

大家之言

笪跃武, 于少亭, 胡淑圆. 城市自来水厂绿色发展路径探索与思考[J]. 净水技术, 2022, 41(11): 1-6, 54.

DA Y W, YU S T, HU S Y. Exploration and consideration on green development path of urban WTPs [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(11): 1-6, 54.



扫我试试?

城市自来水厂绿色发展路径探索与思考

笪跃武, 于少亭, 胡淑圆

(无锡市水务集团有限公司, 江苏无锡 214031)

摘要 在“碳中和”“碳达峰”战略背景下, 绿色发展的理念应贯穿于水厂设计、建设、运维、改造和升级的全生命周期之中。在生态文明建设理念下, 如何实现水厂在各个阶段的绿色低碳, 是当前及未来相当长时期内需思考和面对的科学问题。通过梳理水厂全生命周期各个阶段的实施内容, 从规划设计期、工程建设期、生产运营期、绿色改造期、智慧升级期 5 个方面探讨了水厂绿色发展的方向及措施, 努力将城市水厂打造为高效低碳、绿色可持续的城市新基建, 实现城市自来水厂与周边环境的和谐共生。

关键词 城市自来水厂 绿色发展 低碳 全生命周期 实施方向

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2022)11-0001-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.11.001

Exploration and Consideration on Green Development Path of Urban WTPs

DA Yuewu, YU Shaoting, HU Shuyuan

(Wuxi Water Group Co., Ltd., Wuxi 214031, China)

Abstract Under the strategic background of “carbon neutrality and carbon peak”, the concept of green development should run through the full life cycle of the design, construction, operation, maintenance, transformation and upgrading of WTPs. Under the concept of ecological civilization construction, it is a scientific problem that needs to be considered and faced at present and for a long time in the future to achieve green and low-carbon WTPs in all stages. The orientation and measures of green development of WTPs were discussed by sorting out the implementation contents of five respects of the full life cycle of WTPs, including planning and design period, project construction period, production and operation period, green retrofitting period and intelligence upgrade period. The aim is to build urban WTPs into an efficient, low-carbon, green and sustainable new urban infrastructure, and realize the harmonious coexistence of the project and the surrounding environment.

Keywords urban WTPs green development low carbon full life cycle implementation orientation



笪跃武, 男, 无锡市水务集团有限公司技术总监、副总工程师, 高级工程师, 从事给排水生产、建设、运行管理等相关工作。参与“十二五”水体污染与控制重大科技专项课题研究; 参与多部标准、规程和指南编制; 参加并主持多个水厂工程建设。先后荣获江苏省五一劳动奖章、上海市优秀工程勘察设计二等奖、华夏建设科学技术奖二等奖。

[收稿日期] 2022-09-05

[作者简介] 笪跃武(1974—), 男, 高级工程师, 主要从事给排水生产、建设、运行管理等相关工作, E-mail: 1124729736@qq.com。

绿色发展理念,是以人与自然和谐为价值取向,以绿色低碳循环为主要原则,以生态文明建设为基本抓手,以效率、和谐、持续为目标的经济增长和社会发展方式。2020年,我国提出“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和”。这是生态保护和经济发展的双驱模式下,贯彻新发展理念、推动高质量发展的内在要求。城市自来水厂在取水、提升、净化、消毒、加压输送等生产过程中,需要消耗大量水、电、氧气、药剂等资源。如何提高能源利用效率、减少温室气体排放,将绿色发展落到实处,是供水行业必须重视并认真践行的重要课题。绿色发展的理念应贯穿于城市自来水厂设计、建设、运维、改造和升级的全生命周期之中。不但应考虑初期建设投入,还应考虑后期运营和维护,以及社会和环境成本,确保建成后能长期、持续地产生良好社会效益。因此,本文主要从规划设计期、工程建设期、生产运营期、绿色改造期、智慧升级期这5个阶段,对水厂全生命周期各阶段的绿色发展实施内容进行梳理,并探讨水厂绿色发展的突破方向及措施。

