

大家之言

陈燕波,潘名宾,司徒菲,等. 基于饮用水安全优质保障的全流程水厂设计思考[J]. 净水技术, 2022, 41(7):1-6,26.

CHEN Y B, PAN M B, SITU F, et al. Consideration on the design of whole-process waterworks based the safety and quality guarantee of drinking water [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(7):1-6,26.



扫我试试?

基于饮用水安全优质保障的全流程水厂设计思考

陈燕波,潘名宾,司徒菲,魏旭,孙建春,万年红,镇祥华

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司,湖北武汉 430010)

摘要 饮用水水源污染和水质提升是当前我国城市供水行业面临的两大压力。在此背景下,基于饮用水多级屏障理念的全流程工艺在水厂设计中得到应用,促进了全流程水厂的建设与实践。文章总结了全流程工艺的概念、组成单元及特点;简要介绍了雄安新区等地的全流程水厂设计案例;从利用“水专项”成果建设标杆水厂、提高净水工艺针对性保障安全优质供水、合理选择工艺单元和工艺参数提高净水系统弹性、贯彻绿色生态理念提高水厂与环境融合度、设置多种运行模式提高水厂运转灵活性、建设智慧型水厂提升运行管理水平等方面对全流程水厂设计进行了系统思考和总结。

关键词 多级屏障 全流程工艺 全流程水厂 臭氧-活性炭 膜处理 紫外线消毒

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

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.07.001

Consideration on the Design of Whole-Process Waterworks Based the Safety and Quality Guarantee of Drinking Water

CHEN Yanbo, PAN Mingbin, SITU Fei, WEI Xu, SUN Jianchun, WAN Nianhong, ZHEN Xianghua

(Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430010, China)

Abstract The pollution of drinking water sources and the improvement of drinking water quality are the two major pressures faced by the urban water supply industry at home. In this background, the whole-process flow based on the concept of drinking water multi-stage barrier has been applied in the design of water treatment plants, which has promoted the construction and practice of whole-process waterworks. The concept, components and characteristics of whole-process flow are summarized, and a brief introduction to the design cases of whole-process waterworks in Xiong'an New Area and other places is given. This paper makes a systematic consideration and summary on the design of whole-process waterworks, including making full use of the "Water Major Project" achievements to build benchmark water plants, improving the pertinence of process to ensure the safety and quality of water supply, reasonably determining the process units and parameters to improve the flexibility of water purification system, implementing the concept of green ecology to improve the integration of plants with the environment, setting multiple modes to improve the operation flexibility of plants, and building smart water plants to improve the operation management level, and so on.

Keywords multi-stage barrier whole-process flow whole-process waterworks ozone-activated carbon membrane treatment UV disinfection

[收稿日期] 2022-04-07

[基金项目] 2019年住房和城乡建设部科学技术计划项目(2019-K-143)

[作者简介] 陈燕波(1965—),男,正高级工程师,主要从事市政给排水的设计与研究, E-mail:2423529501@qq.com。



陈燕波,中国市政工程中南设计研究总院副总工程师,正高级工程师,主要从事市政给水排水工程咨询设计与科研工作。负责及指导的大中型工程咨询设计项目有100余项,其中给水处理总规模达500万 m^3/d ,污水处理总规模达300万 m^3/d ,成果获国家及省部级优秀咨询设计奖20余次;参与“十三五”国家水专项《城市供水系统规划设计关键技术评估及标准化》、住建部及省市级科研课题4项;主编及参编行业相关规范、标准、规程8项。

当前,我国城市供水行业面临着两个方面的问题。一方面,饮用水水源污染问题仍然比较突出,存在饮用水水质不达标的风险;另一方面,我国进入小康社会,广大人民群众对高品质生活饮用水的需求不断增长,供水系统存在设施建设不完善、不充分与广大人民群众对优质饮用水水质新期待之间的矛盾问题。近年来,上海市、深圳市、雄安新区、海口市江东新区等地已(拟)发布地方性生活饮用水水质标准,提出了比现行国标更为严格的生活饮用水水质标准,期望通过标准的提升,进一步推动净水工艺改进和管理水平提升,提高人民群众的获得感和幸福感。

针对第一个问题,应贯彻底线思维,提高供水系统应对水源水质污染风险的能力。饮用水水质安全是国家公共卫生安全体系的重要组成部分,与人民群众身体健康和社会稳定息息相关,提供合格水、放心水是供水系统的最基本要求。针对第二个问题,应贯彻以人民为中心的发展理念,提高供水系统建设标准,提供更优质、更健康、更好喝的饮用水,实现城市供水系统的高质量发展。

