水资源开发与管理
Shuiziyuan Kaifa Yu Guanli
（月刊）
2015 年创刊
2022 年第 8 卷第 1 期
总第 72 期
出版日期：2022 年 1 月 25 日

主管单位　中国水利工程协会
主办单位　中国水利工程协会

编辑出版　《水利建设与管理》杂志社有限公司
通信地址　北京市西城区南滨河路 27 号小区 7 号楼 11 层 1116 号(贵都国际中心 B 座 1116 室编 1105)
邮　　编　100055
网　　址　http://www.sljsygl.com
在线投稿　http://szy.sljsygl.com/home/login
联系电话　010-63305220（发行）
010-63305233（投稿）
010-63305258（广告）

印刷单位　北京博海升彩色印刷有限公司
发行范围　公开发行
国内发行　中国邮政集团公司北京市报刊发行局本刊发行部
邮发代号　82-389
国外发行　中国国际图书贸易集团有限公司
国外发行代号　MO9525
中国标准连续出版物号　ISSN 2096－0131 / CN 10－1326/TV
广告发布登记　京西市监广登字 20170082 号
国内定价　20.00 元

水利建设与管理杂志社官方微信公众号二维码，欢迎扫描加关注，随时检索协会会刊论文发表情况。

目次
CONTENTS 2022年第1期

CONTENTS

WATER RESOURCES DEVELOPMENT AND MANAGEMENT
Vol.8 NO.1 2022

Special Report

Water-Saving Special Column

Water Ecological Protection

Water Conservancy Informatization

Experience Exchange

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.1.01

2022 年全国水利工作会议在京召开

全国水利工作会议 1 月 6 日至 7 日上午在北京召开。李克强总理、胡春华副总理作出重要批示。水利部党组书记、部长李国英出席会议并讲话。他强调，要坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大、十九届历次全会精神和中央经济工作会议、中央农村工作会议精神，深入落实习近平总书记“十六字”治水思路和关于治水重要讲话指示批示精神，按照李克强总理、胡春华副总理批示要求，弘扬伟大建党精神，坚持稳中求进工作总基调，完整、准确、全面贯彻新发展理念，加快构建新发展格局，统筹发展和安全，统筹水灾害、水资源、水生态、水环境系统治理，推动新阶段水利高质量发展，为全面建设社会主义现代化国家提供有力的水安全保障，以优异成绩迎接党的二十大胜利召开。

水利部副部长田学斌主持会议并作总结讲话。部领导周学文、陆桂华、魏山忠、王新哲、刘伟平出席会议。

会议认为，2021 年，在党中央、国务院的坚强领导下，各级水利部门心怀“国之大者”，真抓实干、克难奋进，全面深入开展“三对标、一规划”专项行动，进一步提高了把握新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展的政治判断力、政治领悟力、政治执行力；全力以赴打赢抗击严重水旱灾害硬仗，有效应对部分流域历史罕见雨情汛情旱情，最大程度保障了人民群众生命财产安全和供水安全；扎实有效开展党史学习教育，深入领悟党的百年奋斗重大成就和历史经验，深刻理解“两个确立”的决定性意义，切实解决了群众急难愁盼的一批民生水利问题。一年来，各级水利部门着眼保安全、促发展、惠民生，扎实推进水利基础设施建设，全面加强水利工程运行管护，持续加大水资源节约和管理力度，全面加强水生态保护治理，着力提升水利行业发展能力，深入推进全面从严治党，推动新阶段水利高质量发展迈出有力步伐，实现了“十四五”良好开局。

会议指出，今年将召开党的二十大，保持平稳健康的经济环境、国泰民安的社会环境、风清气正的政治环境，具有特殊重要的意义。各级水利部门要深刻认识、准确把握当前水利工作面临的形势和任务，从高质量发展要求看，要更加自觉地走好水安全有力保障、水资源高效利用、水生态明显改善、水环境有效治理的集约节约发展之路。从统筹发展和安全看，要进一步增强风险意识、树牢底线思维，下好先手棋、打好主动仗，牢牢守住水利安全底线。从极端天气变化风险看，要主动适应和把握全球气候变化下水旱灾害的新特点新规律，强化预报、预警、预演、预案措施，有力有序有效应对极端天气事件风险。从防汛查漏补缺找出的问题看，要统筹体制机制法治、统筹规划工程技术、统筹目标任务责任、统筹近期中期长期，分类施策、精准施策，切实增强水旱灾害防御能力。

会议强调，今年要扎实有效做好 10 项重点工作。一要做好水旱灾害防御准备，确保人民群众生命财产安全。提高水旱灾害监测预报预警水平，优化防汛抗旱应急响应机制，强化水库安全管理，开展妨碍河道行洪突出问题大排查大整治，提升山洪灾害防御能力，强化工程调度运用管理，全面开展汛前隐患排查，抓好水利工程安全度汛，提升流域水工程联合调度水平。二要提升农村供水保障水平，确保农村供水安全。加快农村供水工程改造提升，健全运行管理长

效机制，守住农村饮水安全底线，推进乡村振兴水利工作。三要完善流域防洪工程体系，加快构建抵御水旱灾害防线。提高河道泄洪及堤防防御能力，增强洪水调蓄能力，确保蓄滞洪区功能。四要实施国家水网重大工程，提升水资源优化配置能力。加快国家水网建设，推进省级水网建设，打通国家水网“最后一公里”。五要复苏河湖生态环境，维护河湖健康生命。开展母亲河复苏行动，保障河湖生态流量，加强河湖保护治理，强化地下水超采治理，推进水土流失综合防治。六要加快建设数字孪生流域和数字孪生工程，强化预报预警预演预案功能。做好顶层设计，构建数字化场景，开展智慧化模拟，建设水利智能业务应用系统。七要建立健全节水制度政策，提升水资源集约节约利用能力。健全初始水权分配和交易制度，严格水资源保护监管措施，深入实施国家节水行动，打好黄河流域深度节水控水攻坚战。八要强化体制机制法治管理，不断提升水利治理能力和水平。强化流域治理管理，推动河湖长制有能有效，健全工程建设管理和运行管护机制，深化水利重点领域改革，完善水利法治体系。九要加强水利行业能力建设，夯实水利高质量发展基础。抓好水利干部人才队伍建设，强化水利科技基础支撑，推动水利国际交流合作，进一步转变政府职能。十要纵深推进全面从严治党，引领保障新阶段水利高质量发展。强化政治引领，抓实组织建设，坚定不移推进党风廉政建设和反腐败斗争。

会议以视频形式召开。南水北调集团公司负责同志，水利部总经济师，驻部纪检监察组负责同志，部机关各司局、在京直属各单位主要负责同志在主会场参加会议。京外直属各单位，各省、自治区、直辖市水利（水务）厅（局），各计划单列市水利（水务）局，新疆生产建设兵团水利局负责同志在分会场参加会议。

（来源：水利部网站 2022 年 1 月 7 日 http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202201/t20220107_1558777.html）

协会动态

关于 2021 年度水利建设市场主体（施工、监理、招标代理、质量检测单位）信用评价结果（第一批）的公告

各有关单位：

依据《水利建设市场主体信用信息管理办法》（水建设〔2019〕306 号）和《水利建设市场主体信用评价管理办法》（水建设〔2019〕307 号）规定，按照《中国水利工程协会、中国水利水电勘测设计协会、中国水利企业协会关于开展 2021 年度水利建设市场主体信用评价工作的通知》要求，中国水利工程协会组织开展了 2021 年度水利建设市场主体（施工、监理、招标代理、质量检测单位）信用评价工作。经公示，现将评价结果予以公告。

附件：施工、监理、招标代理、质量检测单位信用评价结果名单见中国水利工程协会官网首页“通知公告”栏目（https://www.cweun.org/show.php？cid=11&id=1135）。

中国水利工程协会

2021 年 12 月 20 日

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV. 2022.1.02

江苏省“十四五”节约用水潜力探究

孙晓文　陈松峰　何菡丹

(江苏省水资源服务中心,江苏 南京　210029)

【摘　要】 本文分析了当前江苏省在节水型社会建设中面临的形势和现状用水水平,在此基础上深入探究了“十四五”期间农业、工业、生活领域的节水潜力。结合预测指标计算出农业、工业和居民生活各领域的节水潜力分别为3.81亿m^3、1.41亿m^3、0.83亿m^3,总节水潜力为6.05亿m^3。针对江苏省用水结构中农业用水占比较大、工业用水水平较先进水平仍有差距等特点,就下一步深入挖掘节水潜力提出了相关建议。

【关键词】 “十四五”;用水水平;节水潜力;江苏省

中图分类号:TV213.9　　文献标志码:B　　文章编号:2096-0131(2022)1-003-05

Probe into the water saving potential of Jiangsu during the 14th five-year plan

SUN Xiaowen, CHEN Songfeng, HE Handan

(*Jiangsu Water Resources Service Center*, *Nanjing* 210029, *China*)

Abstract: This paper analyzes the current situation and current water consumption level in the construction of water-saving society in Jiangsu Province, and on this basis, probes into the water-saving potential in agriculture, industry and living areas during the 14th five-year plan period. Combined with the forecast indicators, the water-saving potential of agriculture, industry and people's life is calculated to be 381 million m^3, 141 million m^3 and 83 million m^3 respectively, and the total water-saving potential is 605 million m^3. In view of the characteristics of Jiangsu Province's water consumption structure, such as agricultural water accounts for a large proportion, and there is still a gap between the advanced level of industrial water consumption and so on, this paper puts forward some suggestions on further tapping the potential of water saving.

Key words: the 14th five-year plan; water level; water saving potential; Jiangsu Province

党中央、国务院高度重视节约用水工作,特别是国家节水行动方案印发实施后,节水已上升为国家意志和全民行动。节约用水是促进经济社会高质量发展的必然选择,是解决复杂水问题的根本措施。

江苏省地处我国南北气候过渡带,境内地势平坦、江河湖泊密布,素有“水乡”之称,是我国经济发展的排头兵和领头羊,也是一带一路倡议以及长江经济带、长三角一体化、江淮生态大走廊、国家沿海开发战略等国家重大战略核心承载地,在我国经济社会总体布局中居重要地位。“十四五”时期是江苏省提高水资源集约节约利用水平的攻坚期,“高质量发展”“美丽江苏建设”均对全省节约用水工作提出了更高要求。

收稿日期:2021-09-22

作者简介:孙晓文(1990—),女,工程师,硕士,主要从事水资源和节约用水管理方面的工作。

1　当前节水工作所面临的形势

水资源已经成为制约经济社会发展的主要因素，迫切要求增强水忧患意识、水危机意识，从全面建成小康社会、实现中华民族永续发展的战略高度，重视解决好水安全问题。“十四五”期间，江苏省要树立人口经济与资源环境相均衡的理念，提升水资源集约节约利用水平，为全省经济社会高质量发展提供支撑和保障。

自2019年4月《国家节水行动方案》印发以来，国家发展改革委、水利部、教育部等20个部门按照职责分工，各负其责，联合发力，共同推动全社会节水，全面提升水资源利用效率，形成节水型生产生活方式，保障国家水安全，促进经济社会高质量发展。同年8月，经省政府同意，江苏省水利厅、发展改革委联合在全国率先印发《江苏省节水行动实施方案》，对今后一个时期全省节水工作进行了总体部署，要求必须严格用水总量和强度双控，加强农业节水增效、工业节水减排、城乡节水降损，全面提升水资源利用效率，建设节水防污型社会。“十四五”期间，江苏省要通过实施国家节水行动，促进经济结构和经济发展方式转变，实现经济社会发展与人口、资源、环境相协调。

“十四五”期间，江苏省经济仍将保持高速增长，水资源承载压力依然较大。在此形势下，亟需构建节水新格局，围绕水资源取、用、耗、排、再利用等各个环节，实施全领域、全过程综合节水。

2　用水水平分析

2.1　用水组成

根据2020年《江苏省水资源公报》，江苏省用水总量452.7亿 m^3（考核口径）。其中，农业用水量266.6亿 m^3，占用水总量的58.9%；工业用水量117.6亿 m^3，占用水总量的26.0%；生活用水量63.7亿 m^3，占用水总量的14.1%；生态用水量4.8亿 m^3，占用水总量的1.0%。农业用水量中，农田灌溉用水240.3亿 m^3，林牧渔畜用水量26.3亿 m^3。工业用水量中，火核电用水量80.0亿 m^3，一般工业用水量37.6亿 m^3。生活用水中，城镇公共用水19.4亿 m^3，居民生活用水量44.3亿 m^3。2020年江苏省用水结构见图1。

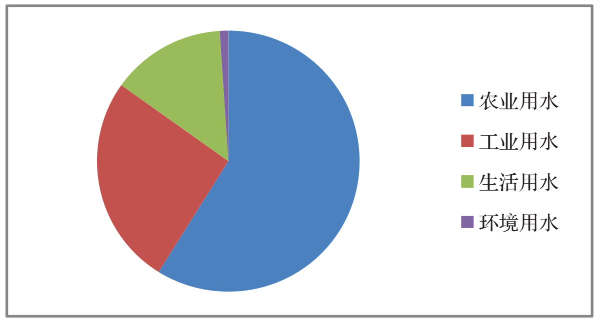

图1　2020年江苏省用水结构

2.2　江苏省用水指标

2020年，江苏省万元地区生产总值用水量44.1m^3，万元工业增加值用水量31.1m^3。农田灌溉亩均用水量423.1m^3，城镇居民生活用水量158.0L/（人·d），农村居民生活用水量102.6L/（人·d）。2020年，江苏省万元地区生产总值用水量仍较上海市（25.2m^3）、浙江省（25.4m^3）偏高；全省万元工业增加值用水量与广东省（20.7m^3）、山东省（13.8m^3）相比仍有一定差距；城镇居民生活用水量较全国平均值[134L/（人·d）]也偏高。

2.3　江苏省用水指标趋势分析

2015—2020年，江苏省用水总量总体稳定，万元地区生产总值用水量和万元工业增加值用水量逐年下降，农田灌溉水有效利用系数逐年提升。江苏省用水指标趋势分析见表1。

表1　2015—2020年江苏省用水指标趋势分析

用水指标	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
用水总量/亿 m^3	460.6	453.2	465.9	460.2	493.4	452.7
万元地区生产总值用水量/m^3	65.7	60.0	54.2	49.7	49.5	44.1
万元工业增加值用水量/m^3	44.7	41.2	36.7	34.2	32.4	31.1
农田灌溉水有效利用系数	0.598	0.605	0.608	0.612	0.614	0.616

由表1可知，江苏省用水效率逐年提高，但和先进

水平相比仍有一定差距,“十四五”期间各行业仍有一定的节水潜力待挖掘。

3 江苏省“十四五”节水潜力分析估算

江苏省“十四五”节水潜力按农业节水潜力、工业节水潜力及生活节水潜力进行分析。其中,现状水平年为2020年,规划水平年为2025年。

3.1 农业节水潜力分析

农业节水潜力是指在规划水平年,以现有灌溉农业为基础,通过种植结构调整,并采取一系列工程措施提高农田灌溉水利用系数,采取各种农艺措施减小植物灌溉净定额等最大可能减少的取水量[1]。实际上,不论是通过渠系防渗等工程措施,还是采取先进的灌溉措施或农艺措施,亦或采取调整作物结构等管理措施,均表现为农田亩均实际用水量(灌溉定额)的降低,最终体现为从灌溉取水口可能减少的最大取水量。

利用公式计算相应年份的耕地灌溉亩均用水量:

$$Q_{灌t} = (Q_{灌0}\eta_{n0})/\eta_{nt} \tag{1}$$

式中:$Q_{灌t}$ 为规划年的耕地灌溉亩均用水量,m^3/亩;$Q_{灌0}$ 为折算为平水年型的现状年耕地实际灌溉亩均用水量,m^3/亩,按照式(2)进行计算;η_{n0}、η_{nt} 分别为现状年和规划年份农田灌溉水有效利用系数。

$$Q_{灌0} = KQ'_{灌0} \tag{2}$$

式中:$Q'_{灌0}$ 为现状年的耕地实际灌溉亩均用水量,m^3/亩,以水资源公报发布的数据为准;K 为调节系数,按照式(3)计算。

$$K = \overline{Q}/Q_i^P \tag{3}$$

式中:$\overline{Q}$ 为多年平均农田实际灌溉亩均用水量,m^3/亩;Q_i^P 为降水频率为 P 时对应的农田实际灌溉亩均用水量,m^3/亩。

规划水平年相对于现状年的年度农业节水量按照式(4)计算:

$$W_{农节潜} = A_0(Q_{灌0} - Q_{灌t}) \tag{4}$$

式中:$W_{农节潜}$ 为规划年的农业节水潜力;A_0 为现状年农田实际灌溉面积,万亩;其余符号意义同前。

首先收集1997—2020年江苏省降水量与亩均实际灌溉用水量数据(见表2),计算调节系数 K 值。

表2 江苏省多年降水数据和亩均灌溉用水量

年 份	降水量/mm	亩均灌溉用水量/m^3
1997	854.0	524
1998	1186.9	417
1999	1016.8	446
2000	1080.7	478
2001	870.0	518
2002	922.2	541
2003	1255.8	357
2004	784.3	535
2005	1084.0	482
2006	1021.2	483
2007	1089.0	464
2008	994.3	488
2009	1031.7	510
2010	989.5	514
2011	1012.1	521
2012	953.9	430
2013	833.4	465
2014	1044.5	539
2015	1257.1	427
2016	1410.5	410
2017	1006.8	427
2018	1088.1	429
2019	798.5	475
2020	1236.0	423

根据P-Ⅲ曲线计算结果(见图2),分析江苏省耕地实际灌溉用水量多年平均值与不同水平年下耕地实际灌溉亩均用水量的比值,得到调节系数与降水频率的关系,结果如图3所示,随着降水量的减少,调节系数整体上呈减小趋势。2020年江苏省为丰水年份,降水频率为7%,参照图3,调节系数确定为1.1。

江苏省2020年耕地实际灌溉亩均用水量为$423m^3$,2020年和2025年灌溉水有效利用系数分别为0.614和0.625(预估)。折算为平水年型后的2020年和2025年耕地实际灌溉亩均用水量分别为$465.3m^3$和$458.6m^3$。最终计算2025年农业节水潜力为3.81亿m^3。

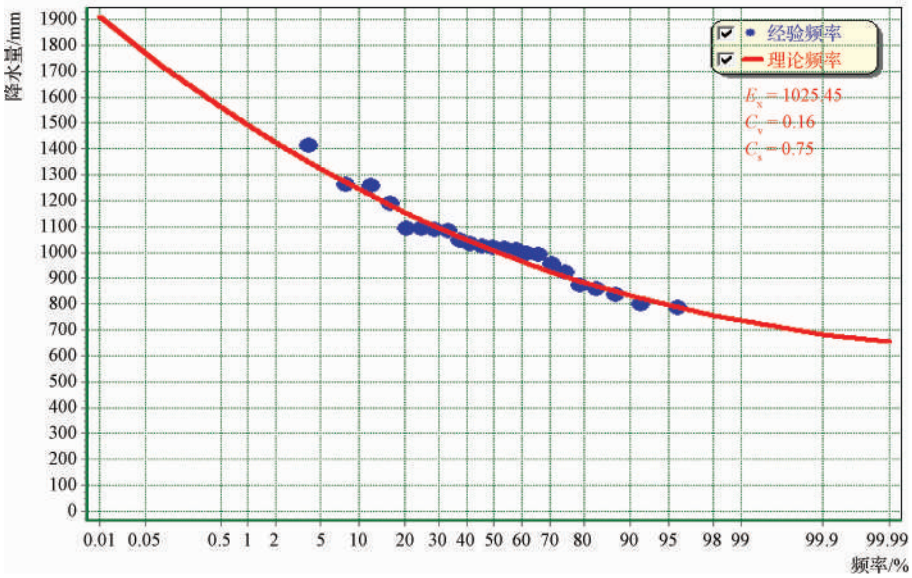

图 2　江苏省降水 P-Ⅲ曲线

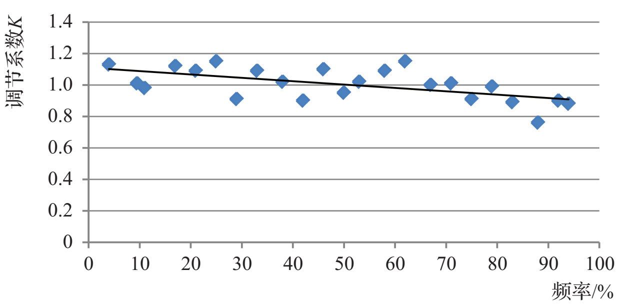

图 3　不同频率下调节系数计算结果

3.2　工业节水潜力分析

工业节水潜力是指因工业用水重复利用率提高而减少的新鲜水取水量和因供水管网改造而减少的输水损失之和[2]。

假定工业用水总量不变，工业节水潜力来自新鲜水取水量的下降，工业节水潜力计算公式为

$$W_{工节潜} = W_{工重节潜} + W_{工管节潜} \tag{5}$$

$$W_{工重节潜} = W_{重0}\left(\frac{1}{\xi_0} - 1\right) - W_{重t}\left(\frac{1}{\xi_t} - 1\right) \tag{6}$$

$$W_{工管节潜} = W_{管0} - W_{管0}(1 - \eta_0)/(1 - \eta_t) \tag{7}$$

式中：$W_{工节潜}$ 为工业节水潜力；$W_{工重节潜}$ 为由于工业用水重复利用率提高而减少的新鲜水取水量；$W_{工管节潜}$ 为因供水管网改造而减少的输水损失；$W_{重0}$ 为现状年工业重复利用水量；$W_{重t}$ 为规划水平年工业重复利用水量；ξ_0 为现状水平年工业重复利用水率；ξ_t 为规划水平年工业重复利用水率。

2020 年江苏省一般工业用水量为 37.6 亿 m^3，其中，取自公共供水管网的工业用水量为 19.5 亿 m^3。2020 年、2025 年工业用水重复利用率分别为 90%、93%（预估），供水管网漏损率分别为 9.3%、8%（预估）。计算得工业用水重复利用率节水潜力为 1.13 亿 m^3，供水管网节水潜力为 0.28 亿 m^3，工业节水潜力为 1.41 亿 m^3。

3.3　生活节水潜力分析

生活节水潜力是指规划水平年，以现有城镇供水管网漏损率和节水器具普及率为基础，通过供水管网改造、提高节水器具普及率并采取一系列非工程措施（如提高居民节水意识），从生活取水口最大可能减少的取水量。

采取综合节水措施后，生活节水潜力主要表现为供水管网漏损率降低和生活节水器具普及率的提高，所以生活区域节水潜力的基本计算公式为[3]

$$W_{生活节潜} = W_{管网节潜} + W_{器具节潜} \tag{8}$$

$$W_{管网节潜} = W_{gw0} - W_{gw0}(1 - \eta_0)/(1 - \eta_t) \tag{9}$$

$$W_{器具节潜} = RJ_z\frac{365}{1000}(P_t - P_0) \tag{10}$$

式中：$W_{管网节潜}$ 为由于供水管网改造而减少的取水量；$W_{器具节潜}$ 为由于节水器具普及率提高而减少的取水量；W_{gw0} 为自来水厂供出的城镇生活用水量；η_0、η_t 分别是现状年和规划水平年供水管网漏失率；R 为城镇人口，人；J_z 为每人采用节水型器具的日可节水量（L/d），取平均值 28；P_0、P_t 分别是现状年和规划年节水器具普及率。

2020 年自来水厂供出的城镇生活用水量为 54.4 亿 m^3，城镇人口为 6226 万人，2020 年、2025 年供水管网漏损率分别为 9.3%、8%（预估），2020 年、2025 年节水器具普及率分别为 98%、99%。最终计算得供水管网节水潜力为 0.77 亿 m^3，节水器具节水潜力为 0.06 万 m^3，生活总节水潜力为 0.83 亿 m^3。

3.4 总节水潜力

经计算，江苏省 2025 年总节水潜力为 6.05 亿 m^3，见表 3。

表 3 江苏省规划水平年节水潜力计算成果

单位：亿 m^3

农业节水潜力	工业节水潜力	生活节水潜力			总节水潜力
		管网节水潜力	器具节水潜力	小计	
3.81	1.41	0.77	0.06	0.83	6.05

4 建 议

4.1 农业节水对策建议

从江苏省用水结构来看，农业用水占比最大，可挖掘的农业节水潜力也最大。因此，“十四五”期间，应优化农业生产布局，因地制宜推广适应性种植方式，探索种养结合、废弃物资源化利用等生态循环农业模式，发展高效设施农业。开展灌区续建配套和节水化改造，改进地面灌水方法，推广高效节水灌溉，提高灌溉输配水利用率。完善农业灌溉计量工程体系，逐步实现终端计量供水，促进农田灌溉用水效率不断提高。

4.2 工业节水对策建议

工业节水是实施国家节水行动的重要内容，江苏省工业用水水平较先进省份仍有一定差距[4]。因此，“十四五”期间，要促进产业优化布局，严控高耗水行业用水增长，加快淘汰落后高耗水工艺、技术和装备，推动传统产业转型升级。遴选并大力推广工业节水新技术、新工艺和新设备，提高高耗水行业节水技术水平，提高工业用水重复利用率。大力推广工业集聚区水梯级利用，实施工业园区节水改造工程，强化园区用水管理，建设节水型工业园区。

4.3 生活节水对策建议

生活节水贯穿经济社会发展的方方面面。“十四五”期间，要加快开展城镇供水管网改造，降低供水管网漏损率；深入开展公共机构和高耗水服务业节水改造；加快非常规水集蓄利用；深化节水宣传教育，在全社会营造“惜水、节水、爱水、护水”的氛围。◈

参考文献

[1] 顾世祥，朱赟，李亚龙，等. 滇中受水区农业节水潜力估算与分析[J]. 长江科学院院报，2021，38（7）：150-154.

[2] 刘柏君，侯保俭，王林威，等. 青海省西宁海东地区节水潜力与节水对策研究[J]. 灌溉排水学报，2020，39（1）：65-70.

[3] 刘秋丽. 山西省用水指标及节水潜力分析[J]. 水资源开发与管理，2020（9）：12-16.

[4] 李潇，刁艳芳，刘翠善，等. 宁夏用水结构变化及影响因素分析[J]. 华北水利水电大学学报（自然科学版），2019，40（5）：64-69.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.1.03

基于物联感知的机关节水仿真系统建设探究

王 妍

(北京市智慧水务发展研究院,北京 100036)

【摘 要】 北京市机关用水占全市公共生活用水比例最高,因此开展机关节水对建设节水型城市意义重大。本研究基于物联网、仿真模型和大数据等技术,实时、智能计量机关楼宇用水,并实现不同维度的统计分析和日常监管的精细化。目前系统运行稳定,该成果为相关行业全面提升用水效率提供了数据支撑,也为全面建设节水型城市建设做出了表率和贡献。

【关键词】 节约用水;物联网感知;仿真模拟;微服务

中图分类号:TV213.4　　文献标志码:A　　文章编号:2096-0131(2022)1-008-05

Research on the construction of water-saving simulation system for institutions based on IOT perception

WANG Yan

(*Beijing Smart Water Development Research Institute*, *Beijing* 100036, *China*)

Abstract: Beijing government water accounts for the highest proportion of public life water in the city, so it is of great significance to carry out government water conservation for building a water-saving city. Based on the technologies of Internet of Things, simulation model and big data, this research measures the water consumption of government buildings in real time and intelligently, and realizes the statistical analysis of different dimensions and the refinement of daily supervision. At present, the system runs stably. This achievement provides data support for related industries to comprehensively improve water use efficiency, and also sets an example and contributes to the overall construction of water-saving cities.

Key words: saving water; internet of things perception; simulation; microservice

北京作为首都,分布着数量众多的各类机关,这些行业在公共生活行业中占据着非常重要的地位。据统计,2004年北京市机关行业(含写字楼)用水量达1.33亿 m^3,占公共生活用水量的19.91%,是北京市公共生活行业中用水量最大、比例最高的行业[1-2]。因此在机关行业加强用水管理和开展节水工作对北京市开展节水型城市创建具有重要意义[3-4]。

本文以北京市水务系统某机关楼宇为案例,通过远传水表实时采集办公楼用水数据,仿真模拟楼宇内用水概况,并在此基础上进行动态水平衡分析,从而挖

收稿日期:2021-11-16

作者简介:王妍(1983—),女,高级工程师,博士,主要从事智慧水务、水资源方面的工作。

掘节水潜力。本研究旨在提高用水监管的直观性、及时性、精准性,为节水型城市建设提供数据支撑。

1　关键技术

1.1　系统仿真

BIM(Building Information Modeling),是以数据对象的形式组织和表现建筑及其组成部分,并以智能 3D 模型模拟工程项目全生命周期或部分阶段的信息的数字化模型[5-7]。本研究以 BIM 的一款核心软件即 Autodesk Navisworks 软件为平台,开发可视化仿真系统。该软件能兼容常用的由三维设计软件创建的模型文件格式,其建模过程简单且模型较精确,软件开发周期短[8]。

1.2　大数据分析

Hadoop 由 HDFS(Hadoop Distributed File System,分布式文件系统)[9-10]、MapReduce 及 HBase[11]三部分组成。HDFS 有高容错性的特点,并且可部署在低廉的服务器上,适合超大数据规模的应用,MapReduce 为海量的数据提供了一个可容错的、高可扩展的、分布式的计算框架,HBase 是一个基于键值对组织模型的分布式数据库,数据按行列混合模式存储在 HDFS 上,MapReduce 可以直接访问 HDFS 上的数据进行数据分析,也可以通过 HBase 间接访问 HDFS 上的数据,以提高分析性能。本系统选用开源云计算平台 Hadoop 作为基础平台进行大数据分析实验,搭建基本的实验平台,进行数据处理平台的优化处理。

2　数据库设计

2.1　水表库表设计与创建

水表是用水监管的计量工具,在此次机关节水建设中,对每个用水器具均安装智能远传水表,对楼宇不同用途的用水情况实施监管。系统开发过程中把水源类型、表状态、用水管理机关、水表所在位置、水表型号和精度等作为基本信息进行考虑,创建水表库表用于存储水表静态信息资料(见表 1)。考虑到系统后期维护、扩展和升级操作,在创建数据时使用标准的 SQL 语句创建数据库。同时为了更好地兼容中文字符,数据库采用 UTF-8 编码。

表 1　水表库表结构

字段名	类　型	长度	精度	是否非空	注　释
id	varchar	50	0	是	id
code	varchar	60	0	否	水表编码
source_type	char	4	0	否	水源类型
mater_status	char	4	0	否	表状态
manage_name	varchar	250	0	否	用水管理机关
startprt_part	varchar	250	0	否	水表所在部位
meter_type	char	4	0	否	水表型号
meter_jd	char	4	0	否	水表精度

2.2　监测数据库表设计与创建

表 2 内容为监测数据(即动态信息,如水表监测的实时用水量),根据传感器设置情况,每隔一定的时间上传一次数据,系统开发过程中把传感器编号(与静态信息通过该字段进行关联)、时间(用于区分实时数据和历史数据)、观测值、数据单位等最基本的监测数据作为动态信息进行考虑。

表 2　监测数据库表结构

字　段　名	类　型	长度	精度	是否非空	注　释
telemetry_station_code	varchar	100	0	否	传感器编码
tm	timestamptz	6	0	否	时间
data_type	varchar	250	0	否	要素类型
data_value	float4	24	2	否	要素观测值
data_type_code	varchar	10	0	否	要素类型编码
telemetry_station_name	varchar	255	0	否	传感器名称
data_unit	varchar	50	0	否	数据单位

3　系统设计与实现

3.1　总体框架

平台总体上包括基础设施层、仿真层、数据层、应用服务和访问层,具体结构见图 1。

基础设施层:基础设施层是系统运行的软、硬件环境,包括服务器、基础软件、存储和安全设备,以及远传水表、节水器具等。

图1　总体架构

仿真层:是模拟仿真技术的载体和功能的容器,主要组成部分为微观楼宇仿真软件和仿真交互控制模块,仿真层通过仿真控制交互模块,实现数据层控制方案到楼宇的执行,并直观展现运行效果和上传运行数据到数据层。

数据层:按照业务逻辑对数据进行聚合,实现信息多种维度、多场景应用,以服务的形式支撑机关用水、节水业务。数据包括静态数据和动态数据,前者如水表基本信息,后者主要由传感器实时监测数据组成。

应用层:对数据层的业务逻辑处理,面向不同用户有针对性提供信息服务、统计分析、日常监管及决策支持服务。该层由基础服务与业务服务组成,基础服务包括全局性、共用的统一认证、数据可视化、数据分析等,为业务提供支撑;依据业务需求,定制用水总量、漏损率、节水潜力分析、水平衡分析等功能。

访问层:该系统可通过PC端、手机端、公众号和外部系统等多种途径对用户提供服务。

区别于传统的信息化架构,在资源层、服务层与网络环境的联合支撑下,利用前后端分离技术进行组织,实现了从单体模式中彻底解耦,基于网关的统一调度和管理,利用服务层提供的数据模型与业务模型向资源层请求数据,总体支撑业务逻辑控制和信息的可视化表达。

3.2　智能感知

该部分采用基于物联网的系统架构,其中数据采集层主要由前端站点的物联网感知终端与若干水表组成,各水表通过直接连接的方式实现基础数据传输,发送至物联网感知终端;中心接收层位于云平台,通过在云平台上部署中心接收软件,接收来自物联网感知终端发送的数据并进行解析、存储、展示。

3.2.1　感知数据汇聚

报文接收,是针对传感器传输的报文进行解析、存储等工作,部分模块功能如下:

a. 报文通信:满足水务物联感知网多种通信方式的需求,构建支持当前水务物联网监测常用的通信方式,主要包括北斗、4G/5G、串口、TCP/IP等。通信层框架负责建立与不同终端的通信连接,对上层框架屏蔽不同终端通信方式的差异性,保证报文高效、稳定、安全地在终端与平台之间传输。

b. 协议解析:满足水务多要素标准化监测需求,结合水文、水资源、水环境等行业标准规约,构建支持北京水务常用的近30种报文数据的解析功能。同时,充分考虑可扩展性要求,建设能够实现自定义报文格式的数据解析体系,实现水务感知数据的快速化、标准化和灵活性解析。

c. 规约管理:内置水文、水资源、水环境等标准化监测数据传输规约的解析规则,同时支持自定义规约对应的解析规则的扩展。平台接收报文后,自动判断报文所属的规约类型,自动适配对应类型的解析规则,保障对数据准确、灵活地解析。

3.2.2　数据质量管理

感知数据质量管理的功能包括感知数据质量规则管理和管理责任定义、感知数据清洗、感知数据整编、感知数据异常报告等功能。

质量规则管理是指感知数据质量控制规则的录入、修改、适用范围设定等,包括数据告警规则、数据过滤规则、编码转换规则、时间字段格式等的设定,并把

规则应用到感知数据接入、整编、清洗、服务的全流程中。实现灵活、规则可配置的数据质量控制,提高数据准确性,降低人工复检、核检的工作量。

a. 原始数据保护:利用数据库的只读机制及区块链技术防篡改的思想,将接收到的原始感知数据存储到只读数据库中,保证原始数据的不可篡改性、真实性、完整性。

b. 感知数据清洗:根据设定的数据规则,为保证数据的准确性,对于原始数据中的“脏数据”需要进行数据过滤清洗。“脏数据”主要包括突变数据、时间异常数据、空数据、重复数据等各类异常数据。

c. 感知数据整编:将非标准化的各来源感知原始数据,根据设定的感知数据字段规则、站点编码规则、时间格式规则、数据字典等,进行字段格式规范、数据字典编码规范、站点编码转换、时间格式统一等标准化工作,为后续数据挖掘分析、共享服务提供标准、规范的数据。

d. 数据异常报警:针对水务感知数据质量检查时发现的数据突变、时间异常、空数据、重复数据等异常情况,及时发出告警,并通过系统消息、短信等形式通知到相关数据管理责任人。

3.3 平台功能

平台的具体功能结构见图2。

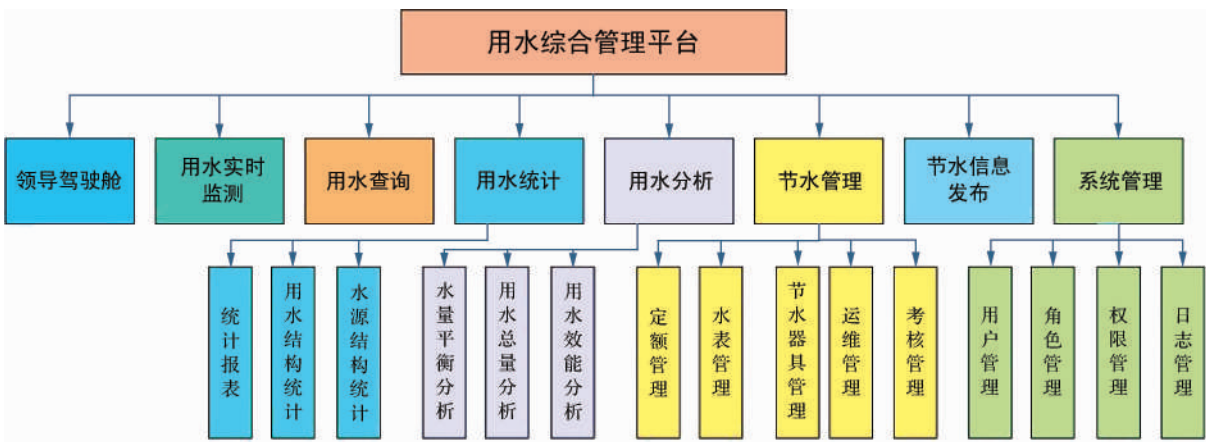

图2 系统功能结构

3.3.1 领导驾驶舱

通过水利部关于节水技术考核指标体系,实时反映全楼用水器具的运行状态,将智能水表采集的数据形象化、直观化、具体化,为高层管理层提供“一站式”高层决策支持系统。

领导驾驶舱整合汇聚监测结果和机关大楼基本信息、节水定额等数据资源,实现对用水计划、用水效能、水源结构等维度运行态势实时的量化分析、预判预警和直观呈现,见图3。

3.3.2 用水实时监测

对各楼层用水对象的全覆盖监测,可以实时、全面、精准地掌握不同性质、各楼层、不同水源结构的用水情况,保护第一手信息的准确性、科学性和精细化,为机关节水管理工作提供及时准确的信息支持。

平台通过数字信息仿真模拟机关办公楼、楼内管网及各计量水表的位置信息,并演示自来水、中水、雨洪水流的运行情况,其中包括用水量和异常状况的监测等,见图4。

3.3.3 用水统计分析

对机关办公楼的智能水表监测数据进行统计展示,分别以时间、楼层、用水结构、水源结构等多种维度进行统计,既能了解机关办公楼整体接水情况,又能对机关用水情况进行监控,实现从宏观到微观的全面监控,辅助业务管理人员统筹全局,快速定位问题并找到解决办法,为领导决策提供科学依据。主要功能点包括用水结构统计、水源结构统计、水量平衡分析、用水总量分析和用水效能分析。

图 3　领导驾驶舱

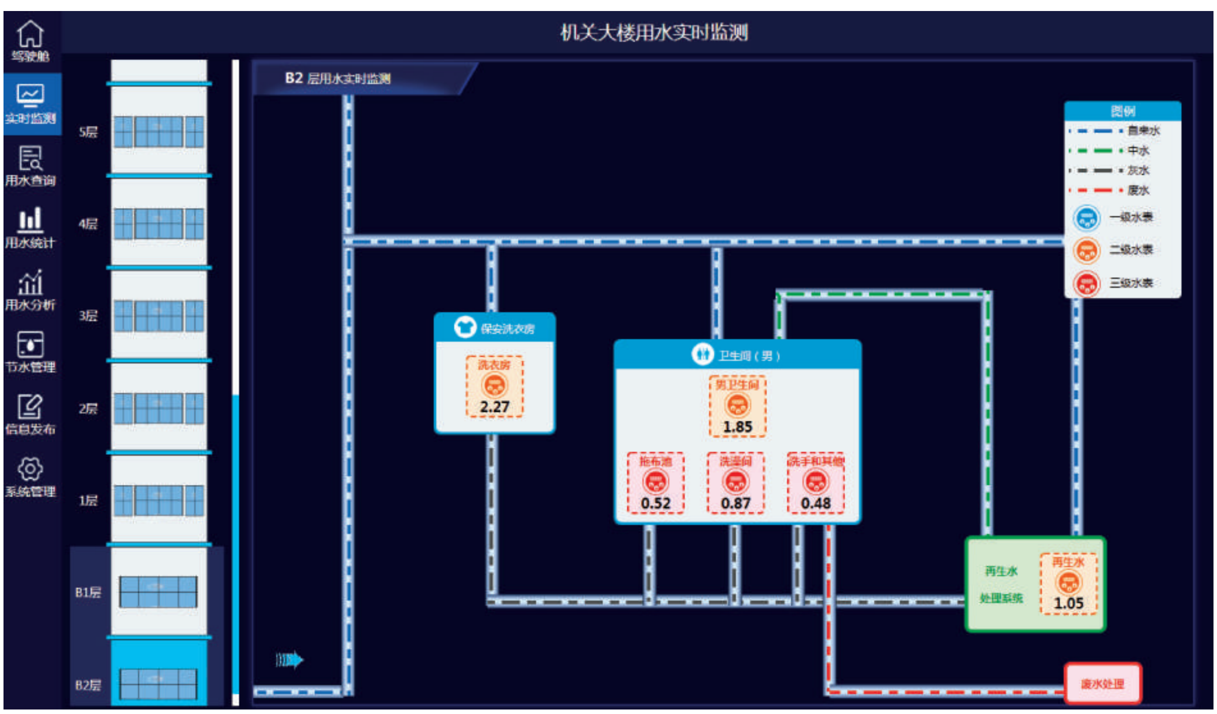

图 4　用水信息仿真模拟

4　结　语

机关节水仿真系统的建设，基于物联网、仿真模型、大数据和微服务等技术，通过对机关用水数据的实时采集，实现各楼层不同用途用水计量的直观、动态监控，对机关办公楼各类用水分析、节水潜力、水平衡测试以及漏损等情况进行日常监管，提高了节水型机关建设的直观性、实时性、精准性。

通过对该平台产生数据进行分析，可找出机关用水中存在的问题，进一步挖掘节水潜 （下转第 17 页）

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.1.04

锦州市实用灌溉新模式效益研究

王　凡

(锦州市水利事务服务中心,辽宁 锦州　121000)

【摘　要】 锦州市作为辽宁省粮食主产区,常年受到旱灾影响,为解决春旱秋吊问题,锦州市在国家与辽宁省政府的支持下推行节水灌溉工程,收效显著。但同时也存着不能适时补充灌溉、部分地区电力设施不足制约设备使用等问题。针对这些问题,本文提出了“风力提水+蓄水池模式+吸力式微润灌水器”的灌溉模式,以锦州市黑山与凌海两个项目区作为试点开展推广。实践证明,该灌溉模式可以很好地解决项目区存在的问题,经济收益、节水效果显著,还可以调动农户的积极性,促进农业良性循环。

【关键词】 节水灌溉;微润灌溉;高效灌溉

中图分类号:TV213.4　　文献标志码:B　　文章编号:2096-0131(2022)1-013-05

Study on benefit of new practical irrigation model in Jinzhou City

WANG Fan

(*Jinzhou Water Conservancy Service Center*, *Jinzhou* 121000, *China*)

Abstract: Jinzhou, as the main grain producing area in Liaoning Province, is affected by drought all the year round. In order to solve the problem of spring drought and autumn hanging, Jinzhou implemented water-saving irrigation project with the support of the state and Liaoning provincial government, and achieved remarkable results. At the same time, there are also some problems, such as not being able to replenish irrigation in time, insufficient power facilities in some areas restricting the use of equipment, etc. To solve these problems, this paper puts forward the irrigation mode of “wind-driven water lifting + reservoir mode + suction micro-wetting emitter”, which is promoted as a pilot in two project areas of Jinzhou Heishan and Linghai. Practice has proved that this irrigation mode can well solve the problems existing in the project area, with remarkable economic benefits and water-saving effects, and can also mobilize the enthusiasm of farmers and promote the virtuous circle of agriculture.

