 任宪友, 蔡述明, 王学雷等 长江中游湿地生态恢复研究[J] 华中师范大学学报(自然科学版) 2004, 38 (1): 114~116
74. 石超艺, 李长安 长江中游湿地保护及综合利用刍议[J] 湘潭师范学院学报(自然科学版), 2002, 24 (1): 68~71
75. 湿地国际——中国办事处 社区参与湿地管理[M] 北京: 中国林业出版社 2001, 2~55
76. 世界环境与发展委员会 我们共同的未来[M] 长春: 吉林人民出版社 1997 52
77. 舒俭民, 刘晓春 恢复生态学的理论基础、关键技术与应用前景[J] 中国环境科学 1998, 18 (6): 540~543
78. 水利部长江水利委员会 长江流域地图集 北京: 中国地图出版社 1999
79. 石泉, 蔡述明 古云梦泽研究[M] 武汉: 湖北教育出版社 1996 1~174
80. 孙晓红, 郭生练, 郭海晋等 长江洞庭湖和宜昌至汉口流域洪水过程模拟研究[J] 水电能源科学 2001, 19 (3): 46~48
81. 唐训贵 洪湖的开发与可持续发展[M] 武汉: 湖北科学技术出版社 2003 31
82. 童潜明 三峡水库运行后对洞庭湖防洪和生态的思考[J] 国土资源科技管理 2002 (3): 1~6
83. 王军 可持续发展[M] 北京: 中国发展出版社 1997 40
84. 王克林 洞庭湖湿地景观结构与生态工程模式[J] 生态学杂志, 1998, 17 (6): 28~32
85. 王仁卿, 刘纯惠, 晁敏 从第五届国际湿地会议看湿地保护与研究趋势[J] 生态学杂志, 1997, 16 (5): 72~76
86. 王学雷 江汉平原湿地脆弱性与生态恢复 华中师范大学学报(自科版) 2001, 35 (2): 237~240

