



YUNNANSHENG GAOYUAN HUPO RENGONG SHIDI JISHU GUIFAN YANJIU

云南省高原湖泊人工湿地 技术规范研究

陈 静 杨逢乐 和丽萍 著



云南出版集团公司
云南科技出版社

PDG

编委名单

主 编 陈 静 杨逢乐 和丽萍

编写人员 田 军 李跃青 孟裕芳

李常伟 许绍武 董云仙

张旭刚

抚仙湖马料河

复 合 人 工 湿 地



进水格栅



沉淀氧化塘



潜流湿地



表面流湿地



植物稳定塘



湿地出水堰

抚仙湖窑泥沟

复 | 合 | 人 | 工 | 湿 | 地 |



进水格栅



沉淀氧化塘



潜流湿地



潜流湿地



表流湿地



湿地出水



星云湖渔村河

复合人工湿地



沉淀氧化塘



一级潜流湿地



二级潜流湿地



湿地出水

滇池大清河

复合人工湿地



污水预处理



植物氧化塘



潜流湿地



植物稳定塘

抚仙湖牛摩河

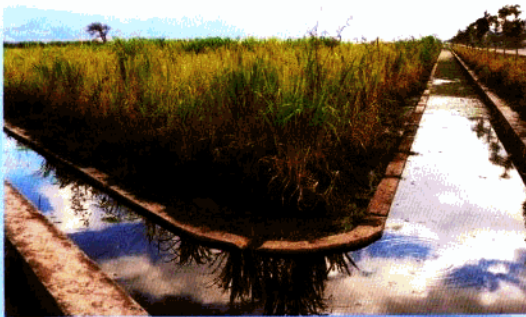
| 仿 | 自 | 然 | 人 | 工 | 湿 | 地 |



格栅



沉淀塘



表流湿地



天然湿地

人 工 湿 地 植 物 筛 选



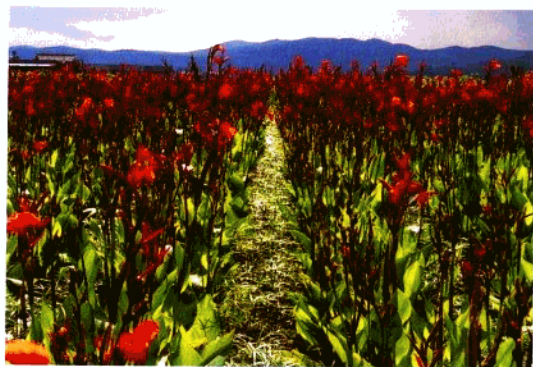
凤眼莲 (*Eichhornia crassipes*)



水芹菜 (*Qenanthe javanica*)



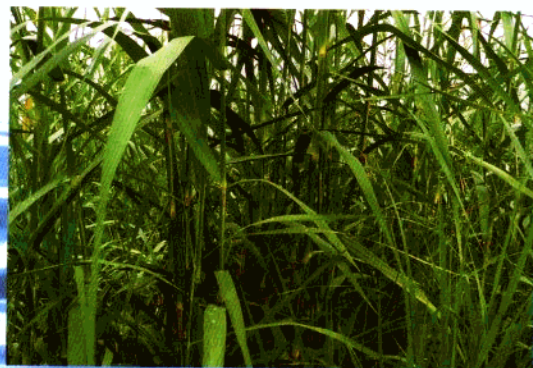
旱伞竹 (*Cyperus alternifolius*)



美人蕉 (*Canna generalis*)



菖蒲 (*Acorus calamus*)



芦苇 (*Phragmites communis*)

人 工 湿 地 植 物 筛 选



香蒲 (*Typha minima*)



马蹄莲 (*Zantedeschia aethiopica spreng*)



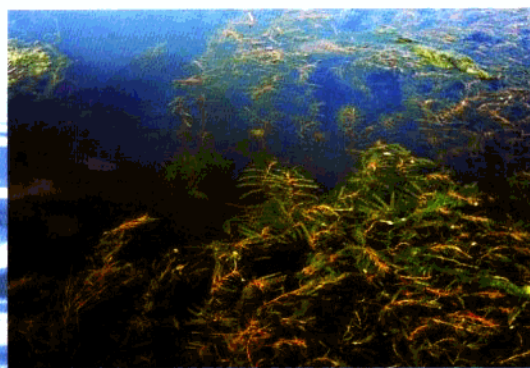
荷花 (*Nelumbo mucifera*)