Key words: water saving irrigation; micro-irrigation; efficient irrigation

锦州市位于辽宁省的西南部,属暖温带半湿润气候,降水四季不均,年均降水量567mm,其中60%~70%集中在夏季。锦州作为辽宁省粮食主产区,却饱受干旱侵害,严重制约了当地的粮食保障与经济发展[1-4]。为了促进农业发展,保障粮食安全,增加农民收入,2011年辽宁省政府启动了千万亩滴灌工程项目;2012年,启动了东北四省节水增粮行动,计划在辽宁地区发展600亩节水灌溉农业试验田[5-7]。在这些工程中,喷微灌技术发挥了显著效益,但同时也存在一些问题:锦州市以农户承包责任制和分散经营为主,需

收稿日期:2021-11-16

作者简介:王凡(1979—),女,高级工程师,学士,主要从事水利工程建设与管理、水利设计、农田水利、水土保持等工作。

要既节约水量又节约资金的小型喷微灌设备,普通微灌一次性投资较大,微灌抗堵塞能力差;年内降水分布不均导致设备使用率低,影响农户积极性,缺乏可以适时补充灌溉的新型灌水设备;部分边远地区和坡耕地地区,电力基础仍未完善,制约节水灌溉技术的应用;缺乏配套的灌溉制度及田间灌溉方式;如何将先进的灌溉技术与大规模农业生产相结合,将节水灌溉技术应用在复杂的地形中等。这些问题严重制约了锦州市节水灌溉技术的发展[8-11]。依托辽宁省水利厅组织开展的“微润灌溉技术推广”“高效灌溉新技术推广”等课题,筛选出具备推广应用条件的节水灌溉技术,在锦州市不同作物、不同地区资源条件下进行应用。“风力提水+蓄水池模式+吸力式微润灌水器”灌溉新模式自2014年起在黑山及凌海推广,效果显著,大大提高了灌溉效率和农产的生产积极性。

1 节水灌溉新模式

“风力提水+蓄水池模式+吸力式微润灌水器”模式是在缺乏电力能源但风力能源丰富的偏远地区,利用风力清洁能源转化为机械能来进行提水。在高处修建配备蓄水池,提高势能,为微润灌提供水源动力,这样可以大大提升灌溉水源的保证率,同时也避免了因使用柴油机等传统动力方式导致的环境污染问题。

1.1 新型风力提水灌溉系统

如图1、图2所示,新型风力提水灌溉系统主要包括机舱、塔架、风力传动部分、机械传动部分、提水部分和蓄水灌溉部分等。

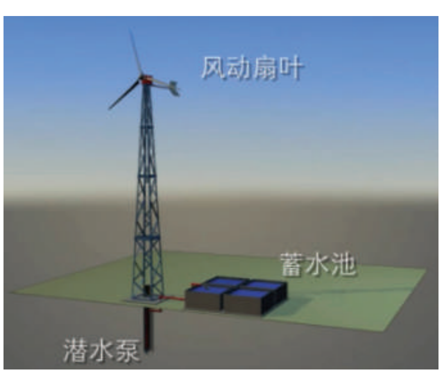

图1 新型风力提水灌溉系统

图2 新型风力提水系统

机舱包括主轴、曲轴、连杆、支撑架和机箱等部分,主要用于风能传输。塔架以立式铁桁架为主体,下端固定在混凝土底座上,上端连接云台,塔架一般分段预制,实地焊接为整体,主要起到支撑稳定作用。风力传动部分通过多桨叶片的转动,直接带动主轴和曲轴旋转,将风能转化为机械能,并通过连杆向摆臂钢缆传力系统进行传输。机械传动部分直接将风机产生的动力通过钢缆传输到水泵活塞上,将能量进行有效转换,直接将风能转化为机械能进行提水,避免了通过风能发电再提水造成的能量损耗。

提水部分是在水泵上下两部分分别安装4个逆止阀门,双向作用进行提水,尤其是通过钢缆与水泵的活塞连接,活塞往复运动,大大避免了旋转式水泵造成的能量损耗。

蓄水灌溉部分的主要作用是将抽取的地下水保存并直接用于灌溉或其他用途。蓄水池大小一方面和风力提水设备的提水能力相关,另一方面和控制灌溉面积相关。蓄水池一般利用混凝土浆砌石筑成,在一侧下部预设1个出水口,当风力提水设备系统和低压灌溉设备相结合时,可以直接与灌溉系统相连接,利用蓄水池内水压和沿坡降增加的水头自流灌溉;当风力提水设备与喷灌等需要一定压力的灌溉系统联合应用时,可以用水泵从蓄水池内提水灌溉。

实用新型风力提水机分为3种规格型号,即低扬程大流量型、中扬程中流量型、高扬程小流量型。其结构型式一样,工作原理完全相同。中扬程中流量型风力提水机应用较多,其主要参数见表1。

表1　风力提水机参数

项 目	风叶数量/个	风轮直径/m	塔架高度/m	起动提水风速/(m/s)	水井内径/mm	水泵活塞直径/mm	水泵活塞最大行程/mm	提水量/(m^3/h)	扬程/m	重量/t
参 数	4	8	13	2.5	400	80	300	6~20	50~120	2.6

风力机安装在地势高、风源条件好、接近水源的地方,附近没有高大障碍物,能够使风机四面临风。在地形上,可以放置于小山包之上,或虽处凹地,但形如走廊,总有疾风劲吹的地方。风力机要离蓄水池15m左右,并且避开高压线路、通信线路、公路铁路、人行路、水池等,远离障碍物(如树木、居民区、高大建筑物)200m为宜,风叶要高于建筑物2m以上。要注意涡旋气流对风力机的破坏,严禁在立陡崖上以及1m以上高度的立墙面附近安装风力机。

经过实践应用,新型风力提水系统主要优点如下。

1.1.1　制造和运营成本低

据统计,目前农田灌溉所需要的高低压网线及变电设备平均每亩地至少需要700元,加上电机和水泵等费用可达千元,按100亩为一个灌溉单元计算,仅这部分费用就高达7.0万~10.0万元,造价很高。而新型风力提水机造价仅为3.5万元;另外,由于其特殊的传力结构,直接将风能转变成机械能,无须传统风力发电提水逆变电设备及后续昂贵的维修费用,运行成本很低。

1.1.2　维修成本低

传统的风力发电提水设备是将风能直接转变成电能,储存在蓄电池组内,再通过逆变器等设备将电变压成380V的动力电,带动电机和水泵进行工作。在5kW风力发电提水系统中,蓄电池组和逆变设备的造价高达3万元以上,其使用寿命一般不超过两年,有的甚至不到一年,价格较高。而本次推广的设备直接采用机械传动,将风能转化为机械能提水,结构简单,配件价格低廉,没有使用价格昂贵的逆变电系统,维护和维修成本仅为200元/台。

1.1.3　低碳环保

本次计划推广的风力提水灌溉系统运行不用电、不用油,碳排放量为0,可实现提水机械化,能充分利用小水源、低水高扬、零存整取、贮用结合、结构简单、拆卸安装简便,既省时省力,又低碳环保。

1.1.4　适用范围广

我国沙漠化地区广阔,加大植树造林力度是有效治理和利用沙漠化土地的一个主要途径,但长期以来在沙漠化地区造林成活率低,一直制约着治理沙漠化土地的进程,亟待解决的就是水的问题。沙漠化地区一般位置偏远,经济不发达,无论是拉设电网还是采用柴油机提水,成本极高,还带来了大量能源的消耗,增加了碳的排放量。而风力提水灌溉系统则恰恰利用了沙漠化地区风力资源丰富这一特点,充分利用当地风力资源,运行不需要电、煤和油等能源和燃料,运营成本和维修成本很低,属于清洁型能源,不污染环境,还可以大大提高应用地区农作物、畜牧业产品产量,提升品质。特别适用于东北、西北、华北等多风沙漠化地区和平原区,以及沿海多风地区。

1.2　蓄水装置

蓄水装置可使用钢筋混凝土蓄水池和塑料蓄水桶。钢筋混凝土蓄水池采用C25钢筋混凝土现浇结构,容积一般为15m^3以上,可修筑成圆形或方形,多修筑在山顶或半山腰,便于池内存水形成较高的势能;进水管路设有逆止阀,防止水池存水倒流;由于水池存水较多,水池开口应采取安全保护措施,避免发生意外。

常用蓄水桶规格为直径1.6m,高1.67m,可盛水2m^3,置于预先设置好的平台(多为混凝土)之上;如使用2个以上蓄水桶,一般至少3个一起使用,每个桶均在距桶底10cm的侧壁预留90mm内径孔用于连接管路,将蓄水桶并联作为出水管路,每条支路及出水干管上均安装蝶阀;进水口设在桶的顶部,用于防止停泵以后蓄水倒灌;距桶底1.5m设有溢流管,防止蓄水量超过警戒水位;蓄水桶外壁应覆盖不透明塑料薄膜,用以隔绝阳光,避免桶内水生微生物过多影响供水。

1.3 微润灌溉技术

微润灌溉技术的原理是利用特殊材质导水芯的毛细浸润作用,在超低水压条件下,向作物根部土体导水,以实现作物生长要求;其设计的主导思想是通过延长灌水时间,降低灌水强度,有效地防止土体深层重力渗漏和田间蒸发,增加作物对灌溉水分的吸收利用率,并可以有效处理灌水器物理堵塞和化学堵塞。

微润灌溉主要通过微润灌吸力式灌水器实现。灌水器主要由导水芯、缓冲腔和接口管组成。导水芯是毛管中水向土壤供给的通道,其导水性能直接决定灌水器性能的好坏。

微润灌水器由锥形灌水体和导水芯组成(见图3)。锥形体是储水腔,与输水管采取旁通式连接,依靠导水芯向作物根系输水。储水腔孔径3.0mm,输水管径10mm。

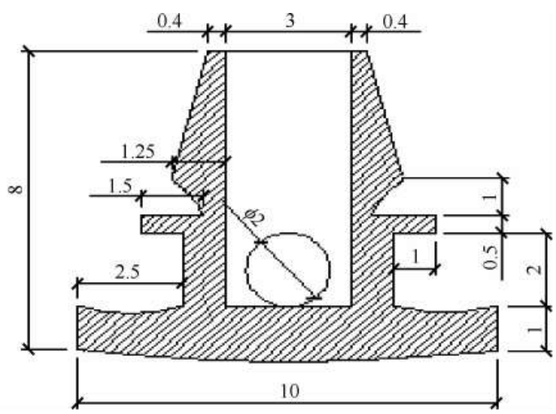

图3 微润灌水器结构(单位:mm)

与传统的灌溉技术相比,微润灌溉技术具有以下特点:

a. 节水:微润灌吸力式灌水器通过毛细浸润作用湿润作物根系活动层的部分土壤,避免了灌溉水的田间蒸发和重力水的无效渗漏,田间水的利用率可达90%以上。

b. 节能:由于利用了毛细浸润作用,微润灌水器在2m的工作压力下便可正常进行灌溉,降低了能耗。

c. 易清除堵塞:由于灌水器的特殊结构,对于物理堵塞和化学堵塞,可方便地通过来回提拉导水芯来清除。

d. 改善小气候:在大棚中,微润灌溉系统能适时适量地向作物根区供水供肥,为作物根系活动层土壤创造良好的水、热、气、养分环境,与地面灌相比,提高地温35%;改善了棚内小气候,提高了产品质量;湿度降低4%,减少了病虫害的发生。

2 技术应用效果

a. 黑山项目区选择在锦州市黑山县“绿色芳山”果园,建成水源井2眼,风力提水设备2套。项目区根据地形进行管路设计,2套风力提水设备位于山中,出水管并入干管输送山顶蓄水池中的水,过滤器安装于风力提水干管中,利用水压达到过滤效果;蓄水池中的灌溉水通过自压实现灌溉。铺设地埋干管100m,地埋分干管1790m,铺设地表支管3051m,微润灌溉毛管74400m。果树生育期共灌水7次,灌水15m^3/亩,亩灌水累计105m^3,较项目实施前节水120m^3/亩,项目区共节水7.5万m^3,节水效果明显;项目实施前,地区用潜水泵抽水上蓄,水泵流量约15m^3/h,功率为25kW,亩灌水量约225m^3/亩,则项目区合计节电18.8万kW·h。

表2 经济效益计算

实施年度	县区	推广模式	面积/亩	亩均增收/元	增收/万元
2014	黑山县	“风力提水+蓄水池模式+吸力式微润灌水器”模式	500	626	31.3
2015	黑山县	“风力提水+蓄水池模式+吸力式微润灌水器”模式	500	626	31.3
	凌海市	“风力提水+蓄水池模式+吸力式微润灌水器”模式	500	626	31.3
2016	黑山县	“风力提水+蓄水池模式+吸力式微润灌水器”模式	500	626	31.3
	凌海市	“风力提水+蓄水池模式+吸力式微润灌水器”模式	500	625	31.25
合计			2500		156.45

b. 凌海项目区位于锦州市下辖凌海市吴楚庄园,此次项目使用“风力提水+蓄水池+微润灌溉”节水灌溉技术实现园区内果树灌溉500亩。风力提水机基础浇筑与田间管网铺设同步进行,在作物灌水前完成

施工，新建风力提水系统4套；修建蓄水池1座，直径10m，深2.5m；铺设ϕ90PVC地埋主干管900m，ϕ63PVC地埋干管2000m，ϕ63PE支管3500m，微润灌溉毛管75000m。项目区未实施节水技术前，用潜水泵抽水上山，水泵流量约15m^3/h，功率为25kW，亩灌水量约280m^3/亩，项目实施后，无须水泵抽水，则年节电23.3万kW·h。2014年项目实施期间，果树共灌水8次，每次灌水15m^3/亩，亩灌水累计120m^3，亩节水约160m^3，项目区累计节水8万m^3。

3　结　语

"风力提水+蓄水池模式+吸力式微润灌水器"节水灌溉模式给试验项目区创造了良好的经济效益，实施3年项目区共增收156.45万元，累计节水15.5万m^3(见表2)。在节水增产的同时改变了传统农业用水方式，为农村提供了新的种植方式、灌溉技术、灌溉制度和田间管理管护形式，改变了农户对灌溉的认识，使农田灌溉日趋合理。使用节水灌溉技术可以有效改善农田土壤结构，防止土壤次生盐渍化，保护生态环境，促进农业良性循环，向精准农业和产业化经营转变。

参考文献

[1] 节约用水成为解决我国水问题的根本出路[J].中国水利，2021(13):33.

[2] 黄紫静.辽宁省农业经济与农业可持续发展耦合协调分析[J].国土与自然资源研究，2021(5):72-75.

[3] 周鹏飞.辽宁省农业机械化发展现状、存在问题与发展建议[J].中国农机化，2006(4):3-7.

[4] 刘得萍.浅析农业水资源现状与节约利用[J].农家参谋，2021(18):189-190.

[5] 那利.辽宁省高效节水灌溉工程技术发展现状及展望[J].吉林水利，2013(2):4-7,10.

[6] 张丹.新型微润灌溉系统在辽西地区的推广与应用[J].水利科技与经济，2013,19(5):83-85.

[7] 刘振，薛辉，张丰.高效节水灌溉技术在农田水利工程中的运用[J].世界热带农业信息，2021(8):64-65.

[8] 马宗正.辽宁省高效节水灌溉建设现状及发展思路[J].吉林水利，2017(9):52-53.

[9] 何江.辽宁省节水灌溉发展现状及对策探析[J].地下水，2017,39(2):122-124.

[10] 刘琳.辽宁省实施农业节水灌溉的效果分析及建议[J].水资源开发与管理，2017(1):70-72.

[11] 何玉钊.试论如何推广高效节水灌溉铺就绿色发展之路[J].中国设备工程，2021(11):260-261.

(上接第12页)力，用于指导实践。该机关2019年预计全年用水量为10340m^3，人均用水量为18.8m^3，其中年人均用水量较2017年、2018年分别下降了9.18%、5.43%。全市机关人均用水定额为26.4m^3，该机关的人均用水量比全市机关人均定额少30%左右。

参考文献

[1] 翁建武，蒋艳灵，陈远生.北京市公共生活用水现状、问题与对策[J].中国给水排水，2007,23(14):77-82.

[2] 赵志刚.北京市水务系统节水机关建设实践与思考[J].中国水利，2020(7):35-37.

[3] 翁建武，陈远生.北京市机关行业用水分析及节水对策[J].中国给水排水，2009,35(1):16-20.

[4] 宋敏，刘秋生，化全利.浅谈北京市水务系统公共机构节水管理[J].水资源开发与管理，2021(2):22-25.

[5] 宋强，邓忠民.航空喷雾漂移控制仿真器的设计[J].系统仿真学报，2008,20(1):264-266.

[6] 孙国勇，刘浙.工程可视化仿真技术应用和发展[J].计算机仿真，2006,23(1):176-180.

[7] Building and Construction Authority. Singapore BIM Guide (Version 1.0)[Z]. Singapore: Building and Construction Authority, 2012.

[8] 姚翔川，郑俊杰，章荣军，等.岩土工程BIM建模与仿真计算一体化的程序实现[J].土木工程与管理学报，2018,35(5):134-139.

[9] 杜小勇，卢卫，张峰.大数据管理系统的历史、现状与未来[J].软件学报，2019,30(1):127-141.

[10] TOM W H. The definitive guide 4th[M]. O'ReillyMedia, Inc. 2012:120-152.

[11] GEOGE L H. The definitive guide random accessto your planet-size data[M]. O'Reilly Media, Inc, 2011:55-69.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.1.05

太湖蓝藻水华和湖泛应急防控能力提升对策研究

殷　鹏[1]　张建华[2]　胡晓雨[1]

(1. 江苏省水资源服务中心,江苏 南京　210029;
2. 江苏省水利厅,江苏 南京　210029)

【摘　要】 本文通过回顾江苏省水利部门2007年以来太湖蓝藻水华及湖泛防控工作进展,总结了太湖蓝藻预警、打捞处置、藻泥利用以及规范化管理等方面的经验做法。同时,分析了现阶段太湖安全度夏面临的蓝藻生物量居高不下、应急防控成本增加、监管能力不足等难点问题,提出了加快骨干引排工程建设、提升蓝藻水华防控能力、加快构建信息化监管平台,以及健全应急防控标准体系等工作建议,为提升太湖应急防控工作水平提供技术支撑。

【关键词】 江苏省;太湖;蓝藻水华;湖泛;应急防控

中图分类号:TV213.4　　文献标志码:B　　文章编号:2096-0131(2022)1-018-05

Study on countermeasures to enhance emergency prevention and control ability of cyanobacteria bloom and lake flooding in Taihu Lake

YIN Peng[1], ZHANG Jianhua[2], HU Xiaoyu[1]

(1. *Jiangsu Water Resources Service Center*, *Nanjing* 210029, *China*;
2. *Jiangsu Provincial Water Resources Department*, *Nanjing* 210029, *China*)

Abstract: In this paper, by reviewing the progress of prevention and control of cyanobacteria bloom and lake flooding in Taihu Lake since 2007 by Jiangsu Provincial Water Resources Department, the experience and practices in early warning, salvage and disposal, utilization of algae sludge and standardized management of cyanobacteria in Taihu Lake are summarized. At the same time, this paper analyzes the difficult problems of high cyanobacteria biomass, increased cost of emergency prevention and control, and insufficient supervision ability in Taihu Lake during the summer safety, and puts forward some suggestions, such as speeding up the construction of backbone drainage project, improving the prevention and control ability of cyanobacteria bloom, speeding up the construction of information-based supervision platform, and improving the standard system of emergency prevention and control, so as to provide technical support for improving the emergency prevention and control level in Taihu Lake.

Key words: Jiangsu Province; Taihu Lake; cyanobacteria bloom; pan lake; emergency prevention and control

收稿日期:2021-10-11
基金项目:江苏省重大水利科技项目(201906)

作者简介:殷鹏(1987—),男,高级工程师,硕士,主要从事水资源保护和太湖治理研究工作。

2007年以来,江苏省把太湖治理作为生态文明建设的标志性工程和重大民生工程,应急防控、长效治理两者兼具,已取得了阶段性治理成效[1-2]。蓝藻打捞处置及湖泛巡查防控作为国务院《太湖水环境综合治理总体方案》以及江苏省《太湖湖泛应急预案》《江苏省太湖蓝藻暴发应急预案》明确的太湖蓝藻、湖泛应急防控主要应急措施,均由地方各级水利部门承担实施,为连续十三年实现国务院提出的"两个确保(确保饮用水安全、确保不发生大面积湖泛)"目标,发挥了至关重要作用。当前,太湖治理仍处于攻坚阶段,新老问题交织叠加,应急防控任务更加艰巨。本文通过总结2007年以来太湖蓝藻打捞处置、湖泛巡查防控经验成效,分析了当前太湖安全度夏面临的问题,并提出下阶段蓝藻打捞处置、湖泛应急防控工作建议,为提升太湖安全度夏工作水平提供技术支撑。

1　太湖蓝藻打捞处置及湖泛巡查防控工作开展情况

2007年以来,江苏省水利厅会同环太湖各市严格落实应急防控总体任务,逐步建立了蓝藻湖泛预警监测网络、蓝藻打捞组织体系,协同推进太湖蓝藻打捞、藻水分离、资源化利用、无害化处置和湖泛巡查防控工作,着力加大重点水域、敏感地区的蓝藻打捞处置力度,构建"应急防控"和"日常打捞"双保障体系,持续推进太湖蓝藻打捞及无害化处置、资源化利用[3-5]。

1.1　监测预警实现重点水域全覆盖

江苏省水利、气象、环境等相关部门会同环太湖各市逐步建立健全太湖蓝藻湖泛巡查和监测预警体系,建成卫星遥感监控、视频监控、常规监测、应急监测相协同的监测监控体系,其中设置重点蓝藻湖泛巡查重点监测区域7个,覆盖重点湖区569km^2,在太湖应急度夏期(3月1日至10月31日),每日开展现场巡查,实现了全湖重点区域巡查与监测预警全覆盖。

1.2　蓝藻打捞全面实现机械化

环太湖83个打捞点全部实现机械化打捞船、专用化打捞泵作业,年打捞量已从2008年的60万t提升至目前的200余万t(见图1),极大地提高了打捞效率与打捞能力。2007年以来,全湖累计打捞蓝藻1900万t,不仅有效防止了蓝藻堆积腐烂发臭、减少了蓝藻存量,而且直接清除了聚集在蓝藻体内的内源污染,相当于减少湖体内的8500t氮、1900t磷,为保障太湖供水安全发挥了重要作用。

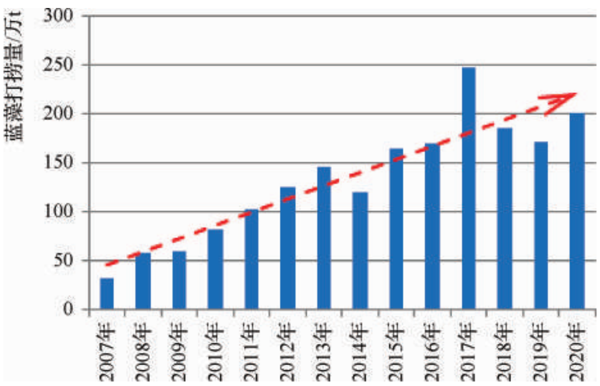

图1　2007—2020年江苏省太湖蓝藻打捞量变化

1.3　打捞藻浆全面实现工厂化处理

根据江苏省水利厅组织编制的《环太湖藻水分离站建设规划》,目前环太湖已形成31座固定式藻水分离站、移动分离车船相结合的环湖藻水分离网络,日处理藻浆能力6万t(见表1)。结合调峰池,主要打捞点的打捞藻浆可全部进入藻水分离站进行脱水处理。

表1　环太湖各市藻水分离处置能力统计

地　区		固定藻水分离站		移动藻水分离设备	
		数量/座	处理能力/(t/d)	数量/台	处理能力/(t/d)
无锡市	无锡市区	12	33120	4	4000
	宜兴市	2	9000	3	3700
常州市	武进区	1	4000	1	800
苏州市		8	5660	/	/
合　计		23	51780	8	8500

1.4　蓝藻无害化处置、资源化利用水平

目前,全湖藻泥无害化处置能力达到1150t/d,藻泥资源化利用能力达到250t/d,全年产生的8万~10万t藻泥可以全面实现藻泥无害化处置或资源化利用(见表2),如利用蓝藻生产有机肥、蛋白粉、藻泥干化焚烧发电等,彻底根除了二次污染风险[6]。

表2　环太湖各市藻泥无害化处置、资源化利用能力统计

序号	项　目　名　称	投运时间	处理能力/(t/d)	处理方式
1	无锡市藻泥干化焚烧发电项目	2019 年	1000	无害化处置
2	宜兴市藻泥干化焚烧发电项目	2019 年	150	无害化处置
3	常州武进区农业废弃物利用项目	2009 年	50	资源化利用
4	宜兴市有机废弃物综合处置项目	2018 年	100	资源化利用
5	宜兴市藻泥生产有机肥项目	2018 年	100	资源化利用

1.5　蓝藻打捞市场化探索

积极引进社会力量参与蓝藻打捞处置，无锡、武进采用政府购买服务的方式，委托社会组织开展蓝藻和水草打捞作业的探索，宜兴开展按藻泥称重付费、引进民间资本参与蓝藻打捞处置的试点。目前，环湖地区蓝藻打捞处置由原有的政府组织、部门实施的方式，逐渐向政府主导、社会参与、部门督查的方式转变。

1.6　蓝藻打捞与处置的规范化管理

江苏省水利厅先后制定下发《关于进一步加强太湖蓝藻打捞处置工作的指导意见》《关于做好太湖湖泛巡查和处置工作的指导意见》《关于太湖蓝藻打捞湖泛巡查和预警能力建设实施方案》等文件，组织环湖各地定期开展总结交流，推广好的经验和做法，指出问题和改进的方向，建立蓝藻打捞常态化驻点督查制度，及时发现并解决蓝藻打捞工作出现的新情况、新问题，以保障蓝藻打捞处置工作的顺利进行。

2　存在的主要问题

经过十多年高强度治理，太湖流域水环境质量持续改善，但是流域经济社会发展与资源环境之间的矛盾没有根本缓解，同时太湖安全度夏应急防控的新问题已经显现，新老问题叠加，治理任务更加艰巨[7]。

2.1　蓝藻水华大面积暴发的风险依然存在

十余年的太湖治理已取得了积极成效，22 条主要入湖河流全面消除Ⅴ类、劣Ⅴ类水体，太湖水质已从劣Ⅴ类改善为Ⅳ类。但是受气温升高等不可控气象条件影响，近年来，太湖蓝藻水华的频次、面积不降反增。根据江苏省气象部门卫片统计数据，“十三五”期间，太湖年均发生蓝藻水华 106.8 次，年均累计面积 1.61 万 km^2，分别比“十二五”期间高 32.5%、126%（见图2）。

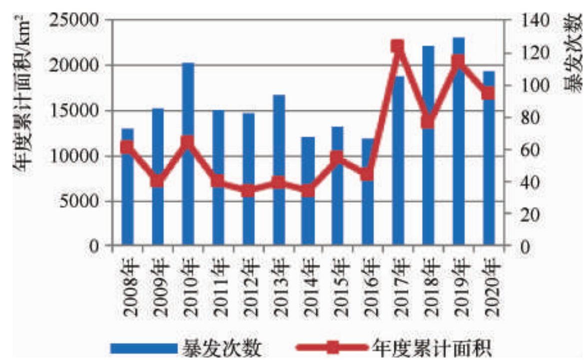

图2　2008—2020 年太湖蓝藻水华频次和面积变化

2.2　湖泛隐患依然存在

江苏省连续 13 年实现了“两个确保”，但是湖泛防控的压力依然存在。每年夏季在东南风的作用下，蓝藻向太湖北部、西部近岸湖区堆积，这些湖区本身水动力条件弱，湖体流速缓慢，蓝藻极易在这些区域沉降，并与底泥中的有机物产生厌氧反应，引发湖泛。由于近几年太湖蓝藻生物量明显反弹，小范围湖体水质异常（小范围湖泛）也有增加趋势，“十三五”期间，年均发生 9.6 次小范围湖体水质异常事件，年均累计持续时间 29.8 天，分别比“十二五”期间高 50%、107%。一旦水体异常发生在水源地附近，将威胁供水安全。

2.3　应急防控边际效应逐步显现

蓝藻打捞是防止蓝藻在近岸堆积引发湖泛的重要措施，但是并不能从根本上遏制蓝藻暴发。根据测算，太湖年蓝藻打捞量不足湖体蓝藻生物量的 4%，遇到蓝藻水华高峰期，蓝藻打捞处置能力明显不足，但是大幅度提升蓝藻打捞处置能力不仅投资巨大，也会造成设施长时间闲置，并带来高昂的养护成本。原先采用的藻泥沼气发电、沤肥返田等低成本的藻泥处置方式已经难以满足新时期环境保护要求，相关工程相继停用。有机肥等藻泥资源化利用产品需求有限，全湖通

过资源化利用方式处置藻泥的比例仅占20%左右,剩余部分主要通过无害化焚烧发电的形式处置,每吨藻泥的无害化处置成本达到上千元,处置成本居高不下,在蓝藻打捞处置高峰期,仅无锡市区藻泥干化发电项目,日运行成本就达到100万元以上。太湖应急清淤工程遏制湖泛灾害效果明显,但是也面临陆上排泥场空间缺乏的现实问题,清淤工程的单价已由60元/m^3提高至150元/m^3以上,清淤处置成本持续增加。此外,望虞河引江济太是提升贡湖湾水动力条件、遏制蓝藻积聚及湖泛灾害的重要措施,为防控湖泛、确保供水安全发挥了重要作用,但是在每年5、6月蓝藻水华和湖泛易发高发期,由于太湖实际水位超过了调水限制水位,不具备调水条件,不能够充分发挥引江济太工程效益[7-8]。

2.4　规范标准体系尚不健全,信息化水平有待提升

2012年江苏省发布了一批蓝藻打捞处置相关的地方标准,如《蓝藻机械打捞作业规程》《蓝藻打捞工作量计算规范》《蓝藻高温堆肥技术操作规程》,但随着新技术不断应用,设备不断更新,相关技术规范、标准、规程未同步更新,不能有效指导现行相关工作。湖泛防控主要依靠对湖泛易发区开展湖泛巡查,发现小范围湖泛后及时处置。相关湖泛预警研究不够深入,尚不能满足湖泛防控的精度要求。蓝藻打捞处置动态仍以人工统计为主,信息统计有一定的滞后性,无法满足全湖蓝藻打捞处置能力统筹调度的要求。

3　对策建议

太湖水环境综合治理是一项长期艰巨任务,在继续坚持外源污染治理不放松的前提下,“两个确保”仍是要牢牢坚持的底线,必须要系统性提升蓝藻水华和湖泛应急防控水平,更好水平实现太湖安全度夏,提升饮用水安全保障水平,更好地服务长三角一体化发展战略的实施。

3.1　加快推进引排工程建设,健全多目标统筹调度机制

加快实施望虞河拓浚、吴淞江整治、太浦河扩大三大骨干工程,可分别增加太湖引排能力约200m^3/s、排洪能力约400m^3/s、供排能力约200m^3/s。工程实施后,可大幅度提升流域防洪、排涝能力,太湖防洪能力将由50年一遇提升至100年一遇,为建立太湖流域防洪、供水、生态、用水协调机制提供能力保障。进一步健全新孟河、望虞河引江,新沟河、走马塘排水,太浦河供排的骨干引排工程调度方案,提高水资源配置能力、扩大水环境容量[9],保障供水安全,支撑太湖安全度夏。

3.2　进一步完善蓝藻水华高峰期应急防控措施

构建蓝藻湖泛应急处置体系。构建“挡、引、捞、控”并举的蓝藻应急防控体系,从近岸打捞向离岸设防转变、从固定打捞向机动打捞转变、从单一捞藻向防控结合转变[10]。在西部湖区、梅梁湖和贡湖水源地等重点水域建设围隔导流设施,并增设藻水打捞分离船。进一步探索利用原位控藻技术,防止敏感水域蓝藻堆积发白发臭。强化增氧曝气等技术装备支撑,提升湖泛防控水平。加快推进藻泥资源化利用示范工程建设,不断提高蓝藻减量化、资源化和无害化处理水平,构建完善的蓝藻资源化利用体系,不断降低蓝藻打捞、防控及处置成本。

3.3　建设太湖蓝藻水华和湖泛应急防控信息化管理平台

整合蓝藻监控系统、藻水流量监控系统、水质监测系统、展示控制系统和数据分析系统,利用监测设备、流量传感器、监控摄像头、无线传输、电脑分析终端等电子化设备对蓝藻打捞处置的各个环节进行全程管控,加快5G及卫星传输应用,增加可视化传输能力,利用传感技术、智能分析技术、物联网技术、云计算和人工智能等技术,快捷全面地收集、汇总、分析实时数据,并对未来的藻情、湖泛作出预警,实现数字化、网络化、智能化的管理,从粗放管理向精细管理转变,为蓝藻打捞处置和湖泛应急防控工作提供数据分析,为优化调

度、快速响应和应急处置提供决策支持，进一步提升蓝藻打捞、运输、处置一体化的管理水平。

3.4 健全完善太湖蓝藻水华、湖泛防控标准体系

加快建立健全蓝藻打捞、处置及综合利用相关的地方及行业标准体系、技术规范的修编和制定。在现有工作基础上对《蓝藻机械打捞作业规程》《蓝藻打捞工作量计算规范》《蓝藻高温堆肥技术操作规程》等地方标准进行修编，研究制定完善蓝藻打捞处置、综合利用相关的规程、标准文件，根据需要动态修订。以保障生态安全为前提，以推动处理利用效率提升为目标，适应蓝藻防控相关要求，探索建立蓝藻藻泥综合利用衍生品安全性技术标准。在各项标准和技术规范制定过程中，要加强与国家和行业相关标准衔接，提升标准和技术规范的有效性。

4 结　语

蓝藻打捞处置、湖泛巡查防控、调水引流等太湖安全度夏水利措施，为连续十三年实现太湖“两个确保”发挥了突出作用。当前，太湖新老问题叠加，太湖安全度夏应急防控形势依然严峻，需要通过加快太湖引排骨干工程建设、优化工程调度管理，完善应急防控措施、提升应急防控信息化水平、健全应急防控标准体系等措施，为更高水平实现“两个确保”目标，提供强有力的能力支撑。◈

参考文献

[1] 朱喜，朱云.大数据结合治理太湖消除蓝藻暴发实践的思路[J].水资源开发与管理，2020(1)：70-77.

[2] 华烨.无锡市水生态文明城市建设试点的实践与思考[J].水资源开发与管理，2019(7)：73-77.

[3] 殷鹏，张建华.江苏省水资源保护实践与对策研究[J].治淮，2019(12)：13-14.

[4] 贾更华，戴晶晶，吴亚男，等.新发展阶段太湖治理与保护关键问题探讨[J].中国水利，2021，(5)：24-27.

[5] 朱喜，李贵宝，王圣瑞.太湖蓝藻暴发的治理[J].水资源保护，2020，36(6)：106-111.

[6] 殷鹏，张建华，孔繁璠.太湖蓝藻无害化处置资源化利用现状分析与对策研究[J].江苏水利，2019，(9)：23-25，55.

[7] 翟淑华，周娅，程媛华，等.2015-2016年环太湖河道进出湖总磷负荷量计算及太湖总磷波动分析[J].湖泊科学，2020，32(1)：48-57.

[8] 张小稳，陈光育，蒋立新.构建苏南地区水情调度一体化体系的设想[J].水资源开发与管理，2020(12)：14-19，13.