在上述背景下,基于饮用水安全保障的多级屏障工艺——全流程工艺在国内水厂建设中开始得到较多应用,建成了一批全流程水厂。

1 供水系统多级屏障理念及全流程工艺概念的提出

“十一五”和“十二五”期间,“国家水体污染控制与治理科技重大专项”(简称“水专项”)设立了“饮用水安全保障”主题,构建了我国“从源头到龙头多级屏障工程技术体系”和“从源头到龙头全过程管理技术体系”^[1]。这是“水专项”十多年研发的重大成果,而贯穿其中的“多级屏障”理念直接引领了近十多年我国城市供水系统的建设发展方向,促进了以臭氧-活性炭、膜分离、紫外消毒等为核心的

饮用水安全保障多级屏障工艺在水厂日益广泛的应用。

笔者认为,饮用水“多级屏障”理念的内涵,至少包含以下两个层次:第一个层次,从整个供水系统来说,“多级屏障”涵盖了水源、水厂和输配管网(包括二次供水)3道安全屏障;第二个层次,从水厂净化处理环节来说,“多级屏障”涵盖了预处理、常规处理、深度处理、消毒等若干道安全屏障。

基于第二层次,在2015年之后,供水行业提出了“全流程工艺”这一新概念。所谓“全流程工艺”,其基本含义是水厂净水工艺包含了预处理工艺、常规处理工艺和深度处理工艺,并且其中的深度处理工艺应包含臭氧-活性炭吸附和膜处理。采用全流程工艺的水厂,称为“全流程工艺水厂”或“全流程水厂”。

预处理工艺包括化学预处理(如臭氧氧化、氯氧化、高锰酸钾氧化等)、生物预处理、粉炭吸附预处理等多种形式。全流程工艺中的预处理工艺,一般多为预臭氧工艺。

常规处理为混凝-沉淀-砂滤-消毒处理,是最基本的净水工艺,也是我国目前大多数水厂采用的工艺形式,是全流程工艺必备的环节。

深度处理工艺包括臭氧-活性炭工艺、膜处理工艺和高级氧化工艺^[2]。其中臭氧-活性炭工艺应用最为普遍,截至2019年全国总规模约为3500万 m^3/d ;膜处理工艺包括超滤和纳滤,以超滤膜为代表,近年也得到更多应用,截至2019年全国总规模约为500万 m^3/d ,可进一步提高饮用水的生物安全性,弥补臭氧-活性炭工艺的不足。全流程工艺中的深度处理工艺应包括臭氧-活性炭工艺和膜处理工艺,可称之为“双深度处理”。

另外,全流程工艺还常常包括紫外线消毒工艺。国内有40多座大中型水厂采用了紫外线消毒工艺,

总规模近 650 万 m³/d^[3]。如天津泰达经济技术开发区给水厂三期工程采用紫外线+氯联合消毒工艺^[4],北京第十水厂采用紫外线+氯胺联合消毒工艺^[5]。

综上,全流程工艺是一种长流程工艺,其组成单元如下:预处理单元(预臭氧、生物预处理等)、常规处理单元(混凝、沉淀、砂滤)、臭氧-活性炭吸附单元和膜处

理单元(超滤或超滤+纳滤)、消毒单元。全流程工艺的主要特点是具有臭氧-活性炭和膜组成的双深度处理工艺,如图 1 所示。这些工艺单元各具作用,相互补充,组成保障饮用水安全、优质的多级屏障。因此,也可以说全流程工艺是饮用水多级屏障理念在水厂设计中的具体应用,促进了全流程水厂的建设与实践。



图 1 全流程工艺示意图

Fig. 1 Schematic Diagram of Whole Process

2 全流程水厂建设现状

国内全流程水厂建设与实践始于 2010 年之后,部分已建成的全流程水厂情况如表 1 所示。从公开

报道资料来看,北京市门头沟城子水厂是国内最早建成投运的全流程水厂。

国内其他全流程水厂还有上海临港水厂(在

表 1 国内部分已建成全流程水厂

Tab. 1 Part of the Whole Process WTPs Built at Home

序号	水厂名称	水厂规模	水源及特点	建设情况
1	北京市门头沟城子水厂	8.64 万 m ³ /d	南水北调水-团城水库水,低温低浊水;长距离输水可能出现水体污染	2014 年 9 月建成通水
2	北京市郭公庄水厂(一期)	总规模为 100 万 m ³ /d,一期规模为 50 万 m ³ /d	南水北调水-团城水库水,低温低浊水;长距离输水可能出现水体污染	2014 年 12 月建成通水
3	郑州航空港第二水厂(一期)	总规模为 80 万 m ³ /d,一期规模为 20 万 m ³ /d	南水北调水或黄河水,低温低浊水;黄河水一般为 III 类水水质,存在突发水污染情况	2017 年 8 月正式供水
4	郑州市龙湖水厂	20 万 m ³ /d	花园口黄河水,低温低浊水;一般为 III 类水水质,存在突发水污染情况	2018 年 11 月开工建设,即将建成投运
5	广州市北部水厂(一期)	总规模为 150 万 m ³ /d,一期规模为 60 万 m ³ /d	西江水;基本为 II 类水水质,部分时段会出现高浑浊度、高藻类、异味等突发情况	2019 年 1 月年月试运行
6	北京石景山水厂	20 万 m ³ /d	南水北调水-团城水库水	2021 年 10 月通水