87. 王学雷, 杜耘 洪湖湿地价值评价与生物多样性保护[J] 中国科学院院刊 2002, 17 (3): 177~180
88. 王学雷, 吴宜进 江汉平原四湖地区湿地农业景观格局分析[J] 华中农业大学学报 2001, 20 (2): 188~191
89. 王学雷, 刘兴土, 吴宜进 洪湖水环境特征与湖泊湿地净化能力研究[J] 武汉大学学报(理学版) 2003, 49 (2): 217~220
90. 魏宏森 系统理论及其哲学思考[M] 北京: 清华大学出版社 1988
91. 颜昌宙, 叶春, 刘文祥 云南洱海湖滨带生态重建方案研究[J] 上海环境科学 2003, 22 (3): 459~465
92. 肖飞, 蔡述明 洪湖湿地变化研究[J] 华中师范大学学报(自然科学版) 2003, 37 (2): 266~268
93. 杨果 宋代两湖平原堤防与镇市的地理考察 武汉大学博士论文 1998
94. 阎传海, 张海荣 宏观生态学[M] 北京: 科学出版社 2003 22~28
95. 杨京平 生态安全的系统分析[M] 北京: 化学工业出版社 2002 127~151
96. 杨京平, 卢剑波 生态恢复工程技术[M] 北京: 化学工业出版社 2002, 12~16, 310, 9~11
97. 杨怀仁, 唐日久 长江中游荆江变迁研究[M] 北京: 中国水利水电出版社, 1999, 129~145
98. 杨其仁, 王小立, 吴发清等 1996~1997年洪湖湿地鸟类调查报告[J] 华中师范大学学报(自然科学版) 1998, 33 (2): 263~265
99. 杨永兴 国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望[J] 地理科学进展, 2002, 21 (2): 111~120
100. 杨永兴 国际湿地科学研究进展和中国湿地科学研究优先领域与展望[J] 地球科学进展, 2002, 17(4): 508~514
101. 易朝路, 蔡述明, 黄进良等 江汉平原(四湖地区)和洞庭湖区湿地的分类与分布特征[J] 应用基础与工程科学学报 1998, 6 (1): 19~25
102. 尹玲玲 从明代河泊所的置废看湖泊分布及演变——以江汉平原为例[J] 湖泊科学 2000, 12 (1): 38~46
103. 俞立中, 许羽, 蔡述明等 GIS技术在洪湖环境演变研究中的应用[J] 湖泊科学 1993, 5 (4): 350~357
104. 余作岳, 彭少麟 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究 广州: 广东科技出版社
105. 袁传武, 史玉虎, 藩磊等 长江中游(湖北段)湿地植被调查初报[J] 湖北林业科技 2002 (2): 13~15
106. 张永泽, 王焯 自然湿地生态恢复研究综述[J] 生态学报, 2001, 21 (2): 309~315
107. 章家恩, 徐琪 生态退化研究的基本内容与框架[J] 水土保持通报 1997, 17(3): 46~53
108. 章家恩, 徐琪 恢复生态学研究的一些基本问题探讨[J] 应用生态学报, 1999, 10(1): 109~113
109. 张家炎 十年来两湖地区暨江汉平原经济史研究综述[J] 中国史研究动态 1997 (1): 2~11
110. 张家玉 围垦对洪湖生态环境的影响及其水生生物资源的保护与利用[A] 见: 金相灿 主编 中国湖泊水库环境调查研究[C] 北京: 中国环境科学出版社 1990, 176~183
111. 张坤民 可持续发展论[M] 北京: 中国环境科学出版社 1997 15~32, 74~100
112. 张人权, 梁杏、段文忠等 洞庭湖区演变及洪灾成因与发展的系统分析[M] 武汉: 中国地质大学出版社 2003 24~30, 39
113. 张晓阳, 蔡述明, 孙顺才 全新世以来洞庭湖的演变[J] 湖泊科学 1994 (1): 13~21
114. 张修桂 洞庭湖演变的历史过程[J] 历史地理(创刊号) 上海: 上海人民出版社. 1981 99~115
115. 张修桂, 左鹏 荆江洪涝的历史成因及对策[J] 探索与争鸣 1999 (6): 38~41
116. 张震龙 “两湖”平原经济开发的历史进程[J] <http://www.shgzb.gov.cn>
117. 赵魁义, 刘兴土 湿地研究的现状与展望[A] 见: 陈宜瑜 主编 中国湿地研究[C] 长春: 吉林科学技术出版社 1995 1~9
118. 赵桂久, 刘燕华, 赵名茶 主编 生态环境综合整治与恢复技术研究[C] 北京: 北京科学技术出版社 1995 32~41, 69~76
119. 赵淑清, 方精云, 唐志尧等 洪湖湖区土地利用/土地覆盖时空格局研究[J] 应用生态学报 2001, 12 (5): 721~725
120. 赵晓英, 陈怀顺 恢复生态学的相关概念 [J] 资源生态环境网络研究动态 2000, 11 (4): 25~29
121. 赵晓英, 孙成权 恢复生态学及其发展 [J] 地球科学进展 1998, 13(5): 474~480
122. 赵艳 江汉湖区的开发及其环境效应 [J] 长江流域资源与环境 2000, 9 (3): 370~375
123. 中国21世纪议程中心编 论中国的可持续发展 [M] 北京: 海洋出版社 1994, 111~118
124. 周乃晟, 袁雯, 范业正 东、南洞庭湖的径流、泥沙特征及冲淤规律[J] 湖泊科学 1992, 4 (4): 29~40
125. 朱诚, 于世永, 卢春成 长江三峡及江汉平原地区全新世环境考古与异常洪涝灾害研究 [J] 地理学报 1997, 52 (3): 268~278
126. 左鹏, 张修桂 明清水患与江汉社会 [J] 复旦学报(社会科学版) 2000 (6): 36~40
127. K. A. 沃科特, J. C. 戈尔登, J. P. 瓦尔格, D. J. 沃科特 等著 生态系统——平衡与管理的科学 北京: 科学出版社 2002 1~4