睡莲 (*Nymphaea tetragona*)



水鳖 (*Hydrocharis dubia*)



菹草 (*Potamogeton crispus*)

人工湿地观测及监测



植物株高观测



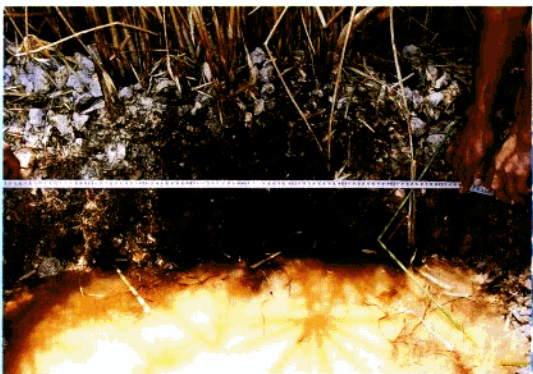
植物分蘖观测



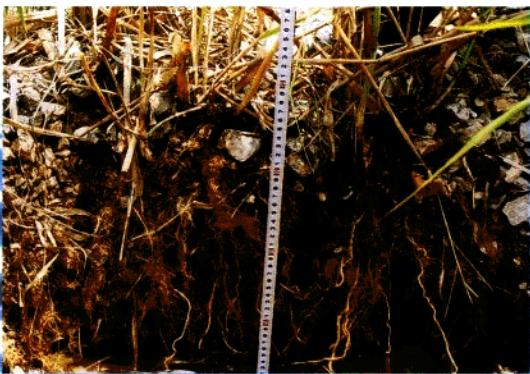
植物生物量观测



植物花蕊观测



潜流湿地旱伞竹根系观测



潜流湿地芦苇根系观测

人工湿地观测及监测



香蒲病虫害



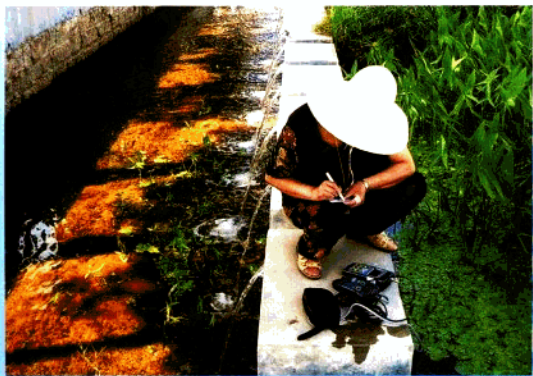
水芹菜病虫害



水样采集



水质现场测定



水质现场测定



流量测定

目 录

1 研究目的及意义	(1)
2 主要研究范围、研究目标、主要考核指标、研究方法及技术路线	(3)
2.1 主要研究范围	(3)
2.1.1 研究领域	(3)
2.1.2 收资范围	(3)
2.1.3 考察范围	(3)
2.1.4 观测及监测范围	(3)
2.2 研究目标及主要考核指标	(3)
2.3 研究方法及技术路线	(4)
3 主要研究内容	(5)
3.1 人工湿地技术国内外现状调查	(5)
3.1.1 人工湿地技术国内外现状	(5)
3.1.2 人工湿地技术云南省现状	(8)
3.1.3 人工湿地技术优缺点分析	(10)
3.1.4 不同类型人工湿地优缺点分析	(11)
3.2 云南高原湖泊人工湿地植物及生态特征研究	(12)
3.2.1 九大高原湖泊水生植物类型及群落构成	(12)
3.2.2 九大高原湖泊现有人工湿地植物	(14)
3.2.3 小结	(16)
3.3 人工湿地功能定位、适宜污染源及水质研究	(17)
3.3.1 人工湿地功能定位	(17)
3.3.2 适宜污染源及水质研究	(18)
3.4 人工湿地技术研究	(21)
3.4.1 人工湿地分类及主要特征	(21)
3.4.2 设施及工艺参数研究	(26)
3.4.3 人工湿地植物筛选及群落配置研究	(41)
3.4.4 人工湿地效益评估研究	(63)
3.5 人工湿地运行及维护管理研究	(108)
3.5.1 人工湿地运行研究	(108)