[9] 王遥，陈雨清，戴晓烨.重点区域实时监控工程在太湖流域河湖管理工作中的实践与思考[J].水资源开发与管理，2021(2)：80-84.

[10] 殷鹏，张建华，华萍.改善东太湖水环境的水工程措施研究[J].江苏水利，2019(7)：1-4，8.

协会动态

关于颁发2019—2020年度中国水利工程优质（大禹）奖的决定

各有关单位：

经中国水利工程优质（大禹）奖评审委员会评审，公示无异议，云南省牛栏江—滇池补水工程、扬州市瓜洲泵站工程等四十五项工程荣获2019—2020年度中国水利工程优质（大禹）奖。

附件：获奖工程主要参建单位及主要贡献人名单见中国水利工程协会官网首页“通知公告”栏目（https://www.cweun.org/show.php？ cid＝11&id＝1137）。

中国水利工程协会

2021年12月27日

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV. 2022.1.06

阳泉地区“老窑水”现状及治理对策探究

杜娟娟

(太原理工大学,山西 太原 030024)

【摘　要】 阳泉地区的“老窑水”目前已在部分区域出露,对区域地表水和喀斯特地下水水质造成了一定的影响。因此,本文在充分了解“老窑水”成因及对阳泉地区的影响的基础上,针对区域现状,按照分类制定、综合施策的原则,系统探究了“源头控、末端治”有效结合的治理方案,可为当地“老窑水”治理提供参考,以期为其他类似地区的“老窑水”治理提供借鉴。

【关键词】 “老窑水”;阳泉;治理对策

中图分类号:TV213.4　　文献标志码:B　　文章编号:2096-0131(2022)1-023-04

Present Situation of “old kiln water” in Yangquan area and countermeasures exploration

DU Juanjuan

(*Taiyuan University of Technology*, *Taiyuan* 030024, *China*)

Abstract: At present, the “old kiln water” in Yangquan area has been exposed in some areas, which has a certain impact on the regional surface water and karst groundwater quality. Therefore, on the basis of fully understanding the causes of “old kiln water” and its influence on Yangquan area, aiming at the regional present situation, according to the principle of classified formulation and comprehensive policy, this paper systematically explores the treatment scheme of effective combination of “source control and end treatment”, which can provide reference for the treatment of local “old kiln water” in order to provide reference for the treatment of “old kiln water” in other similar areas.

Key words: “old kiln water”; Yangquan; governance countermeasures

我国煤炭资源丰富,对经济增长和社会进步的发展起着至关重要的作用。我国煤炭资源的开采方式主要是地下开采,煤层埋藏于地下,含硫矿物在天然状态下是稳定的,而在开采过程中,破坏了原环境,使所开采的煤层暴露在空气中,为含硫矿物氧化为硫酸根创造了条件[1]。煤炭开采后多形成采空区,地下水逐渐聚集,煤层中硫化矿物经过一系列物理化学反应,其产物溶于水中,逐步汇聚在老空区,而呈现出酸性“老窑水”的特征。随着越来越多的煤矿在没有适当关闭解决方案的情况下被关闭,这种现象更加严重。这些大量关闭的煤矿必然会导致“老窑水”的发生,从而给水资源和生态环境带来风险。

收稿日期:2021-08-20

基金项目:山西省老窑水对水生态环境影响与防治措施研究——以阳泉为典型案例(SZ-2020-02)

作者简介:杜娟娟(1989—),女,高级工程师,硕士,主要从事水资源、水生态修复研究工作。

山西省是我国煤炭大省之一,全省划为六大煤田,年均煤炭产量超过 10 亿 t,其中阳泉矿区位于我国著名的无烟煤生产基地阳泉市[2],大部分煤矿于 2000 年煤矿资源整合时关停。据初步调查,阳泉市已有 200 余座废弃煤矿,采空区面积较大,且采空区内蓄积形成的“老窑水”约 1300 万 m^3,目前已在部分区域出露。未来几十年,阳泉市大量矿井闭坑,采空区内形成的“老窑水”将会更多,而其水体中含有的硫酸根离子为极不易沉降的组分,会随着水体进行长距离迁移,部分污染物会下渗进入地下水中,将会对阳泉地区地表水水质造成严重影响[1]。因此,从阳泉市的生存、发展以及人民饮水安全着眼,开展“老窑水”的治理对策研究是一项非常迫切的任务。

1 阳泉地区“老窑水”成因及影响现状

1.1 “老窑水”的成因

“老窑水”是高硫煤在开采过程中,煤系地层和围岩中的硫化矿物、有机硫在与氧气和水接触的条件下,被氧化硫杆菌、氧化亚铁硫杆菌等微生物催化氧化,生成硫酸根和氢氧化铁,使水呈现酸性,产生了酸性“老窑水”[2-3]。研究表明,采空区水的形成需要三个水文地质条件:首先是补给来源,一般来自于大气降水、地表水、基岩裂隙水以及喀斯特水等;其次,充水通道对“老窑水”的形成至关重要,常见的充水通道包括顶板垮落形成的冒落裂隙通道、裂缝带、陷落柱、封闭性差的钻孔等;第三,聚水空间是造成采空区水形成的另一个重要因素[1,4]。

1.2 阳泉地区“老窑水”影响现状

阳泉市娘子关泉水化学组分含量自 2010 年前就有缓慢增长趋势,到 2010 年后为快速增长期,泉水中的硫酸根超出国家饮用水水质标准,在 2003—2014 年期间,泉水中来自煤系地层的硫含量年增长率在 2.07% ~6.14%,对泉域造成了明显的影响[5]。另外,阳泉地区山底河流域受“老窑水”影响,区域的水质状况较差。根据中国地质科学院岩溶地质研究所、太原理工大学、山西大学等相关单位研究成果可知:2014 年 4—12 月,山底河煤矿“老窑水”pH 值为 2.67 ~ 5.26,硫酸根逐月平均值为 3570mg/L,水质评价结果有 11 项指标超国家地下水Ⅲ类水水质标准;2018 年进行取样分析,硫酸根的平均浓度约为 5200mg/L,pH 值约为 3.39;2020 年,在牵牛山煤业的小沟煤矿和山底煤矿渗出地表的“老窑水”在丰平枯 3 个时期中,pH 值均在 3.5 以下,枯水期硫酸根浓度可达 10000mg/L 以上。由此可见,山底河流域出流“老窑水”水质较差,已严重威胁到阳泉地区生态环境。

2 “老窑水”危害

煤矿“老窑水”具有体量大、水质差、流动性强的特点,其水化学特征体现为高硫酸盐、高总溶解固体和低 pH 值等。“老窑水”的危害表现在以下几方面:

a. 部分“老窑水”出露地表,如白羊墅煤矿、山底河流域煤矿、小沟煤矿等,在煤矿矿坑内“老窑水”蓄满后,从流域煤系地层出露的最低处溢出地表(见图 1),对当地水生态系统和当地居民健康构成威胁。

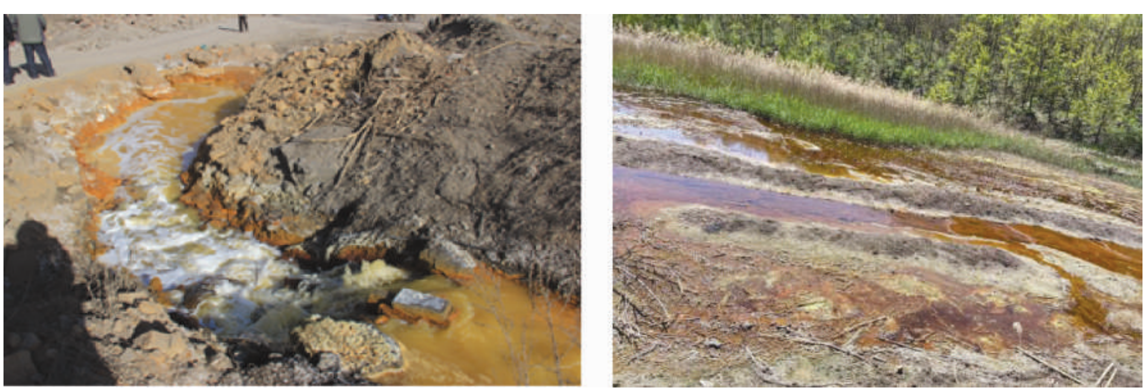

图 1 阳泉地区部分“老窑水”出露点

b. "老窑水"直接或间接渗入喀斯特含水层,导致跨层污染,给娘子关泉域的水质带来持久性影响,威胁群众的饮水安全和当地良好的水生态环境。

c. "老窑水"的出露和下渗不仅导致阳泉地区河流酸化、金属离子浓度升高,污染娘子关泉域喀斯特水,而且经"老窑水"污染的河水灌溉后会使得重金属和硫酸盐等组分在土壤中富集,严重威胁着区域农作物生长及人群健康;同时,也会使"老窑水"中的金属离子进入河床基质中,对河流水生植物和水生动物造成一定的影响。

3 治理对策探究

目前对"老窑水"的处理方式包括末端治理(常见的处理方法有化学处理法、物理处理法、生物处理法等)和源头控制。末端治理具有见效快、可一次性获得满意效果的优点,但存在流量与污染物含量动态变化较大时处理难于控制、处理后大量沉淀物的处置以及运行成本高等问题。而源头治理起效慢,前期投入大,难于一次性处理达标,但其占地少,运行成本低,处理时长灵活。比较而言,末端治理是污水处理,重点考虑处理工艺;而源头治理需要考虑的因素要复杂得多,包括影响酸化的因素,"老窑水"集水区及氧化、还原区的空间分布,其质、量动态特征,水的补、径、蓄、排循环条件,处理方法的选取、工艺流程等。

本次研究针对阳泉"老窑水"现状和现场实际情况,按照分类制定、综合施策的原则,提出了"源头控、末端治"有效结合的治理方案。

3.1 源头治理

3.1.1 减源

硫化矿物被氧化硫杆菌、氧化亚铁硫杆菌等微生物催化氧化而形成"老窑水",而这些细菌在"老窑水"的形成过程中起到了十分关键的催化氧化作用。因此,在井下或者是已经废弃的封闭井巷内投放适量的抑菌剂,可有效抑制氧化细菌的活性或者减少水中微生物的数量,有效降低"老窑水"的生成。

3.1.2 封闭处理

封堵闭坑矿井与外部的各种通道(其中包括形成串层污染的废旧钻孔),并对煤矿采空区地表采取黄土回填、覆盖、碾压、复垦等防渗措施,阻止大气降水入渗补给,从源头上彻底截断矿坑水的补给源。对采空区上部加大植树造林的力度,通过植物根系闭合坑道上覆地层裂隙。

3.2 末端治理

源头治理工程一般布置在"老窑水"的出露点或者井口处。目前,研究较为广泛的方法为中和法、微生物法、可渗透反应墙以及人工湿地法等。各处理技术均有不足之处,因此,单一的处理方法并不适用于处理高浓度的酸性"老窑水",在综合阳泉市水务局、中国地质科学院岩溶地质研究所、太原理工大学等相关单位研究成果的基础上,提出相应的治理方案,包括露天矿以及坑下水的处理,并根据不同地区的水质、水量及循环特征选取不同的处理方案。

3.2.1 缺氧石灰石沟法-人工湿地系统

对于酸性浓度不高且区域出露场地,可将石灰石埋在地下沟渠中,进行中和反应(见图2)。为了保证石灰石的溶解效率,进水流量不宜过快,出水截流后污水进一步进入人工湿地处理。人工湿地系统中的水生植物以及微生物可将"老窑水"中的有机物降解,有效削减外排。人工湿地示意见图3。

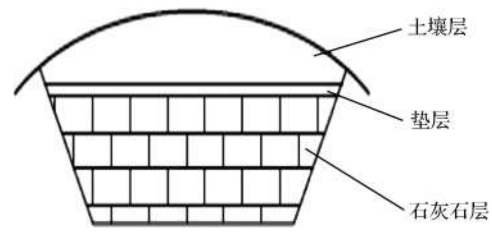

图2 缺氧石灰石沟法示意图

该处理方法工艺简单,成本较低,但仅适合于酸性浓度较低且有出露场地可以利用的"老窑水"治理。

3.2.2 可渗透反应墙-人工湿地系统

当废弃的矿井巷道可被利用时,在矿井的井口附近布置可渗透反应墙装置(见图4)。当水体流经墙体

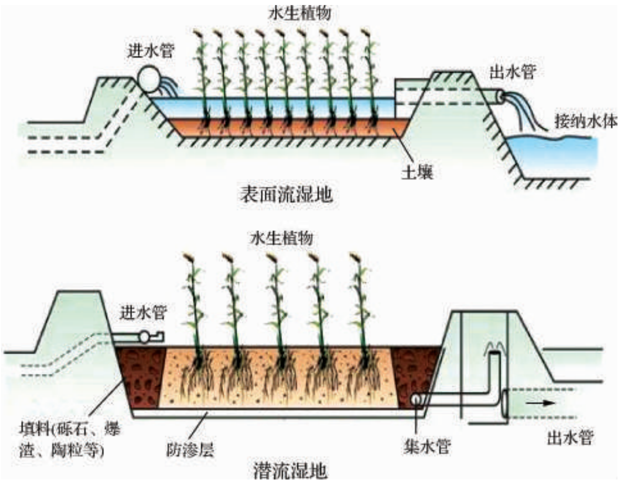

图3　人工湿地示意图

时,装置中的活性材料通过一系列的物理、化学、生物等反应,使水中污染物降解。同时在出水口附近建设人工湿地处理系统,有效去除出水体中的有机物、铁、锰等物质。

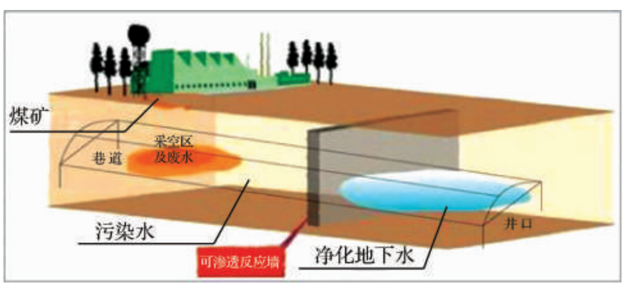

图4　可渗透反应墙示意图

该处理方法无须外加动力,可以充分利用废弃矿井通道,较为经济便捷,但可渗透反应墙随着系统的运行,会出现一定的堵塞,因此在实际运行过程中需根据处理能力定期更换相应的填充材料。

3.2.3　可渗透反应墙-连续碱反应系统-人工湿地系统

综合现阶段“老窑水”处理技术现状,若该区域“老窑水”酸性较大且处理量较大时,可采用可渗透反应墙-连续碱反应系统-人工湿地系统对“老窑水”进行治理,即在废弃的矿井井口附近布置可渗透反应墙处理装置(见图5)。同时在出水口附近建设连续碱-人工湿地处理系统,有效去除出水中的酸及铁、锰等物质。

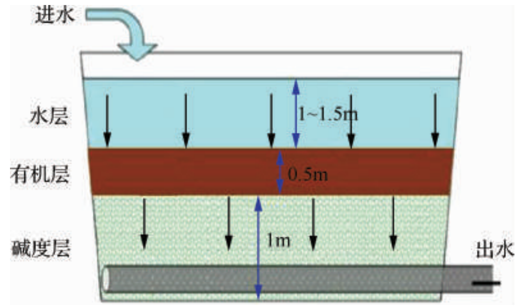

图5　连续碱反应系统示意图

4　结　语

阳泉地区煤炭资源丰富,近几年随着煤炭资源的整合,大量矿井关闭,在采空区内形成的“老窑水”水量较大,且“老窑水”水质差、流动性强,已对阳泉地区地表水和地下水水质产生了深远的影响。因此,从阳泉市的生存、发展以及人民饮水安全着眼,开展“老窑水”的治理对策研究是一项迫切的任务。在制定治理方案时,要因地制宜,处理工艺简单实用,尊重科学但不一味追求学术上的“高、精、尖”而牺牲实用性,使得处理成本经济化,有利于全面持续推广。本文按照分类制定、综合施策的原则,系统地开展了“源头控、末端治”有效结合的治理方案的探究,可为当地“老窑水”治理提供依据,为其他类似地区的“老窑水”治理提供借鉴。◆

参考文献

[1] 刘强. 阳泉市山底河流域酸性老窑水形成机制及其影响研究[D]. 太原:太原理工大学,2018.

[2] 宋立博. 阳泉矿区酸性矿水微生物群落特点及对下游水质影响分析[D]. 太原:山西大学,2019.

[3] JOHNSON D B, HALLBERG K B. The microbiology of acidic mine waters[J]. Research in Microbiology, 2003, 154(7): 466-473.

[4] CHUNFANG J, XUBOG, BAOJUN H, et al. Occurrence and environmental impact of coal mine goaf water in karst areas in China[J]. Journal of cleaner production, 2020, 275: 1-16.

[5] 张慧兰. 生石灰处理法在老窑水治理中的应用[J]. 山西水利, 2017(12): 20-21.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV. 2022.1.07

城市河流生态修复技术研究

雷国龙　季建国　邸琰茗

(北京市北运河管理处,北京　101100)

【摘　要】 城市河流作为城市环境要素的一部分,在城市发展中发挥着不可替代的作用,但由于过去粗放式的发展模式,引发了一系列生态环境问题,导致河流生态环境受损,河流部分功能丧失,影响了城市的未来发展。本文通过对当前城市河流普遍存在的问题进行分析总结,梳理了城市河流生态修复的发展历程。在此基础上,展望了未来的研究重点,可为我国的城市河流治理提供理论借鉴。

【关键词】 城市河流;生态修复;城市发展

中图分类号:TV213.9　　文献标志码:A　　文章编号:2096-0131(2022)1-027-07

Study on urban river ecological restoration technology

LEI Guolong, JI Jianguo, DI Yanming

(*Beijing North Canal Management Office*, *Beijing* 101100, *China*)

Abstract: As a part of urban environmental factors, rivers play an irreplaceable role in urban development. However, due to the extensive development mode in the past, a series of ecological and environmental problems have been caused, which have led to the damage of river ecological environment and the loss of some functions of rivers, and have affected the future development of cities. This paper combs the development process of ecological restoration of urban rivers by analyzing and summarizing the common problems of current urban rivers. On this basis, the future research focus is prospected, which can provide theoretical reference for urban river management in China.

Key words: urban rivers; ecological restoration; urban development

城市河流指流经城市区域的河流,以及一些人工开挖,或具有自然河流特点的运河、渠系等[1],在城市发展中承担着供水、排水、防洪、景观娱乐、生态服务和文化载体等多种自然和社会功能,关系到人类社会的可持续发展[2]。改革开放以来,我国经济建设取得历史性成就,同时也积累了大量生态环境问题,特别是对城市河流环境保护缺乏重视,引发了严重的水环境生态问题。

城市发展所引发的河流生态环境问题,导致河流功能受损,对城市生态安全以及城市居民生活质量造成了影响,制约了城市的未来发展[3]。解决好城市河流环境问题已成为城市发展过程中的首要任务,也是社会生态文明发展的必然要求。当前阶段,人们对城市河流的治理目标已经由最初的实现防洪抗涝,提升到改善水质,恢复河流自然生态功能为目标,保障河流在城市发展中功能的完整性,实现生态环境和社会经

收稿日期:2021-08-04

作者简介:雷国龙(1994—),男,助理工程师,硕士,主要从事河湖水环境修复工作。

济的融合可持续发展。在“十四五”期间,我国的水生态环境保护工作,要在水环境改善的基础上,更加注重水生态保护修复,注重“人水和谐”。因此,对于城市水环境的修复与提升也提出了新的要求。本研究通过对城市河流现状与污染成因进行分析,系统阐述了城市河流生态修复技术体系,为河流的生态治理提供理论借鉴。

1 我国城市河流污染现状与成因

1.1 城市河流现状

我国的城市河流多为中小型河流,由于受到城市开发建设等人为活动影响,导致河流的自然结构与生态系统受到严重影响,并引发了一系列生态环境问题。城市发展过程中,产业发展、人口增加、水资源需求量随之增加,尤其在大中型城市,出现河流常年无水的现象。用水量的增加也导致污水排放量增加,大量的生活、生产污水被直接排放到河流中,排污量日益增加,超过了河流本身的自净能力,引发水环境污染。2019年《北京市水资源公报》显示,在全市监测的河道中,符合Ⅱ类标准的占45.1%;符合Ⅲ类标准的占22.5%;符合Ⅳ类标准的占18.0%;符合Ⅴ类标准的占5.4%;劣Ⅴ类占8.9%,水环境问题仍旧突出[4]。城市河流水环境污染类型呈现多样性,水体中的主要污染物为化学需氧量、生化需氧量、氨氮、总氮、总磷和高锰酸盐指数、溶解氧等指标,大部分城市河流水环境主要为Ⅴ类与劣Ⅴ类[5]。城市建设面积扩张,出现围垦滩地,细小支流被填埋等,导致河流水域面积萎缩,河流水系间的连系阻断,水动力不足。同时,单一追求河流防洪排涝能力,对河道进行裁弯取直,改变河流走向,对河床岸坡进行水泥硬化,使河道呈现三面光的结构,加之河流工程化严重,阻断了水体与土壤之间的物质能量交换,隔绝了河道与岸上生态系统之间的连通性,导致流域生态系统被破坏,生态自我修复能力下降。

1.2 城市河流污染成因

城市河流污染程度不一,成因复杂多样。根据城市发展结构以及河流自身特性,大致可将污染成因归为内源污染和外源污染。外源污染主要包括城市区域地表径流,城市工业、生活污水排放,郊区农业污染等,内源主要是受污染的河流底泥。

1.2.1 地表径流携污入河

随着城市建设发展,城市区域地面中不透水的面积增加,导致降水期地表径流的总量增加。加之城市空气环境质量下降,在非降水时期地面累积了固体悬浮物、金属离子、富营养化物质、有毒物质等污染物,并最终达到累积的极值[6-7]。在降水过程中,雨水裹挟大气中与地表上的污染物进入地表径流中,汇入城市河流中,加剧水体污染。李倩倩等[8]通过对天津市城市区域地表径流进行检测,发现地表雨水径流污染物SS、COD、BOD_5平均质量浓度分别为153.15~676.21mg/L、70.00~314.00mg/L、10.27~80.65mg/L,污染负荷量分别为793~3369kg/(hm^2·a)、349~1564kg/(hm^2·a)、51~402kg/(hm^2·a),超过我国地表水Ⅴ类水标准,超过污水排放一级A的标准,SS、COD浓度甚至高于城市污水。

1.2.2 污水排放量增加

城市作为经济发展的中心区域,承担着第二以及第三产业的发展,集中了密集的人口,对于水资源的需求量随经济发展逐渐增大,相应的污水排放量也增加。2019年《北京市生态环境质量统计年报》显示,北京市2019年废水排放总量为126413t,较2018年增加了3.3%。其中城镇生活污水排放量为117899t,占全年废水排放总量的93%,增加了3.9%[9]。由于水资源短缺,城市工业、生活污水经过处理后产生的再生水,会进行利用作为城市河湖补充用水,2018年北京市再生水利用量约为10.76亿m^3,其中约9.75亿m^3用于城市河湖补水,占再生水利用总量的90.61%[10]。但目前,在我国许多城市的污水处理能力相对不足,2019年我国城市污水处理率为94.54%、部分地区不及90%[11]。污水中所含的有害物质以及难降解物质会进入城市地表水环境。此外,在城市边缘的城镇地区,由于污水排放量小且分散,管网收集设施不完善,以及配套污水处理设施落后等因素,出现生活污水直排现象[12]。

1.2.3 农业面源污染

城市人口的增加,对果蔬类、肉蛋奶的需求增大,

促进了分布在城市河流上游的郊区农业的发展。在农业生产生活过程中,农药化肥的不合理施用、畜禽养殖、生活垃圾以及农村生活污水等,通过降雨径流、农田灌溉及地下水泄露等方式进入城市河流中造成水环境污染[13]。研究显示,北京市北运河上游的主要河流中,除京密引水渠外,大部分水质为劣Ⅴ类。流域内基本农田总面积约为1667hm^2,普遍过度使用化肥农药,导致氮、磷盈余明显,影响了下游的水环境质量[14]。宋梓菡等[15]通过对哈尔滨市主城区河流污染物来源进行分析,发现哈尔滨市城市河流污染主要集中在城郊地区,污染物主要来自农村生活和农业生产,其贡献率分别为49%和31%。赵吉睿等[16]通过对天津市内海河流域的农业面源排放特征进行分析,发现农村生活源对COD污染负荷的贡献最大,贡献率为28.85%;种植业源对TN污染负荷的贡献最大,为46.98%;畜禽养殖业源对TP污染负荷的贡献最大,为38%。

1.2.4 底泥污染的释放

由于过去在生态环境方面欠账太多,河流底泥中累积了大量的污染物。王圣瑞等[17]对苏州河道等城市河流的研究表明,城市河道沉积物的TP含量在1000mg/kg以上,TN的含量有的甚至超过5000mg/kg。当水体环境发生变化时,底泥中的氮、磷以及重金属等污染物会释放到水体中,成为上覆水体的污染物源[18]。已有的研究显示,我国一些河湖水体中的底泥污染已经成为水体污染的重要来源,杭州西湖的内源污染负荷已经达到外源污染负荷的41%,安徽巢湖的内源污染负荷是外源污染负荷的21%[19]。杨洋等[20]通过对太湖流域的河流等地表水体中的沉积物进行研究分析,发现沉积物中总氮和总磷的含量分别为1748mg/kg和760mg/kg,其中有机氮污染程度指数评价结果为Ⅲ~Ⅳ级,污染程度严重。

2 国内外城市河流生态修复理念的发展

城市河流生态修复是依据生态工程学原理和手段,对受损的河流生态系统和结构进行修复与重构,恢复河流原有的功能价值,使其达到稳定、健康的状态[21]。在河流生态修复的概念没有正式提出之前,对于城市河流的治理与修复,重点围绕解决城市河流的防洪排涝、供水安全、水质污染等问题进行治理,但随着城市的发展,传统的河流治理与修复弊端越来越突出,无法满足城市发展对于河流的价值需求,因此逐步开始探索恢复河流多种功能的河流生态修复理论。20世纪初,Seifert首先提出"近自然河溪治理"的概念,这是河流生态修复的初始概念[22]。在此基础上,欧美、日本等不断对河流生态修复理论进行研究,主张在城市河流生态修复方面充分尊重自然规律,注重人水和谐,通过加强对河流自然生态环境的恢复和保护,使河流的综合服务功能得到充分的发挥。同时各个国家也都颁布了相应的导则来促进河流生态修复理念的实践,如日本颁布的《鹤见川河流管理基本规划》、美国的《水生生物资源生态恢复指导性原则》、欧盟的《欧盟水框架指令手册》等,英国的泰晤士河、日本的隅田川均采用生态修复理念进行综合治理[23-26]。

我国的河流生态修复理念起步较晚,最初由中国水科院董哲仁、刘树坤等教授在20世纪末,提出了生态河治新理念,开启了对于河流生态修复的重视和研究[27]。2004年,水利部颁布了《关于水生态系统保护与修复的若干意见》,首次明确提出了对水生态系统保护与修复的要求,采用遵循自然规律原则的保护和恢复措施,充分发挥自然生态系统的自我修复能力,保持水生态系统的健康状况[28]。北京市也提出建设"水清、流畅、岸绿、通航"的现代化水系城市目标[29]。在借鉴欧美等西方国家成熟的理论技术基础上,经过十几年的发展,我国的河流生态修复理论研究得到了快速发展,以新发展理念为宗旨,遵循以山水林田湖草为生命共同体的原则,以流域为单元进行生态修复,并且积累了大量的工程实践经验。如:北京市近年来实行的北运河、永定河等流域综合治理,针对不同河流的特性提出因地制宜的修复策略,根据近自然修复理念,采用自然的方案解决自然的问题,注重河段单元的连续性、完整性、水生物种栖息地的连通性以及相应的管理,并以此形成了圆明园生态修复模式,在北京市河湖水系进行推广实施,构建首都蓝绿交织、水城共融的城市生态环境体系[30-31]。

3 城市河流生态修复技术体系

城市河流生态修复作为一项系统性工程,应从流

域角度出发,把握城市发展和河流生态保护之间的平衡,遵循系统性治理、低干扰、分类施策以及建管并重的原则。其主要内容包括河流生态调查与评价、污染源的控制与削减、水质修复、生态系统的恢复与重构等。根据区域社会经济发展状况,结合调查结果以及河流自身结构特点,以流域为单元,进行全面设计治理,按照用生态的办法解决生态问题的理念,针对河流功能有针对性地制定河流生态修复技术措施与目标,提高河流的水体自净能力和生态系统的自我修复能力,以实现流域的自然、经济、人文、环境的协调可持续发展[32]。

3.1 河流生态调查与评价

河流生态调查与评价是河流生态修复与管理的基础,前期可为确定河流生态修复目标和修复技术提供依据,后期对修复效果进行评价并进行生态管理。结合区域经济社会发展状况以及河流历史资料,通过对河流水质水量等水文信息,水域空间生态状况、动植物种类以及生境现状开展多学科的调查,评估河流的健康状态[33-34]。在中德合作的北京市小型水体近自然修复中,对流域内植被、底栖动物、浮游生物、鱼类、水文地貌、水质(物理化学)等建立了评价方法与指标,指导修复技术方案,比对修复效果。

3.2 污染源控制与削减

城市河流污染源的控制与削减能从根本上改善城市河流水环境的污染问题,主要是通过在各污染源发生地采取措施,减少污染物的产生,以及在污染物入河过程中进行拦截,尽可能地减少污染物进入城市河流水环境中。

3.2.1 外源控制

对于外源污染物的控制主要包括截污纳管、城市降雨径流污染控制、推广绿色农业等。

a. 截污纳管是通过增加污水处理设施与完善城市污水管网系统,提高城市的污水收集与处理能力,控制污水入河量。在德国 Emscher 河流生态修复工程中,通过建立4座污水处理厂、铺设400km的污水管道以及建设290座合流制溢流构筑物,有效解决了污水直排入河和城市降雨径流污染的问题[35]。其技术方法主要包括外源控制和内源控制。

b. 在城市降雨径流污染控制方面,目前各个国家均通过采用建设海绵城市的措施来解决城市降雨径流污染以及降雨产生的城市内涝问题。主要采取绿色屋顶、雨水罐、下沉式绿地、透水铺装、植草沟、雨水花园等结构性措施对城市降雨进行渗、滞、蓄、净、用、排。Xiao et al.[36]研究发现海绵城市中的生物沟能有效削减88.8%的径流量,降雨径流中的重金属、有机碳和固体悬浮颗粒等污染物的综合负荷削减率达到95.4%。

c. 在郊区农业区,推广绿色农业,调整畜禽养殖规模与结构,采用粪污水资源化利用技术,控制畜禽养殖污染排放,优化种植结构,科学合理施肥施药,以生物肥药替代传统化学肥药,加强农村小型污水处理站建设,降低农业污染风险。

3.2.2 内源控制

内源控制主要是对河流底泥的污染控制,根据技术原理可将其分为物理控制、化学修复以及生物修复[37]。

a. 物理控制技术。物理控制主要采用底泥疏浚以及底泥原位覆盖技术。其中底泥疏浚主要是通过机械方式对河流底泥进行疏挖,将污染底泥清离河道,并对疏浚后的底泥进行资源化与无害化处理,在美国的 New Bedfold 港的治理中,通过底泥的疏浚有效地降低了沉积物中的多氯联苯[38]。底泥原位覆盖技术主要是通过在底泥上覆盖洁净沉积物、砂子、砂砾以及一些特殊人工材料,阻隔污染底泥向水体中释放污染物。薛传东等[39]采用底泥原位覆盖技术,使用天然红土添加适量的粉煤灰及石灰粉作为阻隔覆盖物,对滇池富营养化水体进行修复,结果显示,可有效降低底泥中内源营养盐的释放量,同时还具有除藻作用。物理控制技术虽见效快但工程量大、成本高,若底泥疏挖过深以及底泥覆盖均会破坏河流水生态系统的整体性,底泥的后期处置也会引发环境问题[40-41]。

b. 化学修复技术。化学修复是指向污染底泥中投放化学制剂,通过氧化还原、聚合、络合以及水解等一系列化学反应,使底泥中的污染物实现稳定化或无害化,常用的修复制剂有铝盐、铁盐和钙盐等[42]。Ripl et al.[43]研究发现硝酸钙可以控制底泥中磷的释放，但由于硝酸钙的加入导致上覆水中氮的含量显著增加；王熙等[44]通过对河流支流入海口处的底泥进行修复处理发现，投加过氧化钙后水体的平均DO由0.09mg/L上升至6.11mg/L，水体中的氮磷浓度显著下降。化学修复操作便捷、成本较低、效果显著，但是容易引起水体环境二次污染，在生态修复中使用较少。

c. 生物修复技术。生物修复主要包括植物修复和微生物修复。植物修复是通过植物的生长吸收代谢底泥中的污染物，同时还能通过根系微生物作用降解污染物。商传莲[45]研究发现常绿苦草等沉水植物对水体中总氮的去除率均在80%以上；James et al.[46]研究发现，沉水植物可以改善底泥与水交界面的DO和pH值，增强底泥微生物活性，降低底泥中磷的释放速率。微生物修复是指通过提高底泥原有微生物的活性或者向底泥中添加具有定向降解作用的微生物菌种，利用微生物的降解作用控制底泥中的污染物。生物修复技术成本较低，绿色安全、应用广泛，但修复周期较长，微生物与植物的生长受外界环境影响较大，影响修复效果。

目前，河流底泥均为复合污染物，因此在实际工程实践中，往往采用联合修复技术，即多技术组合，如植物、微生物联合修复，生物、化学联合修复技术等，充分发挥各技术的优势，提高修复效果。

3.2.3 河流水质生态修复技术

河流水质的生态修复采用绿色生态治理技术，以生态优先为原则，通过增强河流自身的水体自净能力，改善河流水质状况。河流生态系统水质修复主要措施见表1。

3.2.4 河流生态恢复与重构

河流生态恢复与重构主要通过河道空间修复、生物生境构建以及滨水空间的建设进行，目的是恢复河道的自然属性和生物群落，增加生物多样性，提高河流生态系统自我修复能力，使河流生态系统恢复到一个健康的状态。

河道空间修复主要是使河流形态“近自然化”。传统的城市河流治理思路，过于追求河流的单一功能，对

表1 河流生态系统水质修复技术[47]

技术名称	技术原理	技术适用性
曝气复氧	通过向水体中充入空气，提高水体中溶解氧的含量，加快溶解氧与污染物之间的氧化还原反应速率，同时增强好养微生物的活性，通过微生物的代谢活动，降低水体中的污染物含量，从而使水质得到净化	主要适用于流速较慢或者静态的水体，以及由于气温过高导致的水体缺氧
微生物强化处理	向受污染水体中投加能够促进微生物生长和提高微生物活性的物质，或向水体中添加能提高污染物代谢能力的高效菌种，加快污染物的降解和转化	适用于有机物污染的河流
生态浮床技术	应用无土栽培技术原理，在水面的轻质漂浮床体上种植高等水生植物或陆生植物，通过植物的根系作用吸收水中的氮、磷等营养物质，以达到净化水质的作用	适用于没有航道要求的城市景观河流，以及富营养化及有机污染的河流
人工湿地技术	在处理单元的基质层上种植水生植物，利用基质、植物以及微生物协同作用对河流水质进行净化	适用于对河流水质进行异位处理，以及土地空间、地形条件适宜的区域
稳定塘技术	以水库、沟渠以及人工开挖的低洼区域作为稳定塘，受污染的水体在稳定塘内滞留，通过水体中的好氧微生物以及厌氧微生物的代谢作用降解污染物	适用于小流量以及低洼的区域

河道采取裁弯取直，以及渠道化等河床硬化措施，对岸坡采用传统的浆砌石等护坡技术，阻断了河道内外之间的物质、能量和信息的交换，破坏了河流的自然形态，影响了河流的垂向连通性。城市河流大多数承担了城市防洪排涝任务，在进行河道空间修复中需要结合防洪功能，将河道自然形态与防洪功能相结合。在永定河王平段治理修复中，以河道地形为基础，依据河道流场形态，清理行洪主槽，疏挖河道重污染淤泥8300m^3，既保障了汛期河道行洪安全，又解决了内源污染问题，同时重构河床微地形形态，融合景观造型，在河道设置深槽、浅滩、江心洲等，塑造蜿蜒曲折、深浅交替、宽窄相间的“近自然化”河流形态。岸坡修复作为河道空间修复的一部分，多采用铅丝石笼、植物等自然或人工生态护岸材料，不仅可防止水土流失，同时可与

沿岸景观建设相结合，保障生物栖息地的连续性。

生物生境的构建主要包括构建河道内生境通道以及河岸生物栖息地。污染物排放增加以及河道硬质化导致水生生物以及河岸生物的栖息地遭到破坏，生物多样性锐减，河流自我修复能力受损。通过合理搭配种植水生植物、构建水下森林、增殖放流等措施，增加生物多样性，恢复生物链完整性。如在北京圆明园水体修复中，通过在浅水水域构建“沉水植物 + 贝 + 鱼”的清水稳态水生态系统，建立较为完整的生物链架构系统，在水下提高植被覆盖度和植物种类丰度，选定暖季型、冷季型沉水植物进行合理搭配，为水生动物提供生境，恢复水体的自然功能。

城市河流承担了一定的城市生态景观功能，河岸滨水空间的建设是河流生态修复的重要部分。河流滨水空间的建设结合区域城市河流文化，通过滨水空间将自然与人文进行融合，主要包括景观植物和景观设施建设。滨水空间景观植物的配置应坚持多样性的原则，以本土景观树种为主，乔木与灌木合理搭配，形成有层次性的景观。亲水景观设施需要结合河流自然形态，进行科学合理分区布局，主要设施包括亲水平台、亲水廊道以及亲水娱乐广场等，形成具有休憩、旅游观景、健身运动、文化娱乐等一体化的城市公共空间，提升城市居民的幸福感和获得感。

4 结 语

我国城市河流主要存在水污染严重、水域面积缩小、水量匮乏、河道工程化严重等问题，生态问题突出，生态修复迫在眉睫。随着生态环境保护的不断深化，目前已基本形成了以“近自然”修复理念为核心的生态修复技术体系，主要包括河流生态调查与评价、污染源的控制与削减、水质修复、生态系统的恢复与重构等。河流的生态修复也需要全周期进行实施，不仅需要前期的修复技术也需要后期的生态管理，形成闭环体系，因此需要建立完善的城市河流生态管理体系，未来需要将工作集中在以下几方面：

a. 不断完善修复技术体系。在城市河流生态修复技术体系中，需要将污染源控制放在首位，截留污染物入河，提升水质。根据区域社会经济发展状况，调整沿河区域产业结构，控制生产生活污染物排放量，完善城市污水收集管网系统，提升城市污水处理能力；推进海绵城市建设，合理利用雨洪，降低径流污染和城市河流洪水频率；根据河流调查状况，采取工程措施修复河道空间，连通城市水网体系，促进河湖间水量、能量和信息流动，同时因地制宜进行生态恢复与重构，恢复河流自我修复能力，构建人水和谐，蓝绿交织的城市河流生态文化带。

b. 建立动态生态监测平台。通过对河流水文地貌形态，河流水质、生物多样性、水土流失等指标进行全过程动态监测，掌握数据变化情况，建立相关基础数据库信息，为修复过程、后期管理维护以及修复效果评价提供数据支撑。

c. 加强后期生态管控。对于修复后期水生植物、动物种群、陆地植物等进行合理管控，保障生物群落良性发展，同时加强修复工程措施的维护与管理，保障河流的基础运行条件。

d. 完善技术体系与法规制度保障。通过建立相关制度来保障修复工程质量，同时规范人类活动的不合理行为，减少对河流水生态的影响。目前对于河流生态反退化机制、河流生态修复技术体系等尚未形成技术标准与规范，对于流域生态系统的保护、河岸带的管理、流量的配制等缺乏专项法律保护，需要建立针对河流生态修复与管理的制度法规保障，将生态修复工作法制化、长效化。

e. 推动社会公共参与。利用新媒体平台，向公众宣传河流生态修复与保护知识，提高人们对城市河流的认识，增强保护意识，动员社会力量参与后期的保护与管理。

基于以上研究工作的开展，逐步完善并建立符合我国区域特征的河流生态修复技术体系，从前期修复到后期管控，全过程制度保障，多方参与，对河流生态环境进行修复与保护，实现城市河流水生态环境的提升，促进城市高质量发展。◆

参考文献

[1] 宋庆辉，杨志峰. 对我国城市河流综合管理的思考[J]. 水科学进展，2002，13(3)：377-382.