建,规模为 20 万 m³/d)、东莞松山湖水厂(在建,规模为 110 万 m³/d)、东莞芦花坑水厂(在建,总规模为 90 万 m³/d,一期规模为 50 万 m³/d),以及本文将要介绍的 4 个案例等,总规模超过 450 万 m³/d。

3 全流程水厂设计案例

3.1 雄安新区起步区 1#水厂

(1) 项目概况

水厂规划远期总规模为 20 万 m³/d,一期规模为 15 万 m³/d,已于 2021 年 7 月建成供水。水源为南水北调水,原水水质总体达到地表水 III 类标准,但存在水质污染情况:总氮超标,石油类、粪大肠菌群偶有超标,整体呈现低浊、低有机物的水质特征,冬季低温;pH 相对较高;检出多种典型致嗅物质,其

中双-2-氯异丙基醚(双醚)质量浓度接近嗅阈值(100 ng/L);藻类总数为 150 万~300 万个/L。

水厂按高品质饮用水厂建设,供水水质要求满足《河北雄安新区生活饮用水水质指标体系》(建议稿),出厂水浑浊度要求≤0.1 NTU。

(2) 净水工艺流程

水厂工艺流程为:原水-预臭氧接触池-高效沉淀池-V 型砂滤池-提升泵房-后臭氧接触池-翻板活性炭滤池-超滤膜车间-紫外线+次氯酸钠联合消毒-清水池-送水泵房-配水管网。

(3) 主要工艺设计参数

预臭氧接触时间为 5.0 min;高效沉淀池混合时间为 2.2 min,絮凝时间为 21.0 min,斜管区液面负

荷为 $11.7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; V 型砂滤池滤速为 7.3 m/h ; 后臭氧接触时间为 12.0 min ; 活性炭滤池空床滤速为 9.3 m/h ; 超滤膜通量为 $50 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 紫外消毒采用 2 台 DN800 管式消毒设备。

3.2 珠海市梅溪水厂

(1) 项目概况

水厂规划总规模为 $45 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 一期工程土建按 $30 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 规模一次建成, 设备按 $15 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 规模进行安装, 目前项目在建。原水平时取自西江磨刀门水道, 咸潮期取自竹银水库, 应急备用水源为梅溪水库和大境山水库。原水水质基本符合地表水 II 类标准, 其中总磷、总氮偏高, 竹银水库藻类含量较高 ($4\ 300 \text{ 万} \sim 7\ 800 \text{ 万个/L}$)。

供水水质要求同时满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 和《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005), 出厂水浑浊度内控标准为 $\leq 0.1 \text{ NTU}$ 。

(2) 净水工艺流程

水厂工艺流程为: 原水-预臭氧接触池-高效沉淀池-气水冲洗砂滤池-后臭氧接触池-翻板活性炭滤池-超滤膜池-紫外线+次氯酸钠联合消毒-清水池-送水泵房-配水管网。

(3) 主要工艺设计参数

预臭氧接触时间为 7.4 min ; 高效沉淀池混合时间为 1.25 min , 机械絮凝时间为 12.1 min , 斜管区液面负荷为 $14.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 砂滤池滤速为 7.5 m/h ; 后臭氧接触时间为 13.1 min ; 活性炭滤池空床滤速为 11.1 m/h ; 采用浸没式超滤膜, 平均膜通量为 $23.3 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 紫外消毒采用 4 台 DN800 管式消毒设备。

3.3 海口市江东新区水厂

(1) 项目概况

水厂土建按 $40 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 规模一次建设, 设备按 $20 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 规模安装, 目前项目在建。采用地下式水厂+地上开发的建设模式。水源取自南渡江龙塘坝, 原水总体达到地表水 III 类标准, 但铁、锰超标情况比较突出, 总磷偶有超标, 存在微污染情况。

供水水质要求优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006), 满足“江东新区高品质饮用水水质标准”的要求, 出厂水浑浊度要求 $\leq 0.1 \text{ NTU}$ 。