3.5.2 人工湿地维护管理研究	(111)
4 研究结论及建议	(113)
4.1 研究结论	(113)
4.1.1 云南高原湖泊人工湿地应用现状	(113)
4.1.2 人工湿地技术优缺点	(113)
4.1.3 人工湿地植物观测结果分析	(113)
4.1.4 人工湿地水质净化效果分析	(113)
4.1.5 人工湿地影响因素分析	(114)
4.1.6 人工湿地功能定位、适宜处置的污染源及水质	(114)
4.1.7 人工湿地类型及工艺组合	(114)
4.1.8 人工湿地植物筛选及群落配置	(115)
4.1.9 人工湿地运行及维护管理	(115)
4.2 建议	(115)
参考文献	(116)

被誉为“地球之肾”的湿地 (wetlands) 是自然界最富生物多样性和具有多种生态功能的独特生态系统, 它不仅为人类提供大量食物、原料和水资源, 而且在保持生物多样性、维持生态平衡, 在廉价降解污染物、控制水污染, 涵养水源、防洪调蓄, 调节气候及美化环境等方面具有不可替代的作用。从净化水质, 改善生态环境的角度而言, 湿地是自然环境中自净能力很强的区域之一, 它利用生态系统中物理、化学和生物的三重协调作用, 通过过滤、吸附、沉淀、植物吸收及微生物降解等来实现对水体中污染物的分解与净化, 是一种经济节能的污水治理和资源化技术。湿地污水处理系统主要分为天然湿地、表面流人工湿地和地下潜流人工湿地 3 类, 其中以人工湿地应用最为广泛。国外有目的地利用湿地来处理污水始于 20 世纪 70 年代, 美国、澳大利亚、荷兰、丹麦、英国及日本等国都进行过这方面的尝试, 最初的的湿地污水处理系统大都是利用原有的天然湿地, 不久就暴露出天然湿地处理系统处理污水会导致植物种类组成、种群结构、生态功能及湿地总体价值发生显著变化等问题。然而, 若操控得当, 人工湿地不会影响天然湿地价值, 且可对污水处理工艺进行优化控制, 因此人们意识到人工湿地具有实际应用的巨大潜力。20 世纪 80 年代后期人工湿地由试验阶段转入应用阶段, 在人工湿地污水处理能力及作用机理等基础研究方面作了大量研究, 并取得了巨大成就。美国、加拿大、澳大利亚、墨西哥、巴西、荷兰、丹麦、英国及日本许多国家建造了相当数量的人工湿地污水处理系统, 包括从一家一户到 1000 人以上的村镇等不同规模的生活污水处理系统, 这些系统以其较低的建设投资和运行费用得到了越来越多的国家政府的重视和采纳, 目前该技术已被广泛应用到农业面源污染控制、暴雨径流污染控制、村镇污水控制、养殖废水处理及现行常规污水处理厂出水深度净化等领域。我国对人工湿地的研究及实际应用始于 20 世纪 80 年代后期至 21 世纪初, 主要包括北京昌平自由水面湿地试验研究 (1988 年)、华南环境科学研究所深圳白泥坑人工湿地处理城镇污水示范工程 (1990 年)、天津环境科学研究所芦苇湿地处理城市污水试验研究、中国环境科学研究院人工湿地控制农田径流污染试验研究 (1994 年)、中国科学院南京植物研究所人工湿地处理酸性铁矿废水试验研究、成都活水公园人工湿地 (1998 年)、深圳环境科学研究所洪湖公园人工湿地示范工程 (1999 年) 等。云南省人工湿地研究始于 2001 年, 主要为中国科学院南京地理研究所抚仙湖窑泥沟城镇农田污水人工湿地试验工程 (2001 年)、抚仙湖马料河人工湿地试验工程 (2003 年)、华南环境科学研究所星云湖人工湿地示范工程 (2002 年)、玉溪大河人工湿地示范工程 (2002 年)、昆明市环境科学研究所滇池大清河人工湿地工程 (2004 年)、洱海向阳村人工湿地工程 (2003 年) 及云南省环境科学研究院洱源人工湿地 (2005 年) 等。针对云南省九大高原湖泊所面临的严重面源污染及湖周村镇污染及湖泊富营养化等实际问题, 采用常规污染治理技术手段投资高及运转费高, 建设和运转使一般地方政府难以承受, 相当数量已建好的污水处理厂长期处于闲置状态, 寻求投资省、运行费用低和管理便捷的污