[2] 董哲仁. 生态水利工程学[M]. 北京：中国水利水电出版

社,2019.
[3] SHUANG S M, YOU P X, YULS. Study on novel structures the coordinated development between urbanization and water environment in Huzhou City, China[J]. Applied Mechanics and Materials,2012:1976.
[4] 北京市水资源公报[R]. 北京:北京市水务局,2020.
[5] 金相灿. 周付春. 华家新,等. 城市河流污染控制理论与生态修复技术[M]. 北京:科学出版社,2015.
[6] 常静,刘敏,侯立军,等. 城市地表灰尘的概念、污染特征与环境效应[J]. 应用生态学报,2007(5):1155-1160.
[7] 曹丹丹,李栗,陈干. 浅析城市地表径流污染与控制[J]. 化工管理,2012(S1):43-46.
[8] 李倩倩,李铁龙,刘大喜,等. 天津市不同土地利用类型雨水径流污染特征[J]. 环境污染与防治,2011,33(7):22-26.
[9] 2019 年北京市生态环境质量统计年报[R]. 北京:北京市生态环境局,2020.
[10] 2018 年北京市水务统计年鉴[R]. 北京:北京市水务局,2019.
[11] 何思意. 城市污水处理在生态环境建设中的重要性及对策探讨[J]. 广东化工,2020,47(15):115-116.
[12] 杨金朝,李献勇,韩露. 城市排水系统的现状及对策[J]. 住宅与房地产,2017(26):215.
[13] 张银. 采煤沉陷区土地利用变化对西淝河流域水文过程及非点源污染负荷输出的影响[D]. 淮南:安徽理工大学,2019.
[14] 文方芳,张梦佳,张卫东,等. 北运河上游昌平区化肥面源污染年际间差异分析[J]. 环境科学学报,2021,41(1):15-20.
[15] 宋梓菡,崔嵩,付强,等. 哈尔滨市主城区河流污染物入河量初步估算与来源分析[J]. 灌溉排水学报,2020,39(3):134-144.
[16] 赵吉睿,赵薇,孙猛,等. 城市尺度农业面源排放特征及污染风险分析——以天津市为例[J]. 中国农村水利水电,2020(10):71-76.
[17] WANG S, JIN X, JIAO L, et al. Nitrogen fractions and release in the sediments from the shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River area, China[J]. Water Air & Soil Pollution,2008,187(1-4):5-14.
[18] NATHALIE C, CHRISTOPHE T, CORINNE L, et al. Solubility of metals in an anoxic sediment during prolonged aeration[J]. Science of the Total Environment,2003(301):1-3.
[19] 张丽萍,袁文权,张锡辉. 底泥污染物释放动力学研究[J]. 环境污染治理技术与设备,2003(2):24-28.
[20] 杨洋,刘其根,胡忠军,等. 太湖流域沉积物碳氮磷分布与污染评价[J]. 环境科学学报,2014,34(12):3057-3064.
[21] ASCE River Restoration Subcommittee on Urban stream restoration. Forum: Urban Stream Restoration[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2014(129):491-493.
[22] 宋庆辉,杨志峰. 对我国城市河流综合管理的思考[J]. 水科学进展,2002,13(3):377-382.
[23] 日本土木工程学会. 滨水景观设计[M]. 辽宁:大连理工大学出版社,2002.
[24] 陆静依. 美国环保署水生生物资源生态恢复指导性原则[J]. 上海水务,2001(1):50-53.
[25] 马丁・格里菲斯. 欧盟水框架指令手册[M]. 水利部国际经济技术合作交流中心组织,译. 北京:中国水利水电出版社,2008.
[26] 汤茵琪,任心欣. 城市河流系统性治理的经验及启示[C]//2018 中国城市规划年会论文集. 2018:1-11.
[27] 林跃朝,朱晨东. 我国河流生态治理历程[J]. 中国防汛抗旱,2020,30(11):73-76.
[28] 关于水生态系统保护与修复的若干意见[R]. 北京:水利部,2004.
[29] 冉星彦. 北京城市水系治理工程回顾和建议[J]. 北京水利,2002(3):27-28.
[30] 朱晓博. 城市河流生态修复效果评价[D]. 北京:北京林业大学,2015.
[31] 李恒义,孟琳琳. 北京市"十四五"时期河流生态修复策略研究[J]. 人民黄河,2020,42(S2):99-101.
[32] 陈兴茹. 城市河流生态修复浅议[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2006(3):226-231.
[33] 董哲仁. 河流健康评估的原则和方法[J]. 中国水利,2005(10):17-19.
[34] 董哲仁. 国外河流健康评价技术[J]. 水利水电技术,2005,36(11):15-19.
[35] PERINI K, SABBION P. Urban Sustainability and river restoration: green and blue infrastructure[M]. Chichester: John Wiley & Son,2017.
[36] XIAO Q F, MCPHERSON E G. Performance of engineered soil and trees in a parking lot bioswale. Urban Water Journal,2011,8(4):241-253.
[37] 许炼烽,邓绍龙,陈继鑫,等. 河流底泥污染及其控制与修复[J]. 生态环境学报,2014,23(10):1708-1715.
[38] OTIS M J. New Bedford Harbor, Massachusetts dredging/disposal of PCB contaminated sediments[C]//Dredging'94. ASCE,1994:579-587.
(下转第 39 页)

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.1.08

茅洲河全流域水环境综合治理方案及创新

路文典　刘　鹄

(中电建生态环境集团有限公司,广东 深圳　518101)

【摘　要】 茅洲河水环境综合治理工程规模大,水质污染成因成分复杂,有机质、营养盐、重金属污染重,治理区域人员、企业密度大,且需要跨界协同治理。本文通过分析该项目的治理技术路线,制定了双核驱动、多联协同的治理技术路线,并采取雨污管网、活水补水等六类工程措施,使茅洲河国考断面水质提前达到考核目标。在治理过程中通过技术创新,保证了工程质量、进度,可为国内类似城市高密度建成区水环境治理提供借鉴。

【关键词】 茅洲河全流域;水环境治理;技术路线;雨污管网;底泥处理工艺

中图分类号:TV213.4　　文献标志码:B　　文章编号:2096-0131(2022)1-034-06

Comprehensive control scheme and innovation of water environment in Maozhou River Basin

LU Wendian, LIU Hu

(*Powerchina Eco-Environmental Group Co., Ltd., Shenzhen* 518101, *China*)

Abstract: This paper describes in detail the characteristics of Maozhou river water environment comprehensive treatment project, such as large scale, complex water pollution causes, heavy pollution of organic matter, nutrients and heavy metals, high density of personnel and enterprises in the treatment area, and the need for cross-border collaborative treatment. Through the analysis of the treatment technical route, the treatment technical route of dual-core drive and multi-joint cooperation was formulated, and six engineering measures such as rainwater and sewage pipe network and water supply for living water were adopted, so that the water quality of the national examination section of Maozhou River reached the assessment target ahead of schedule. In the process of governance, through technological innovation, the quality and progress of the project are ensured, which provides a reference for water environment governance in high-density built-up areas of similar cities in China.

Key words: Maozhou River Basin; water environmental governance; technical route; rainwater and sewage pipe network; sediment treatment process

1　茅洲河概述

茅洲河是深圳市第一大河,干流全长31.29km,流经深圳光明、宝安,东莞长安三地,宝安区内干流河长16.49km,共有支流19条,流域面积157km^2;光明区内干流河长14.8km,共有支流13条,流域面积154km^2;长安镇内干流是东莞与深圳的界河,长11.68km,共有支流9条,流域面积77km^2。茅洲河为雨源性河流,干

收稿日期:2021-08-17

作者简介:路文典(1969—),男,高级工程师,学士,主要从事生态环境治理工程技术管理工作。

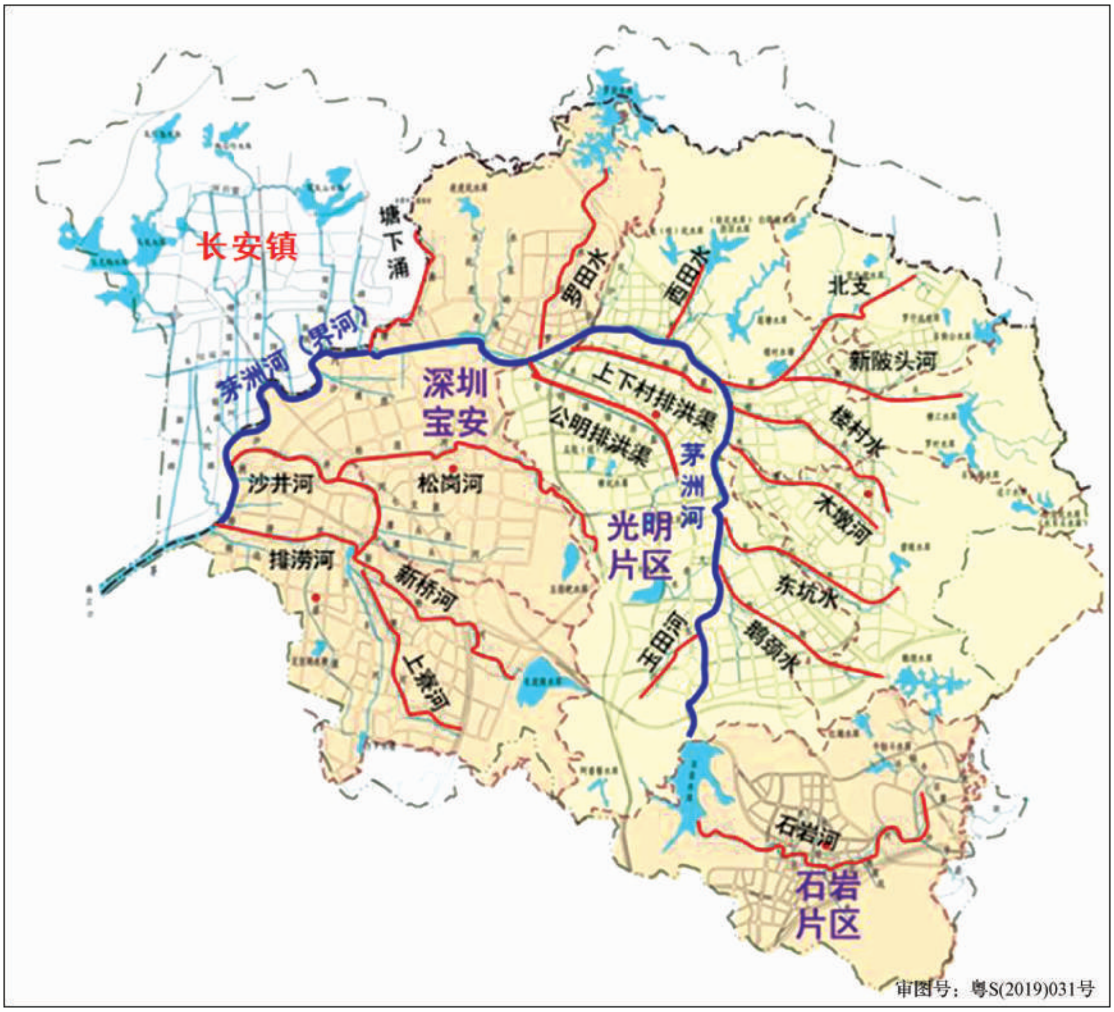

图 1　茅洲河流域水系

流平均年径流量 33632.4 万 m^3。茅洲河流域水系见图 1。

历史上的茅洲河是深圳的“母亲河”，是沿岸居民的饮用水源。20 世纪 90 年代开始，茅洲河流域内工业化、城镇化进程加快，工业、生活、第三产业污染急剧增加，而流域内污水处理及配套排水设施建设严重滞后，大量生活、工业污水及面源污染物直排进入茅洲河干支流，国考断面氨氮、总磷浓度分别高于地表水Ⅴ类水标准值 14 倍、11 倍，茅洲河全线成了“墨汁河”“臭河”，成为珠三角污染最严重的河流，茅洲河治理迫在眉睫。2016 年初，茅洲河中、上、下游段开展水环境综合整治，通过全流域系统治理及技术创新，茅洲河国考断面水质按期实现了考核目标。本文以技术视角，对茅洲河综合治理方案及技术创新进行阐述，以期为类似河湖治理提供借鉴。

2　茅洲河污染成因分析

经对茅洲河全流域调查、分析，主要污染成因包含五个方面：

a. 流域人口、企业密度大，污染负荷高。根据 2015 年底统计数据，仅茅洲河中游段流域内总人口就达 417 万；仅深圳侧就有污染源企业约 3.87 万家，且以五金、印刷包装制品、塑料、电镀、线路板等高污染中小企业居多。

b. 排水设施不健全，污水直排量大。由于截污管网建设严重不足，深圳、东莞侧分别约有 31.4 万 m^3/d、15 万 m^3/d 污水直排进入茅洲河[1]。

c. 河流的水动力不足，自净能力弱。茅洲河为雨源性河流，枯水期上游无足够水源补充，水动力不足。

d. 底泥量大、污染严重。

e. 流域感潮河段长,交叉污染重。作为珠江口河流,下游段13km为感潮河段,流至下游的污水常被潮水顶托回河道,反复交叉污染。

3 治理技术路线分析

茅洲河治理目标:2020年,国控断面水质达到地表水Ⅴ类水标准,远期为Ⅳ类。按照“流域统筹,系统治理”原则和“五位一体”治理理念,结合茅洲河治理目标及其污染成因,对茅洲河水环境综合治理技术路线进行分析,见图2。

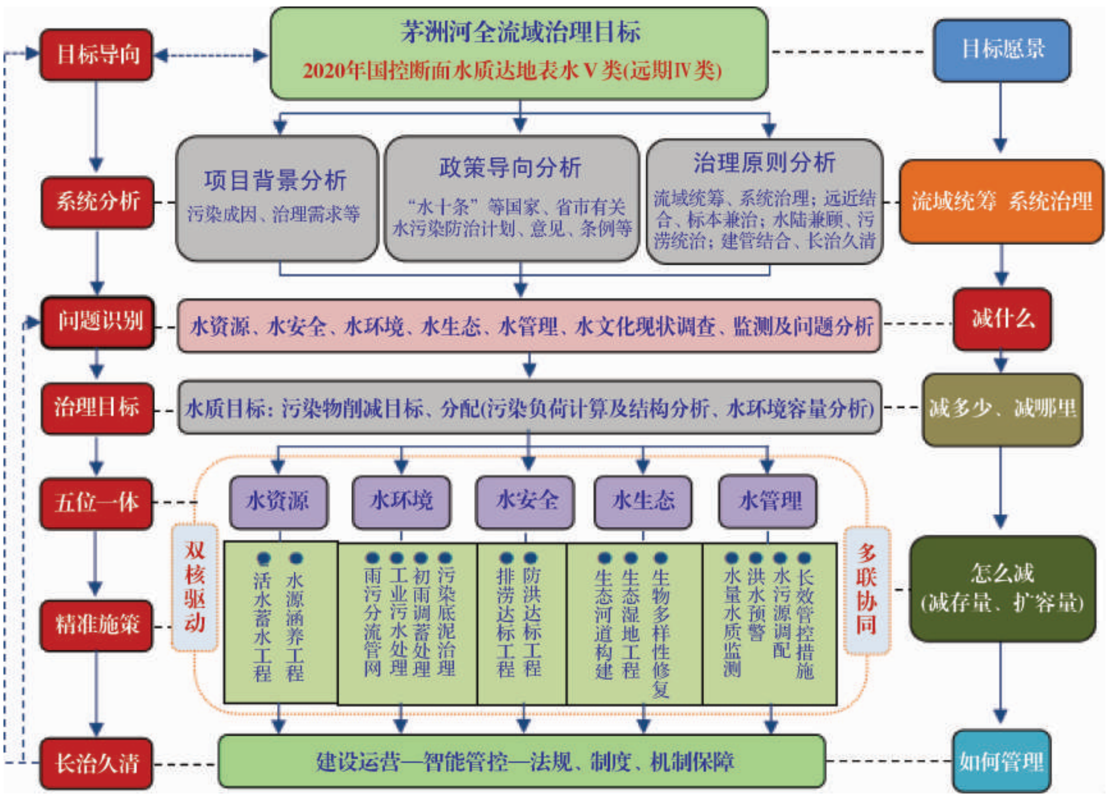

图2 茅洲河治理技术路线分析

4 治理方案及工程措施

依据治理技术路线分析,拟定了“外源截污、内源清淤、水质净化、补水活水、生态恢复”及“水资源、水环境、水安全、水生态、水管理”五位一体统筹兼顾的总体治理方案。项目采用河道整治工程、雨污管网工程、内涝整治工程、活水补水工程、生态修复工程、景观提升工程六大类工程措施,共包含74个子项工程,其中宝安片区46个、光明片区24个、东莞长安片区4个。

4.1 河道整治工程

河道整治工程包括防洪工程、沿河截污工程、河道清理及底泥处置工程。河道现状普遍存在硬质岸坡或直立挡墙、建筑物侵占河道、防洪道路不通畅等问题,60%的河道达不到防洪标准。按照干流防洪标准100年一遇,支流20~50年一遇,对不达标河段进行岸线整治,整治总长度81.95km。采用钻桩挂板护岸、生态砌块挡墙、石笼缓坡式护坡、直斜复合式堤防、重力式挡墙等形式堤岸,结合生态景观河岸建设,将河道建成集“安全、生态、景观”于一体的城市型河道。

沿河在堤岸内铺设截污干管,拦截沿河排污口污水,消除污水直排入河。

茅洲河全流域底泥总量约448.9万m^3,占据过流断面,降低了防洪标准;有机质、氨氮营养盐含量高,底泥重金属污染严重。有机质高达39526.65mg/kg;氮营养盐平均值为3424.50mg/kg;磷营养盐最高达9203.73mg/kg;底泥含有多种重金属,其中Cu含量最

大值达 7352mg/kg，Zn 含量最大值达 2558mg/kg。底泥污染物不断释放进入上覆水体中，担当了污染“源”的角色，对水质污染指标贡献率大，生态风险高。为此对底泥采用绞吸式挖泥船进行环保清淤，并建设四个底泥厂对底泥进行减量化、稳定化、无害化、资源化处理，其中宝安片区两个（1 号、3 号），长安（2 号）、光明片区（4 号）各一个，1 号、3 号底泥厂合并建设，处理量为 212.4 万 m^3；2 号底泥厂处理量为 186.1 万 m^3；4 号底泥厂处理量为 50.4 万 m^3。底泥处理工艺均为泥沙分离系统 + 固液分离系统 + 板框压滤机脱水。

4.2 雨污管网工程

茅洲河流域排水体制大部分为合流制，主要存在的问题是：现状污水管道接入雨污合流管段、雨水暗渠；现状污水管道断头，未接入污水管道；现状污水管道倒坡；现状管渠渗漏、破损等。在本次治理中，一是将合流制改成分流制，二是对现状管网进行接驳完善，建成“用户—支管—次干管—主干管—污水厂”完整的污水收集体系，通过雨污分流实现旱季污水收集率达到 90% 以上。其中，22 个片区（老旧片区，还未完成雨污分流）雨污分流管网工程是治污的根本性措施，工程内容包括污水支管网建设、雨水系统改造、分流制区域建筑立管改造。铺设干支管网 1249.27km（不含立管）。雨污管网工程主要是实现污水、雨水、初雨水“三水”分离，见图 3。

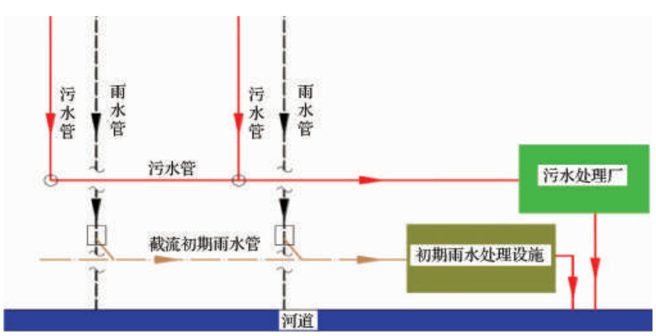

图 3　雨污管网“三水”分离示意图

4.3 内涝整治工程

现有排涝系统排水管网能力不足，排涝泵站规模不够，局部涝片不封闭。内涝整治按照新的排涝标准，即 20 年一遇 24h 降雨所产生的洪水 24h 排干不成灾进行设计。涝片采取“高水高排、低水抽排”的原则，即具备自排条件的区域通过自排方式排水，不具备自排条件的区域通过抽排方式排水。通过新建排水管涵、渠道雨水收集系统的方式，通过闸、涵封闭涝片，将抽排区域与自排区域分离，并新建相应规模的泵站实现涝水抽排。新建排涝泵站 12 座，排涝总规模 206.85m^3/s。

4.4 活水补水工程

茅洲河流域干支流为雨源性河流，枯水期上游无足够水源补充，水动力缺乏、自净能力不足。根据水动力模拟，需在不同支流设置 17 个补水点，水源为污水处理厂再生水，水质标准为地表水 V 类水。新建补水泵站 6 座，补水总规模为 122 万 m^3/d，同时新建补水干支管 98.2km。

4.5 生态修复工程

生态修复主要利用动植物的自我净化能力，分解河道的工业污染物，为生物营造一个良性的栖息地，创造一个自然、具有自我净化能力的生态河道。生态修复工程包括生态绿化、防护林、挺水植物群落、浮叶植物群落、沉水植物群落、底栖动物群落、鱼类群落的构建。

新建燕罗、鹅颈水等湿地公园 6 座，以生态净化为首要任务，融合景观休闲设施，打造生态场所，展示通过人工修复重建生态结构的能力。其中，燕罗湿地用于茅洲河截污箱涵内污水的应急处理，采用“预处理（生态氧化池 + 高效沉淀池）+ 垂直流潜流湿地 + 表流湿地”工艺，是兼具水质净化提升、生态修复保护、景观休闲游憩、生态科普宣教等综合功能的人工湿地，占地面积 5.50hm^2，污水处理最大设计规模 1.80 万 m^3/d，进水水质为一级 B，出水水质达到地表水Ⅳ类标准，污染物去除率高、占地少，并且表流湿地为生态景观打造了充足的空间，成为市民休闲娱乐的场所。

4.6 景观提升工程

根据河道的各自情况设置绿道，形成串联水系、城市、文化景点、河道风貌的休闲游憩的慢行系统网，重塑茅洲河沿线景观风貌形象。包括岸线景观设计、绿化设计、交通游览设计、节点设计等内容，沿河两岸设置生态植被缓冲带、雨水花园、下凹式绿地等 LID 生态设施，响应海绵城市建设，并放置景石、雕塑小品和文

化地雕提升河堤整体景观意向，构成收集沿线雨水的绿色海绵网络，减轻河道初期雨水污染，助力水质提升。

5 茅洲河治理成效

河道整治工程共完成41条干支流河道整治84.3km、暗涵34km，消除截污总口57个，整治入河排口2219个；雨污管网工程共完成22个片区雨污分流管网1338km，改造老旧管网30.28km，完成小区正本清源改造1952个，整治排口5512个，新增污水收集能力55万m^3/d；内涝整治工程新建排涝泵站12座，规模合计$206.85m^3/s$。新建补水泵站6座，补水规模$122m^3/d$，铺设补水管道109.4km；清除污染底泥452.8万m^3；建设湿地公园6座；消除黑臭水体45个。

2019年11月5日，茅洲河共和村断面水质监测结果：氨氮平均值1.76mg/L、总磷平均值0.26mg/L、溶解氧平均值538mg/L，水质提前1年2个月达到省、市下达的地表水Ⅴ类标准的目标。与治理前相比，氨氮下降了91.94%、总磷下降了91.22%、综合污染指数下降了82.83%，是1992年以来的最好水平。2020年1—10月，茅洲河国省考断面水质持续改善，氨氮及总磷平均指标均已达到地表水Ⅳ类水标准，其中：国考共和村断面1—10月的氨氮、总磷平均浓度分别为1.26mg/L、0.25mg/L，两项的平均指标已达到地表水Ⅳ类水标准[2]。

6 茅洲河治理技术创新

茅洲河全流域综合整治工程总投资164.45亿元，具有线路长、区域广、规模大、涉及群体多、管线迁改难、征地拆迁难、协同共治难、综合技术复杂等特点。工程治理中通过技术创新，按期完成了工程建设任务，并提前实现了水质考核目标。

6.1 治理技术路线创新

茅洲河治理技术路线确定的原则：ⓐ流域统筹、系统治理，厂、网、源、河一体化；ⓑ分阶段分步走、精准施策；ⓒ因地制宜、近远结合，治理生态化、资源化，运维智慧化。

根据上述原则，确定了“双核驱动、多联协同”的技术路线，以“底泥、管网”治理为内源、外源核心驱动，以“三全”“八策”为具体技术措施。茅洲河治理技术路线见图4。

图4 茅洲河治理技术路线

事实证明，对于重污染河流而言，上述技术路线是成功的。雨污分流，提高污水收集率和处理率是治污的关键，其次是内源污染的消除，活水补水是河流增强自净能力的根本措施。

6.2 水环境治理云平台智能管控技术

茅洲河水环境综合整治施工高峰期工作面达1200多个，投入2万余人，投入各类机械设备近7000台套，质量、安全、进度管控难度大、要求高。针对茅洲河项目群施工特点，专门研发了水环境治理管控云平台，该平台运用云与物联网、BIM+GIS等互联网技术，可以对全流域工程进展实施全天候的多维管理，辅以河务通APP、水质在线检测技术、管材二维码追溯技术等，对工程质量、安全、进度、成本、信息等进行全方位实时管控，提高管理效率。

该技术已经取得河湖泊涌水环境治理水信息智慧监测系统、水环境治理管理信息云平台系统等13项软

件著作权。

6.3　底泥处理处置技术

茅洲河底泥量巨大、污染严重,清出的淤泥含水量高,堆存二次污染风险高。为了达到减量化、稳定化、无害化、资源化的目的,一是对底泥处理工艺进行了创新,具体工艺流程见图 5[3];二是在底泥处理过程中使用了多种新型固化剂,包括重金属螯合剂、SDC 淤泥调理脱水机、HPS 淤泥调质固化剂、分散剂、絮凝剂。

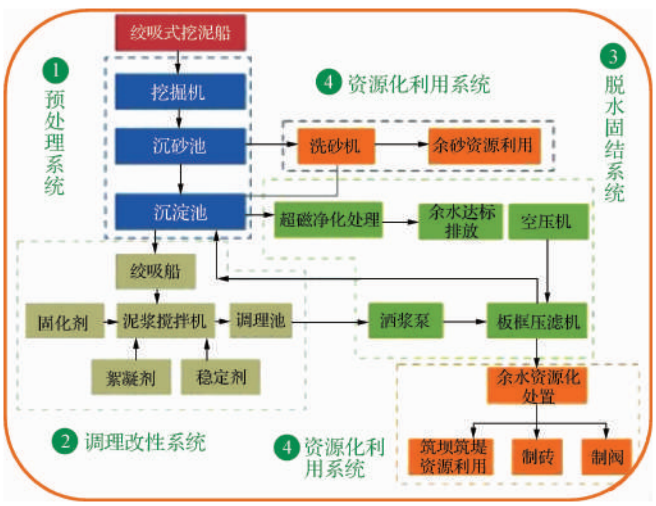

图 5　底泥处理工艺流程

采用上述工艺,底泥干化后的泥饼含水率小于 40%,余水排放达到地表水一级 A 标准。低含水率的泥饼为资源化利用提供了条件,利用底泥烧制陶粒,而后压制碧道彩色透水砖、多型彩色广场地砖并应用于工程中,实现了变废为宝,同时也避免了底泥堆放带来的二次污染风险。

6.4　新装备、仪器研发应用

为应对工程位于城市高密度建成区、狭窄空间作业多、工程质量要求高、工期紧等特点,引进了静音作业的静压植桩机、CCTV 管道检测车、管道非开挖修复一体化装备、河道巡视无人机、无人水质检测船等仪器装备,并专门研发了暗涵清淤机器人用于暗涵的清淤。新装备、仪器的应用为保证工程建设进度、质量起到了重要作用。

7　结　语

茅洲河水环境综合整治工程建设规模大、治理难度高,需攻克污染成因成分复杂、污染程度罕见、区域人员企业密度大、跨界治理等一系列难题。以水质目标为导向,以“内源外源双核驱动,多联协同”为治理技术路线,采取雨污管网等六类工程,茅洲河国考断面提前实现了水质考核目标,取得了良好的经济效益和生态效益,同时也为国内类似城市高密度建成区水环境治理提供了借鉴。

参考文献

[1]　吴冰,贺林平,洪秋婷. 茅洲河之变[N]. 人民日报,2020-11-13(13).

[2]　王际娣,张玉荣,柯深镕. 茅洲河:重现人水和谐美景[J]. 小康,2020(11):26-29.

[3]　周岩. 茅洲河清淤及底泥处置工程施工方案研究[J]. 陕西水利,2021(2):164-166.

(上接第 33 页)

[39]　薛传东,杨浩,刘星. 天然矿物材料修复富营养化水体的实验研究[J]. 岩石矿物学杂志,2003,22(4):381-385.

[40]　MURPHY T P. Review of emerging issues in sediment treatment[J]. Aquatic Ecosystem Health & Management,1999,2(4):419-434.

[41]　曲久辉. 我国水体复合污染与控制[J]. 科学对社会的影响,2000(1):35-39.

[42]　SCHARER J M. Cheminform Abstract: chemical pre-Oxidation for enhancing bioremediation of contaminated soils[J]. process safety and environmental protection,2010,74(40):125-131.

[43]　RIPL W. Biochemical Oxidation of Polluted Lake Sediment with Nitrate: A New Lake Restoration Method[J]. Ambio,1976,5(3):132-135.

[44]　王熙,孙飞云,董文艺. 用过氧化钙控制城市河道底泥嗅味物质及氮磷释放试验研究[J]. 水利水电技术,2012,43(8):66-69.

[45]　商传莲. 物理材料与沉水植物组合对富营养化水体的水质改善效果研究[D]. 上海:华东理工大学,2012.

[46]　ARONSON J,CLEWELL A F,BLIGNAUT J N,et al. Ecological restoration: A new frontier for nature conservation and economics[J]. Journal for Nature Conservation,2006,14(3-4):135-139.

[47]　ZHANG X M,ZHANG X L,ZHANG Z H, et al. Measures, methods and cases of river ecological restoration[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,2020,601(1):145-147.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.1.09

臭氧-非均相 Fenton 工艺在焦化废水处理中的应用研究

王冰冰

(哈富环境科技(上海)有限公司,上海 201707)

【摘 要】 通过对江苏沙钢集团厂区现有的焦化废水处理工艺进行深入的调研后,合理优化现有处理单元,采用增加前处理以及末端深度处理环节的方式,达到提高污染去除效率的目的。通过现场中试实验,获取改良工艺对焦化废水去除效果的最优工况参数。中试实验的工艺路线为"破乳→隔油→臭氧催化 Fenton→气浮→EGSB→BACT→臭氧催化 Fenton→气浮",在前处理段臭氧浓度设置为 100mg/L、深度处理单元臭氧浓度设置为 50mg/L、BACT 段分流比为 1∶1、污泥回流比为 1∶1 时,工艺运行稳定后,在 COD 进水浓度为 4100~5600mg/L 时,系统对 COD 去除率可稳定达到95%以上,在氨氮进水浓度为250~310mg/L 时,系统对氨氮去除率可稳定达到91%以上。

【关键词】 焦化废水;臭氧催化;非均相 Fenton

中图分类号:TV213.4 文献标志码:A 文章编号:2096-0131(2022)1-040-06

Study on Ozone combined with Heterogeneous Fenton process in coking wastewater treatment

WANG Bingbing

(*HaFu Environmental Technology* (*Shanghai*) *Co.*, *Ltd.*, *Shanghai* 201707, *China*)

Abstract: After in-depth investigation of the existing coking wastewater treatment process in Jiangsu Shagang Group, the existing treatment units are reasonably optimized, and the pre-treatment and terminal advanced treatment links are added to achieve the goal of improving the pollution removal efficiency. Through the field pilot test, the optimal operating parameters of the improved process for coking wastewater removal were obtained. The process route of pilot test experiment is "demulsification-oil separation-ozone-catalyzed Fenton- air flotation – EGSB – BACT – ozone – catalyzed Fenton – air flotation". When the ozone concentration in the pre-treatment section is 100mg/L, the ozone concentration in the advanced treatment unit is 50mg/L, the split ratio in the BACT section is 1∶1, and the sludge reflux ratio is 1∶1, After the process runs stably, the removal rate of COD by the system can reach more than 95% stably when the influent concentration of COD is 4100~5600mg/L, and the removal rate of ammonia nitrogen by the system can reach more than 91% stably when the influent concentration of ammonia nitrogen is 250~310mg/L.

Key words: coking wastewater; ozone catalysis; heterogeneous fenton

在国家"十四五"循环经济发展规划、国家"双碳" 目标背景下,企业单位产品耗水量和废水排放量管控

收稿日期:2021-08-03

作者简介:王冰冰(1989—),男,工程师,硕士,主要从事污水处理工程、管网检测修复、污水处理工艺技术研发工作。

日趋严格。在企业零排放等行业政策影响下，对钢厂焦化废水处理后达到资源化利用的研究就具有了十分重要的意义。焦化废水主要来自炼焦和煤气净化过程及化工产品的精制过程，是一种含有大量酚、氰、油、氨氮、硫化物等有毒、有害物质的废水，其中的有毒有害物质对生化系统有很强的抑制作用，很难被彻底降解[1-2]。

本文研究的废水来自江苏沙钢集团，废水主要由三部分组成：煤制气、蒸氨后废水和化工产品生产过程中产生的废水。混合废水 COD 浓度范围为 4100～5600mg/L，氨氮浓度范围为 250～310mg/L。沙钢集团现有的废水处理工艺为：重力除油池→气浮→水解→A/O→二沉池→混凝（类芬顿）沉淀池→出水。处理后出水与生活污水混合后再经厂区内部生活污水处理站处理。经过现场调研后发现，现有焦化废水处理站对 COD、氨氮处理效率较低，处理后的污水无法满足后续生活污水处理站进水指标要求。为了提高污染物处理效率，在不对原有处理工艺做重大调整的前提下，通过对以臭氧-非均相 Fenton 工艺为核心的处理技术的中试实验，探究改良后处理工艺对焦化废水中 COD、氨氮的去除效果。

1 现有焦化废水处理工艺概况

1.1 污水站运行介绍

沙钢集团现有污水处理站的处理流程为：废水先经冷却后送至重力除油池进行初步处理（水温在 40℃以上），除油后自流至气浮池，而后废水进入水解酸化池，经过水解酸化后再进入 A/O 系统，其中缺氧池内设有填料，缺氧段停留时间 24～26h。好氧段为普通活性污泥，停留时间 50h。运行过程中，在好氧段投加碳酸钠（根据硝化过程碱度消耗量计算，原水碱度不足，需额外补充碱度）补充碱度，并设有喷淋系统，喷淋系统所耗清水量约为 $50m^3/h$，水温高时泡沫量很大。内回流为二沉上清液，回流至缺氧段，回流比为 300%；污泥回流为二沉池污泥，回流至好氧段，回流比为 300%。二沉池出水进入混凝沉淀池，投加混凝剂 A、混凝剂 B，进行类芬顿反应，未投加 PAM，反应后进入两座辐流式沉淀池沉淀，后排至中水回用处理站与生活污水混合，再次进行深度处理。

通过查阅该污水处理站的台账记录发现：现有污水处理设施进水 COD 浓度在 5000mg/L 左右，二沉池出水 COD 浓度在 500mg/L 左右，COD 总去除效率约为 90%，氨氮平均进水浓度在 200～300mg/L 之间，出水氨氮浓度在 50～70mg/L 之间，氨氮总去除效率在 75% 左右。COD 和氨氮去除效率均处于较低水平，处理后出水难以满足后端深度污水处理站的进水水质指标要求。

1.2 现有污水站运行中存在的问题

现有污水处理工艺中污染物的去除主要依靠生化系统，生化系统运行的好坏直接影响出水的效果。根据该处理站提供的运行台账，我们发现现有处理工艺存在以下问题：

a. 处理效果不高，浪费大量能源。由于进水中的苯系物、CN^- 和酚类物质未经过前期预处理直接进入生化系统，这些物质对微生物的代谢活动产生很大的抑制，大大降低了微生物的处理效果。为了维持生化系统的运行，必须大水量回流，稀释前端进水，同时保持较大的污泥回流比，提高生化系统中的污泥浓度，降低废水中有毒物质对微生物活性的抑制。从业主方面获悉，一期焦化废水处理工艺的内外回流比均保持在 300%，浪费大量能源。

b. 耐冲击性不好。当进水水质波动时，处理效果极其不稳定，尤其在夏季显现得更为明显。

c. 喷淋消泡系统用水量大，效果差。由于有毒有害物资的抑制作用，使丝状菌在好氧池内的比例增大，导致好氧池污泥膨胀[3]。该处理站好氧段设有喷淋系统，喷淋系统所耗清水量约为 $50m^3/h$，但泡沫量仍然很大。

d. 二沉池出水 COD 去除率不高，处理后的污水与生活污水混合后，再进入生活污水处理站，生活污水处理站的处理工艺无法使排水满足排放要求，需要将焦化废水处理站出水 COD 降至 200mg/L 以下的水平，再与生活污水混合后处理，才能确保出水满足排放要求。

2 中试实验材料与方法

2.1 中试实验工艺流程介绍

中试实验工艺主体路线采用“破乳→隔油→臭氧催化 Fenton→气浮→EGSB→BACT(两级强化型A/O)→臭氧催化 Fenton→气浮”,处理量为 $1m^3/h$,采用 24h 进水的方式运行,中试系统进水为焦化厂现有污水处理站隔油池出水。焦化废水经过提升泵进入中试系统的破乳罐,经过加入破乳剂处理后,实现乳化油的油水分离,破乳后的焦化废水通过污水提升泵进入催化罐,催化罐内装有铁/锰复合矿石填料,填料外观呈圆球形,多孔状,填料置于支架上,支架底部设置进水口以及臭氧进气口、空气管、回流管,罐内臭氧浓度设置为 100mg/L。通过臭氧的作用,可以强化 Fenton 单元产生更多的羟基自由基,达到苯系物的断链、破氰和除酚的目的[4],提高废水的 B、C 比。一级催化罐出水进入气浮单元,通过气浮去除多余的双氧水,气浮出水提升进入 EGSB 反应罐,EGSB 反应罐中投加了高效厌氧颗粒污泥,厌氧颗粒污泥具有耐冲击负荷强,污染物去除效率高的特点[5]。EGSB 罐通过控制回流水的水量,来降低进水的冲击负荷,提高系统的运行稳定性。EGSB 反应罐出水通过分点进水的方式进入 BACT 池,通过控制进水比例为 1∶1,使各级缺氧池内 C、N 比达到最佳的脱氮条件[6]。BACT 单元的好氧段内投加了高效填料(污泥浓度可维持在 8g/L),维持好氧段内硝化细菌高生物量,提高好氧段的氨氮去除效率。BACT 池无须硝化液回流,而且因为投加了高效填料,污泥回流比维持在 1∶1,即可保持较高的污泥浓度,节约大量的能源[7]。BACT 池出水进入二沉池,经过泥水分离后,部分浓缩污泥回流到 BACT 池前端,剩余污泥排入污泥浓缩池。二沉池上清液自流入中间水池,中间水池污水经过调节 pH 值后,通过污水提升泵输送进入二级催化罐,二级催化罐臭氧浓度设置为 50mg/L,污水通过进一步处理后,自流进入混凝沉淀槽,经过混凝后进入气浮反应器,气浮出水直接排放至原焦化厂污水处理站的排放水池。中试实验单元产生的物化泥、生化污泥通过泥浆泵输送至原焦化厂污水处理站的污泥浓缩池。