1 规划设计期

1.1 水源选择与治理保护

水源是供水系统的起点,是打造绿色水厂的重要基础。在水厂规划设计阶段融入绿色发展理念,选用优质水源,加强水源保护,可以为实现绿色生产、绿色运营构建基本框架。水源的水质安全与长期稳定是定取水源的首要考虑因素。《2022年6月全国地表水水质月报》显示,3545个地表水国考断面中,I类水质断面仅占8.9%,Ⅲ类水以上累计79.2%,水体富营养化仍是主要污染问题。面对水质指标差、达标率不高等情况,供水企业不得不提高药剂投加量,升级处理工艺,来解决原水富营养化以及微污染物、新兴污染物等“痛点”“难点”。甚至需要配套建设粉末活性炭、高锰酸钾、酸碱等应急投加系统,以应对不期出现的突发污染事件。由此而来的是建设成本、维护成本、制水成本和碳排放量的整体大幅提升^[1]。

在“共抓大保护”的生态发展理念指导下,各地逐步意识到加强水源地建设、提升原水水质是把握水源选择主动权、控制供水成本的有效途径。在水源水质得到有效保证的前提下,采用绿色环保的净

水工艺和低成本生产运行将成为可能。水源地保护建设则应当结合实际情况,以政府为主导,构建制度保障,以经济手段推动用水、节水、护水意识形成,打破地域壁垒,加强预警联动^[2],统筹环保、水利、供水主管部门及水务企业共同参与水源保护工作。

1.2 水厂区位布置

(1) 完善城市供水布局

水厂的区位布置应当与城市总体规划相协调,适应城市发展布局。这就要求供水企业及其主管部门加强与规划部门沟通,充分考虑城市供水发展需求,合理规划水厂布局,实现整个供水系统绿色高效发展。

合理的供水布局有助于降低系统建设投入和运行成本。供水系统应该采用多水源互联互通形式,各水厂应该靠近用水负荷中心,围绕城市分散布置。偏于一侧的供水格局极易出现输送瓶颈,导致末端形成低压区。为弥补低压区服务水头不足,提高出厂压力,造成局部水头过剩。“多水源对供”则可有效避免这一情况,并提高了供水保证率。以无锡市为例,从长江、太湖两流域取水,形成“江湖并举,南北对供”格局,有效提高市区北部用水保障率,同时两水源互为备用,在突发污染事件时,可应急水量调度,保障城市大部用水需求。

(2) 避免原水管远距离输送

原水管的管径通常较大,所输送的原水泥沙含量高、成分复杂,长期运行后容易出现爆漏、腐蚀、管径缩小等现象,且维护更换成本高。原水管距离越长,设计、敷设、维护难度也就越大,同时沿程水损和泵站能耗也随之增加。因此,在原水管道设计阶段需要综合分析水质情况、敷设环境、流速等多方面因素,审慎确定管径、管材及防腐方式,在水厂规划设计阶段也应充分考虑自然地理及经济因素,尽量避免原水管远距离输送,减少投资运行成本。

1.3 水厂设计规模及调蓄能力的确定

水厂设计规模直接影响工艺选型、构筑物参数以及设备安装等各个环节,并关系到总体造价以及设备折损等经济指标的确定。因此,既要充分考量城市近远期用水需求、供水保证率以及应急保障系数等因素,又要根据实际需求分期建设,避免产能过剩、设备过早损耗等造成的不必要浪费。除此之外,为实现水厂的灵活调节和节能,需根据时变化系数

(一般水厂清水泵房的时变化系数设计标准是 1.2) 设置清水泵房和水库容积,必要时需在管网中配备储水调节设施,增大供水系统以应对不同工况的调节能力,同时提升节能水平。