水处理技术成为一种必然需求。近年来,全省范围内掀起了研究和利用人工湿地处理污水的热潮,并有愈演愈烈之势。由于国内人工湿地技术的研究与应用尚处于小规模试验摸索起步阶段,加上我国国情如自然及生态环境、人口密度、土地资源、污染负荷等状况与国外情况相差很大,机械照搬国内外经验,违反自然规律,不考虑湿地合理定位和承受能力,将其作为一种城市污水处理的替代技术大量应用,未必能达到预期效果,严重时将造成投资、土地资源的浪费和新的生态问题等,因此在九大高原湖泊面源污染控制及生态恢复建设中,如何合理借鉴国内外成功经验,如何科学、规范地指导云南省人工湿地的工程设计、建设及运行维护管理,是一个急待解决的问题。受云南省环境保护局的委托,云南省环境科学研究院承担了云南高原湖泊人工湿地技术规范研究项目,本项目将在对国内外人工湿地研究和应用实例深入调查研究及总结经验教训的基础上,对现有人工湿地工程设计参数进行深入分析论证,结合云南省实际情况,提出符合当地自然条件、生态特征及污染特征的人工湿地工程设计参数、运行及维护管理模式,为云南省高原湖人工湿地技术规范的制定提供技术参考依据,并形成技术规范框架,以指导云南省高原湖泊人工湿地的规划、建设、运行及维护管理工作,以期在云南省九大高原湖泊水污染防治中,最大限度地发挥人工湿地的生态环境效益。

2

主要研究范围、研究目标、主要考核指标、研究方法及技术路线

2.1 主要研究范围

2.1.1 研究领域

云南高原湖泊人工湿地技术规范研究，主要包括高原湖泊人工湿地功能定位、适宜污染源及水质研究；高原湖泊人工湿地工程设计参数研究；高原湖泊人工湿地植物筛选及群落配置研究；高原湖泊人工湿地运行及维护管理模式研究等。