2.2 中试实验目的

a. 确定工艺技术可行性和装置运行稳定性。

b. 验证工艺各单元对 COD、氨氮、油、悬浮物、挥发酚、氰化物等的去除效果。

c. 考核水量、盐、氨氮、油类、COD、氰化物等的负荷冲击对试验装置的影响。

d. 积累试验阶段催化气浮反应器过程参数调整的数据,为焦化废水预处理和深度处理提供参考。

2.3 中试工艺优点

a. 臭氧-非均相 Fenton 工艺具有很强的氧化性,臭氧可以直接氧化硫化物、硫氰酸盐、氰化物、氨氮等化合物;非均相 Fenton 会产生大量·OH 离子,可直接氧化酚类、甲基叔丁基醚和挥发性芳烃等有机物,并且相比普通芬顿工艺,会大大减少铁泥的产生和药剂的使用[8-10]。

b. EGSB 反应罐中的高效厌氧颗粒污泥对焦化废水中的有毒有害物质具有较高的耐受性,并可以通过调整回流量来降低进水的冲击负荷。

c. BACT 采用多点进水的方式,省略了内回流过程,同时 BACT 池内投加了高效填料,大大提高了池内微生物量,强化系统对污染的去除效果。由于省略了内回流,而且不需要大的外回流,可以节约 10% 左右的电能消耗。

d. 生化出水通过二级催化和气浮处理,可以进一步提高出水的水质。

2.4 中试实验进程

中试系统进水为焦化厂原有污水处理站隔油池出水。中试进水浓度分三个阶段逐级提升:

阶段一为中试实验设备安装和调试阶段,进水浓度为原水的 10%,间歇进水。

阶段二为中负荷连续进水阶段,进水浓度为原水的 50%,逐步提高中试系统的处理能力。

阶段三为高负荷连续进水阶段,进水浓度为原水,100% 模拟实际处理过程,探究不同工况下,工艺对焦化废水的处理效果。

3　中试实验进度与数据分析

3.1　中试实验进度

3.1.1　第一阶段

持续时间:2015 年 8 月 1 日至 9 月 6 日。

第一阶段主要目标为完成中试实验设备安装工作,接种和驯化厌氧颗粒污泥、好氧污泥。间隙进水,进水浓度为原水的 10% 。每日检测 EGSB 反应器混合液 VFA 和 EGSB 出水 COD、pH 值,检测 BACT 池出水 pH 值、COD、氨氮,并调试每个工艺段的运行参数。

3.1.2　第二阶段

持续时间:2015 年 9 月 7 日至 10 月 6 日。

第二阶段目标是中试实验系统可以稳定运行,逐步提高浓度,为下一阶段处理 100% 原水做准备,进水浓度为原水的 50% ,每天取样检测每个工艺段的氨氮、COD 数据,并作适当调整。

3.1.3　第三阶段

持续时间:2015 年 10 月 7 日至 11 月 6 日。

2015 年 10 月 7 日开始 100% 进原水,在前处理段臭氧浓度设置为 100mg/L、深度处理单元臭氧浓度设置为 50mg/L、BACT 段分流比为1∶1、污泥回流比为 1∶1 条件下,运行稳定后开始取样监测进水 COD、氨氮浓度以及每个工艺段出水的 COD、氨氮浓度数据。

3.2　中试实验数据与分析

3.2.1　中试实验数据

表 1 ~ 表 2、图 1 ~ 图 2 为工艺系统稳定运行后的进水 COD、氨氮浓度以及每个工艺段出水的 COD、氨氮浓度数据。

表 1　污水处理工艺各工段对 COD 去除效果　　单位:mg/L

天数	原水 COD	一级气浮出水 COD	厌氧出水 COD	二沉池出水 COD	最终出水 COD	COD 总去除率
1	4485.18	4107.44	2376.15	399.68	199.84	95.54%
2	4453.71	3824.14	2384.81	412.32	220.19	95.06%
3	5791.52	5571.17	3336.23	332.05	116.43	97.99%
4	4768.48	4595.35	2620.33	426.48	195.12	95.91%
5	5099.02	4406.49	2470.59	405.68	188.54	96.30%
6	4973.09	4563.88	1963.52	369.82	169.15	96.60%
7	5020.31	4469.44	2376.15	436.37	155.78	96.90%
8	5019.52	4385.67	2423.36	387.65	179.31	96.43%
9	5051.78	3958.51	2597.88	451.32	146.87	97.09%
10	4799.96	3610.32	2316.89	379.42	148.41	96.91%
11	4910.13	3726.06	2673.55	392.55	186.66	96.20%
12	5020.30	4201.87	2442.28	381.34	177.75	96.46%
13	5539.84	4139.72	2690.83	392.29	182.35	96.71%
14	4815.75	3997.27	2957.53	488.61	170.21	96.47%
15	4469.14	3843.89	2894.16	457.78	161.68	96.38%
16	4375.11	4075.96	2624.63	371.21	158.89	96.37%
17	5476.74	4186.14	2482.65	359.91	168.32	96.93%
18	5429.52	4474.05	3272.32	439.82	148.95	97.26%
19	5571.17	4500.92	3241.83	483.47	125.87	97.74%
20	5586.91	4611.09	3455.62	346.04	120.14	97.85%
21	4420.09	3287.23	2210.85	325.54	139.98	96.83%
23	4376.21	3619.65	2574.24	457.41	172.66	96.05%
24	4650.42	3510.15	2523.74	471.94	153.81	96.69%
25	4847.38	3689.31	2598.52	473.85	162.23	96.65%

续表

天数	原水 COD	一级气浮出水 COD	厌氧出水 COD	二沉池出水 COD	最终出水 COD	COD 总去除率
26	5019. 61	3922. 74	3057. 53	437. 21	170. 67	96. 60%
27	4154. 33	2952. 10	2114. 69	483. 25	182. 11	95. 62%
28	4327. 74	3090. 15	2039. 76	393. 35	179. 43	95. 85%
29	4899. 84	3882. 68	2901. 15	420. 48	151. 02	96. 92%
30	4783. 43	3611. 35	2438. 78	348. 75	160. 84	96. 64%

表2　污水处理工艺各工段对氨氮去除效果　单位:mg/L

天数	原水氨氮	厌氧出水氨氮	一级好氧池出水氨氮	二级好氧池出水氨氮	最终出水氨氮	氨氮总去除率
1	263. 4	338. 8	38. 2	20. 7	16. 0	93. 93%
2	296. 7	304. 4	37. 1	22. 4	19. 8	93. 33%
3	255. 0	325. 6	48. 9	18. 3	15. 2	94. 04%
4	297. 6	344. 4	36. 4	19. 7	13. 5	95. 46%
5	250. 6	335. 1	27. 2	17. 0	14. 4	94. 25%
6	288. 3	340. 4	24. 3	17. 5	14. 3	95. 04%
7	282. 1	304. 0	32. 3	23. 9	15. 3	94. 58%
8	250. 1	266. 5	38. 7	18. 3	15. 4	93. 84%
9	252. 7	317. 6	29. 7	13. 7	12. 9	94. 90%
10	278. 4	326. 8	29. 1	18. 8	13. 0	95. 33%
11	304. 0	347. 5	23. 9	16. 3	14. 5	95. 23%
12	270. 9	341. 1	22. 1	17. 8	17. 1	93. 69%
13	268. 7	289. 2	28. 3	20. 6	14. 4	94. 64%
14	298. 0	317. 6	33. 5	19. 8	17. 1	94. 26%
15	293. 1	356. 6	25. 5	18. 2	15. 9	94. 58%
16	295. 7	352. 1	29. 6	18. 0	14. 2	95. 20%
17	298. 7	303. 5	27. 7	18. 9	16. 0	94. 64%
18	301. 0	336. 4	25. 4	26. 1	26. 0	91. 36%
19	274. 0	326. 9	28. 4	22. 1	19. 8	92. 77%
20	294. 2	296. 7	26. 2	20. 3	16. 0	94. 56%
21	250. 0	312. 5	25. 8	19. 1	16. 3	93. 48%
23	254. 0	310. 0	33. 8	20. 6	19. 5	92. 32%
24	261. 9	275. 9	30. 2	22. 3	21. 2	91. 91%
25	310. 4	325. 9	33. 7	23. 4	20. 0	93. 56%
26	289. 0	344. 3	29. 1	25. 7	17. 7	93. 88%
27	268. 8	327. 7	49. 3	23. 6	15. 1	94. 38%
28	283. 2	335. 7	34. 0	21. 2	18. 1	93. 61%
29	283. 5	349. 3	37. 0	20. 8	15. 4	94. 57%
30	258. 0	334. 1	27. 7	20. 8	16. 0	93. 80%

3. 2. 2　中试实验数据分析

通过分析实验数据可以得出以下结论:

a. 在前处理段臭氧浓度设置为100mg/L、深度处理单元臭氧浓度设置为50mg/L、BACT段分流比为1∶1、污泥回流比为1∶1工况下,工艺系统运行稳定后,该工艺对废水中COD的处理效率可以稳定达到95%

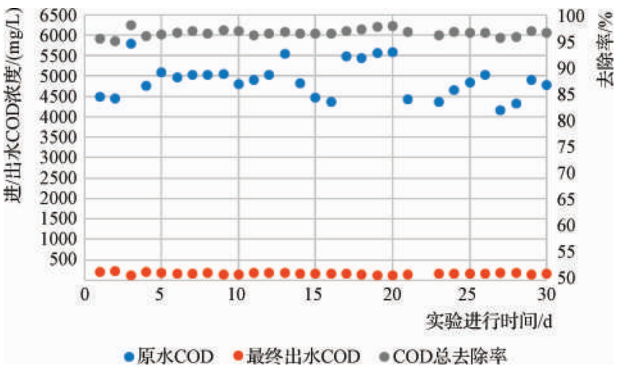

图 1　COD 去除效率

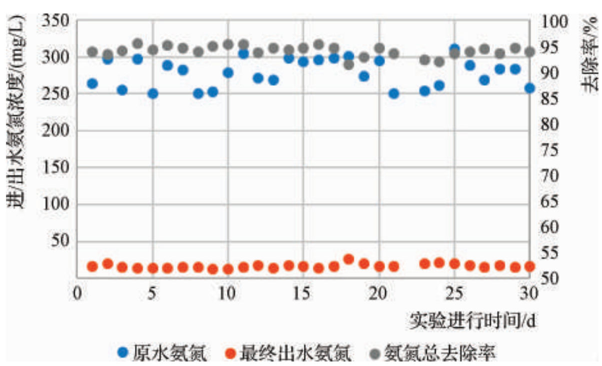

图 2　氨氮去除效率

以上,出水 COD 浓度稳定在 200mg/L 以下;工艺对氨氮的处理效率可以稳定达到 91% 以上,出水氨氮稳定在 15 ~ 20mg/L 左右。

b. 该工艺对污染物的处理效率相比原有的焦化废水处理工艺有了较大的提高,COD 去除效率从 90% 提高至 95% 以上,氨氮的去除效率从 75% 提高至 91% 以上。主要是因为臭氧-非均相 Fenton 工艺可以有效地氧化酚、氰、油、氨氮、硫化物等有毒、有害物质,提高废水的 B/C,并降低对后续生活系统的抑制作用,提高生化系统的处理效率,同时不需要通过设置较高的内外回流比来降低有毒有害物质对生化系统的抑制,可以节省能源消耗。

4　结　论

目前对焦化废水处理的研究较多,但是研究多聚集在如何实现焦化废水处理后达标排放阶段。随着国家“十四五”规划的发布,国家对焦化行业的污水排放监管不单单放在达标层面,更多的要求焦化行业实现废水减量化、资源化。为实现 2025 年焦化废水减量化 30% 的目标,焦化废水资源化利用就成了研究的热点和重点方向。本文研究了“破乳→隔油→臭氧催化 Fenton→气浮→EGSB→BACT(两级强化型 A/O)→臭氧催化 Fenton→气浮”工艺对焦化废水的处理效果,研究发现“破乳→隔油→臭氧催化 Fenton→气浮→EGSB→BACT(两级强化型 A/O)→臭氧催化 Fenton→气浮”工艺可以有效去除焦化废水中的污染物质,在前处理段臭氧浓度设置为 100mg/L、深度处理单元臭氧浓度设置为 50mg/L、BACT 段分流比为 1∶1、污泥回流比为 1∶1工况下,工艺系统运行稳定后,对 COD、氨氮的处理效率分别可达到 95% 和 91% 以上。COD 进水浓度为 4100 ~ 5600mg/L 时,工艺设备出水 COD 浓度可以稳定在 200mg/L 以下;氨氮进水浓度为 250 ~ 310mg/L 时,氨氮出水浓度可以稳定在 15 ~ 20mg/L 左右,通过处理后的焦化废水可满足后端污水处理厂的深度处理进水要求。◆

参考文献

[1] 彭超. 国内外焦化废水处理技术浅析[J]. 中国高新技术企业,2009(20):121-122.

[2] 韦朝海,贺明和,任源,等. 焦化废水污染特征及其控制过程与策略分析[J]. 环境科学学报,2007(7):1083-1093.

[3] 吕艳丽,樊章新,巩立群,等. 焦化废水好氧生物处理过程中泡沫控制的研究[J]. 给水排水,2015,51(9):135-138.

[4] 叶文旗,赵翠,潘一,等. 高级氧化技术处理煤化工废水研究进展[J]. 当代化工,2013(2):172-174.

[5] 孙三军. EGSB 反应器中颗粒污泥的研究进展[J]. 图书情报导刊,2012,22(18):123-125.

[6] 张雁秋,李昂,李燕,等. 分点进水脱氮除磷新工艺的理论基础和实践[J]. 中国给水排水,2008,24(24):13-15.

[7] 王祖佑,陈怡,陈进富,等. 高浓度化工污水治理方案研究[J]. 当代化工,2010(5):570-574.

[8] 梅翔宇. 焦化废水臭氧催化氧化深度处理效能研究及现场中试方案设计[D]. 北京:北京林业大学,2019.

[9] 陈敏,许韵华,晋丽叶,等. 非均相类 Fenton 试剂处理焦化废水的研究[J]. 现代化工,2006,26(2):288-290.

[10] 沈彤. Au-Fe_3O_4 构建的非均相 Fenton 体系处理难降解有机物的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.1.10

水库建设影响河流鱼类生境的保护研究

孙 鹏

(辽宁省水利水电勘测设计研究院有限责任公司,辽宁 沈阳 110006)

【摘 要】 由于水库的建设会对河流产生阻隔,从而影响鱼类洄游、产卵、索饵等,本文以赤峰市东台子水库为例,结合西拉木伦河流域特征、水库特性及鱼类生活习性、繁殖特征等,简要阐述了通过采取水库生态调度、鱼类增殖放流站及鱼道建设等保护措施,对河道内的鱼类生境进行有效保护,可减少水库工程建设对鱼类生境的影响。

【关键词】 西拉木伦河;东台子水库;鱼类生境;保护措施

中图分类号:S953 **文献标志码:B** **文章编号:2096-0131(2022)1-046-05**

Study on reservoir construction impact protection of fish habitat in the river

SUN Peng

(*Liaoning Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Research Institute Co., Ltd, Shenyang 110006, China*)

Abstract: Because the construction of the reservoir will block the river, it will affect fish migration, spawning, feeding and so on. This paper taking Dongtaizi Reservoir in Chifeng City as an example, combined with the characteristics of Xilamulun River basin, reservoir characteristics, fish living habits, breeding characteristics, etc., briefly expounds the protection measures such as reservoir ecological regulation, fish proliferation and release station and fishway construction, Effective protection of fish habitats in river channels can effectively reduce the impact of reservoir construction on fish habitats.

Key words: Xilamulun River; Dongtaizi Reservoir; fish habitat; protection measures

水库大坝建成后,由于大坝的阻隔,完整的河流环境被分割成不同的片段,将鱼类分割成坝上、坝下两个群体,其生境的片段化和破碎化导致形成大小不同的异质种群。种群间基因不能交流。随着水库蓄水运行,喜急流环境鱼类将减少,适应静水或缓流环境生活的鱼类将成为库区优势种群。水库蓄水后对产漂流性卵的鱼类将产生较为严重的不利影响,同时使得产黏性卵、沉性卵的鱼类产卵场移至库区库尾及其河流上游。而水库的下泄低温水对坝下鱼类的生长发育也会产生一定不利影响[1-2]。本文以东台子水库为例,结合流域特征,通过分析鱼类习性,采取相应的缓解措施,减小由于水库建设对河流鱼类产生的影响。

1 东台子水库概况

东台子水库位于辽河流域西拉木伦河中上游,在林西镇东南约50km处,是我国加快建设一批节水供水等172项重大水利工程之一。东台子水库工程开发建设的任务是以防洪、供水为主,兼顾灌溉和发电。水库

收稿日期:2021-07-07

作者简介:孙鹏(1982—),男,高级工程师,硕士,主要从事水利水电工程环境影响评价、水土保持、水资源论证等工作。

设计总库容为3.21亿m^3，为大(2)型水库。水库设计洪水位为673.75m，校核洪水位为674.38m，正常蓄水位为672.30m，防洪限制水位为672.30m，死水位为658.00m。工程等别为Ⅱ等，主要建筑物包括沥青混凝土心墙堆石坝、右岸泄洪建筑物、引水建筑物和电站等。水库建成后，可将下游少冷河口以下两岸的防洪标准由10年一遇提高到30年一遇，设计水平年2030年可向林西工业园区供水3951万m^3，多年平均补偿下游灌溉水量1916万m^3，电站装机8000kW，多年平均年发电量为1834万kW·h。

受河流断流及已建拦河工程阻隔等影响，现状西拉木伦河干流鱼类种类不丰富、资源量少、小型化趋势明显。东台子水库工程建成后，将进一步加剧对鱼类的阻隔影响，水文情势的变化也将导致鱼类生境和资源结构发生相应变化，故需采取有效措施对鱼类进行保护。

2　河流主要鱼类及其游泳能力

西拉木伦河98%的干流主要鱼类为鮈亚科鱼类，主要包括蛇鮈、银鮈、大头鮈等，其中蛇鮈数量占91%，银鮈占4%，大头鮈占3%，其他土著鱼类仅占2%。因此，东台子水库主要保护鱼类为鮈亚科鱼类。鮈亚科鱼类体长范围为5.2～14.1cm，平均体长13.4cm；体重范围为6.3～32.1g，平均体重25.8g；喜好流速为0.3～0.7m/s，极限流速为1.2m/s。

经调查和相关资料分析，西拉木伦河东台子水库工程河段主要鱼类及其游泳能力特征见表1。

表1　河流主要鱼类及其游泳能力特征

鱼　名	体长/cm	感应流速/(m/s)	适应流速/(m/s)
蛇　鮈	4～15	0.2	0.3～0.7
银　鮈	3～8	0.2	0.3～0.8
	9～13	0.2	0.3～0.7
大头鮈	3～9	0.2	0.3～0.7
	10～15	0.2	0.3～0.8
瓦氏雅罗鱼	4～18	0.2	0.3～0.8
红鳍原鲌	4～9	0.2	0.3～0.8
	10～18	0.2	0.3～0.9
	19～30	0.2	0.3～1.0

3　水库生态调度

水库建成运行后，需在防洪调度、兴利调度的基础上，结合鱼类生活习性及繁殖特征等，适时开展水库生态调度，以满足下游鱼类生境需要[3]。

3.1　生态调度原则[4]

a. 安全第一、统筹兼顾原则。生态调度须在保证水库工程安全、服从防洪总体安排的前提下，协调防洪、兴利等任务及各用水部门之间的关系，发挥综合利用效益。

b. 可操作原则。以实现工程设计并保证枢纽建筑物安全为前提，同时具备技术可操作性及经济可行性。

c. 整体性与突出重点原则。突出生态保护的重点目标，分层次、分河段、分时段对重点目标加以保护。

d. 综合效益原则。综合考虑工程防洪、供水、发电等调度目标，协调好其他目标同生态调度目标之间的关系，争取实现防洪、兴利、生态目标效益的最大化。

3.2　刺激鱼类产卵的生态调度方案

根据生态调度原则，水库运行期刺激鱼类产卵的调度方案如下：在每年4—6月鱼类产卵季节，结合下游生态环境和农业补水量，每年至少开展1次生态调度，调度涨水幅度不低于每日下泄水量的7%，涨水过程至少维持7天；调度期终点流量不低于22m^3/s，调度水量不低于1096万m^3。经调度计算，东台子水库在拟定的调度方式下，4—6月下泄水量均可满足生态需水量要求。

4　增殖放流措施

4.1　增殖放流方案

4.1.1　放流对象与标准

因水库建设受到影响的鱼类在理论上均应采取相应的措施加以保护，但由于生态系统的复杂性，涉及工程量较大，故一般根据流域鱼类实际情况及优先保护顺序，选择放流对象。东台子水库建设根据西拉木伦河主要鱼类分布情况，在水库初期蓄水及运行期拟长期放流蛇鮈、大头鮈、银鮈、瓦氏雅罗鱼、红鳍原鲌等鱼类。

放流的苗种必须是由野生亲本人工繁殖的子一代[5],且无伤残和病害、体格健壮。放流鱼种的规格越大,适应环境和躲避敌害生物的能力越强,成活率越高。但鱼种规格越大,培育成本越高,所需生产设施也越多。综合考虑,放流鱼种应以鳞被形成为标准,此阶段鱼种的眼、鳍、口和消化道功能已完全形成,从其生活史上划分,已经是幼鱼阶段,并形成了自己固有的生活方式。同时,鳞被形成后体表皮肤的各种机能已趋于完善,皮肤分泌的黏液能够减小水体对鱼类的阻力,保证鱼类在水中的游动速度,使其能更高效地捕食和躲避其他鱼类;同时黏液在鱼体外形成保护膜,能有效抵御水体中各种细菌的侵入,保持机体的健康,还能使鱼类周围水体中的悬浮物质加快沉淀,保持自身所处水体的稳定。此外,鳞被形成后大部分鱼类表皮细胞的色素已形成,并与其所处水体的背景相适应,使鱼类在水体环境中能够更好地隐藏自己,从而也能更有效地捕食和躲避其他鱼类。

4.1.2 放流周期和地点

根据同类工程建设经验,培育的鱼种经过种质鉴定、疫病检验检疫合格并经相关渔业主管部门同意后即可放流。从水库建成蓄水后连续每年放流,放流周期覆盖工程的全部周期,同时根据放流效果监测决定是否需要调整放流数量。放流时间一般选择在6—8月的上午10时左右,最好是晴朗无风的天气进行。

根据水库大坝上下游鱼类生存环境的变化情况,放流地点设置在水库库区、库尾上游天然河段以及胡日哈下游天然河段的缓流区。

4.1.3 标志与放流效果评价

为使人工增殖放流达到预期效果,应由具有相当资质的科研单位同步进行放流效果的评价。其工作内容主要有:开展标志放流技术研究,创建与放流品种生物学习性相适应的高效标记技术和最佳生物学效果的人工放流方法,包括适宜的放流规格、数量、地点和时机等;开展人工放流增殖效果监测,建立样本回收及监测网络,通过研究人工增殖种群的行为生态学差异、对自然种群的贡献率等,评估增殖放流效果,为物种保护决策提供科学依据[6]。

4.2 增殖放流站建设

4.2.1 站址选择

增殖放流站的场址原则上要求选择在生态环境良好,且无泛洪、滑坡和泥石流的地区,水源充足、水质良好,取排水方便、交通便利、地势较平坦。东台子水库鱼类增殖放流站拟建于水库工程管理范围内的河流左岸,该处满足建设增殖放流站基本条件,取水水源方便,运行费用较低,易于管理。

4.2.2 技术工作流程

增殖放流技术工作流程主要为亲鱼收集购置、亲鱼驯养培育、人工催产和授精、人工孵化、苗种培育、放流、放流效果监测、调整生产规模和方式等[7]。增殖放流工作流程见图1。

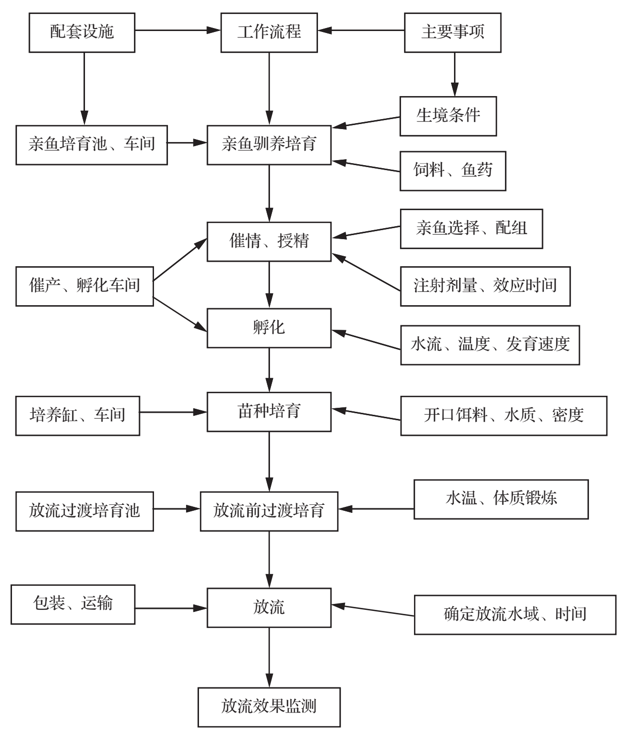

图1 增殖放流工作流程

4.2.3 总体布置及主要建筑物

根据建筑物的性质、工艺流程及交通运输需求等,对增殖放流站的功能分区进行合理划分。在满足使用功能的前提下,力求布置合理、管理方便、建筑美观。东台子水库增殖放流站场内地势较为平坦、开阔,长

302m,宽157～190m,占地面积约75亩,主、次干道共同构成环状道路,通达各个建(构)筑物,满足交通运输、消防通道的要求。

增殖放流站主要建(构)筑物包括蓄水池、催产孵化车间、亲鱼培育池、鱼种培育池、驯养培育池、活饵料培育池、防疫隔离池和生产实验楼等配套设施,各建(构)筑物规格见表2。

表2　增殖放流站各建(构)筑物规格

名　称	规格/m			个数/个	面积/m²	布置地点
	长	宽	深			
蓄水池	30.0	30.0	4.5	2	1800.00	室　外
催产孵化车间	55.3	18.0		1	995.40	室　外
催产池	5.0	3.0	1.5	2	30.00	催产孵化车间
玻璃钢孵化槽	2.0	0.8	0.6	3	4.80	催产孵化车间
圆锥形孵化桶	0.8	0.8	1.5	3	2.26	催产孵化车间
圆形开口苗培养缸	1.0	1.0	1.0	135	106.00	催产孵化车间
水处理间	12.5	4.0	1.5	1	50.00	催产孵化车间
亲鱼培育池	20.0	6.0	1.5	6	720.00	室　外
鱼种培育池	35.0	20.0	1.0	30	21000.00	室　外
驯养培育池	10.0	5.0	1.4	12	600.00	室　外
活饵料培育池	30.0	15.0	1.5	2	900.00	室　外
防疫隔离池	30.0	15.0	1.5	2	900.00	室　外
生产实验楼	25.2	13.0		1	327.60	
收发室	7.5	3.6		1	27.00	

5　鱼道措施

5.1　鱼道设计重点考虑的因素

参考国内外现有鱼道的设计经验及鱼道设计导则,东台子水库鱼道过鱼对象主要为工程影响河段的喜急流性鱼类,包括蛇鮈、银鮈、大头鮈及瓦氏雅罗鱼等。过鱼季节大坝下游最低设计过鱼水位为635.25m,上游最高设计过鱼水位为672.30m,最大水头差为37.05m。

据调查,幼小体弱等溯游能力弱的鱼类,大多在流速0.3～0.7m/s的水流中行进;成鱼、亲鱼等溯游能力强的鱼类,大多在流速0.7～1.2m/s的水流中行进。对于鮈亚科鱼类,鱼道内允许最大流速为1.2m/s,水深一般为0.5m以上。

鱼道进口是否易被鱼类发现和利于鱼类集结是鱼道设计的关键因素之一,可以考虑将进口布置在水库尾水前沿、溢流坝两侧等位置,水流相对集中,利于诱鱼。

鱼道出口要适应库水位的变动,当库水位变化时,既要保证出口有足够的水深,又要使进入鱼道的流量基本保持不变,使鱼道能连续运转。应远离溢洪道、厂房进水口等泄水、取水建筑物,防止进入水库的鱼被水流带回下游;应傍岸,出口外水流应平顺,流向明确,没有漩涡,以便鱼类能沿着水流和岸边线顺利上溯;应远离水质有污染的水域和有噪声的地方,方向应迎着水库的水流方向,便于下行鱼类顺利进入鱼道;高程要适应过鱼对象的习性,对于底层鱼类,应设置深潜的出口,对于幼鱼、中上层鱼类,可设置在水面以下1.0～1.5m处。

5.2　鱼道类型选择

根据国内外鱼道类形研究情况及同类工程鱼道建设经验,鱼道一般分为工程形和近自然形。工程形包括丹尼尔式、池堰式、竖缝式、潜孔式等;近自然形包括坡道式、旁通式、副坝式等[8-9]。考虑到鱼道过鱼种类较多、水位变化较大等特点,东台子水库鱼道类形选用隔板形的单侧竖缝式,其不仅适用于喜好不同水深的洄游鱼类,也能够有效减少鱼道内的泥沙淤积。

5.3　鱼道总体布置

综合以上因素,同时兼顾经济性及方便运行管理,东台子水库鱼道进口设置在电站尾水下游,为适应较大的水位变幅,设置2个进口,底高程分别为634.05m、633.05m,并设置闸门及启闭设备。鱼道设置2个出口,均位于大坝右岸上游,并设置闸门及启闭设备,出口底高程分别为668.00m、670.00m,鱼类洄游期间该水位保证率可达到85%。鱼道总体布置见图2。

5.4　鱼道结构尺寸确定

依据《水利水电工程鱼道设计导则》(SL 609—2013)[10],初步拟定鱼道尺寸,通过物模和数模分析,最后确定鱼道池宽1.20m,池长1.50m,竖缝宽度0.18m,坡比0.0286,鱼道总长度为2065.00m。鱼道结

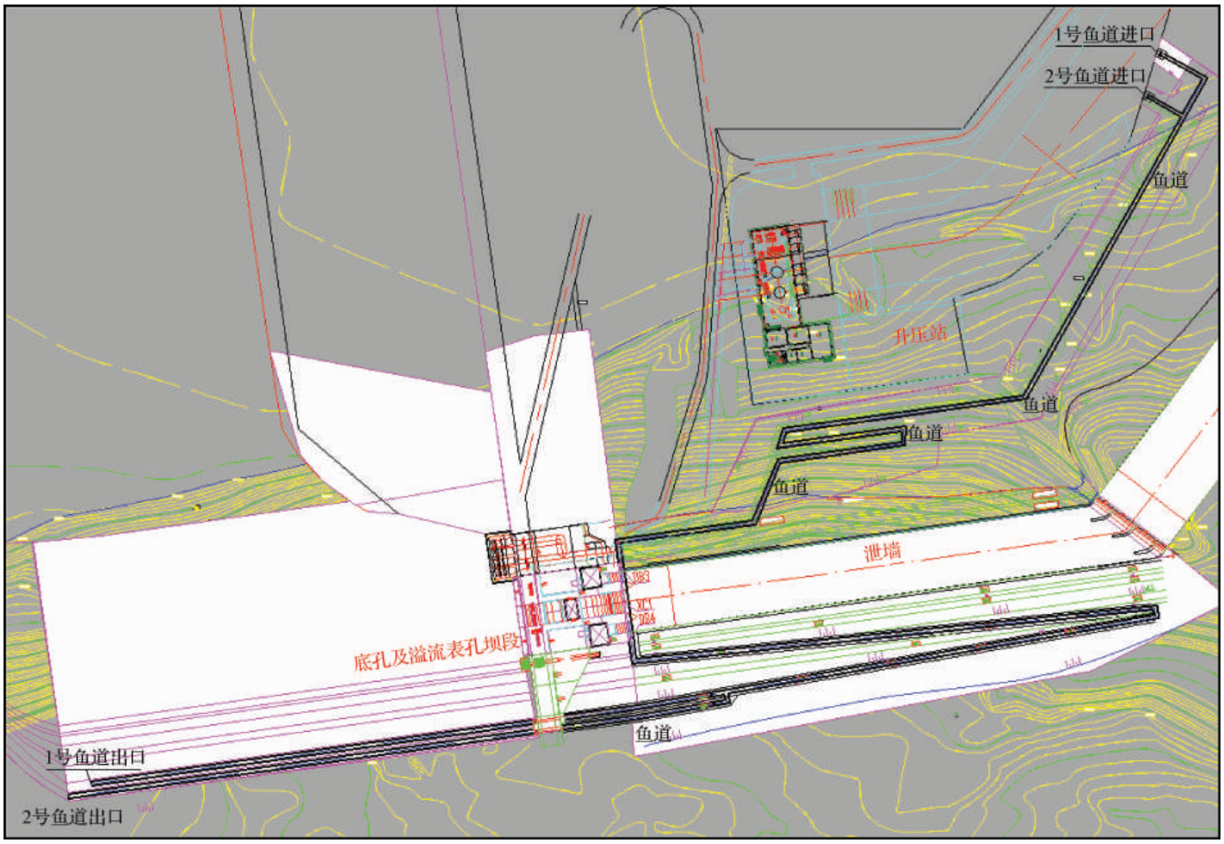

图2 鱼道总体布置

构见图3。

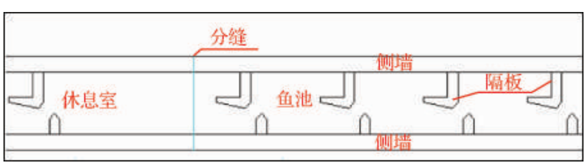

图3 鱼道结构

6 结 语

针对西拉木伦河鱼类组成特点及分布状况,通过掌握鱼类的生长、活动及繁殖等习性,采取水库生态调度、鱼类增殖放流站及鱼道建设等保护措施,可有效减少水库工程建设对鱼类生境的影响,对促进流域受影响鱼类资源的恢复及可持续改善具有重要意义。◆

参考文献

[1] 杜兴兰,侯建华,陈咏霞,等. 塞罕坝国家级自然保护区野生鱼类资源与保护对策[J]. 湿地科学与管理,2017,13(2):44-46.

[2] 黄亮. 水工程建设对长江流域鱼类生物多样性的影响及其对策[J]. 湖泊科学,2006,18(5):553-556.

[3] 陈求稳,张建云,莫康乐,等. 水电工程水生态环境效应评价方法与调控措施[J]. 水科学进展,2020,31(5):793-810.

[4] 齐桂花. 讨赖河生态水量调度及预警方案研究[J]. 中国水利,2021(15):32-33.

[5] NB/T 35037—2014 水电工程鱼类增殖放流站设计规范[S]. 北京:中国电力出版社,2014.

[6] 孔桂芹. 浅谈鱼类增殖放流对河道水体的影响[J]. 水资源开发与管理,2017(12):35-38,27.

[7] 张东亚,牛天祥. 水电工程鱼类增殖放流站工艺设计[J]. 西北水电,2010(4):9-13.

[8] 周鹏,周殷婷,姚帮松. 水利水电开发中鱼道的研究现状与发展趋势[J]. 水利建设与管理,2011,31(7):40-43.

[9] 王然. 鱼道规划设计研究进展[J]. 水利建设与管理,2012,32(5):11-13,47.

[10] SL 609—2013 水利水电工程鱼道设计导则[S]. 北京:中国水利水电出版社,2013.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV. 2022.1.11

县域智慧水利建设实践

甄世森[1]　吴　浩[2]

(1. 寿光市水利局,山东 寿光　262700;
2. 中国水利水电科学研究院,北京　100048)

【摘　要】 连续两年的极端暴雨天气使山东省寿光市遭遇了严重水患,暴露了水利信息化建设中的短板。为此,本文结合山东省寿光市水利信息化现状和实际需求,从建设目标及建设原则入手,详细介绍了寿光市依托大数据、物联网、地理信息系统等新一代信息技术搭建的智慧化平台总体框架及功能,实现了域内水利工程的动态监管、河道防汛的实时管护及对公众的信息服务,为智慧水利在县域的实现提供了技术支撑。

【关键词】 县域智慧水利;总体架构;功能应用

中图分类号:TP311.5　　文献标志码:B　　文章编号:2096-0131(2022)1-051-07

Practice of County-level Smart Water Conservancy construction

ZHEN Shisen[1], WU Hao[2]

(1. *Shouguang Water Conservancy Bureau*, *Shouguang* 262700, *China*;
2. *China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, *Beijing* 100048, *China*)

Abstract: The extreme rainstorm weather for two consecutive years has caused severe flooding and exposed many shortcomings in ShouSuang City of shandong in Shouguang City. Therefore, based on the current situation and actual demand of water conservancy informatization in Shouguang City, Shandong Province, starting with the construction objectives and principles, this paper introduces in detail the overall framework and functions of the intelligent platform built by Shouguang City relying on the new generation of information technologies such as big data, Internet of Things and geographic information system. It realizes the dynamic supervision of water conservancy projects in the region, real-time management and protection of river flood control and information service for the public, and provides technical support for the realization of Smart Water Conservancy in the county.