目前在二次供水系统中大量使用无负压设备,在避免水箱二次污染和有效利用市政管网压力实现高效节能方面发挥了巨大作用。但因管网调蓄能力的降低(如水箱减少),引起的供水系统时变化系数变大的问题也日益突出(有时超过 1.3 甚至高于 1.4,远大于设计标准),由此带来的产能不匹配问题应引起重视。同时,在供水高峰时,过高的出厂压力不但造成能量的浪费,也增加了管网爆管的风险。图 1 为 2011 年—2021 年无锡市区供水时变化系数。

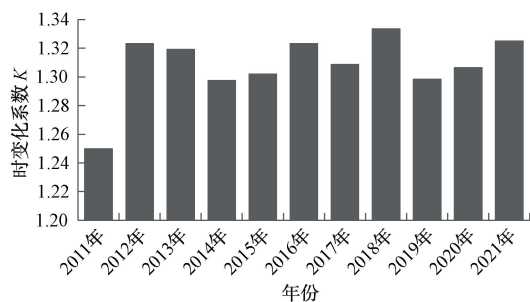


图 1 2011 年—2021 年无锡市区供水时变化系数

Fig. 1 Hourly Variation Coefficient of Urban Water Supply in Wuxi City during 2011 to 2021

1.4 水厂工艺选择与布置

以膜处理工艺为代表的“短流程工艺”,具有药剂投加量低、占地面积小的优点,以物理、生物处理为主,如从“绿色工艺就是要求对水的天然属性没有影响或影响削减到最小”^[3]这个观点来看,短流程工艺称得上“绿色工艺”。在满足水质安全要求的前提下,可论证短流程工艺的可行性。值得注意的是,短流程工艺设备投资成本较高、运行能耗较高、自动化程度要求较高,因此,是否要选择短流程工艺,应综合评价其全生命周期的“绿色贡献度”。

1.5 绿色设计理念应用

(1) 园林式水厂

城市水厂占地面积通常较大,适宜通过增加园林景观布置、绿化面积,打造城市绿源,降低热岛效应。同时,建设绿色屋顶或使用反射率适宜的屋面材料,可减少光污染;也可以利用构筑物上部空间或

建筑屋顶建设光伏发电项目,开发利用新能源,减少公共能源消耗,提高水厂的绿色属性。

(2) 海绵城市理念融入水厂设计

海绵城市,是指在城市水工程建设中利用“海绵”具有的特性,实现弹性处理各类水的目的。主要利用城市建设中的排水系统、道路、绿地等基础,发挥“渗、蓄、滞、净、用、排”的作用,来实现弹性处理的目标。在水厂设计中融入海绵城市理念,让厂区在蓄水的同时还能够释放水资源,辅助解决城市内涝、干岛问题,形成有效的雨水管理^[4-5]。

(3) 一体化水厂

近年来,一体化水处理设备的应用也逐渐进入行业用户视野。通过对各工艺单元优化改进、紧凑布局,以钢板焊接或型材整体拼装为主要施工方式,打造技术可靠、用地集约、经济可行的一体化水处理车间。此外,可根据原水水质选择不同工艺模块组合,废弃板材料可重新利用,凸显了一体化水厂的灵活适应性与可持续性特点^[6]。

(4) 地下式水厂

建设城市地下空间是转变城市发展方式、治理“城市病”,并建设绿色城市的主要着力点^[7]。近年来,地下式水厂成为市政行业争相追逐的“新理念”。地下式水厂最先出现于污水行业,其噪音可控、异味可控的特性,以及“地下厂区+地上景观”的生态友好模式,有效解决了污水处理设施的“邻避”难题,是探索市政基础设施、建设绿色低碳发展的新路径。随着概念的兴起,国内一些地区开展了地下自来水厂建设的尝试,如海口江东新区高品质饮用水水厂。

地下水厂的绿色贡献不仅在于生态环境友好,同时其显著的节地特性也为土地集约化提供了新思路。在各地地下式水厂的建设过程中,形成了一些富有成效的“绿色做法”,包括:①工艺构筑物组团紧密布置;②地下分层使用,检修平台、设备间、工艺构筑物可以叠合布局;③利用天窗设置,充分利用自然光照等。但不可避免的是,地下式水厂在工程投资方面会带来一定压力,其建设成本为地上水厂的 1.5~2 倍,其运行成本较地面水厂也有明显增加,特别是在用电成本方面。因此,在确定建设形式时,应充分考虑技术经济可行性,并综合评估其土地效益、环境效益。