外文文献

1. Aber, J.D et al. Restoration ecology: An environment middle ground. *Bioscience*, 1985, 35(7): 399
2. Agee, G.H. et al. *Ecosystem Management for Parks and Wilderness*. Seattle: University of Washington press. 1988
3. Aronson, et al. Restoring and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semiarid lands. I. A view from the south. *Restoration Ecology*, 1993, 1(1): 8~17
4. Barbier, E.B et al. *Economic valuation of wetlands*. Gland: Ramsar Convention Bureau. 1997
5. Bradshaw A.D. The Reconstruction of Ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 1987, 20: 1~17
6. Cairns et al. Restoration ecology. *Encyclopedia of Environmental Biology*, 1995, 3:223~235
7. Cairns. A proposed framework for developing indicators of ecosystem health. *Hydrobiology*, 1993
8. Coles B. J. *Archaeology and Wetland Restoration*. *Restoration of Temperate Wetlands*. 1995. 19~32
9. Daily, G.C. Restoring value to the worlds degraded lands *Science*, 1995, 269:350~354
10. Edward B, et al. *Economic Valuation of Wetlands*. Ramsar Convention Bureau. Gland, Switzerland. 1997
11. Ehrenfeld J.G. and L.A. Toth. Restoration ecology and ecosystem perspective. *Restoration Ecology*. 1997, 5(4): 307-317
12. Harper, J.L *Self-effacing Art: Restoration as Imitation of Nature*. *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research* In: Jordan, et al. Cambridge: Cambridge University Press. 1987, 35~45
13. Hayes D.F. *Engineering Approaches to Ecosystem Restoration: Wetlands Engineering & River Restoration Conference 1998*. American Society of Civil Engineers. 1998.
14. Henry A. R. Indicators of ecosystem integrity. In: Daninel et al. *Ecological indicators*. Barking: Elsevier Science Publishers. Ltd, 1992. 183~200
15. Henry, C. P et al. *Restoration Ecology of Riverine Wetlands: I. A Scientific Base*. *Environmental Management*. 1995, 19(6):891~902.
16. Henry, C. P et al. *Restoration Ecology of Riverine Wetlands: II. An Example in a Former Channel of the Rhone River*. *Environmental Management*. 1995, 19(6): 903-913
17. Hey D.L et al. *A case for Wetland Restoration*. Chichester: John Wiley & Sons. 1999, 288
18. Jordan, et al *Restoration ecology: A Synthetic Approach to Ecological Restoration*. Cambridge: Cambridge University. 1987, 1~342
19. Kauffman. *Ecological approaches to riparian restoration in northeast Oregon*. *Restoration and management Notes*, 1995. 13:12~15
20. Keddy, P. *wetland restoration: the potential for assembly rules in the service of a conservation*. *Wetland*, 1999, 19(4): 716~732
21. Kelly, et al. Indicators of ecosystem response and recovery. In: S. Levin et al. *Ecotoxicology: problems and approaches*. New York, springer-verlag. 1989. 9~35
22. Martin J F, Reddy KR. Interaction and spatial distribution of wetland nitrogen processes. *Ecological modeling*, 1997, 105:1-21
23. Mitsch W J. Wu Xinyuan, Robert W, et al. *Creating and Restoring Wetlands*. *Bioscience*, 1998. 48(12): 1019-1030
24. Mitsch W J. *Ecological indicators for ecological engineering in wetlands*. In: Daninel H, et al. *Ecological indicators*, Barking: Elsevier Science Publisher Ltd, 1992. 537-558
25. Mitsch W J. Improving the success of wetland creation and restoration with know-how, time, and self-design. *Ecological Application*, 1996(6): 77~83
26. Overbay, J.C. *Ecosystem management in: D.Gordon ed. Taking an Ecological Approach to Management*. Unite states Department of Agriculture Forest Service Publication WO-WSA-3. 1992, 3~5
27. Rapport D.J et al. *Ecosystem health*. Oxford: Blackwell Science, Inc. 1998
28. Rapport D.J et al. Evaluation landscape health: integrating societal goals and biophysical process. *Journal of environmental Management*, 1998, 53:2~14
29. Rapport D J, Evolution of indicators of ecosystem health. In: Daniel H, et al. *Ecological indicators*. Barking: Elsevier Science Publishers Ltd, 1992. 121~134
30. Shu-ming Cai. *The Development and Protection of Wetlands in the Four Lake Area of Jiangnan Plain* *中国地理科学* 1995 (3)
31. US National Research Council: *Restoration of Aquatic Ecosystems* Nat Acad Press, Washington