Key words: County-level Smart Water Conservancy; overall architecture; function application

智慧水利是以新一代信息技术为支撑的一项复杂系统工程,在顶层设计的指导下,需立体化多维度地进行统筹集约化建设。根据《智慧水利总体方案》总体规划和网络安全架构,智慧水利建设涉及多个层级,其中县级网络节点(县域智慧水利)属于智慧水利业务网的下层和末端,扮演业务系统基础用户角色。

县域智慧水利的构建以物理基础设施建设和水利业务信息服务为主,通过水情、工情、视频、水质等感知网及传输支撑网络、数据管理中心等基础设施的建设,实现县域内水务行政部门各类水业务信息的互联互

收稿日期:2021-09-16

作者简介:甄世森(1968—),男,工程师,主要从事工程建设管理和水利信息化等方面工作。

通，为管理者和公众提供可知可视的水信息服务，助力上层智慧水利全网态势感知和区域性决策指挥，使顶层达到“智能应用”的目的。因此，县域智慧水利是智慧水利体系建设的“神经末梢”和“感知神经元”，是实现智慧水利顶层规划的基础和重点。

本文结合山东省寿光市水利信息化现状和实际需求，从建设目标、总体框架和功能设计等方面详细介绍了寿光市智慧水利公共服务平台，以期为类似县域智慧水利建设提供经验和参考。

1　现状及需求分析

2018 年、2019 年连续两年汛期的极端天气，使山东省尤其是地处多条河流下游的寿光市遭受了严重水患，究其原因是水利设施严重不足、水利工程严重欠账。为此，寿光市按照“根治水患，防治干旱”的要求，统筹全域治水患，持续开展水利工程建设，同时，开发建立了寿光市重点水利工程质量管控系统，对建设会战中重点水利工程建设进行全过程控制，实现工程建设过程资料的收集、审核及查询等功能。

为进一步提升信息技术在汛期对于河湖运行管护、工程建设管理和应急物资调控等的支撑保障，亟需构建统一的寿光市智慧水利公共服务平台。在智慧水利顶层设计下，一是坚持统筹规划、协调推进，统一技术架构、强化资源整合、促进信息共享；二是实现全市范围内弥河、丹河、尧河、东西张僧河、小清河等重点河流防洪治理、水毁桥梁新建及维修加固工程等重点水利工程建设质量管控体系的信息化；三是实现弥河、丹河等事关生产发展、生活安定、生命安全的重点河流防汛管控体系的数字化；四是实现重要河道巡查监督体系的移动化。通过统一规范的技术标准和安全可靠的保障体系，全面提升水利综合管理能力，有力推动水利现代化建设。

2　建设目标和原则

2.1　建设目标

寿光市水利局深入贯彻落实党中央、国务院关于加快灾后水利薄弱环节建设的决策部署，按照新时期防灾减灾救灾工作“两个坚持，三个转变”的新理念、新要求，积极谋划，针对连续两年汛期防灾减灾暴露出的短板和问题，全域统筹、长远规划、系统治理，坚持问题导向，打造完整的、覆盖全市重点河流防汛相关业务和部门的数据中心，为全市重点河流防汛指挥工作提供辅助决策支撑。

重点建设 1 个智慧水利公共服务平台，包含重点水利工程质量管控系统、重点河流防汛管控系统、视频监控系统、统一查询系统 4 个子系统，1 个智慧水利小程序和 1 个智慧水利 APP，从而实现寿光市重点水利工程建设过程质量管控，重点河流防汛应急信息维护及查询，弥河、丹河监控实时查看等功能目标。

2.2　建设原则

当前新一代信息技术蓬勃发展，新设备新手段不断涌现，系统平台的建设要慎重选择平台架构、网络通信和采集感知设备及相应技术，既要保证设备和技术的先进性，也要有利于未来平台的业务扩展和升级换代，避免资源浪费和重复建设[3]。为满足实际应用，平台架构主要遵循以下几项原则[3-6]：

a. 技术先进、稳定可靠。系统可靠性是系统长期稳定运行的基石，平台从设计理念到架构搭建，秉承着系统可靠性原则，采用成熟的技术对系统进行建设，具备较高的可靠性、较强的容错能力。

b. 兼容度高、扩展性强。平台充分考虑扩展性，采用标准化设计思维，严格遵循水利部智慧水利要求和行业标准，确保平台的系统之间的透明性和互通互联。

c. 顶层设计、分步实施。全面、系统地规划设计总体框架，提出总体思路和建设目标要求，明确路线图和时间表，分步实施，协调推进。

d. 综合分析、安全至上。综合考虑设备安全、网络安全和数据安全，采取可靠手段杜绝非法访问、入侵或攻击行为。

3　总体架构与平台功能

3.1　总体架构

3.1.1　架构设计

以智慧水利总体方案为纲，按照寿光市智慧水利公共服务平台的建设规模和功能需求，充分整合硬件设施与软件系统，搭建完整、标准、结构化的智慧水利

平台,包括数据层、服务层、通信层、应用层、用户层,具体见图1。

图1　寿光市智慧水利公共服务平台技术架构

数据层主要指数据库的物理存储及数据管理操作。物理存储数据有工程项目数据、地理信息数据、水文数据、水雨情数据、工程管理数据、应急防汛数据及运行管理数据等;数据管理操作是对上述元数据进行编辑、导出、转换、更新、编辑、入库等。服务层是对数据层进行服务封装,通过数据及信息服务引擎实现对外部数据的服务功能。通信层是服务层与应用层间的桥梁,在服务层基础上提供数据传输的统一接口。应用层是指面向用户提供具体的应用系统层,包括 Web、APP、微信小程序的各类应用。用户层针对的是整个平台硬件、数据及软件的所有参与者的使用和维护。其中,寿光市智慧水利公共服务平台在5层架构基础上,对安全系统和终端接口进行了重点设计。

3.1.2　安全系统设计

实用、安全是水利信息化网络的基本要求,为保证数据和系统安全,平台设计了备用数据库和系统维护策略,从数据安全和系统安全两方面做好平台安全工作。

a. 数据安全:定期建立数据库备份,一旦服务器数据库被破坏,可以使用最近的一份数据库副本进行还原。为防止服务器故障,可预备一台服务器,形成“一主一备”模式,只要主服务器出现故障,可以迅速启动预备服务器运行系统。

b. 系统安全:在基础数据维护方面,对于一些基础数据,由超级管理员进行维护。在数据库备份和恢复方面,利用 SQLServer2005 自身提供的备份和恢复功能实现数据库备份恢复。在系统升级维护方面,分阶

段对用户使用效果进行调查，根据调查结果，筛选用户提出的功能要求，对于合理的要求予以采纳，并安排人员对系统进行修改和完善。

3.1.3　终端系统及接口设计

接口是两方之间数据交互的一个标准，平台综合考虑技术、成本、性能等因素，定义了用户接口、外部接口和内部接口。

a. 用户接口：按窗口化、菜单式进行设计。

b. 外部接口：软件接口通过 jdbc 对接 mysql 数据库进行连接。对上接入上级省市雨情水文系统中的雨量、水文站等数据，对外部监控平台上传云平台数据，同时接入寿光市应急管理局平台部分数据。

c. 内部接口：通过面向对象语言设计类，在 public 类中实现调用，类间实现严格封装。

3.2　平台功能

应用系统是多系统的有机整合，是基于庞大数据基础之上的不同功能应用的集合[7]。智慧水利公共服务平台包含重点水利工程质量管控系统、重点河流防汛管控系统、综合查询系统、智慧水利小程序和 APP，分别实现了寿光市重点水利工程建设过程质量管控、重点河流防汛应急信息维护及查询、弥河和丹河监控实时查看、多元防汛信息关联搜索、移动巡河等功能。

3.2.1　重点水利工程质量管控系统

重点水利工程质量管控系统是在原工程质量管控系统基础上进行的整合升级，该系统的目的是对水利“大会战”中维修新建的桥、闸、涵洞、泵站、拦河坝和防洪墙等所有水工建筑物的工程质量、进度、安全三大核心要素进行管控[8]，系统界面见图 2。

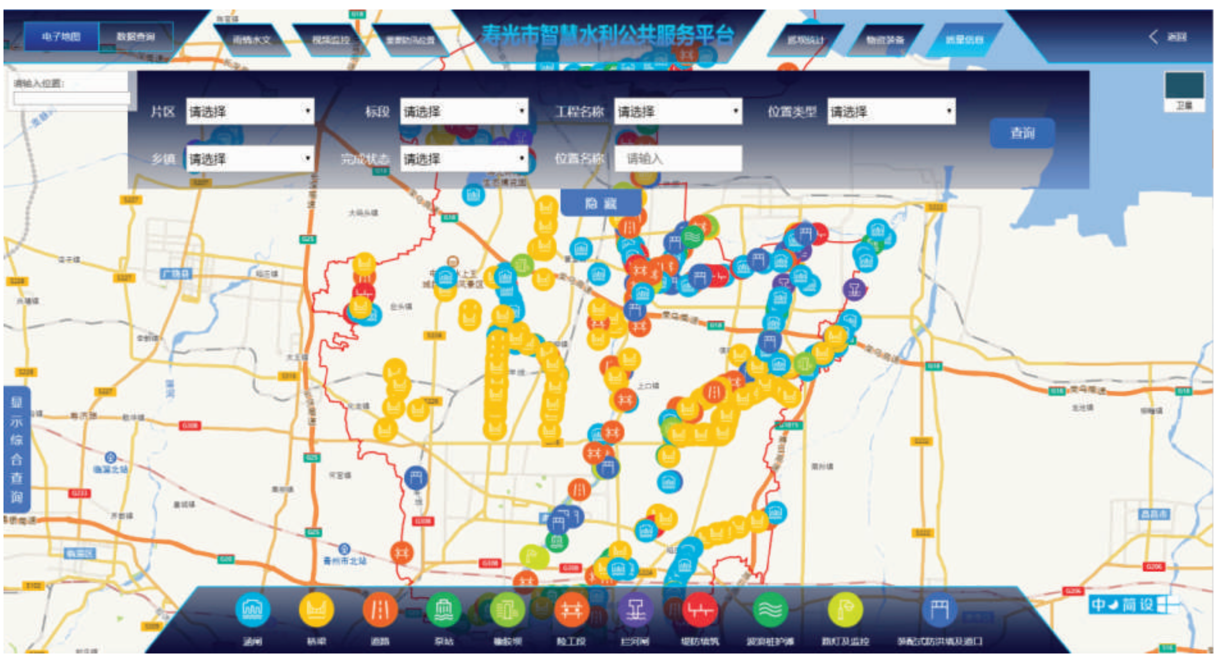

图2　重点水利工程分布

a. 项目管理。在寿光市电子地图上用不同颜色、符号将涵闸、桥梁、道路、泵站、橡胶坝、险工段、拦河闸、堤防、波浪桩护滩、路灯监控及装配式防洪墙等境内涉及的 11 类水利工程要素进行一张图显示，可按照片区、标段、工程名称、位置类型、乡镇、完成状态和位置名称等属性对以上水利工程的基本信息进行动态查询和管理，实现地图上展示、浏览、定位和查询等功能。

b. 质量信息管理。对各水利工程中涉及安全、质量、进度三大关键因素的制度文件、程序文件、图像视频等资料全部电子化，从开工至完工进行全生命周期的流程化管理。一个工程一张电子卡，从电子地图即可点选进入，电子卡片包含工程基本信息、参建各单位基本信息、安全管理体系和规章制度、质量管理体系和规整制度、施工过程电子化档案、各类专题会议资料及验收资料等。同时，设有问题追溯反馈模块，对施工中发现的问题进行全链条闭合管控。

3.2.2　重点河流防汛管控系统

经过应对连续两年严重水患，寿光市将汛期应急抢险所涉及人员、物资两大关键要素作为管控重点，构建覆盖境内全部河道的河流防汛管理系统，见图3。同时提供水雨情信息、应急预案和险情信息等各类实时服务，方便查看，为防汛应急工作提供数据支撑，辅助主管人员科学决策。

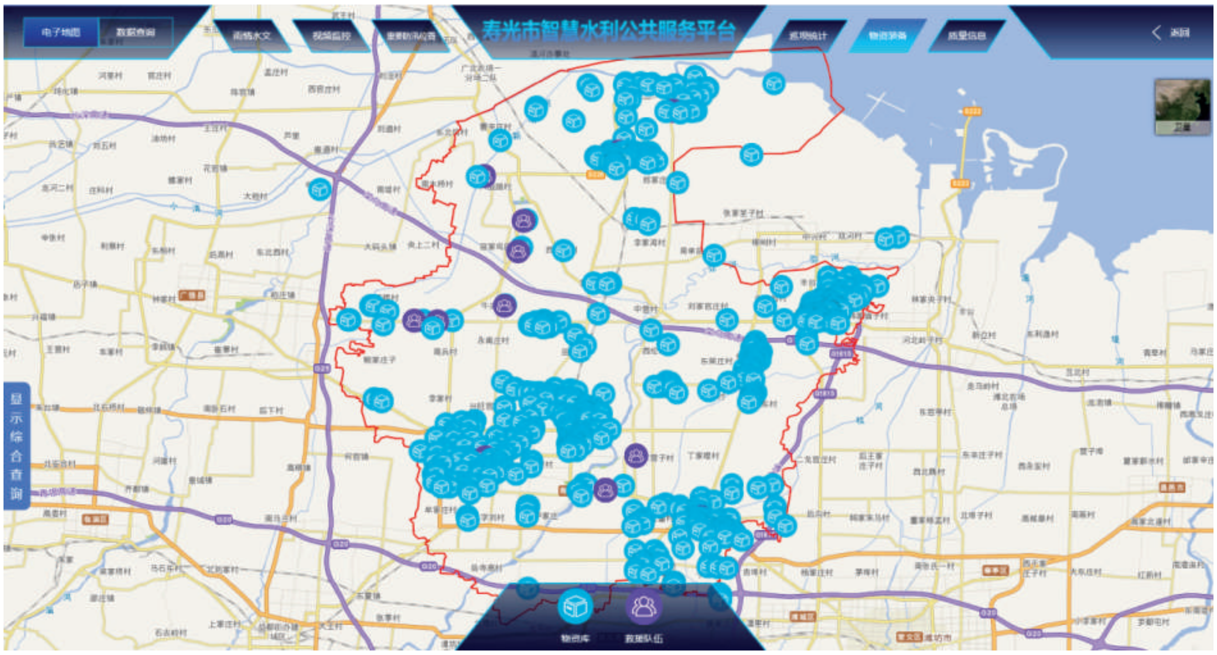

图3　人员、物资分布

a. 人员管理。在汛期和非汛期分别设定全市15条河道堤坝巡视检查范围、频次，实时在线显示人员在岗情况和巡视路线，巡视人员可在移动端通过图片或视频上传险情情况，并记录险情发生位置。管理人员可通过系统与现场人员对讲通话，即时展开险情处置及人员调度[9]。

如图4所示，通过电子地图点选，可进入人员管理卡片，显示队长信息、队伍人数及人员性质等队伍属性，系统自动统计堤防日常巡视检查队伍、人员、巡检情况报告，实时人员定位，确保相关责任人按时到岗。

b. 物资管理。防汛物资管理是险情处置的重要保障，系统显示了境内全部防汛物资点，对所有的物资装备均建立了流水台账（见图5），可实时查看各物资储备库防汛物资使用情况，根据险情发生和未来发展情况，实现系统内物资装备的补充调度。

c. 水雨情信息服务。通过本地新建、接入上级、调用同级3种方式完善境内水雨情数据，快捷提供河道各处实时水位、雨量信息，并可查询年度汛期至近1h的水雨情数据特征值。

3.2.3　综合查询系统

综合查询系统是依托平台电子地图，承继上述两大业务系统中的全部资料，统一整合水雨情、工情、视频、防汛应急等数据，在平台上通过多种筛选条件直观高效查询各类信息。

a. 综合查询，将境内河道、水利工程等分为670个关键控制点，一站式综合查询各控制点的人员、物资装备、视频监控、水雨情信息、工程质量信息、应急预案等，见图6。

b. 巡坝统计，主要承继了重点河流防汛管控系统中的人员队伍信息，可实现考勤的查询、统计、汇总，险情处置闭合和巡坝人员等信息浏览，对相关责任人履职尽职情况进行考核。

c. 物资装备，主要承继了重点河流防汛管控系统中的物资装备信息，此处将物资装备分为临设的沿河物资点和应急管理局长设的储备库两类，方便查询调用。

图4 人员在岗状态

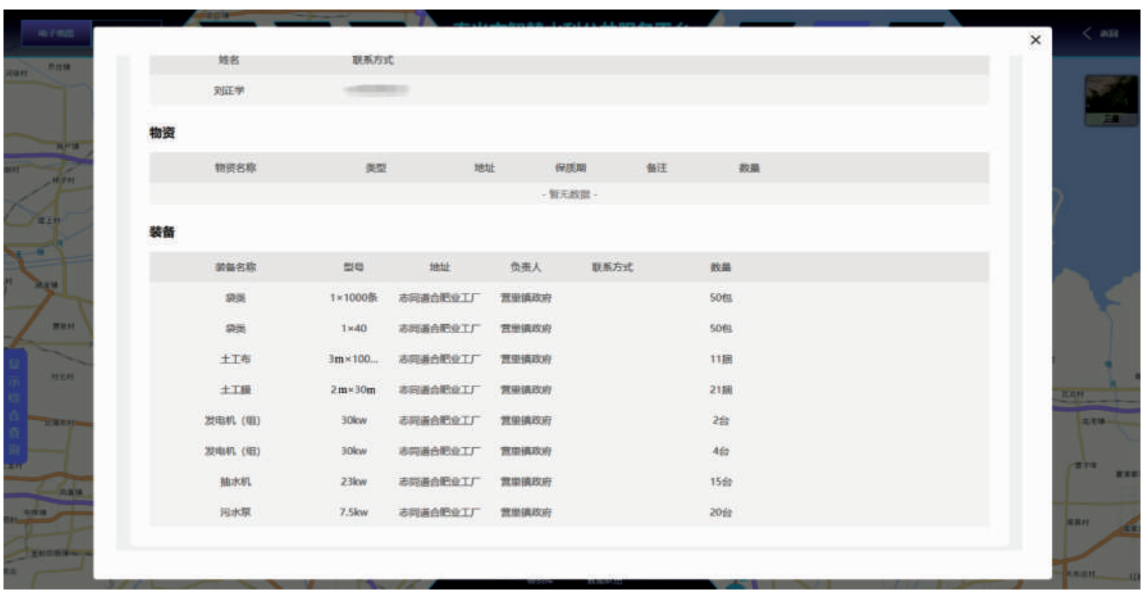

图5 物资装备储备情况

d. 应急预案,根据"一河一策"的相关规定,将境内相关的12条河流渠道应急预案电子化,满足应急查询响应的需要。

e. 雨情水文,综合统计了所有水雨情监测点的数据,可进行实时水位、雨量过程线及特征值统计。

f. 质量信息,整合质量管控系统数据,按片区、标段、工程名称、位置、完成状态等多属性列表查看工程质量情况。

g. 视频监控,新建视频监控系统,实现重要河流监控全覆盖,可通过电子地图点击视频监控点进行实时查看,且可以回访历史录像,同时具备球机的远程控制功能。

h. 重要防汛位置,穿堤涵闸、强排泵站、路口缺口、拦河闸坝等重点防汛位置在电子地图上总体呈现,并可进一步显示所属区划、责任单位、责任人和防汛物资装备等信息。同时,对沿河各类应急防汛物资储备库集中展示,辅助应急调度。

3.2.4 智慧水利移动端

针对汛期险情来得快、响应要求急的特点,开发了与平台关联的智慧水利小程序和APP,实现随时随地

图 6　综合查询系统服务

移动办公,平台用户交互多元化。智慧水利小程序接入了综合查询中的水雨情信息、工情信息、应急预案和物资储备信息以及工程质量管控系统中的安全检查、各类规章制度信息,实现全市水利基本数据的查看。智慧水利 APP 主要作用是实现河道巡视检查的智慧化,强化落实巡视检查责任。通过 APP 可记录巡检时间、参与巡检的人员及巡检轨迹,并可通过移动端即时上传险情图片影像资料、文字描述及地图标注准确位置。移动端的使用极大地提升了工作的灵活性,提高了应急响应效率和协同工作能力[10]。

4　结　语

十四五期间,我国水利将继续坚持科技引领和智慧赋能,提高水资源智慧管理水平,提升防灾减灾能力。本文以寿光市智慧水利公共服务平台为例,介绍了县域智慧水利的建设实践,立足自身需求,坚持问题导向,建立了一套可视化、数字化、信息化的综合服务平台,促进了寿光市县域水利信息化的发展,提升了工程建设管理能力和防汛减灾能力,初步进入了智慧水利初级阶段。寿光市智慧水利公共服务平台将区域内河流、水工建筑物、水利信息感知设备及人的行为、物的状态进行了数字化融合,实现了水利信息在电子地图上应用展示,推动了工程建管和防汛减灾工作的精细化管理,提高了信息共享和综合应用水平。同时,采用移动设备和互联网技术对重点工程、河道进行管护,用科技的手段压实责任,使水利事务参与者能够及时、高效地完成工作和调度。这种需求为先、急用先建的县域智慧水利建设模式可为类似县域智慧水利的建设提供经验和参考。

参考文献

[1] 蔡阳. 智慧水利建设现状分析与发展思考[J]. 水利信息化,2018(4):1-6.

[2] 沈戈,沈连起. 智慧水利建设现状分析与发展思考[J]. 水利信息化,2018(4):1-6.

[3] 徐健,李国忠,徐坚,等. 智慧水利信息平台设计与实现——以福建省沙县智慧水利信息平台为例[J]. 人民长江,2021,52(1):230-234.

[4] 李扬,颜蔚,汤炜. 精细化智慧水利信息平台的应用实践[J]. 水资源开发与管理,2021(4):55-58,38.

[5] 于鹏,宋庆健,方政. 泰安市水文视频会商系统应用实践与探讨[J]. 水资源开发与管理,2021(5):76-80.

[6] 田力. 基于物联网技术的白龟山水库综合信息化管理系统[J]. 水资源开发与管理,2021(6):63-67.

[7] 周蕴,丁瑶,张亚玲. 北方地区智慧流域业务应用建设构想[J]. 水利信息化,2020(3):10-15.

[8] 王来印. 信息化在水利工程施工管理中的应用[J]. 水利建设与管理,2020(10):63-66.

[9] 马顺,薛翠东. 新型基层防汛直观显示系统的设计与应用[J]. 水利建设与管理,2021(9):59-65.

[10] 袁楠,闫长位,姚亮. 多终端协同的河长制信息系统实现[J]. 水利建设与管理,2021(9):66-70.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.1.12

基于Neo4j的水资源调度业务信息图数据库构建研究

杨素花　杨　洁　祝　琴

(北京市智慧水务发展研究院,北京　100036)

【摘　要】 北京市水资源调度是保障北京城市生活、生产、生态用水的基础保障工作,自南水北调水进京后,在调度业务工作中产生了大量的调度信息,为使信息被更好地存储及发挥更大的价值,基于北京市五水(地表、地下、外调、再生、雨洪)调度业务流程,梳理北京市水资源调度工程对象、调度实施单位等实体数据,构建实体节点、关系,研究基于Neo4j图数据库的水资源调度实体节点、关系以及属性的设计、存储及查询应用。研究表明,Neo4j图数据库对于水资源调度信息管理具有有效的数据分析意义。

【关键词】 图数据库;水资源调度;Neo4j;信息管理

中图分类号:TV213.9　　文献标志码:A　　文章编号:2096-0131(2022)1-058-05

Research on the construction of water resources dispatching business information map database based on Neo4j

YANG Suhua, YANG Jie, ZHU Qin

(*Beijing Smart Water Development Research Institute*, *Beijing* 100036, *China*)

Abstract: Beijing water resources dispatching is the basic guarantee work to ensure Beijing's urban life, production and ecological water use. Since the South-to-North Water Transfer Project entered Beijing, a large amount of dispatching information has been generated in the dispatching business. In order to make the information better stored and exert greater value, based on the business process of Beijing Five Waters (surface, underground, external transfer, regeneration, rain and flood) dispatching, this paper combs the entity data of Beijing water resources dispatching project objects, dispatching implementation units and so on, and constructs entity nodes and relationships. This paper studies the design, storage and query application of water resources dispatching entity nodes, relationships and attributes based on Neo4j graph database. Finally, the research shows that the Neo4j graph database has effective data analysis significance for water resources dispatching information management.

Key words: graph database; water resources dispatching; Neo4j; information management

北京市南水北调水进京后,形成了外调水、本地地表水、地下水、再生水、雨洪水五水共济的水源保障和供水体系。截至2020年底,利用南水北调中线水累计超61亿m^3,直接受益人口1300多万。在五水调度的业务工作中,通过北京市南水北调智能调度、水资源统一调度平台等信息系统的建设,积累了大量的信息资

收稿日期:2021-09-22

作者简介:杨素花(1986—),女,高级工程师,硕士,主要从事智慧水资源设计及实施工作。

源,形成了体系化的水资源调度业务数据,包括结构化数据:配置信息、调度水量信息、调度指令信息;非结构化数据:调度规程、调度方案,以及各实体对象的关系数据。为了更好地发挥数据价值,梳理分析水资源调度关系,构建基于图数据库的数据、关系存储,实现调度信息的可视化展示及关系分析,为下一步水资源知识图谱构建提供数据基础。

1 Neo4j 图数据库概述

业务信息存储体系选择时需考虑知识可靠、可融合、可应用等问题,为表示多样性、复杂化的水资源调度业务,选用 Neo4j 图数据库作为存储体系[1]。Neo4j 图数据库是一种高性能的图形数据库,它是可以将结构化的数据保存在网络中,而不是关系数据库中的数据表中[2]。

1.1 Neo4j 应用

1.1.1 灵活性和适用性

传统的关系型数据库通过多张数据库表来存储结构化数据,当数据的关系复杂时,需要关联查询多张数据库表,数据应用服务较为繁琐和低效。而 Neo4j 图数据库是通过图结构的方式进行数据存储,对于关联数据的存储优势较为明显,可以直接表现数据的关联性,不需要进行复杂的关联操作,提高了数据存储和检索性能[3]。而且随着业务的调整,避免了传统数据库的重构导致建设成本增加等问题,因为 Neo4j 图数据库采用非结构化的图数据格式,它具有很好的可扩展性,只需要根据需求的调整进行节点、关系以及属性的调整,不会影响原有数据信息的正常使用[4]。

1.1.2 图结构存储

对于水资源调度业务,由于调度规程的复杂性,需要对调度工程、调度实施单位等实体对象进行关联,因此选择适合表示实体对象之间关系的数据库,存储相关的关系信息,更有利于多水源联合调度的数据挖掘。传统的关系型数据库采用表结构的方式存储数据,不能很好地存储关系信息,Neo4j 就很好地解决了这种问题,可以将数据存储在灵活的网络结构中而不是表格中,具备了完整的数据库特性,实现了专业数据库级别的图数据模型存储[5]。

1.1.3 图遍历式查询

Neo4j 存储的是一种原生的图数据,它使用图遍历的算法进行数据查询,从一个节点开始,按照之间的关联关系查询所有与它有关系的节点和属性。而在传统的关系型数据库中,数据库的查询会通过大量的数据进行检索查询,很多数据的检索与结果并无关系,在复杂的水资源调度业务和数据量较大的水资源监测数据场景下,传统数据库的查询性能不能很好地支撑应用。应用 Neo4j 图数据库可以极大地提高查询效率,查询速度是传统关系型数据库的数倍[6]。提高查询效率的同时也可以对 Neo4j 图数据库的查询语言进行扩展,使其可以进行模糊查询,有效解决了水资源调度业务中的模糊查询相关应用需求[7]。

1.1.4 图论算法支持

由于 Neo4j 是一个基于图论算法,完全兼容 ACID 的图形数据库[8],在基于 Neo4j 的应用中,可以根据设计选择相应的图操作算法,为业务应用提供更深入的挖掘和操作,这些是传统的关系型数据库所不具有的优势。

1.2 Neo4j 存储模型的模块

1.2.1 节点

节点(Node)即实体对象,可以分为起始节点和终止节点,并且两个节点通过关系进行连接[9],节点相对于传统数据库中 E-R 图中的实体,主要通过实体的标签信息进行区别,节点可以包含属性信息或者不包含属性信息,属性信息是描述实体的信息,例如:表示水利工程调度的图数据库中,水库可以当作一个节点,可以包含多个属性信息。节点在图数据库中用圆圈表示。

1.2.2 关系

关系(Relationship)用于表示实体与实体间的联系,例如:调度实施单位与调度工程之间的关系是调度和被调度的关系。关系在图数据库中用箭头表示,关系可以是单向关系,也可以使是双向关系。

1.2.3 属性

属性(Property)用于表示节点或者关系的特征信息,属性通过 Key-Value (键值对)表示,节点可以设置

节点属性，关系可以设置关系属性，但是不能共享属性[10]，属性的键名是由字符串来表示，属性值可以用一个原始值表示，也可以用原始的数组表示。

2 水资源调度图数据库构建

2.1 构建流程

参照图数据库节点、关系及属性构建方法，结合水资源调度业务信息，在水资源调度图数据库构建过程中，主要包括数据梳理、图数据库构建、图数据库查询应用等流程，具体的流程见图 1。

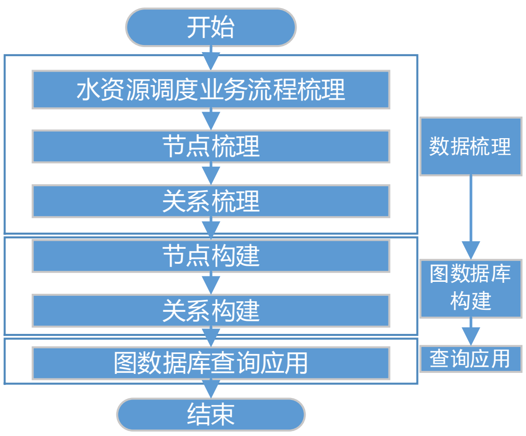

图 1 水资源调度数据库构建流程

a. 数据梳理。数据梳理主要包括水资源调度业务流程梳理、节点梳理、关系梳理。节点主要包括调度参与人、调度工程对象等节点；关系主要包括调度参与人与调度工程之间的关系。

b. 图数据库构建。图数据库构建主要包括节点构建和关系构建，在构建水资源调度节点和关系构建中进行属性的定义。

c. 图数据库查询应用。根据构建的水资源调度业务信息图数据库按需查询，实现查询结构的可视化展示。

2.2 数据梳理

本文中水资源调度数据库以北京市水资源调度相关规程为主要数据来源，包括调度参与人及其职责，调度工程对象以及调度实施单位与调度工程关系。

a. 调度参与人梳理。调度参与人主要包括总调度长、调度长、副调度长、执行副调度长、调度实施单位。

b. 调度工程对象梳理。调度工程对象主要包括自来水厂、再生水厂、管网、引水工程、输水工程、水库、河道、水利工程等。

c. 调度实施单位与调度工程关系。指各单位涉及的工程调度管理权属。调度实施单位工程调度管辖范围见表 1。

表 1 调度实施单位与调度工程关系

调度实施单位	调度工程
北京市自来水集团有限责任公司（供水运行调度中心）	第一水厂至第九水厂，田村山水厂、郭公庄水厂、城子水厂、长辛店水厂、平谷应急水源地、其他所辖郊区水厂等
北京城市排水集团有限责任公司（运营管理部）	城区所属再生水厂及管网等
北京京燕水利管理有限公司	张坊引水工程
北京京源水务有限公司	燕化管线输水工程、京源公司供水一部（原燕化田村水厂）
北京市南水北调调水运行管理中心	中线总干渠北京段、东干渠、南干渠、团城湖至九厂输水工程、团城湖调节池、密云水库调蓄工程
北京市官厅水库管理处	官厅水库
北京市密云水库管理处	密云水库
北京市十三陵水库管理处	十三陵水库
北京市城市河湖管理处	三家店水库、内城河湖等
北京市京密引水管理处	京密引水渠、怀柔水库、怀柔应急水源地、潮河总干渠
北京市永定河管理处	永定河、大宁调蓄水库、稻田水库、马厂水库、斋堂水库、苇子水水库等、五湖一线循环管线工程
北京市潮白河管理处	潮白河、引潮入城水源地
北京市北运河管理处	北运河
北京市凉水河管理处	凉水河
北京市东水西调管理处	东水西调工程、清河
区水务局	区管水厂、河道、水利工程等

2.3 图数据库构建

2.3.1 节点构建

水资源调度业务流程主要包括的节点有总调度长、调度长、副调度长、执行调度长、调度实施单位、调度工程。

其中“总调度长”节点的定义见表 2。

表 2　总调度长节点属性

属性名称	属性说明
name	总调度长名称
duty	描述总调度长主要职责

表 2 中“总调度长”节点定义了两个属性：总调度长名称和总调度长主要职责。通过命令创建了一个“总调度长”节点，节点名称为 n，标签为 ZDDZ，节点包含属性“name：总调度长”，“duty：负责决策重大水资源调度工作事项、年度用水计划和调配方案等，签发重要调度事项”。

create（n：ZDDZ{name：‘总调度长’，duty：‘负责决策重大水资源调度工作事项、年度用水计划和调配方案等，签发重要调度事项’}）。

根据各节点属性，应用上述 create 命令，定义调度长、副调度长、执行调度长。

2.3.2　关系构建

按照水资源调度业务数据挖掘及应用需求，根据调度业务现状，创建了 3 种关系：调度、调度需求申请、调度通知单。

a. “调度”关系：实施单位与调度工程，总调度长与调度长、调度长与副调度长、副调度长与执行调度长的关系为“调度”关系。

b. “调度需求申请”关系：实施单位与执行副调度长调度中心的关系为“调度需求申请”关系。

c. “调度通知单”关系：执行副调度长调度中心与实施单位的关系为“调度通知单”的关系。

部分构建结果示例见图 2。

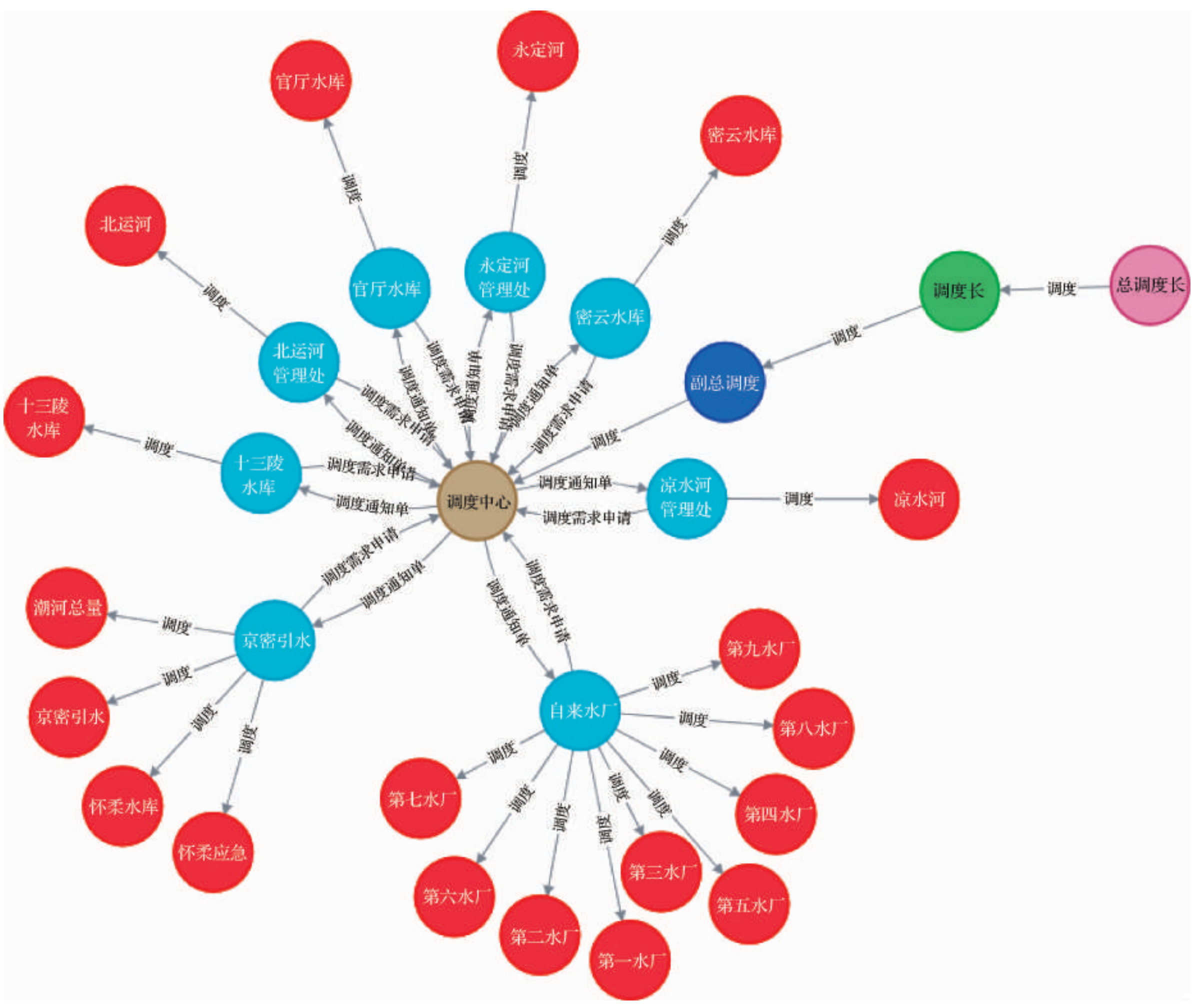

图 2　水资源调度图数据库构建结果示意图

2.4 数据可视化查询

图数据库查询具有较强的灵活性，对象关系查询结果可视化相对于传统数据库具有很好的应用效果。

例如：应用构建的水资源调度图数据库，查询京密引水管理处所调度的工程的方法如下。

查询语句：

MATCH（a：SSDW{name：'京密引水管理处'}）-[r：调度]-（b：DDGC）return a，b

查询结果见图3。

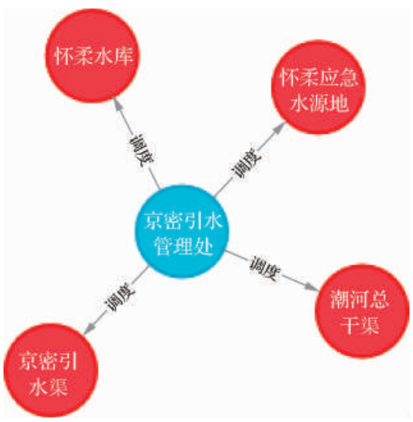

图3 水资源调度关系可视化查询结果示意图

查询结果导出见表3。

表3 关系查询结构

a	b
{name：京密引水管理处}	{name：潮河总干渠}
{name：京密引水管理处}	{name：怀柔应急水源地}
{name：京密引水管理处}	{name：怀柔水库}
{name：京密引水管理处}	{name：京密引水渠}

查询结果可以通过图表的方式展示，为业务应用提供友好的可视化服务，同时为数据资源管理提供可视化的操作页面。

3 结 语

Neo4j图数据库是目前挖掘实体关系较为优秀的图数据库，在实体关系挖掘方面及知识图谱构建等方面有着广泛的应用。本文采用Neo4j研究了水资源调度图数据库的构建方法，通过梳理业务信息，选取节点，定义关系及属性，最后通过构建结果的查询，非常便捷地实现了水资源调度业务信息的按需查询及可视化展示，这为后续水资源调度知识图谱的构建、调度预案的智能推荐以及调度智能问答提供了有效的数据支持及指导方法。◆

参考文献

[1] 尹梓名，杜方芮，赵紫彤，等. 基于临床指南的知识图谱构建技术研究[J]. 软件，2020，41(9)：178-184.

[2] 郝培豪，高洁. 基于Neo4j图数据库的警务安保知识图谱可视化分析[J]. 现代计算机（专业版），2018(35)：8-11.

[3] 陈建峡，黄煜俊，曹国金，等. 基于知识图谱的司法案件可视化研究与实现[J]. 湖北工业大学学报，2019，34(5)：72-77.

[4] 姜惠娟，郭文龙. 基于Neo4j的药膳方图数据库设计与优化[J]. 中央民族大学学报（自然科学版），2019，28(3)：48-55.

[5] 赵凯，王华星，施娜，等. 基于Neo4j桂枝汤类方知识图谱的研究与实现[J]. 世界中医药 2019，14(10)：2636-2639，2646.

[6] 麻天，余本国，宋文爱，等. 基于知识图谱的学生信息管理数据库设计与优化[J]. 计算机时代，2020(12)：25-28.

[7] 李雪. 一种基于Neo4j图数据库的模糊查询研究与实现[J]. 计算机技术与发展，2018，28(11)：16-21.

[8] 靳永超，吴怀谷. 基于Neo4j处理大数据中元数据溯源的研究[J]. 现代计算机（专业版），2015(8)：61-64.

[9] 宫法明，李脩然. 基于Neo4j的海量石油领域本体数据存储研究[J]. 计算机科学，2018，45(S1)：549-554.