2 工程建设期

2.1 绿色建材

以往在市政工程建设中大量依赖钢材、混凝土、木材等传统建材,资源消耗巨大,不利于生态环境保护,使用寿命有限。而绿色建材则具有能源资源消耗少、环境影响低、性能品质好、使用周期长等特点^[7-8]。绿色建材可以用于管道建设、建筑墙体、建筑立面、室内装饰等各个方面,既有利于使用者的身体健康,也有利于促进节能减排,贴近“碳达峰”“碳中和”的绿色要求。

2.2 施工工法与管理

(1) 绿色施工技术应用

施工新工艺、新技术在建筑施工中已有广泛应用,通常能够提高施工效率与安全性、降低工程成本、减轻环境污染,更符合绿色施工理念。合理选取施工技术,制定有效的应用方案是城市自来水厂建设过程中需要重点关注的课题^[9-11]。

(2) 利用数字化技术优化施工部署

借助 BIM 技术,可以在工程安全、质量、进度和成本得到有效控制前提下,实现绿色、高效施工。它具有协调、模拟和优化的特性,可以协助制定更合理的施工部署,一方面提升了设计效率和满意度,另一方面减少了不合理设计与不合理施工,减少因错返工和成本浪费。BIM 技术以三维可视化模型为核心,将工程中的各项信息统一整合到模型中,使工程项目的设计、施工、运营维护等环节都基于统一模型进行操作。BIM 技术具有的功能优势包括但不限于:图纸可视化,通过软件建模,实现二维图纸的三维立体展示;多层次协调,解决设计、建设、运营各专业并行协调问题,如穿插施工、管道布置、碰撞分析等;过程模拟,如对施工过程、工期、工序以及应急状况进行模拟^[12-13]。

(3) 装配式工艺服务绿色施工

现浇施工通常耗费大量建材,且施工面大、效率低,固、液、气、声污染重,难以满足绿色环保的建设要求。装配式工艺构件预制、模块化程度高,按图装配、机械化程度高,总体来看经济友好、生态友好。钢材、混凝土材料、轻质复合板材均可以成为装配式构件的选用材料,同时 3D 打印技术为装配式工艺提供了更可靠的技术支撑^[14]。市政水厂建构物相对简单,装配式建筑理念与 3D 打印技术的结合,

将极大地简化施工难度,呼应绿色建筑理念。

3 生产运营期

3.1 推动节能降耗

城市自来水管网的耗用主要集中在自用水、电、药(矾、氯、氧等),合理的设备选型及技术改造也是降低耗用的重要措施。供水企业可以通过运营策略优化、设备节能化改造、生产精细化管理、智慧化少人值守,做到绿色低碳生产。

(1) 设备升级改造,提升能源利用率

取水、送水、加压是城市水厂主要耗能环节,其中关键耗能设备为水泵。同时研究^[15-16]表明,水厂能源消耗占到成本的 20% 以上,而关键耗能设备——泵和风机,则超过总能耗的 85%。高效能泵和风机的选用、变频控制技术应用、合理选型与调试、叶轮改造、不同泵组并联使用等方法均能保证泵和风机长时间高效运行,同时避免因选型不合理导致叶轮气蚀损坏。