DC 1992

32. Wheeler B D. Introduction: Restoration and wetlands. In: Wheeler, B.D et al. Restoration of Temperate Wetlands. Chichester: John Wiley & sons Ltd. 1995. 1~18
33. Wood, C.A. Ecosystem Management: achieving the land ethic. Renewable Natural Resources Journal. 1994(12):6~12
34. Xuelei Wang: Wetland Vulnerability Assessment and the Ecological Rehabilitation In Jiangnan Plain, China. Millennium Wetland Event — The Sixth International Wetland Symposium, August 6~12, 2000, Quebec, Canada
35. Xuelei Wang: Wetland Ecosystem Function Assessment and The Sustainable Development In Jiangnan Plain-Lake District[J], China, Wuhan University Journal of Natural Sciences (Natural Science), 2002, 7(4)
36. Yong P. The "new science" of wetland restoration. Environmental Science & Technology. 1996, 7: 292~296

博士期间参加的科研项目

1. 中日信息化合作项目：环境监测与水灾监测信息系统，参加，主要进行了研究区地形图数字化、社会经济分析等工作。1998—2002
2. 华中师范大学社科基金项目：投资环境系统优化调控与区域持续发展模式选择，承担长江中游湖区投资环境分析、系统模式建立、野外调研与资料分析等工作。2002—2003
3. 中国科学院知识创新工程项目：长江中游湿地系统演化机制与生态修复，承担野外调研和生态修复方案设计等任务。2002—2004
4. 国家林业局湿地生态科研项目：“3S”技术在湿地调查与监测中的应用，主要承担其中RS、GPS的应用研究，3S技术实地应用与校验、遥感解译与分析工作。2002—2003
5. 国家林业局湿地生态科研项目：洞庭湖区湿地生物多样性保护与生态恢复研究。承担洞庭湖湿地生态动态监测分析、生态演化与修复研究、生态恢复对策制订与效益评价、恢复管理信息系统建设等工作。2002—2007
6. 国家林业局湿地生态科研项目：洪湖湿地生态恢复与资源环境监测信息系统的研究。参与和主持洪湖湿地资源环境信息系统建立、生态退化监测、退化与恢复机制探索、恢复方案设计、工程应用与效益分析。2002—2007

博士期间发表学术论文

1. 任宪友，王学雷. 江汉平原湿地可持续利用研究. 扬州大学学报, 2004
2. 任宪友，蔡述明，王学雷等. 长江中游湿地生态恢复研究. 华中师范大学学报, 2004(1)
3. 任宪友，王学雷等. 3S技术在江汉平原湿地监测中的应用. 世界科技研究与发展, 2004(1)
4. 任宪友. 可持续发展系统研究. 石油大学学报, 2004(2)
5. 任宪友，邓宏兵，张毅. 长江中游湖区湿地资源利用问题与保护对策建议. 重庆环境科学, 2003, 25(12)
6. 任宪友. 可持续发展文化建设刍议. 青岛科技大学学报, 2003(4)
7. 任宪友，肖飞，王学雷. 湿地资源生态环境监测指标体系探讨. 云南林业科技, 2003(4)
8. 任宪友，吴胜军，王茜. 武汉市实施清洁生产面临问题与对策研究. 中国可持续发展, 2003(5)
9. 任宪友. 基于可持续发展的适度人口理论探讨. 石油大学学报, 2003(3). 人大复印资料《人口学与计划生育》全文转载
10. 任宪友，蔡述明. 清洁生产运行机制探讨. 中国人口·资源与环境, 2003(3)
11. 任宪友，卫东. 城郊型乡镇土地资源可持续利用问题探讨. 华中师范大学学报(自然科学版), 2001(3)
12. 王学雷，蔡述明，任宪友，陈世俭. 三峡库区湿地生态建设与保护利用. 长江流域资源与环境, 2004, 13(2)
13. 王茜，任宪友，徐新刚，肖飞. 洪湖湿地景观格局分析. 中国生态农业学报, 2005(2)
14. 王茜，吴胜军，薛怀平，任宪友，肖飞. 洪湖湿地生态系统稳定性评价. 中国生态农业学报, 2005(3)
15. 邓宏兵，任宪友，张毅. 中国湿地资源开发利用与保护初探. 热带地理, 2003(4)
16. 王学雷，蔡述明，任宪友. 江汉平原湿地水系统与水资源管理研究. 见：郭生练主编：水问题研究与进展—全国首届水问题研究学术研讨会论文集. 武汉：湖北科学技术出版社, 2003
17. 邓宏兵，张毅，任宪友. 大河流域持续发展问题研究. 中国可持续发展, 2003(2)