2.1.2 收资范围

国内外人工湿地技术及研究成果，主要包括国内外科技文献，研究及工程设计资料。

2.1.3 考察范围

典型高原湖泊包括滇南（抚仙湖、星云湖、阳宗海）、滇中（滇池）、滇西（洱海）人工湿地及国内典型人工湿地。

2.1.4 观测及监测范围

（1）观测点：典型高原湖泊（抚仙湖、星云湖）人工湿地。

（2）植物观测项目：主要包括植物分蘖数、底茎、株高、冠幅、生物量、根系在潜流湿地中的分布，病虫害等。

（3）工程运行参数观测项目：主要包括湿地进出水量、各工程设施运行水头、氧化塘沉淀清掏及碎石床清理周期等。

（4）水质监测项目：主要包括 DO 、 SS 、 BOD_5 、 COD_{Cr} 、 TP 、 TN 、 NH_3-N 等。

2.2 研究目标及主要考核指标

（1）完成人工湿地技术国内外现状及九大高原湖泊中典型湖泊人工湿地植物物种及生态特征调查研究。

（2）完成高原湖泊人工湿地功能定位、适宜污染源及水质研究。

（3）提出相对合理的高原湖泊人工湿地工程设计参数。

（4）提出高原湖泊人工湿地植物筛选及群落配置。

（5）提出高原湖泊人工湿地运行及维护管理模式。

(6) 提交《云南省高原湖泊人工湿地技术规范研究报告》

2.3 研究方法及技术路线

本项目研究方法及技术路线如图 2-1。

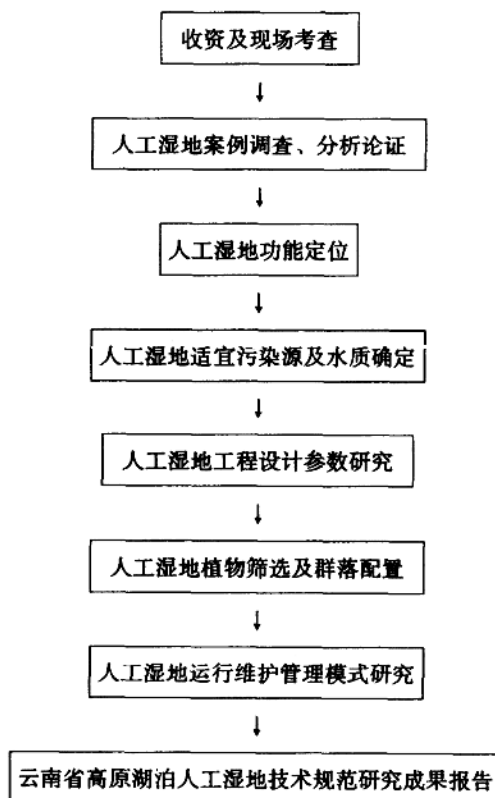


图 2-1 云南省高原湖泊人工湿地技术规范研究技术路线框图

3 主要研究内容

3.1 人工湿地技术国内外现状调查

本项目在云南省科技情报研究所查阅了 1990 ~ 2005 年 15 年间国内学术界已发表的人工湿地研究及应用的科技文献、技术报告,收集了大量国内外有关人工湿地历史的和最新试验研究成果、工程设计及运行维护管理等方面的资料及数据,并对深圳及云南省抚仙湖、星云湖、阳宗海、滇池、洱海等人工湿地试验、示范工程实例进行实地考察,分析其利弊、总结经验教训。

3.1.1 人工湿地技术国内外现状

国外人工湿地系统的研究用始于 20 世纪 50 年代,而应用始于 20 世纪 70 年代初期。1953 年,德国的 Dr. Kathe Seidel 在其研究工作中发现芦苇能去除大量有机和无机物,Seidel 通过进一步实验发现一些污水中的细菌在通过种植的芦苇时消失(大肠菌、肠球菌、沙门氏菌),实验表明芦苇及其他高大植物能从水中去除重金属和碳水化合物。进入 20 世纪 60 年代,这些实验室观察开始发展为许多大规模实验,用以处理工业废水、江河水、地表径流和生活污水,并由 Seidel 开发出一种“Max-planckInstitute-Process”系统,该系统由四级或五级组成,每级由几个并联并栽有挺水植物的池子组成,但该系统存在堵塞和积水问题。根据 Seidel 的思路,荷兰于 1967 年还开发了一种现称为 Lelystad Process 的大规模处理系统,该系统是一个占地 1hm^2 的星形自由水面流湿地,水深 0.4m,由于运行需要,该系统后建有 400m 长浅沟,随后这种湿地在荷兰大量建成。Seidel 的工作也刺激了德国在这方面的研究,20 世纪 60 年代中期,Seidel 与 Kickuth 合作并由 Kickuth 开发了“根区法”(RZM),推动了对人工湿地污水处理的试验研究。此根区法由一种有芦苇的矩形池子组成,土壤经选择含有钙、铁、铝添加剂,以改善土壤结构和对 P 的沉淀性能,水以地下潜流水平流过芦苇根区,污水流过芦苇床时,有机物降解, N 被硝化、反硝化, P 与 Ca、Fe、Al 共沉淀,积累于土壤中。欧洲的早期工作对美国人工湿地技术产生了影响,20 世纪 60 年代末,美国 NASA 的国家空间技术实验室研究开发了一种“采用厌氧微生物和芦苇处理污水的复合系统”,1976 年美国 NASA 出版了一本题为《充分利用水生植物》的书,其中描述了欧洲系统及早期 NASA 系统,NASA 的砾石床系统在去除 BOD、SS、大肠菌及氮方面非常有效,20 世纪 80 ~ 90 年代欧洲、美国等地得到了广泛的应用,北美的其他国家也进行了一些开拓性工作。据统计,美国在 1988 ~ 1993 间在建立了 600 多个人工湿地工程用于处理市政、工业和农业废水(400 多个人工湿地被用于处理煤矿废水,50 多个人工湿地用于处理生物污泥,近 40 个人工湿地用于处理暴雨径流,超过 30 个人工湿地系统用于处理奶产品加工废水);在丹麦、德国、英国各国至少有 200 个人工