[10] 王飞，易绵竹，谭新，等. 基于Neo4j对涉藏领域本体的存储方法研究[J]. 郑州大学学报（理学版），2019，51(2)：60-65.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.1.13

赵山渡引水渠系沿线美化及管理提升的探讨

上官伟伟　周贤其　王金碗

（浙江珊溪水利水电开发股份有限公司，浙江 温州　325200）

【摘　要】 温州市赵山渡引水渠系承担着温州市80%的生活生产供水任务，随着温州乡村振兴工作的不断深入，如何将引水渠系融入到沿线的经济建设，以及通过技术、管理手段来提高沿线的安全防控能力便显得尤为重要。本文分析了温州市赵山渡引水渠系在沿线乡镇发展建设中存在的问题，据此提出了对渠系沿线进行美化提升、建设视频监控系统、强化内培外宣模式等建设性意见，旨在提高渠系沿线的安全防控能力，保障温州市原水供应的稳定性。

【关键词】 引水渠系；乡村振兴；美化提升；安保监控；建章立制

中图分类号：TV67　　文献标志码：B　　文章编号：2096-0131(2022)1-063-06

Discussion on beautification and management promotion along Zhaoshandu Diversion Canal

SHANGGUAN Weiwei, ZHOU Xianqi, WANG Jinwan

(*Zhejiang Shanxi Water Conservancy and Hydropower Development Co., Ltd., Wenzhou* 325200, *China*)

Abstract: Zhaoshandu Diversion Canal in Wenzhou bears 80% of the domestic and production water in Wenzhou. With the deepening of rural revitalization in Wenzhou, how to integrate the diversion canal into the economic construction along the route, and how to improve the safety prevention and control ability along the route through technology and management means are particularly important. This paper analyzes the problems existing in the development and construction of villages and towns along the Zhaoshandu Diversion Canal in Wenzhou City, and puts forward some constructive suggestions, such as beautifying and upgrading the canal, building video monitoring system, strengthening the mode of internal training and publicity, etc., in order to improve the safety prevention and control ability along the canal and ensure the stability of raw water supply in Wenzhou City.

Key words: diversion canal; rural revitalization; beautify and promote; security monitoring; establish rules and regulations

近几年，在国家乡村振兴战略的大背景下，各地乡镇建设得到了飞速发展，风貌焕然一新，一些早期规划建成的城乡配套大型引水设施同沿线乡镇发展的矛盾日益突出。为支持引水设施沿线乡镇的建设发展以及保障城乡生活生产供水安全稳定，需对这类大型引水设施因地制宜地采取美化提升措施，使其融入到当地

收稿日期：2021-09-01

作者简介：上官伟伟(1990—)，男，工程师，学士，主要从事水利水电运行管理工作。

的美丽乡村建设中。另外,还需积极改革创新管理方法,让老旧的引水设施跟上时代发展的步伐。

1 引水工程概况

温州赵山渡引水工程是以供水、灌溉为主,兼顾发电的综合利用的大(2)型水利工程,枢纽工程等别为Ⅱ等。渠系总长62.85km,其中,隧洞18条、渡槽10座、暗渠6处、倒虹吸13处,水工建筑物与道路交叉口30余处。引水工程通过调蓄上游珊溪水库(电站)下泄水量和拦引珊溪至赵山渡区间来水,经引水水库反调节,由输水渠系向温州、瑞安、平阳等市县城镇居民生活供水及工农业供水,年供水量为7.30亿m^3,约占温州市总用水量的80%,改善农田灌溉98.63万亩、经济林地16.54亩,并利用多余水量发电,以达到综合利用水资源的目的。

目前,赵山渡引水工程供水模式为单一水源单管线供水,是瑞安市区、平阳县城的唯一水源,一旦因为渠系突发事故导致供水中断,将极大地影响当地人民群众的生产生活。另外,由于引水渠系建设年代久远,其输水设施除隧洞外,主要采用大跨度的渡槽、暗渠等水工设施,横穿瑞安市的高楼镇、马屿镇、曹村镇、陶山镇、桐浦镇等地的重要景点及居住地。沿线乡镇的建设发展与大跨度水工设施的安全稳定运行及周边环境整治均有着相互促进又相互制约的关系。

2 当前渠系沿线存在的问题

近年来,随着国家对乡村振兴工作支持力度的不断加大,引水渠系同沿线村镇经济建设的冲突不断加深。据统计,2019年渠系沿线发生直接威胁引水建筑物安全的违规施工行为21起,存在渠系管理范围内种植农作物、倾倒垃圾、堆放杂物等行为。其中,有5处渠系管理保护范围内土地被违法堆(侵)占、搭建生产设施,扩(新)建道路、建设公共设施等,这些行为直接影响着渠系供水安全。

a. 管保范围内违章施工。随着经济的发展,当地政府、村镇基础设施建设项目与引水工程沿途输水渠道交叉施工或就近施工现象日益增多,且大多未经审批,擅自施工,存在较大安全隐患。

b. 已征土地遭违规侵占。引水渠系沿线建筑物均为开放式空间,处地偏远,工程已征土地和管保范围内存在载重车辆通行、停放,耕种作物、倾倒垃圾、堆放杂物等行为。

c. 现场情况无法实时掌控。引水工程线长、面广,沿线渡槽、暗渠等重要部位还未完全实现实时监控,无法24小时看守,存在安全隐患,不符合防恐安保要求。温州赵山渡引水管理处年均开展日常巡检350余次,但较多违章无法第一时间发现并制止,对破坏行为的责任人难以追查。

d. 政策处理难度大。市政府未制定引水工程保护条例,各级政府部门职责不明确,企业无执法权,工程建设如遇当地阻挠大的情况,政策处理难以开展。

3 提升措施

因此,根据引水渠系沿线安全管理现阶段存在的问题,总结提炼了4个方面的提升措施:ⓐ因地制宜,推进沿线美化提升;ⓑ全面布控,建设视频监控系统;ⓒ建章立制,强化内培外宣模式;ⓓ各司其职,建立政企联动机制。

3.1 因地制宜,推进沿线美化提升

渠系沿线管理范围的美化及安全管理提升大致可分为全封闭和半封闭两种模式。全封闭指用铁丝网、实体墙等方式对渡槽沿线进行封闭;半封闭则指在沿线通过绿化、景观建设对渠系的管理范围进行划分。两者对比情况见表1。

表1 全封闭与半封闭对比

封闭方式	全 封 闭	半 封 闭
封闭效果	全封闭可彻底阻隔外来人员干扰破坏,效果好	通过警戒方式,可阻隔大型机械破坏,效果较全封闭弱
美观度	视觉效果过硬,与周边环境不搭	通过植物措施,可融合周边环境
适用性	对地质条件要求较高	可因地制宜,适应性强

续表

封闭方式	全　封　闭	半　封　闭
政策处理难度	难度极大	难度较小
后期维护	因引水建筑物较长,栏杆、挡墙需定期投入大量资金维护	加强与当地村镇的沟通协作,大大减少维护成本
投资金额	前期投入大,后期维护成本高	投资金额适中

综合比较后,推荐对渠系沿线渡槽及暗渠等采用半封闭式模式,采用界桩作为管理边界的警戒线,区域内根据现场实际情况,局部区域可协调交由当地村、镇集体安排村民免费种植维护,种植作物及相关要求需当地村、镇集体统一备案至引水管理处;局部区域采用绿化处理,可融合周边环境,对引水建筑物的整体美化起到较好作用。

3.1.1　渡槽管理范围美化提升

3.1.1.1　现状

以高楼渡槽为例,高楼渡槽两侧埋有点式界桩,界桩间距为10m,有部分界桩被破坏;1～12号跨、39～40号跨两侧管理范围为开放式,管理范围地块高低不平,长满杂草;高楼渡槽13～34号跨已实行1.8m的塑钢丝网封闭,两侧管理范围内种植柚子树和桃树;高楼渡槽43～62号跨周边村民在管理范围内种植蔬菜、稻谷,并局部搭有瓜棚,影响巡检通行。

3.1.1.2　美化提升方案

经现场实地测量考察,结合与当地村两委沟通协调,确定提升方案为:高楼渡槽1～12号跨、39～40号跨:两侧管理范围为开放式,采取挖掘机整平,距离渡槽侧墙2.5m处浇筑巡检道路,巡检道路与侧墙间设置马尼拉草坪,保证巡检视线通畅及行走方便,巡检道路与管理范围界桩间土地种植枇杷果树。图1为管理范围美化示意图。

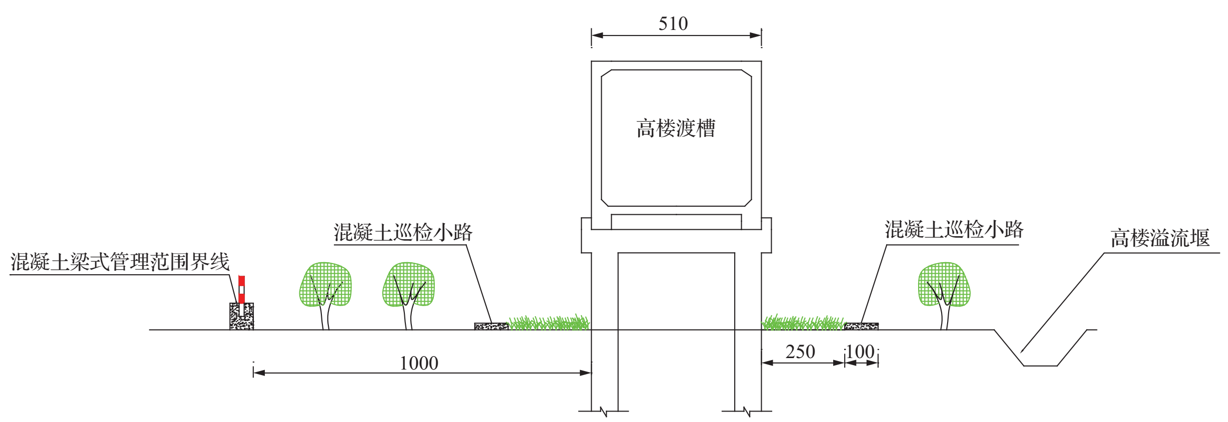

图1　赵山渡渠系高楼渡槽1～12号跨、39～40跨号管理范围美化示意图(单位:cm)

高楼渡槽13～34号跨:在该段距离渡槽侧墙2.5m处浇筑巡检道路,巡检道路与侧墙间设置马尼拉草坪。图2为管理范围美化示意图。

高楼渡槽35～38号跨:位于下泽溪河床中,不作美化。

高楼倒虹吸出口段:位于高楼镇玉溪村村头,对其进行整平,与政府美丽乡村相结合进行绿化,因靠近京屿公路,靠路边侧作路缘石隔断,管理范围通过乔木、灌木、草坪进行美化。

高楼渡槽43～62号跨:经全部整平后,左侧10m管理界线浇筑混凝土带式界桩,对该段距离渡槽侧墙2.5m处浇筑巡检道路,巡检道路与侧墙间设置马尼拉草坪。巡检道路与管理范围界桩间土地分块与村民签订协议种植蔬菜,只允许种植低于1m的蔬菜。图3为管理范围美化示意图。

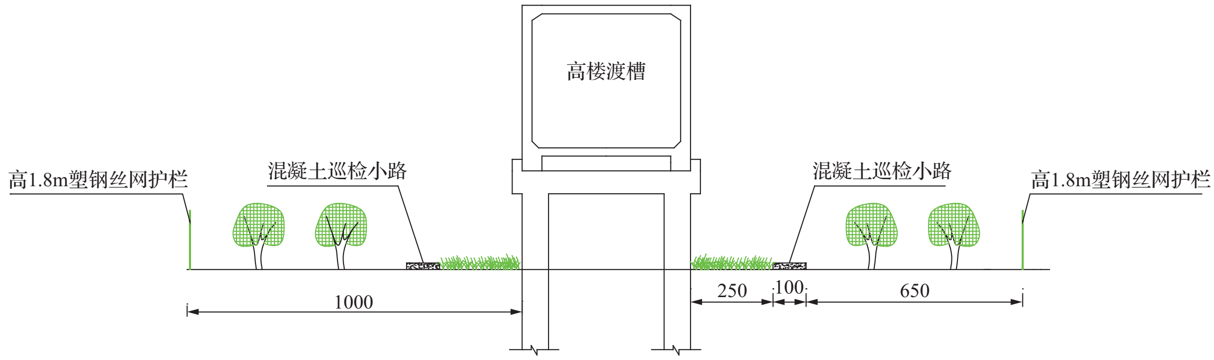

图 2　赵山渡渠系高楼渡槽 13～34 号跨管理范围美化示意图（单位:cm）

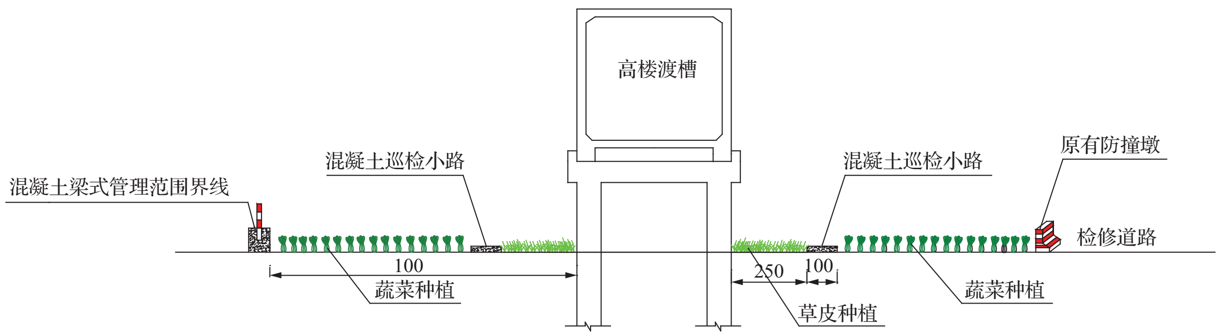

图 3　赵山渡渠系高楼渡槽 40～62 号跨管理范围美化示意图（单位:cm）

3.1.2　暗渠管理范围美化提升

由于林宅暗渠、马路坑暗渠、砚下暗渠、山南暗渠、盖竹暗渠背部均裸露在外,巡检人员可直接在暗渠顶行走巡检,无须浇筑巡检道路。因此,可把两侧管理范围整平,对两侧10m 管理界线浇筑混凝土带式界桩,靠暗渠侧墙2.5m 管理范围内设置草坪;剩余管理范围界桩间土地,结合实际情况采取多种模式管理及美化。以马路坑暗渠为例,依托当地政府美丽乡村建设,局部地段可由当地政府统一负责绿化美化及后期养护管理。图 4 为马路坑暗渠管理范围美化示意图。再以盖竹暗渠为例,分块与村民签订协议种植蔬菜,村民需义务对该区域内草坪进行日常养护。图 5 为盖竹暗渠管理范围美化示意图。

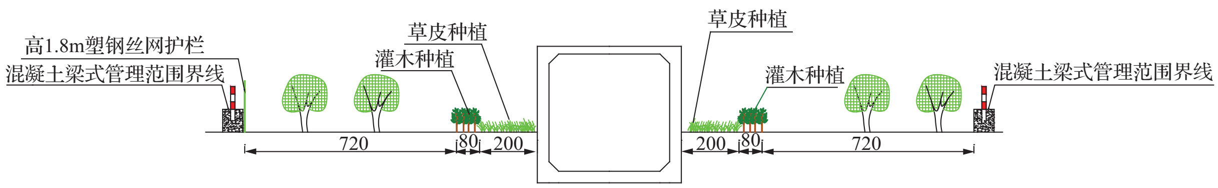

图 4　赵山渡渠系马路坑暗渠管理范围美化示意图（单位:cm）

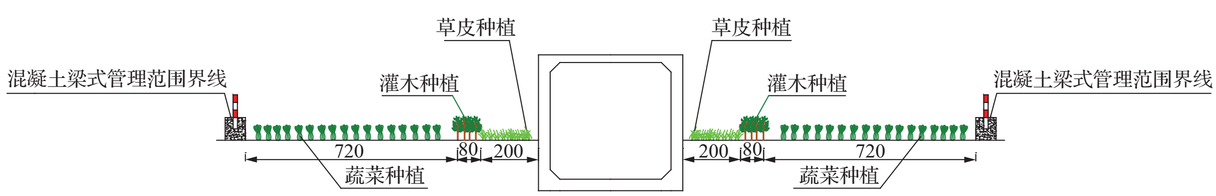

图 5　赵山渡渠系盖竹暗渠管理范围美化示意图（单位:cm）

3.1.3 倒虹吸管理范围美化提升

高楼倒虹吸、曹村1号与2号倒虹吸、焦坑倒虹吸、井头倒虹吸、沙门倒虹吸、桐溪倒虹吸、盖竹倒虹吸均与公路相交，两头为渡槽或暗渠，其美化与相邻渡槽、暗渠相同。

林宅倒虹吸、梅底倒虹吸位于河床中，均靠近闸站管理房，由闸站管理人员做好两侧的河床安全管理。

梅底暗渠、马路坑倒虹吸、湾前倒虹吸、山南倒虹吸均埋设在地面以下，在管理范围内倒渣、非法开挖、土地被占用等违章事件时有发生。采取的管理措施是：将上部及两侧管理范围整平，两侧10m管理界线浇筑混凝土带式界桩，建筑物顶部范围种植灌木形成边界，中间以草坪或麦冬绿化，两侧管理范围土地可出租给种菜大户或绿化苗木种植户，承包用户需义务对该区域内绿化进行日常养护；或管理范围土地与当地村相结合进行美丽乡村建设，见图6。

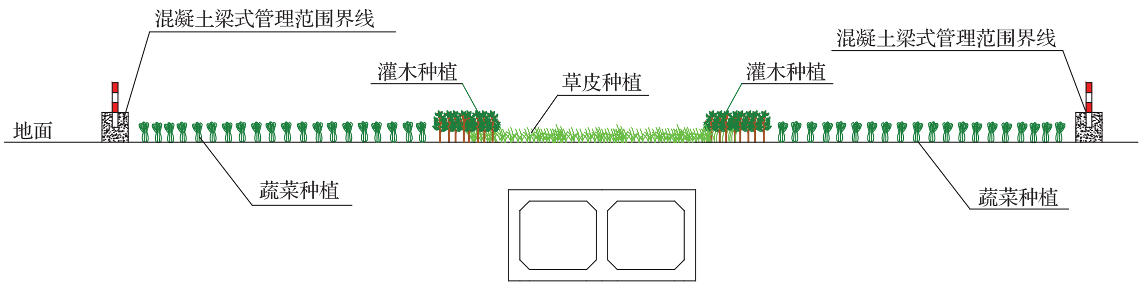

图6 赵山渡渠系湾前、山南、盖竹倒虹吸暗渠管理范围美化示意图

3.2 全面布控，建设视频监控系统

3.2.1 系统构架

视频监控系统由桐浦控制中心、各管理站存储节点和前端摄像机及传输设备网等组成。系统设计采用分布式存储方案，存储节点设置在沿线管理站，监控中心不进行集中存储，监控中心负责系统设备维护、管理、配置和调取前端摄像机监控画面，减轻传输设备和网络带宽的压力。传输网络采用环网架构设计，环网上的某一节点断开不会影响整体网络的通信，见图7。

3.2.2 系统功能特点

桐浦控制中心可对前端设备实施管理、控制，能够调取前端实时监控画面，同时对重要的录像进行备份、录像回放，录像保存时间达90天以上，确保满足反恐要求。中心平台预留有通信接口，用于和集控中心等上级平台的对接。

配置智能电源管理系统，集远程控制管理、电源智能分配及电力参数监测功能于一身，系统管理人员在前端设备出现无响应、死机等情况下，采用TCP/IP方式实现远程管控，对电源、电压/电量进行实时监测，有效减轻了系统管理人员的工作压力，降低了维护成本，最大限度地缩短了用电设备的故障排除时间。

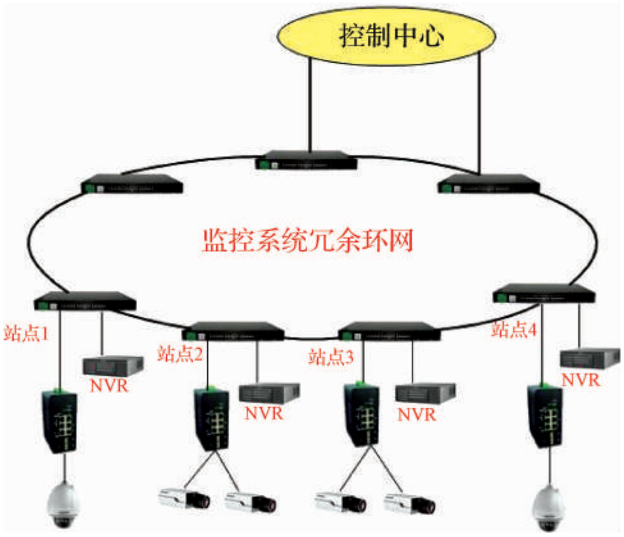

图7 监控系统环网设置示意图

3.2.3 传输线缆

视频监控系统中，视频信号的传输是整个系统非常重要的一环。由于各管理站地形条件复杂，传输距离较远，且大多位于夏季雷电高发区，为确保传输网络的稳定、可靠和视频传输的质量，光缆设计选用非金属加强芯的GYFTY型光缆，网线要求选用室外型双护套防水网线。

3.2.4 监控点位布置

渠系沿线监控范围包括明渠渠背及两侧、暗渠及渠系与道路的垂直交叉口。监控摄像机主要采用200万像素激光球型摄像机和200万像素全彩枪式摄像机。ⓐ明渠部分的摄像机采用两侧立杆方式安装,监视渠背和明渠两侧;ⓑ暗渠部分的摄像机安装于原水泥杆抱杆或闸室外墙;ⓒ渠系与道路交叉口部分的监控全部采用200万像素全彩枪式摄像机,安装方式主要为限高门外侧立杆安装、原水泥杆抱杆安装。

3.3 建章立制,强化内培外宣模式

3.3.1 规范标牌设置,提升警示宣传

根据《浙江省水利工程标识牌设置指南(试行)》和《浙江省水利工程标识牌标准(试行)》的相关要求,确保渠系沿线管理范围的安全警示牌、公告牌和界桩等实现全覆盖,宣传无死角。

参考灌区标识牌设置要求,各类公告类和指引类标识牌设置要求具体如下:

a. 在每个单体建筑物工程区域醒目位置设1块工程简介标牌、工程永久性责任牌。

b. 在每个单体建筑物管理范围和保护范围醒目位置各设1块宣传牌。

c. 在每个单体建筑物管理范围和保护范围醒目位置各设1块管理范围和保护范围公告牌。

d. 每隔1km在管理范围边界设1块界桩。

e. 在巡查主要路径、节点醒目位置设巡查线路指引牌。

3.3.2 完善管理制度,规范工作流程

针对渠系沿线违规倾倒垃圾渣土、侵占管理保护范围、私自修路等多发行为,结合水利相关法律法规和以往处置经验,系统性修订安全巡检制度和各类专项应急预案,明确企业预防、发现、处置此类违法违规行为的工作标准,提升制度的科学性和可执行性。此外,针对渡槽垮塌、隧洞塌方等典型应急突发事件,绘制应急响应流程图,确保应急响应流程一目了然,处置准确、高效。

3.3.3 强化内部培训,普及外部宣传

通过内部人员专项培训,重点提升管理人员责任意识、安全意识和业务技能水平。将LED宣传车流动入村宣传作为常态化工作,力争对渠系沿线村庄全覆盖,同时结合有奖举报,提升村民对引水工程的安全保护意识。

3.4 强化责任,建立政企联动机制

a. 倡议市政府出台管理办法,制定赵山渡引水工程保护管理办法,明确各级政府部门管理职责要求,切实保障供水安全。

b. 加强与村、镇的长期对接,形成村、镇帮带监督的长效管理机制,将管理维护标准化,实现互利共赢。

c. 加强政府部门的沟通联系,明确项目规划、审批程序,力争建立联动机制,联合水行政主管部门、地方综合执法部门协同处置影响引水工程安全的违章、违法行为。

d. 争取将赵山渡引水工程纳入当地城乡规划,以使当地道路和建设项目规划设计时规避渠系,或主动与管理方沟通联系。

4 结 语

大型引水工程作为一个城市的重要生活生产用水来源,其安全稳定运行对于社会的稳定发展起着决定性作用。乡镇经济发展固然重要,但不可以牺牲城市供水安全为前提。因此,在积极推动社会各界高度重视大型引水设施保护的同时,水利设施运行管理单位也应加强同设施沿线乡镇的沟通,积极助力当地发展,实现人水和谐发展。

参考文献

[1] 赵山渡引水工程初步设计报告[R].杭州:浙江省水利水电勘测设计院,1996.

[2] 赵山渡引水工程计算机监控系统技术文件[R].重庆:长江水利委员会勘测规划设计研究院,1999.

[3] 李博.大连市河流水生态工程建设成效及存在问题分析[J].水资源开发与管理,2020(1):31-33.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.1.14

农村规模化供水工程的建设与运营研究

杨静宗[1]　杨在华[2]　尹自萍[2]

(1. 保山学院大数据学院,云南 保山　678000;
2. 云南省施甸县水务局,云南 保山　678200)

【摘　要】 在我国的山区农村,受居住地分散、不集中、地形高差大等因素的影响,普遍存在供水工程规模小、分散,无计量、水处理设施,以及饮用水水质达标率低等饮水安全问题。本文介绍了云南省施甸县酒房乡推行的农村规模化供水工程建设方法。在建设过程中,通过整合投资、融资多元化,采取工程措施解决了工程性缺水的问题。同时,将水库、地表水连通,并通过扩建和整合现有规模较小的集中供水工程,实现了连村连片供水。该供水工程在规划设计、建设、运行管理中所取得的经验,可为山区农村供水规模化建设提供有益借鉴。

【关键词】 山区农村;供水工程;规模化;建设与运营

中图分类号: TV213.4　　文献标志码: B　　文章编号: 2096-0131(2022)1-069-05

Study on construction and operation of rural large-scale water supply project

YANG Jingzong[1], YANG Zaihua[2], YIN Ziping[2]

(1. *Large data Institute*, *Baoshan University*, *Baoshan* 678000, *China*;
2. *Water Affairs Bureau of Shidian County*, *Yunnan Province*, *Baoshan* 678200, *China*)

Abstract: In China's mountainous rural areas, due to the scattered, non-concentrated residential areas, large terrain difference and other factors, there are widespread drinking water safety problems such as small scale, scattered water supply projects, no metering and water treatment facilities, and low water quality compliance rate. This paper introduces the construction method of rural large-scale water supply project in Jiufang Township, Shidian County, Yunnan Province. In the process of construction, the problem of engineering water shortage was solved by integrating investment and financing diversification and adopting engineering measures. At the same time, the reservoir and surface water are connected, and through the expansion and integration of the existing small-scale centralized water supply project, the continuous water supply of villages is realized. The experience gained in the planning, design, construction and operation management of this water supply project can provide useful reference for the large-scale construction of rural water supply in mountainous areas.

Key words: mountainous rural areas; water supply project; scale; construction and operation

收稿日期:2021-08-09

基金项目:第十批保山市中青年学术和技术带头人培养项目(202109)

作者简介:杨静宗(1991—),男,副教授,博士,主要从事信息技术方面的研究工作。

通讯作者:杨在华(1965—),男,高级工程师,主要从事水利工程生产运行管理工作。

我国农村受生产生活规律、农民居住条件、卫生设施水平，以及地理环境、水资源状况、经济发展水平等诸多因素的影响，造成了供水工程规模小、供水分散，多数供水工程计量设施缺失、无水处理设施、供水保障程度不高、饮用水水质达标率低等饮水安全问题[1]。而以上现象与“让人民群众喝上安全水、放心水”的要求不相适应。云南省施甸县酒房乡抗旱应急供水工程（以下简称酒房供水工程）建立了从“水源”到“水龙头”的农村供水管理体系，实现了乡村供水同质、同服务的目标。

1 基本情况

施甸酒房乡面积317.95km^2，辖10个行政村、166个村民小组、380个自然村，2019年末总人口26212人。乡境最高海拔2600m，最低海拔600m，村寨分散，文化经济比较落后，属典型的山区贫困乡。自20世纪60年代以来，该乡基本3年一小旱，10年一大旱。特别是2009年秋至2010年春，云南省发生了百年不遇的特大干旱，为历史上所罕见。这场秋冬春连旱持续时间长，受灾范围广，受灾程度深，给云南省的经济社会发展带来了严重影响，尤其是对农业发展、农民增收和城乡群众的生活造成较大影响，造成该乡约2万人及2万头牲畜饮水困难。为减轻自然灾害的影响，提高抗旱应急能力，解决当地人民群众的饮水安全问题，2016年12月酒房供水工程完工。本工程内容主要包括水源工程、水系连通工程、水处理设施、供水管网改造等。

酒房供水工程通过兴建小型水库工程、建设规模较大的集中供水工程，扩建、整合现有规模较小的集中供水工程，实现了乡村供水同质、同服务、同保障的一体化供水模式[2]。

2 农村供水工程规划设计

2.1 工程规模

酒房供水工程年供水量为104.4万m^3，供水规模为6820m^3/d，供水工程类型为II型。该工程的主要任务是保障酒房乡26212人和50231头牲畜的饮水安全。其主要建设内容为：ⓐ对杨柳洼、打磨山、白石头3座小型病险水库实施除险加固，并通过工程处理消除水库病险，恢复水库蓄水功能；ⓑ新建金星水库1座；ⓒ扩建、整合酒房、杨柳洼、旧寨、摆田等4个片区供水工程，新建水处理厂4座，建500m^{3}调节池4个；ⓓ连村、连片改造供水管网1035.7km。工程总投资2641.61万元。

2.2 供水范围与供水平衡计算

酒房供水工程的供水范围包括所辖的10个行政村和166个村民小组。结合该乡自然、地理、水源等条件，供水工程以集中式供水为主、分散式供水为辅进行规划设计。将10个行政村划分为酒房、杨柳洼、旧寨、摆田等4个片区，并通过片区规模化供水工程的建设，实现乡村供水规模化。酒房供水工程的设计年限为15年，设计基准年为2014年，规划水平年为2029年。人口增长率取6.0‰，农村居民生活用水定额为70L/(人·d)，牲畜综合用水定额为35L/(头·d)。

2.2.1 需水量

依据《村镇供水工程设计规范》，经计算，摆田、旧寨、杨柳洼、酒房4个片区的年需水量为104.41万m^3。需水量汇总信息见表1。

表1 酒房供水工程需水量

片区	最高日供水量/(m^3/d)	水厂自用水量/(m^3/d)	最高日需水量/(m^3/d)	年需水量/万m^3
摆田	1066.89	53.34	1120.23	27.26
旧寨	382.71	19.14	401.85	9.78
杨柳洼	1274.76	63.74	1338.50	32.57
酒房集镇	1361.85	68.09	1429.94	34.80
合计	4086.21	204.31	4290.52	104.41

2.2.2 供水量

酒房供水工程规划水源为杨柳洼、打磨山、白石头、金星水库等4座小(2)型水库，以及狗善人、三岔洼、杨柳洼、白石头等4处泉眼。小型水库供水量按水库多年蓄水资料分析计算，泉眼采用多年实测的最枯流量。杨柳洼水库水源地和打磨山水库水源地见图1

和图2。酒房供水工程（$P=95\%$）可供水量为116.5万 m^3。通过计算分析，酒房供水工程可供水量大于需水量，供水量与需水量平衡。可供水量汇总信息见表2。

图1 杨柳洼水库水源地

图2 打磨山水库水源地

表2 酒房供水工程可供水量（$P=95\%$）

水 源 点	水库供水量/万 m^3	地表径流量/万 m^3	可供水量/万 m^3
金星水库	36.2		36.2
杨柳洼水库	9.4		9.4
打磨山水库	13.6		13.6
白石头水库	7.2		7.2
狗善人泉眼		7.6	7.6
三岔洼泉眼		4.1	4.1
杨柳洼箐沟泉眼		19.6	19.6
白石头箐沟泉眼		18.9	18.9
合　计	66.4	50.2	116.6

2.3　水处理设施

酒房供水工程设计新建酒房、杨柳洼、旧寨、摆田水处理厂4座，水处理能力分别为960 m^3/d、2700 m^3/d、400 m^3/d、2760 m^3/d，合计水处理能力为6820 m^3/d。新建调节池4座，调节池容积均为500 m^3。

通过检测酒房供水工程水库、泉眼水源水质，发现水库、泉眼水质除浊度和大肠杆菌超标外，其余指标符合饮用水标准。水处理的主要任务是除浊和消毒，设计选用全自动净水装置对水质进行净化。采用集加药、反应、沉淀、过滤、自动虹吸反冲洗、排污等于一体的净水设备，其净水工艺流程见图3。本工程采用的一体化净水设备和次氯酸钠发生器消毒设备见图4和图5。

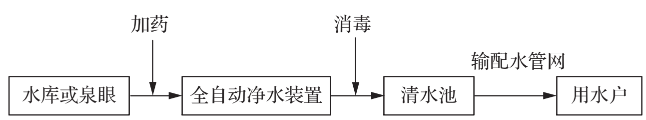

图3 净水工艺流程

图4 重力式一体化净水设备

图5 次氯酸钠发生器消毒设备

通过规模化建设水处理设施,使水质达到了《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求。此后,当地的群众喝上了安全水、放心水,并实现了水资源共享、供水同质。

2.4 管道工程设计

酒房供水工程管道主要包括引水管、输水干管、配水主管和配水管网;引水管径根据片区引水量进行分析计算;配水主管的管径根据各设计供水流量进行分析计算;输水干管的管径根据各条配水主管确定的设计供水流量进行叠加分析计算。供水工程管道所选择的经济流速如下:

管径小于150mm,经济流速0.5~1.0m/s;

管径150~300mm,经济流速0.7~1.2m/s;

管径大于300mm,经济流速1.0~1.5m/s。

上述经济流速值根据下式求出:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \tag{1}$$

式中:Q为管道设计流量,m^3/s;v为经济流速,m/s;d为管道内径,m。

计算后选取的管径为标准管径,保证控制点自由水头不小于5m。计算总水头损失时,按沿程水头损失的10%计局部水头损失。通过分片规模化建设引水、输水、配水管网,实现了联村、连片供水,打破"一地一水",提高了水资源利用率和供水保障率。

3 规模化供水工程建设分析

3.1 投融资模式

以往农村供水工程采用的方式是"国家投资、村建群管",但存在的问题是群众吃水不交费,供水工程无人管,运行管理困难。酒房供水工程采取了整合投资的方式,实现了融资多元化。除中央和地方财政资金之外,拓展了水利融资渠道[3],并大力争取政策性、开发性金融机构以及国有商业银行的长期项目贷款支持。

本工程将水库除险加固、消除安全隐患与农村供水进行了有机结合。水库病险治理后恢复蓄水功能,解决了农村供水量的不足。水库建设所需资金由中央和地方财政资金解决。同时,供水工程水处理、管网改造等规模化建设资金除由中央和地方财政资金解决外,不足部分采取了向金融机构融资的方式。

3.2 水系连通

受技术和投资所限的影响,传统的农村供水工程规模小,以分散式供水(水井、水窖、水池、泉眼等)为主,导致水资源未得到合理的开发和利用,面临水源无调节能力、供水保证率低的困境。

规模化建设打破了传统供水模式,并结合当地水资源的情况,统一规划利用水资源。通过采取管网连通、泵站提水等措施,将现有水库、地表水通过水系连通,增加水库调蓄功能,提高了水资源的利用率和供水保障率。

3.3 规模化建设

规模化建设不受行政区划限制,采取工程措施解决工程性缺水问题,统一开发利用水资源。同时,以连村、连片供水为主,分散供水为辅,实现了乡村供水同质、同价、同服务,使人民群众喝上了安全、放心、优质的饮用水,并提高了人民群众的饮水安全感和节水意识[4]。

4 规模化运营特点

4.1 运营管理

酒房供水工程于2015年7月开工,2016年12月完工。2018年2月酒房乡人民政府注册成立了"施甸县天泉供水有限公司",其性质属国有独资。由该公司对酒房供水工程实行企业化运作和专业化管理。按照"谁投资、谁所有,谁受益、谁负担"的原则,明晰了工程的所有权、经营权和管理权。

4.2 水价机制

天泉供水有限公司推行用水超定额累进加价的制度,对居民生活用水实行阶梯水价。阶梯式水量设置为四级,核定每月每户基本水量$20m^3$,每上浮$10m^3$为1个级差。基本水价1.90元/m^3,超过基本水量后的

计价标准如下：

用水量 20～30m^3，水价 2.4 元/m^3；

用水量 30～40m^3，水价 2.8 元/m^3；

用水量≥40m^3，水价 3.0 元/m^3。

公司对农村特困户、五保户实行了倾斜政策，对上述用水户采取每户每月免费供水 6m^3 的政策。同时，养老机构用水价格按居民生活用水价格执行，不实行阶梯水价。自 2018 年 2 月开始运营至今，水费收缴率达 100%。农村规模化供水工程建设取得了较好的社会效益和经济效益，实现了乡村供水一体化。

5 结　语

通过农村规模化供水工程建设，将酒房乡垂直高差达 2000m 的山区划分为 4 个片区。通过水库、地表水的水系连通，并扩建、整合现有规模较小的集中供水工程，实现了连村连片供水（供水量 104.4 万 m^3/年、6820m^3/d），解决了全乡 10 个行政村、166 个村民小组 26212 人的饮水安全问题，使全乡农村自来水普及率达 100%，集中供水率达 99%，供水保证率达 98.5%，让全乡人民群众喝上了安全水、放心水，实现了乡村供水一体化，以及供水同质、同价、同服务。该供水工程规划设计、建设、运行管理取得的经验，可为山区农村供水规模化建设提供有益借鉴。◈

参考文献

［1］ 李香云.城乡供水一体化发展战略模式探讨［J］.水利发展研究，2019，19（12）：9-12.

［2］ 牛德潭.偏远山区城乡一体化供水水价改革思路探讨［J］.水利水电快报，2020，41（8）：48-51.

［3］ 王浪，景璟.山区城乡一体化供水系统研究——以浙西某县为例［J］.城市规划，2010，34（S1）：112-114.

［4］ 梁生蕃.农村人畜饮水工程建设管理分析［J］.农业灾害研究，2020，10（7）：126-127.

协会动态

关于 2021 年度水利建设市场主体（供货、信息化单位）信用评价结果的公告

各有关单位：

依据《水利建设市场主体（供货单位）信用评价标准》《水利建设市场主体（信息化单位）信用评价标准》（中水协〔2021〕29 号）和《关于开展 2021 年度水利建设市场主体（供货、信息化单位）信用评价工作的通知》（中水协〔2021〕30 号）要求，中国水利工程协会组织开展了 2021 年度水利建设市场供货、信息化单位信用评价工作。经公示，现将评价结果予以公告。

附件：2021 年度水利建设市场主体（供货、信息化单位）信用评价结果（67 家）见中国水利工程协会官网首页“通知公告”栏目（https://www.cweun.org/show.php?cid=11&id=1134）。

中国水利工程协会

2021 年 12 月 20 日

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.1.15

浅析水利工程声像档案管理工作

李肖男　常文娟　陈伟民

（山东省调水工程运行维护中心东营分中心，山东 广饶　257300）

【摘　要】 水利工程声像档案与传统档案互为补充，共同反映了水利工程的建设情况，新形势下随着水利工程标准化、信息化建设的推进，声像档案的重要性日益突显。本文结合档案日常管理工作中的实践情况，对声像档案管理中存在的问题从意识、硬件、组织、管理模式方面进行了分析，并据此提出意识提升、方法转变、监督强化、体系完善和资源开发等改进对策，促进水利工程声像档案管理工作的完善。

【关键词】 水利工程；声像档案；问题分析；对策建议

中图分类号：G276　　文献标志码：A　　文章编号：2096-0131(2022)1-074-04

Analysis on audio-visual archives management of water conservancy project

LI Xiaonan, CHANG Wenjuan, CHEN Weimin

(*Dongying Sub-center of Shandong Water Diversion Project O & M Center*, *Guangrao* 257300, *China*)

Abstract: Audio-visual archives of water conservancy projects and traditional archives complement each other, which together reflect the construction of water conservancy projects. Under the new situation, with the advancement of standardization and informatization of water conservancy projects, the importance of audio-visual archives is increasingly prominent. Based on the practice and situation of daily archives management, this paper analyzes the problems existing in audio-visual archives management from the aspects of thought, hardware, organization and management mode, and puts forward some ideas to improve,Methods change, supervision strengthen, system improvement and resource development and other improvement countermeasures, so as to promote the improvement of audio-visual archives management of water conservancy projects.