以无锡为例,无锡 X 水厂一期于 2008 年建成投运,因初期设计规模较大,实际运行水量偏低,出厂管网相对通畅,出厂压力相对较低。经过多年运行,二泵房水泵均已不同程度偏离原有性能曲线,叶轮气蚀明显,同时伴有电机振动指标超限等问题。为此,水厂逐年更换高效能、耐气蚀、低转速水泵,降低运行成本,千吨水电耗平均下降 6.5 kW·h,一年节省电量约 123 万 kW·h。无锡 N 水厂预处理生物氧化池原曝气系统采用罗茨风机,能耗较高、维修量较大。通过调研分析,磁悬浮鼓风机具有能耗、噪声及维护成本方面的优势,将 1 台罗茨鼓风机更换为磁悬浮鼓风机,虽然前期设备投入略高,但通过合理选型,实际运行中,1 台磁悬浮风机可达到 2 台罗茨风机风量,能耗可降低约 20.48%,且噪声低、维护便捷(图 2)。

(2) 管理精细智能,降低药剂使用量

矾、氯、氧等药剂耗用,是生产运行成本的关键组成部分,受水质、净水工艺、药剂种类、人员水平影响较大。水厂日常运转中,受专业技术缺乏、管理方式简单、设备配置缺陷、检测手段不足等因素制约,常存在加药控制简单、药耗偏高的问题。可通过开展小样试验,选择合理的药剂,调整进水负荷,优化投加点与投加方式等手段,改善混凝效果;进一步开展精准投加系统研究,运用矾花图像识别技术和大数据

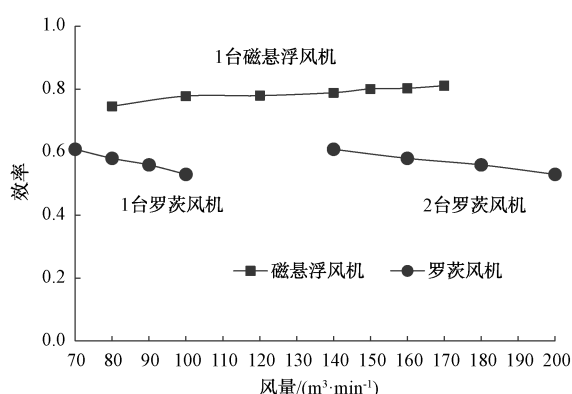


图2 无锡N水厂罗茨风机与磁悬浮风机效率曲线

Fig. 2 Efficiency Curve of Roots Fan and Maglev Fan in WTP N in Wuxi

分析等方法,推进药剂投加智能化、自动化改造,亦可显著降低混凝剂投加量。X水厂采用聚合氯化铝(PAC)作为混凝剂,年均混凝剂投加量相比周边其他水厂明显偏高。通过分析发现:岗位管理问题以及设备缺陷,导致药剂投加误差较大。该厂通过精细化管理,开展相关试验,挖掘加药潜力,并采取加药自动化以及排泥自动化,将混凝剂投加量逐步降低,平均药耗由42.2 mg/L降至23.5 mg/L,降低约44.3%。

(3) 优化生产调度,实现高效运行

通过合理调控清水池、调节池等液位,保持水厂生产工艺负荷稳定,减少开停泵次数,选择合理的配泵方案,使水泵在高效区运行,也可以取得较好的节能效果。如无锡市X水厂,通过试验寻找较低电耗下的最优运行频率区间及最优水池液位区间,充分利用调节池和清水池的调节容积,高峰补水、低峰蓄水,保证水厂增压泵房和取水泵房出水量平稳,尽量使水泵在高效点附近运行,一年节约约38万kW·h。

(4) 优化排泥运行,控制自用水耗

水厂自用水耗主要在砂滤池反冲洗和沉淀池排水过程。通过滤池自控改造,根据不同时间、不同水质和滤池运行工况,合理设置滤池运行周期、冲洗时间、冲洗强度,在提高滤池冲洗效果的同时,相应减少冲洗水耗。对于沉淀池,优化排泥周期,加强泥浆浓度控制,进行自动化改造,可有效节水。特别是对平流沉淀池,通过增加PLC自动控制、排泥管电动阀,安装污泥浓度计,根据污泥浓度,优化排泥车运行路径并跟踪其运行状况,控制不同的步长和循环次数,增加重泥区排泥,减少中后段少泥区排泥频次,可以显著提高排泥效率,“多排泥,少排水”,同