后 记

三年博士求学生活即将结束，三年来，我周围的老师、同学和朋友给了我许许多多的关心与帮助。我真诚地感谢所有为我提供指导、帮助以及关心我的人们。

感谢导师陈中原教授和蔡述明研究员，两位导师学识渊博，治学严谨，是我永远学习的榜样。陈老师工作繁忙，仍一直关注我的论文和科研进展情况，即使我在中国科学院武汉测量与地球物理研究所做课题期间，也未间断对我的关心和指导，对我的博士论文进行诊断和把关，提出了非常宝贵的意见。

感谢蔡老师为我提供了良好的学习、科研条件，使论文和课题得以顺利进行。蔡老师身居要职，日常工作十分繁忙，但仍在百忙中抽出时间，对我的论文选题、资料搜集和野外考察给予指导，并画龙点睛地对论文提出修改意见。感谢师母张永芳老师，张老师身体欠佳，仍对我的生活、学习十分关心，让我深受感动。但由于我的愚鲁与惰性，没能完全达到两位导师对我的要求，但我将以先生为楷模，在今后的科研道路上努力奋斗。

感谢中国科学院武汉测量与地球物理研究所王学雷和杜耘两位老师对我的帮助。在武汉的两年中，与王老师、杜老师交流很多，受益匪浅。王学雷老师和我多次共同到野外考察，进行了多项合作，期间许多有益的讨论让我收获多多。两位老师亦师亦友，在学习上、生活上都给了我许多帮助，对此我由衷的感谢。

感谢我的硕士导师、华中师范大学龚胜生教授，华东师范大学许世远教授、郑祥民教授、刘敏教授、益建芳副教授、范安康副教授、蔡永立副教授、朱懿平老师，中国科学院武汉测地所李仁东研究员、黄进良副研究员、陈世俭副研究员、何报寅副研究员、任晓华处长、吴胜军博士、薛怀平助研、施东方，华中师范大学邓宏兵副教授等老师和朋友对我的帮助，他们使我三年的学习与生活更为顺利。

在我论文研究与野外考察工作中，还得到校内外众多专家和保护区领导及工作人员的指导和帮助，在此深表谢意。他们是：洪湖湿地自然保护区晏儒洲局长、庐山副局长、温峰主任，湖南林业厅桂小杰处长，南洞庭湖湿地保护区戴枚斌局长、陈凤翔站长、易合成工程师，WWF 长江项目多位专家，科学出版社朱海燕编辑等。

三年来，华东师大和中科院武汉测地所的同学和朋友夏志华、张伟、陈德超、李茂田、侯立军、叶雷、吴江、蔡砥、白亚恒、程学军、肖飞、胡望斌、王茜、徐新刚、魏显虎、李涛、宁龙梅、芦云峰、敖荣军、柯小平、曾群等给了我很多帮助和支持，在此一并致谢！

还要感谢我远在山东的父母和家人，他们给予我持久的支持与帮助，是我学业能够继续的精神动力。感谢我的妻子程红艳女士对我的理解与支持。正是他们为我付出的无数牺牲，才使我能够完成我的学业。

博士毕业是博士求学生涯的结束，但更是一个新的起点，今后的路还很长。我要带着恩师的期望、带着各位专家前辈的鼓励、带着亲人的支持，踏上新的征程，投入到自己热爱的科研工作中去。