Key words: water conservancy project; audio-visual archives; analysis of problems; countermeasure and suggestion

水利工程声像档案是指在水利工程建设前期、实施过程及竣工验收等各建设阶段中形成的，以照片、磁带、光盘等不同形式为载体，以声像为主要内容并辅以文字说明的具有保存价值的历史记录[1]。同传统档案相比，声像档案具有超强的时空感、形象直观的纪实效果以及体积小、信息量大、便于携传、容易复制[2]、方便使用、受众面广等优点，以及即时性、动态性、不可重复性等特点。然而，当前水利工程声像档案管理工作却严重滞后于水利工程档案管理工作的整体水平，作为工程档案信息化建设的重要一环，加强新形势下水利工程声像档案收集、整理工作至关重要。

收稿日期：2021-08-27

作者简介：李肖男(1993—)男，助理工程师，学士，主要从事水利工程建设与档案管理工作。

1 存在的问题

1.1 声像档案缺失

工程建设重要阶段、重大事件、事故,必须有完整的声像材料归档[3]。当前,声像档案的缺失现象依旧存在,主要表现为以下两种形式:一种是没有声像档案,近年来随着档案管理工作的逐步加强此类情况已较为少见,大部分水利工程或多或少都有声像资料,但有些赶工期的应急工程,仍会缺少声像资料。另一种是声像档案"管理性缺失",此类现象在当前水利工程档案管理工作中较为常见,如有些工程尽管在建设中拍摄了声像资料,但散落于个人或不同部门,随着工程建设人员的流动、部门的调整,声像档案无法及时有效归档。按规定归档的声像材料必须是原版原件、底片正片相符,而有的现场人员却只移交了照片,底片流失,底片与照片内容不符的情况也时有发生。此外,声像档案的安全性也令人担忧,有的影像资料未使用档案级光盘进行存储,影响了保管期限;有的声像档案未及时备份,随着计算机、存储设备等的损坏、丢失而遗失;有的为方便编辑未使用不可擦除型光盘,使其内容真实性存疑。

1.2 声像档案收集混乱

声像档案收集工作杂乱无章,档案资料要么不全、要么"过全"。当前,声像档案收集工作多侧重于工程竣工后拍摄,而忽略了开工前的原貌拍摄、轻视了施工过程中的跟踪拍摄,使得某些关键部位和重要环节的影像缺失,从而降低了声像档案的完整性,无法全面反映工程建设情况[4]。此外,声像档案的拍摄缺乏针对性,照片、录像过多过杂,没有代表性,声像内容缺乏系统性和有机联系,无法客观全面地反映工程建设的全过程,给后期的筛选、剪辑增加了工作量。

1.3 声像档案质量较差

归档的声像资料必须图像清晰[5]、声音清楚,画面完整、端正,能够系统、客观地反映主题内容。然而,在现实工作中声像档案的质量很多情况下仍旧达不到要求。一方面,缺少专业拍摄设备或设备过于陈旧,使拍摄的照片、录像画面清晰度太差;甚至有的参建单位为节省成本及便利,在工程中全程用手机拍摄,导致拍摄效果不佳。另一方面,拍摄人员不够专业、技术不高,拍摄位置与拍摄时间选取不到位,拍摄的内容虽然基本齐全,但拍摄不够深入细致。此外,有的现场拍摄人员工作态度不端正,拍摄前懈于调试设备,容易造成照片重影、画面晃动等问题。这些问题都大大降低了声像档案的信息承载量与可用性,制约了其纪实效果的发挥。

1.4 声像档案整理不规范

一是声像资料缺少必要的文字说明,时间、地点、内容、人物、背景、摄影者等信息标注不全甚至张冠李戴,在长周期工程中,若不及时标注,极易遗忘、混淆其中的人物名称及当时所在单位与职务信息;二是声像资料编辑不合理,在收集过程中为便于区分与筛选而进行初期处理时直接在底片、原件上进行水印标注,破坏了其原始信息的完整性与真实性;三是后期技术处理中粗暴的剪辑手段也常使被拍摄主体出现失真变形,原真性受损;四是声像档案系统性不强,分类组卷混乱、主次不明,声像内容缺乏与其他载体档案之间的有机联系,如照片互见号编写混乱,有的甚至整册照片采用了一个互见号,大大降低了照片的价值发挥。

2 原因分析

2.1 "档案意识"不够强

"重建设轻档案"的思想由来已久,工程档案管理对单位发展的推动效益不如工程建设显著,单位多将其作为辅助性工作来对待。档案管理人员的"声像档案意识"还比较低,声像档案工作起步较晚,很多档案工作人员对声像档案概念模糊、标准不明、方法滞后,声像档案工作处于被动状态[6]。加之声像档案要求较高、成本较大、在工程档案中占比却较小,"重纸质轻声像"的错误观念随之而生,声像档案管理工作和管理人员在单位也自然被边缘化。

2.2 硬件建设难以保障,设备使用管理混乱

由于声像档案不能创造直接的效益,且投入较大,

很多基层水利单位不愿在声像档案上投入过多人力、物力,硬件设备配置不足,设备使用缺乏制度保障。硬件建设上,一方面,声像采集及技术处理设备配置不足、更新缓慢,制约了声像资料的成像质量和剪辑效果;另一方面,工程一线缺少移动硬盘等存储设备,限制了声像资料的采集数量与筛选余地。使用管理上,一方面,未建立相关设备的更新使用、维修养护制度,出入库程序不完善,很多设备或封存于仓库、或散落于个人之手、或因缺乏维护而损坏,无法有效使用;另一方面,未进行相关使用规则与技术培训,设备无人会用时只能束之高阁。这些制度、程序上的建设不足都大大降低了设备使用率。

2.3 部门协调性差

当前,水利工程建设中声像档案管理缺乏统一领导,责任分工不明确、人员配置不到位、档案管理体系单一,更缺乏既懂工程又懂档案的复合型人才和声像编辑处理的专业人才[7]。与此同时,档案管理人员与现场技术人员之间缺乏有效的工作互动和专业互补。而各参建单位声像档案管理标准不一,水平参差不齐,特别是在跨流域大型水利工程中,参建单位众多、所涉专业领域及建设内容不尽相同,无论是标准的制定还是执行上都很难做到完全统一[8]。

2.4 管理模式落后

“补档案”的错误观念由来已久,声像档案管理还更多地停留在事后验收把关上,声像档案的拍摄、收集、整理缺乏事前计划,严重滞后于施工现场千变万化的建设进度,而声像档案的即时性和不可逆性更是彻底断绝了后期“补档案”的可能。声像档案的拍摄多由现场技术人员完成,而现场技术人员对档案知识和声像档案归档要求模糊,又缺乏相应的拍摄技术,导致了声像档案的拍摄质量较低。同时,施工现场未明确拍摄分工,拍摄者多为临时兼职协助,随机性大,加之现场人员流动性强,给声像档案的收集工作带来了很大困难。档案管理人员缺乏必要的工程知识和建设经验,脱离施工一线,在后期编辑整理时对声像档案内容与工程实际的信息对应掌握不足。

3 对策与建议

3.1 提高档案意识,增加硬件投入

基层水利单位要转变传统观念,将“档案管理”同“工程建设”放在同等位置、将“声像档案”同“纸质档案”放在同等位置,正确树立“档案意识”和职业意识。特别是单位领导应正确认识声像档案管理工作的性质和意义,加强对声像档案管理工作的支持度和领导力。加大资金投入,支持档案室建设,配备移动硬盘、消磁柜等存储设备,对照相机、摄影机等拍摄设备进行必要的升级换代,筑牢声像档案管理的硬件基础,营造良好的外部环境,从而充分调动从业人员的工作积极性和主动性。

3.2 完善工作制度,改进工作方法

声像档案的拍摄、收集、整理、保存与利用是一个不可分割的连续过程,应宏观看待各个环节,实现闭环管理(见图1),彻底改变“补档案”的错误观念和事后验收把关的工作方式。第一,做到事前计划,在工程立项之初就制定工作计划和声像档案管理办法,明确收集范围、技术要求、归档时限、移交程序等[9]。第二,做好过程控制,工程检查时将工程档案列入重要内容同时进行检查,并形成备忘记录,销号处理。第三,建立动态协调机制,通过建立通信录和微信工作群,加强各参建单位间联系交流,及时解决新问题新困难。第四,同步跟踪,档案管理人员应多深入工地一线,掌握工程进展和建设信息,督促指导跟踪拍摄,及时收集,确保声像资料定期归档。第五,验收把关,各类归档资料应由所涉及的各个部门的经办人及负责人就归档内容进行全面审核,提出意见并签字,方可办理移交手续。第六,开发利用,积极开发利用档案信息资源,为工程建设服务。

图1 声像档案管理工作模式

3.3 强化监督检查,加强过程管理

把声像档案管理纳入工程的合同管理,在签署每

一份合同时，均明确提出声像档案管理的有关内容与要求，从源头上保证声像档案的管理。把档案管理纳入工程计量管理，把能否提供符合归档要求的、与工程进度相对应的档案资料作为工程计量支付（拨款及结算）的条件之一[10]。同时，通过设计交底会议及历次的工程大检查等途径进一步具体落实档案管理办法，掌握声像档案工作的主动权。

3.4 明确责任分工，建设专业队伍

明确各参建单位、参建人员责任分工与职责划分，并签订责任书。构建“专职档案员、工地兼职档案员、现场技术人员”三级管理体系（见图2），并根据职能划分强化专业技能，培养专业队伍。专职档案员负责声像档案的编辑、整理与验收把关工作，重点加强档案专业知识与声像编辑能力；工地兼职档案员在现场管理人员中指定，负责声像资料的收集汇总与优选、重点部位与关键工序的声像拍摄及对现场人员日常拍摄的指导工作，重点加强工程管理知识与声像拍摄技能提升；现场技术人员流动性、随机性大，指定专人负责拍摄并不现实，因此，现场技术人员负责根据工程进展情况及时联系工地兼职档案员跟拍，避免因抢工、赶工等出现忘拍、漏拍情况。

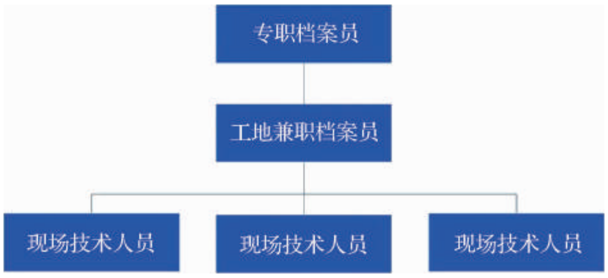

图2 声像档案管理体系

3.5 开发利用与创新，实现良性循环

以“围绕工程建设，服务参建人员”为出发点，以“管用结合”为目标，以信息化为抓手，努力提高声像档案资料的利用效率。编制照片、录像等专题档案检索工具，开展多种形式的档案咨询服务，以管理平台、借阅档案等形式为利用者查阅、复制档案资料提供便捷、准确的服务。围绕水利工程的重点、热点问题，充分结合声像档案超强时空感、形象直观纪实效果和受众面广等优势做好水利工程在文明工地创建、宣传教育、项目质量评价、事故处置、难题攻坚、后期运行管理和科学研究等方面的资源开发。充分挖掘声像档案潜在价值，盘活档案资产，改变传统档案“重藏轻用”的局面。将声像工程档案的潜在价值转化为激励档案管理人员的内在驱动力，使声像档案工作逐步进入良性发展轨道。

4 结 语

声像档案作为水利工程档案的重要组成部分，与纸质档案、电子档案相互联系、互为补充，从不同形式、多种角度共同反映和印证着水利工程的建设情况。水利工程声像档案收集是否齐全、完整，内容是否真实、准确，整理是否规范、标准，将对工程建设管理的各个环节起着重要的凭证和依据作用，对其他相关工程也有着重要的借鉴与参考价值。因此，要正确认识当前水利工程声像档案管理工作中存在的问题与不足，以问题为导向，通过思想提升、方法转变、强化监督、体系完善和资源开发等方式，全力破解声像档案管理难题，推动水利工程声像档案管理工作的可持续发展。

参考文献

[1] 王炜. 城建声像档案在历史文化名城保护中的作用[J]. 北京档案,2012(11):26-28.

[2] 祐鹏程. 水利工程声像档案常见问题及解决办法[J]. 水利建设与管理,2014,34(8):75-77.

[3] 肖萍,郎益鸣. 建设工程特殊载体档案的收集与整理[J]. 中外建筑,2007(4):76-77.

[4] 钟霞,孙健. 浅谈南岸干渠工程建设期档案管理[J]. 水利建设与管理,2009,29(3):24-25.

[5] 王爱萍. 企业声像档案的管理与利用[J]. 机电兵船档案,2011(2):15-17.

[6] 叶秀兰. 谈如何做好声像档案管理工作[J]. 黑龙江档案,2011(4):118.

[7] 苑淑颖. 浅论水利工程档案管理的重要性[J]. 水利建设与管理,2017,37(9):55-57,54.

[8] 滕丽娟. 张家口市中小河流水文监测系统工程档案管理存在的问题及对策[J]. 水资源开发与管理,2016(3):82-84.

[9] 程立. 加强水利声像档案管理的思考[J]. 中国水利,2012(20):63-64.

[10] 孙熙,任萌萌,李勤. 跨流域调水工程档案管理的探索与实践[J]. 山东档案,2009(6):51-52.

DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2022.1.16

古芍陂的管护制度对当代治水护水的启发

王冠依[1] 赵志豪[1] 李 翔[2]

(1. 江苏致远工程勘测设计有限公司,江苏 淮安 223001;
2. 南京瑞迪建设科技有限公司,江苏 南京 210000)

【摘 要】 鉴于芍陂特有的历史地位和非凡价值,挖掘其在治水中的先进性及其对当代治水管理的借鉴性,具有重要的历史意义和实践价值。本文通过查阅古籍、文献等资料,梳理了芍陂灌排工程管理的历史演变,总结了芍陂在历史上的治水管水大事记,阐述了芍陂的兴衰给后人留下的宝贵的治水经验,明确了灌溉管理在水资源综合管理中的突出地位、"双河长制"在河湖治理的显著效率、退田还湖在促进河湖健康发展中的关键作用以及打造幸福河湖、传承治水文化的重要意义与价值引领。以期在芍陂兴废更迭的历史进程中吸取经验,探索灌溉管理与维护制度的发展规律,为当代治水护水提供思路。

【关键词】 芍陂;灌溉管理;治水;管护制度;河长制;退田还湖

中图分类号:TV213.4 文献标志码:B 文章编号:2096-0131(2022)1-078-07

Inspiration of management and protection system of acient Quebei to contemporary water control and protection

WANG Guanyi[1], ZHAO Zhihao[1], LI Xiang[2]

(1. *Jiangsu Zhiyuan Engineering Survey and Design Co., Ltd., Huai'an* 223001, *China*;
2. *Nanjing R&D Tech Group Co., Ltd., Nanjing* 210000, *China*)

Abstract: In view of Quebei unique historical position and extraordinary value, it is of great historical significance and practical value to explore its advanced nature in water control and its reference to contemporary water control management. This paper through consulting ancient books, documents and other materials, combs the historical evolution of the management of Quebei irrigation and drainage project, summarizes the historical memorabilia of water management in Quebei and expounds the valuable water control experience left by the rise and fall of Quebei for future generations. The prominent position of irrigation management in the comprehensive management of water resources, the remarkable efficiency of "double river chief system" in river and lake management, the key role of returning farmland to lakes in promoting the healthy development of rivers and lakes, and the significance and value guidance of creating a happy river and lake and inheriting the water control culture are clarified. In order to learn from the experience in the historical process of the rise and fall of Quebei, explore the development law of irrigation management and maintenance system, and provide ideas for contemporary water control and protection.

Key words: Quebei; irrigation management; water control; management and protection system; river chief system; returning farmland to lake

收稿日期:2021-08-30

作者简介:王冠依(1995—),女,助理工程师,学士,主要从事水利规划、水环境治理、水土保持相关工作。

芍陂是先人治水理念的集中体现,它的兴废交替贯穿了淮河中游区域历史进程,见证了各时期政治、经济、技术和文化形态,对整个淮河中游平原的发展和繁荣起着举足轻重的作用[1]。芍陂的建造,早于我国蓄水工程发展时期,甚至早于引水工程发展时期,且沿用至今,体现出了建造者先进的水利思想和高超的水工技术,是我国古代水利工程中独特而典型的代表。

目前关于芍陂价值的研究已经有一系列的报道,主要涉及芍陂灌溉工程兴废大事记、水源与陂塘变迁的考证、典型技术和工程的价值研究以及现代规划设计与生态建设等,其工程管理的历史经验与教训对现今也是宝贵的启示[2-3]。本研究立足于芍陂的管理问题,总结了芍陂灌排调度管理与用水管护制度,揭示了古芍陂对当代治水护水的影响与借鉴意义。挖掘古芍陂的民生价值,总结我国古代的治水理念,是将古水利工程管理方法与现代水资源综合利用与保护战略结合的重要前提,研究结果为实现中国芍陂“古今融合”的灌溉管理与当今灌区水资源综合利用保护与健康发展战略奠定了基础。

1 芍陂灌溉管理与维护制度的历史演变

从古至今,灌区的管理和维护以及灌区水资源的综合管理是灌区持续发挥效益的重要保障,对芍陂同样如此。合理、妥善的管护制度,既关系到陂塘水利效益的发挥,使其在有限的灌溉水量条件下,能够灌溉更多的土地,同时,又是解决水利纠纷的一项措施,影响到陂塘的兴废存亡。

a. 西汉:有记载的芍陂管护从西汉开始,即有“陂官”专门管理陂塘事务。据《汉书·地理志》记载,九江郡修建于秦始皇二十六年(公元前 221 年),高帝四年(公元前 203 年)将其重新改名为淮南国,武帝元狩元年(公元前 117 年)又将其重新改名为九江郡,并在当地设置陂官、湖官。当时在全国范围内所有的行政县都设置了管理各种专业的“官”,共有 20 多种,地区多达 90 多个,但只有九江县境内设有唯一的“陂官”。西汉末年战乱频繁,芍陂的管护便无人过问。

b. 东汉:东汉开始有了都水官,屯田期间,都水官负责水利的兴修和管理。东汉建初八年(公元 80 年),著名水利家王景主持对芍陂进行修治,重新恢复了陂塘灌田万顷的能力,还在石头上刻下诫词,使百姓了解法典禁令,并订立了一套“均水约束”的制度。

c. 三国时期:三国时期芍陂已经有了稳定的岁修制度。曹魏屯田时,芍陂得到了很好的修治。曹操之后,魏主芳正为了扩大与孙吴作战的供需,派将领邓艾开拓田地以增加粮食总产量,邓艾十分重视发挥芍陂的作用,在芍陂北堤开凿大香门,开渠引水,灌溉田地。邓艾修治芍陂后,芍陂的灌溉面积逐渐扩大,芍陂周长 120 里(1 里 =415m),寿春成为当时淮南淮北的重要产粮中心。

d. 两晋、南北朝:西晋太康后期,疏于对芍陂的管理,每年都要花费大量人力物力财力修治。随后出现南北朝对峙的局面,受南北连年征战的影响,芍陂无人治理,灌溉效益锐减。齐至梁、陈期间,征伐不息,门阀士族横行,人民流离失所,这一时期的芍陂更是连年失修。豪门贵族乘机侵占塘内滩地,建房垦田,占垦之弊由此产生。

e. 隋唐:隋开皇十年(590 年),赵轨对芍陂进行了整修,将 6 座水门改建为 36 座,放水口门以下渠道总长约 390km,最长的渠道约 30km,灌溉面积恢复到五千余顷。唐肃宗上元年间,在寿州设置芍陂屯,获利颇丰,灌溉面积曾达到万顷。但唐末至五代,战祸连年,社会动荡,芍陂埂堤崩塌,水渠淤塞。

f. 宋、元时期:宋仁宗年间,安丰知县张旨劝募富民捐粮济贫,征集贫民疏浚引水渠道,筑堤防御洪水,整修放水口门和灌溉渠道,使芍陂一度得到复兴。但北宋末年金人南侵,战火又起,引淠水入塘的渠道逐渐淤塞,山源河水量小且不平衡,随水入塘的泥沙日益增多,造成塘内严重淤积,大大削弱了芍陂的灌溉作用。元代专门在芍陂设有“屯田万户府”,才又使芍陂的灌溉能力有所恢复。

g. 明、清时期:明代嘉靖年间,赵轨所开的 36 水

门保存完好，灌溉渠道累计总长为783里（1里=576m），其中最长的达30km。但是由于芍陂上游水土流失，黄河夺淮又使芍陂泄水沟道被淤，加快了芍陂的淤塞，再加上豪强奸民在上游拦坝筑水，使得侵塘垦田之风愈演愈烈，隆庆年间芍陂已被侵占过半，万历年间芍陂塘面只剩下3/10，其余皆被垦占为田。万历十年（1582年），寿州知州黄克缵驱逐占垦户四十余户，将所开百余顷田地恢复为水域。此举虽然没能恢复“孙公之全塘”，但是却遏制住了占塘之风，使“百里”之塘，得留“半壁”。

明清以来在芍陂管理方面，已经形成了一种地方官府为主导、乡绅与民众积极参与的良好互动管理机制。明清时，设有董事、塘长和门头、门夫、闸坝看守者。董事、塘长由环塘士绅耆老充任，每年春秋两季，董事会同各段塘长公议塘务有关事宜，会议在孙公祠举行。遇到紧急情况，董事带领塘长相继赶办，汛期招集塘长昼夜巡守。塘长在董事领导下，分段管理塘务，如门闸启闭、集夫兴工、随宜修补等。门头由各门夫按年轮充，门夫按亩摊派。门头在接到塘长通知有兴修水利等工程时，召集门夫，赶往工地；平时则负责看守水门、修补门墙、更换门板等。闸坝看守者一般为贫苦百姓，公费盖房，佃种公田，负责看守闸坝、启放闸板等。历史上，康熙三十年（1691年），寿州司马颜伯珣先后七年修治芍陂，将36门改为28门，民间管理组织与塘规日趋完善，灌溉面积达五千余顷。雍正九年（1731年），寿县知州饶荷禧集合环塘士民的建议，创建了众兴滚水坝，修建了凤凰、皂口两闸。清代光绪年间，淠源河湮塞，涧水成为芍陂的主要水源，芍陂被占垦现象更加严重，陂周只存五十余里，灌溉面积只剩一千多顷。光绪三年（1877年），任兰生修治芍陂后，订有《新议条约》共16条，对工程管理、塘堤和口门的维修养护、用水制度以及岁修等作出了具体规定，并且订立了明确的奖惩制度，发给环塘农户，要求农户遵守该条约，这是维护基层灌溉秩序的乡规民约。此后，州同宗能征在陂侧立碑，列出6条禁令：禁侵垦官地、私启斗门、窃伐芦柳、私宰耕牛、纵放猪羊和罾网捕鱼[4]，是约束环塘民众的水利规约。至清代末年，人稠地满，塘内淤积之地，皆垦为田，塘内洼地变成畜牧之所[5]。

h. 民国：民国初年，芍陂的管理组织仍遵循清代的制度。1925年，受益农户举行首次塘民大会，通过了以实行分段管理为主要内容的表决案。1931年6月，由塘民大会选举产生了芍陂水利公所，所有成员经塘民选举后，报寿县政府备案委聘。20世纪20年代末期，芍陂灌溉面积仅有4000多公顷。1936—1937年，安徽省水利工程处通过疏浚淠源河、维修塘堤工程，将芍陂灌溉面积增至1.30万公顷，但因抗日战争等原因，到1949年左右，芍陂的灌溉面积又降到了5300多公顷。

i. 新中国成立后：1949年以后，芍陂设置了专门的管理机构，实行统一管理与分级负责相结合，专管与群管相结合的管理体制，建立和完善了各项规章制度。1950年，整修了塘堤，堵复溃口，疏浚淠源河，灌溉面积达到1.06万公顷。1954—1957年，加高了塘堤，挖通了支渠和斗农渠共360条，灌溉面积增加到2.06万公顷。1958年，芍陂被纳入淠史杭工程总体规划，成为淠史杭灌区的一座中型反调节水库。1958—1959年，灌溉面积达到4.00万公顷。1962年以后，建成了淠东干渠，年年整修芍陂，灌区逐步配套。

j. 21世纪以来：截至2013年底，芍陂灌区有干渠1条，分干渠5条，中型水库1座，小（1）型水库2座，小（2）型水库26座。灌区设计灌溉面积达7.41万公顷，其中自芍陂引水灌溉面积4.49万公顷。当前，芍陂灌区由寿县水务局安丰塘分局管理，经费由国家财政全额拨款。其中，蓄水陂塘、环塘水门及陂塘周边大部分渠道、闸坝由安丰塘水务分局管理；斗渠、农渠、毛渠的日常维护，水资源管理由渠系所在村落委员会进行管理。

芍陂灌排管护措施的历史演变见图1、表1。

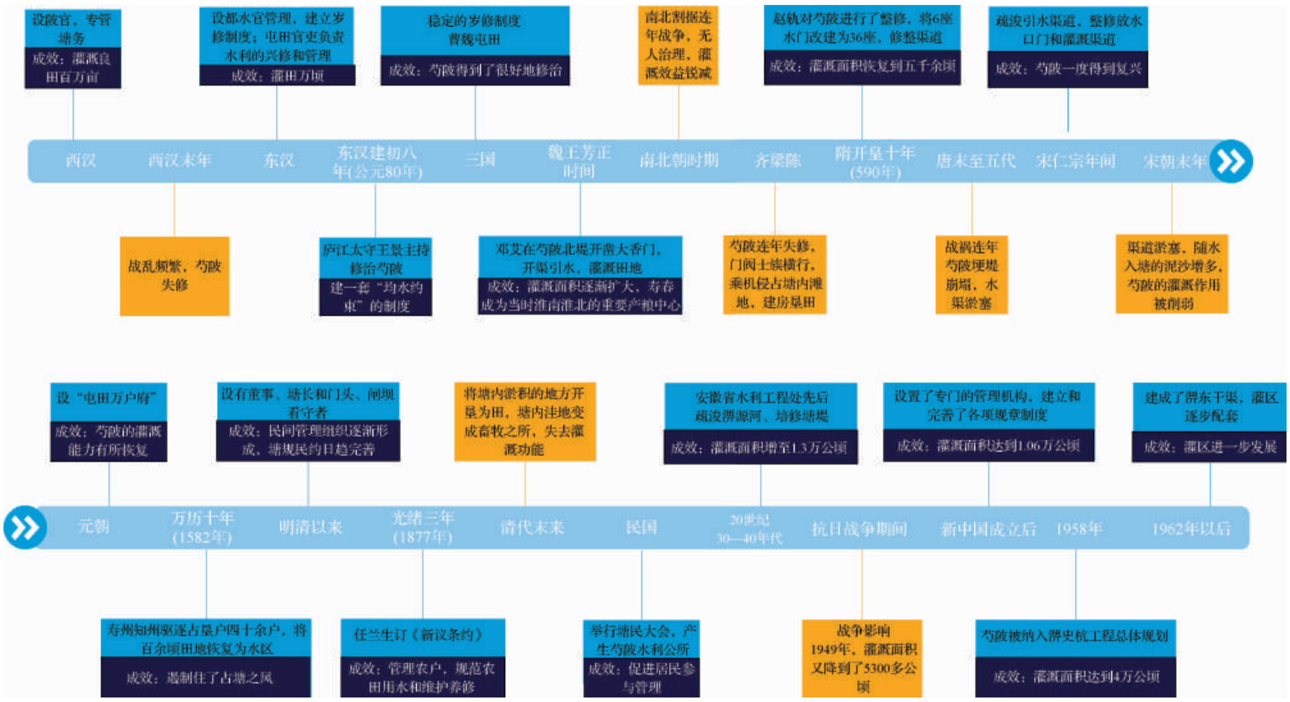

图 1　芍陂灌排管护措施的历史演变

表 1　芍陂水利管理机构与制度的演变

时　期	管理机构	管　理　制　度	运　行　制　度
西　汉	陂　官	专管塘务	以石质闸门控制水量，陂内水位高则开启闸门排泄多余水量，陂内水位低则关闭闸门蓄水
东　汉	都水官	建立岁修制度，屯田期间，屯田官吏负责水利的兴修和管理	均水约束，即田间用水量和用水次数应均衡
宋　代	陂　长	负责水利的兴修和管理	“均出与人，各有后先”
明清时期、民国初年	董事、塘长和门头、门夫、闸坝看守者	(1)董事同各段塘长公议塘务有关事宜。须官办者，董事启请，有急工，董事即带塘长相继赶办，汛期招集塘长督率人夫昼夜巡守； (2)塘长在董事领导下，分段管理塘务，如门闸启闭、集夫兴工，随宜修补等； (3)门头由各门夫按年轮充。遇有兴工，门头接到塘长通知，催集人夫，齐赴工所；平时负责看守水门、修补门墙、更换门板等； (4)闸坝看守之人为贫苦百姓，公费盖房，佃种公田，负责看守闸坝，启放闸板等	(1)先远后近，日车夜放水情检查制度； (2)均沾溉； (3)斗门启闭之前“约同知照”，按照距离水源的远近将农田分为上、中、下三等，即根据受益厚薄，决定负担多寡
1931 年 6 月	芍陂水利公所	负责管理芍陂相关事宜	—
1949—1958 年	安丰塘管理处	实行统一管理与分级负责相结合，专管与群管相结合的管理体制，建立和完善了各项规章制度	(1)根据灌溉范围内农田的远近，采用不同的灌溉方式和管理制度； (2)为了解决远近用水不均的矛盾，管理处制定了“先高后洼，先远后近，先水田后旱田，先高产田后低产田，先灌田后灌小塘”的原则

续表

时　期	管理机构	管　理　制　度	运　行　制　度
1958—1982 年	安丰塘管理处	实行统一管理与分级负责相结合，专管与群管相结合的管理体制，建立和完善了各项规章制度	按科学供水的要求，实行计划用水制度。根据灌区范围内的种植计划以及安丰塘的蓄水情况，编制全年灌溉用水计划，按计划分渠道供水
1982 年起	寿县水务局 安丰塘分局	由寿县水务局安丰塘分局管理，经费由国家财政全额拨款，形成了完善的制度体系和操作规程	用水计划由寿县水利电力局报安徽省淠史杭灌溉管理总局核定后，按计划分渠道供水。各区、乡根据农作物品种和茬口安排，拟订需水量、放水时间、放水流量，向安丰塘管理处提出用水申请，经调查核实后供水

2　对于当代治水的思考

纵观历史，芍陂灌排系统的管护制度自西汉始成雏形，经历过战乱破坏和人为侵占、垦田，逐渐走向规范化、制度化的管理，形成了灿烂的灌溉农业遗产。自明清以来，民间管理组织逐渐形成，塘规民约日趋完善，不仅设有董事、塘长和门头、门夫、闸坝看守者，还签订了维护基层灌溉秩序的条约和协议，管理农户行为。民国时期成立了塘民大会，选举产生了芍陂水利公所，进一步加强了当地人民参与管理的主动性，促进了芍陂水利设施的兴建和维护，扩大了灌溉面积。观今宜鉴古，历史上芍陂的兴衰给我们留下了许多宝贵的经验。

2.1　灌溉管理的重要性

水是自然的产物，但一方山水的水利振兴与当地为政者的管理密切相关[6]。国泰民安离不开农业灌溉，农业灌溉的效益离不开有效的灌溉管理。反思历史，许多次芍陂的衰落都是因为无人治理，使得当地人民没有组织没有约束。早在西汉就曾设陂官，到清代之前，芍陂水利设施的修建、管理等都是在官府的统一指挥下进行的。当一个朝代战乱频发，当管理者忙于朝代更迭时，芍陂的灌溉设施就会被闲置、破坏。豪强从自我利益出发，不顾广大民众私自占田，而为政者又不能采取长期的有效措施，占田之弊便延续了几个朝代，直接导致了芍陂面积缩减。

从芍陂的兴废变迁可以看出，要维持一个水利工程的完整功能，工程措施和管理措施应双管齐下，不仅要及时进行工程管护，还要制定科学、合理的管理措施，并组织当地民众参与水利工程管理，加强外部监督和自我检查。同时，灌溉管理制度需要与时俱进，根据经济的发展、人民的意愿进行整改。明清延续前朝的组织管理制度，多做已有工程的修补增改，没有形成相对成熟的管理制度，以致占田之风猖獗，芍陂大半塘面被侵占。清代后，在官府扶持下，以地方官为领导，设有多个管理人员类别，让乡绅等乡民参与到管理系统中来。如今提出的科学用水、计划用水、节约用水、智慧用水，都是根据目前国家需求提出的灌溉要求，只有与时俱进，制定合理的灌溉制度与管理制度，才能实现灌区水资源的综合管理，才能在管好水的前提下实现农业绿色发展与水资源的优化配置。

2.2　“双河长制”的历史雏形

“河长制”被认为是当代维护河湖健康生命、实现河湖功能永续利用的重大制度创新[7]，但芍陂的管护其实就是河长制的早期实践。古代在官府和贫民与地方豪强作斗争的过程中，一种有民间力量广泛参与的芍陂管理制度应运而生，形成了一种地方官府为主导、乡绅与民众积极参与的良好互动管理机制。在地方官府领导下，由董事义民、塘长和门头组成了陂塘民间管理体系。随后，芍陂的管护兼具官方与民间管理性质，相关用水管理、管理制度、经费来源与使用等规章制度逐步形成，完善的水利管理制度是芍陂灌溉农业持续发展运用的保障，有的延续至今，是当今“双河长制”的雏形。

我国工业化全面发展的时代，对河湖水环境水生

态造成了不可忽视的影响。“双河长制”能全面加强河湖的管理与治理,能促进河湖水质的改善,水生态的修复,是顺应社会可持续发展,满足水环境治理需求的新时代水利事业发展方向。河湖水环境治理又是一项需要社会各部门各机构联合发力的工作,仅仅依靠单一部门很难发挥效果,但多部门工作又很难协调[8]。“双河长制”正好解决了这一难题,“官方河长”通过调度各职能部门,实现河湖管理与治理效益最大化,“民间河长”可吸纳更多的民间力量来参与到河流的治理当中,提高公众的环保意识和主动参与意识,真正提高治水效率。

2.3 退田还湖,促河湖健康

从古至今,人水之争这一尖锐的社会问题,导致芍陂历代都在占田与反占田的斗争中发展。当豪强奸民在上游拦坝筑水、侵塘垦田时,芍陂逐渐被淤塞,上游水土流失加重,下游防洪排涝功能减弱,洪水频发;当人稠地满时,也皆侵塘垦为田,塘内洼地变成畜牧之所。此时,官民采取一定的管护措施,能在一定程度上疏浚河道、退田还湖、扩大芍陂的灌溉面积。即使是现代,经济发展和河湖保护两者之间也存在一些矛盾,同样存在着占田与反占田问题,即围湖造田与退田还湖。如随着土地资源的紧缺,沿河湖地区不仅是城市建设、房地产开发的优势资源,也是农业生产开发利用的稀缺土地,然而生态效益与“经济收益”不可兼得。

十八大提出生态文明建设这一发展模式,水生态文明是生态文明的重要组成部分。2016 年 12 月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于全面推行河长制的意见》,这一制度是维护河湖健康生命的有效举措,其中明确指出,严禁以各种名义侵占河道、围垦湖泊,全力恢复河湖水域岸线生态功能。2017 年 4 月 13 日,长江委在武汉召开共抓长江大保护座谈会,之后各地相继实施的长江大保护战略中,均将退田还湖这一举措列入其中,力争保护水资源、改善水环境、修复水生态。

2.4 打造幸福河湖,传承治水文化

2019 年,习近平总书记在视察黄河时提出,要保障黄河长治久安、促进全流域高质量发展、让黄河成为造福人民的幸福河[9];2020 年,我国纪念“世界水日”和开展“中国水周”活动的宣传主题是“坚持节水优先,建设幸福河湖”[10]。幸福河湖概念的提出,让我们对河湖的治理与保护有了更高的要求,让我们对幸福生活有了一个更美好的向往。2017 年开始,我国就大力推进河长制、湖长制的建设,提升河湖监管水平,目的都是为了河湖健康,打造幸福河湖,这也是从古至今河湖治理的重点。从中可以看出,幸福河湖的关键还是水的问题,水能载舟,亦能覆舟。河湖幸福能富民强国,不幸福则会危及国家社会发展,危害我们的生命财产安全。只有融入了那些能启发我们对河湖治理产生向好感觉的精神,才能体现幸福河湖的所有内涵,这也是水文化的真正魅力所在。

在长期的治水实践中,水本身早已不仅仅是一种物质,它也兼有精神的功能。丰富的水文化已载满了中华文化和民族精神,“爱水、惜水、护水”已成为自古至今社会进步、民族发展的重要举措和精神引领。

3 结 语

芍陂水利工程是中国水利史乃至世界水利史上的一颗明珠,熠熠光辉闪耀至今,在新时代仍发挥着巨大的效益,其灌溉管理与维护制度的历史经验与教训仍是十分宝贵的。从两汉到明清到当代,合理、妥善的管护制度,既关系到陂塘水利效益的发挥,使其在有限的灌溉水量条件下,能够灌溉更多的土地,同时,又是解决水利纠纷的一项重要措施,影响到陂塘的兴废存亡,其兴衰给我们留下了许多宝贵的经验:制定合理的灌溉制度与管理制度,才能在管好水的前提下实现农业绿色发展与水资源的优化配置;“双河长制”是完善水利管理制度、提高治水效率的重大制度创新;退田还湖是维护河湖健康生命的有效举措;建设幸福河湖是“爱水、惜水、护水”治水理念的文化传承。

参考文献

[1] 朱立琴,王黄莫楠,郑大俊. 芍陂水利工程保护与发展的战略思考[J]. 水利经济,2019,37(1):73-78,82.

[2] 李磊. 关于深化“河长制”的思考[J]. 农业科技与信息,2017(17):101-102.

[3] 丁继龙. 芍陂在中国水利史上的地位和作用[J]. 魅力中国,2013(14):6-6,7.

[4] 徐家久. 安丰塘(芍陂)古代水利工程考古调研报告[J]. 文物鉴定与鉴赏,2017(10):86-87.

[5] 李松. 明清时期芍陂的占垦问题与社会应对[J]. 安徽农业科学,2010,38(5):2723-2725,2733.

[6] 董文虎,潘时常. 以泰州为例探讨地区幸福河湖建设的思路[J]. 水资源开发与管理,2020(11):76-78.

[7] 崔绍峰,苑庆中,谢兴震. 关于“河长制”下的新时代“人水关系”重构的思考[J]. 水资源开发与管理,2021(4):69-71,77.

[8] 李成艾,孟祥霞. 水环境治理模式创新向长效机制演化的路径研究——基于“河长制”的思考[J]. 城市环境与城市生态,2015,28(6):34-38.

[9] 汪振宁,宋昊明,顾雯. 安徽省“十四五”期间河湖长制发展与推进分析[J]. 水资源开发与管理,2021(5):59-63.

[10] 鄂竞平. 坚持节水优先建设幸福河湖——写在2020年世界水日和中国水周之际[J]. 中国水利,2020(6):前插1-前插2.

协会动态

关于公布2021年度水利工程优秀质量管理小组成果的通知

各有关单位:

为深入贯彻落实《中共中央国务院关于开展质量提升行动的指导意见》和水利部“三对标、一规划”专项行动总结大会精神,在水利工程建设中提升和强化质量意识,弘扬“工匠精神”,助力新阶段水利高质量发展,根据《关于开展2021年度水利工程优秀质量管理小组成果评价工作的通知》(中水协〔2021〕2号),中国水利工程协会组织开展了2021年度水利工程优秀质量管理小组成果申报工作,经初审、资料评价、发表评价和评价委员会审定,确定2021年度水利工程优秀质量管理小组成果774项,现予以公布。

附件:2021年度水利工程优秀质量管理小组成果名单见中国水利工程协会官网首页“通知公告”栏目(https://www.cweun.org/show.php? cid=11&id=1138)。

中国水利工程协会

2021年12月27日