时相应降低了排泥水提升输送的电耗,有效降低后续尾水处理负荷。

(5) 提高自控水平,提升生产效率

以水厂少人/无人值守及全厂统筹管理为路径,降低人力成本、提高生产效率是现代化水厂发展的目标之一。通过自动化设备的升级和改造,实现主要过程的远程控制,逐步达成水泵机组一键启停、智能化配泵、加药系统自动投加、排泥车自动运行、数据处理升级、智能巡检等,强化水质安全、空间安全管理,在保障生产稳定、安全的基础上,减少人力、物力投入。

3.2 构建绿色循环

随着“循环”概念深入人心,如何充分使用、有效回用水厂自身资源引起了广泛思考。滤池反冲洗水可直接回用;沉淀池排泥水收集处理后,上清液可回用至原水,或用作河道生态补水、园林景观用水及部分工业用水;臭氧发生设备冷却水可直接回用。这些循环利用举措在一定程度上实现了水厂水资源的“内外双循环”。

水厂生产的另一类可回用资源是污泥。自来水厂污泥有机质含量较低,可以考虑干化后填埋或制砖,作为建材利用。韦杰文等^[17]提出,对于高铝含量的水厂污泥,可以配制屋顶绿化基质,辅助“海绵城市”建设。并已有研发团队研究掌握了“利用污泥制备绿色负碳包装材料及产品”的全消纳、高附加值、节约碳汇资源的无废负碳应用技术成果,实现资源节约和生态环境保护。

3.3 践行绿色办公理念

加强办公区域用电管理,减少办公设备电耗和待机能耗,及时关闭电源,杜绝长明灯、无人灯;严格规定、合理设置空调温度,减少办公过程中的碳排放;推行无纸化办公或少用纸办公,减少纸张消耗;倡导节约水资源,用水时控制水流,用水完毕及时关闭水龙头,节约每一滴水。

4 绿色改造期

4.1 绿色能源的使用

双碳背景下绿色升级改造离不开绿色能源技术的使用。对于场地空间大、光照条件好的水厂,可充分利用优势,开发光伏发电项目,实现电能自产自余、余电并网。此外,水处理行业也应加强对“水能”的利用尝试,例如建设水源热泵空调,冬季充分

利用水中存热,夏季通过循环水冷降温;也有企业研究利用构筑物间的水跌落势能发电。对于风力资源较为丰富的地区,也可以考虑建设风力发电设施,但对临近构筑物的安全影响需要评估。以无锡 X 水厂为例(图 3),其利用 5 个清水池顶部空间,建设一座分布式光伏电站,总面积约为 4.4 万 m²,装机容量为 4.6 MW。光伏电站采用“自发自用、余电上网”的模式,设计寿命为 25 年。每年可发电 500 万 kW·h,投资回收期约为 9 年。



图 3 无锡市 X 水厂光伏发电项目

Fig. 3 Photovoltaic Power Generation Project in WTP X in Wuxi City

4.2 绿色管理体系建设

在“碳资产”时代来临之际,以“碳排放量”的变化来评价供水企业改造、建设、生产、运营等行为的“含绿量”,能够有效避免在实现绿色水厂过程中的无序、低效行为。水厂构建碳排放绿色管理体系可以包括以下几项内容:①确定边界条件,并对排放源及其种类进行识别;②选择核算方法;③选择因子,确定统计的排放源种类;④收集与筛选相关数据;⑤计算与汇总排放量;⑥评价与控制。最终目的是通过单元(如按组织、项目或区域)、类别(如生产原料类、设备类)、阶段(或时间)整理,统计碳排放量,对绿色行为产生的碳增或碳减进行评价,从而制定合理的减排指标,推动节能减排工作^[18]。

5 智慧升级期

《城镇水务 2035 年行业发展规划纲要》提出“到 2035 年,基本建成安全、便民、高效、绿色、经济、智慧的现代化城镇水务体系”。加之“数字经济”浪潮兴起,“数字水务”“智慧水务”概念已成为当前水务行业研究与探索建设的热点。

智慧水务的协同运作、精确处理和科学预判有

利于实现生产管理精细化、高效化、便捷化,智慧水务建设的使命和应有成效之一是实现水处理生产的绿色可持续,并且应当体现在城市自来水厂设计、建设、生产、运营等多方面。一是利用“新基建”中的 BIM 技术、3D 打印技术、AI、5G、云计算等先进工业信息工具优化设计方案和施工方案,促进“人、材、机”的高效使用,降低建设成本,同时搭建智慧建设管理平台,控制施工期间的非绿色行为发生。二是构建实时监测、动态调整的智慧生产系统,如时间、空间一体化的水源监控体系,随水质、流量要素变化精准控制的智能生产管理方案,以物联网为基础的工艺动态监控和能源管理模块,实现生产力高度协同、生产资料高效利用,能源资源最少消耗^[19-20]。三是以海量数据和算法为基础,搭建精准预测模型助力智慧运营,实现诸如多因素融合的日用水量预测、低碳实时调度等功能,指导出厂水量调度和压力调节^[21-22]。

6 结语

自来水厂是城市建设的重要基础设施,是支撑是社会发展和人民生活的重要保障。在规划、设计、建设、运营及升级改造的全生命周期各阶段都应贯彻落实绿色发展的理念,贯穿使用绿色、智能新技术,因地制宜、因势利导、合理建设、精细管理,努力将城市水厂打造为高效低碳、绿色可持续的城市新基建,实现项目与周边环境的和谐共生。

(1) 注重前期规划设计,合理选择水源、守住水源安全底线,充分做好水厂建设规划,优化工艺设置与厂区设计,为城市自来水厂建设、运营增添“绿色”底色。

(2) 贯彻绿色建筑理念,从用材、施工、管理各个方面推动城市自来水厂建设过程绿色、低碳。

(3) 多维度开展节能降耗,通过设备更新改造、精细化管理、优化生产调度、自动化改造等方式,实现水厂生产运营提质增效,同时提高资源利用率,实现生产过程“高效用,低排放”。

(4) 创新思路,大胆尝试使用绿色新能源,推进智慧化升级,获取“新技术”带来的绿色价值。

参考文献

- [1] 潘正道, 聂瑶, 董理腾, 等. 应对突发污染事故的城市供水应急处理工程的成本效益分析初步研究[J]. 给水排水, 2015, 51(10): 14-21.

(下转第 54 页)

方案。

7 总结

(1) 臭氧投加量是深度处理关键参数之一,其投加量和发生器配置既要考虑到实际运行的经验,又要结合相关科研成果,同时还需充分考虑对特殊工况的应对。

(2) 根据调研和相关科研成果,建议青草沙水源的最大臭氧投加量按 1.7 mg/L 考虑,其中前臭氧投加能力为 0.5~1.0 mg/L,后臭氧投加能力为 0.5~1.0 mg/L。

(3) 臭氧发生器的实际运行功率随着工作负荷的降低而相应降低,负荷率在 50% 以上时,发生器效率和负荷率成反比,即负荷功率越高,产出臭氧效率越低,臭氧单位电耗越高。但负荷低于 15% 时会影响臭氧浓度,从而影响投加效果。

(4) 同一规格臭氧发生器在不同负荷下长期工作的设备寿命、运维成本基本相同。

(5) 臭氧发生器的配置应结合每座水厂的设计规模、实际运行水量、具体发生器设备性能、价格、能耗、维保费用等多方面进行软备用和硬备用方案比

较,建议设计阶段明确计算投加能力,具体配置方案结合招投标情况最终确定。

参考文献

- [1] 吴静宇,杨向东,项嘉汇. 水厂深度处理工艺对上海青草沙原水的处理效果[J]. 环境与健康杂志, 2020, 37(4): 334-335.
- [2] 鄢晓东,周北海,袁蓉芳,等. 臭氧投加量对臭氧/生物活性炭工艺处理水库水影响的中试[J]. 给水排水, 2014, 27(4): 427-433.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家市场监督管理总局. 室外给水设计标准: GB 50013—2018[S]. 北京: 中国计划出版社.
- [4] 王铮,张东,夏萍,等. 青草沙原水深度处理工艺方案比较[R]. 上海: 上海城市水资源开发利用国家工程中心有限公司.
- [5] 王如华,郑国兴,芮旻,等. 杨树浦水厂、长桥水厂深度处理改造方案研究报告[R]. 上海: 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 2011.
- [6] 刘佩青,姚青,沈华,等. 水厂臭氧发生器的经济运行分析[J]. 净水技术, 2021, 40(4): 85-89.
- [7] 蒋瑞卿. 主流臭氧设备在水厂中的应用分析[J]. 净水技术, 2018, 37(s1): 54-56.
- [8] 何艳梅. 长三角示范区饮用水水源水质安全与实体性制度协同立法[J]. 环境污染与防治, 2022, 44(2): 278-284.
- [9] 李圭白,梁恒,白朗明,等. 绿色工艺——第三代饮用水净化工艺的发展方向[J]. 给水排水, 2021, 57(9): 1-5.
- [10] 李秋艳,单春林. 海绵城市理念在水厂设计中的应用[J]. 建筑技术开发, 2019, 46(8): 21-22.
- [11] 陈圆,江娟. 长沙市第一水厂提质改造工程绿色市政设计理念的应用实践[J]. 给水排水, 2021, 57(6): 29-35.
- [12] 高吉升. 山东某市新建一体化水厂工程实践研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2019.
- [13] 钱七虎. 利用地下空间助力发展绿色建筑与绿色城市[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(11): 1737-1747.
- [14] 刘珊珊,张澜沁,戚甫社,等. 我国绿色建材的发展现状及对策研究[J]. 住宅产业, 2021(12): 17-20.
- [15] 李国福. 建筑工程施工新技术、新工艺的应用分析[J]. 房地产世界, 2022(7): 110-112.
- [16] 樊利天. 绿色理念如何应用于市政工程施工[J]. 施工技术, 2018(6): 155-155, 157.
- [17] 赖响. 运用先进施工工艺降低施工成本的策略[J]. 大众投资指南, 2019(7): 26-26.
- [18] 赵振宇. BIM 技术在某综合体工程施工中的应用研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.
- [19] 莫韬韬. BIM 可视化技术在深基坑施工中的应用研究[D]. 长春: 长春工程学院, 2021.
- [20] 刘香香,孙凤. 基于蚁群算法的装配式建筑施工工序多目标优化模型[J]. 土木工程与管理学报, 2021, 38(3): 113-118.
- [21] 翁晓姚. 碳达峰与碳中和目标下供水企业绿色低碳发展的思考[J]. 净水技术, 2022, 41(5): 1-4.
- [22] 周刚. 自来水厂机泵设备节能方法分析[J]. 科技风, 2016(5): 109-109.
- [23] 韦杰文,韩柳,赵晓红,等. 给水厂铝污泥作为屋顶绿化基质应用的关键问题分析[J]. 环境工程, 2019, 37(12): 34-40.
- [24] 陶春华. 碳资产: 生态环保的新理念——概念、意义与实施路径研究[J]. 学术论坛, 2016, 39(6): 64-67.
- [25] 宗延萍. 智慧水务系统在城市供水中的运用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2022(5): 178-180.
- [26] 张大为,王岩,戴春琴. 智慧水务在海绵城市中的应用[J]. 市政技术, 2020, 38(6): 215-219.
- [27] 游庆元,吴胜华,陈超明. 低碳实时调度在智慧水务中的位置与运行[J]. 供水技术, 2019, 13(4): 61-64.
- [28] 姚俊良,薛海涛,刘庆. 数据驱动的城镇智慧水务日用水量预测算法[J]. 北京邮电大学学报, 2021, 44(4): 82-88.