(2) 净水工艺流程

水厂工艺流程为: 原水-进水配水井-预臭氧接

触池-高效沉淀池-提升泵房-一级超滤-后臭氧接触池-活性炭滤池-二级超滤-清水池(投加次氯酸钠消毒)-送水泵房-配水管网。

(3) 主要工艺设计参数

预臭氧接触时间为 5 min ; 高效沉淀池斜管区液面负荷为 $21.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 一级超滤膜通量为 $42 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 后臭氧接触时间为 8.2 min ; 活性炭滤池空床滤速为 9.5 m/h ; 二级超滤膜通量为 $56 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

3.4 济宁市长江水厂

(1) 项目概况

水厂远期总规模为 $20 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 一期工程建设规模为 $10 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 是济宁市首座地表水厂, 目前已建成供水。水源为南四湖, 原水水质基本符合地表水 III 类标准, 但水质比较复杂, 化学需氧量、五日生化需氧量、高锰酸盐指数、总氮、氟化物、硫酸盐等项目超标频次较高, 有机微污染、硫酸盐等问题比较突出; 溴化物及藻类含量较高; 新兴污染物有不同程度的检出。

供水水质要求满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。

(2) 净水工艺流程

水厂工艺流程为: 原水-预处理(粉末炭、高锰酸钾)-竖向折板絮凝、平流沉淀、气浮池-臭氧接触池-UV/H₂O₂ 高级氧化(预留)-上向流活性炭滤池-超滤膜池-纳滤(预留)-清水池(投加次氯酸钠消毒)-送水泵房-配水管网。

(3) 主要工艺设计参数

折板絮凝池絮凝时间为 20 min , 平流沉淀池停留时间为 2.2 h , 水平流速为 15 mm/s ; 气浮池设置于沉淀池之后, 气浮池接触室上升流速为 51.0 mm/s , 分离区流速为 7.4 mm/s , 最大溶气压力为 0.60 MPa , 设计最大回流比为 15% ; 臭氧接触时间为 14.6 min ; 活性炭滤池空床滤速为 11 m/h , 接触时间为 14 min ; 采用浸没式超滤膜, 设计膜通量为 $33 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

4 全流程水厂特点分析

通过对国内已建、在建的全流程水厂进行对比分析, 总结出以下特点。

(1) 水厂规模大, 定位高, 具有强烈的社会需求
国内已建、在建的全流程水厂基本都是大型或

超大型水厂,是当地的主供水厂,对保障城市供水安全极为重要,提出了诸如“高品质饮用水厂”“现代化水厂”的高定位要求,担负着满足人民群众对优质饮用水的渴望、引领水处理技术进步、促进高标准供水设施建设、展示高质量发展成果的重任,在社会需求层面具有建设必要性。

(2)原水存在复杂性,出水水质标准高,应有完善的技术保证措施

国内已建、在建的全流程水厂的原水水质普遍存在一定的复杂性,存在季节性水质变差或较大的突发性水源污染可能性。例如雄安新区起步区1#水厂、北京郭公庄水厂^[6]、石景山水厂^[7]、门头沟城子水厂、郑州航空港二水厂^[8]的原水都是南水北调水,水质总体较好,但存在冬季低温低浊、夏季高藻、有机物、色、嗅味等问题,具有低微有机污染、微生物迁移、突发性原水污染的潜在风险;郑州龙湖水厂^[9]、航空港二水厂(部分时段)的原水采用黄河水,突发性水污染事故时有发生,具有低温低浊、有机微污染、有一定的藻类和嗅味等水质特征;广州西部水厂^[10]、珠海梅溪水厂原水采用西江水,基本属于Ⅱ类水源,但部分时段会出现高浊、高藻、异味等突发情况;济宁长江水厂原水水质则更为复杂。

出水水质标准方面,普遍提出了优于国标的要求。例如雄安新区起步区1#水厂、珠海梅溪水厂、海口江东水厂均要求提供高品质出水,其中出厂水浑浊度 <0.1 NTU;北京郭公庄水厂、石景山水厂要求出水水质低于国家标准限值,达到国际标准,其中出水浑浊度 <0.3 NTU,保证率 $>95\%$;广州北部水厂出水要求基本达到《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005),其中出厂水浑浊度 <0.3 NTU。

由于进水水质的复杂性及出水水质的高要求,水厂在技术措施层面具有采用全流程工艺的必要性。

(3)在采用全流程工艺的前提下,各工艺单元的具体形式选择具有多样性

絮凝沉淀池池型多样,主要结合水厂原水水质特点、使用和管理习惯、运行管理简便性、项目用地面积等因素进行选择。例如雄安新区起步区1#水厂、珠海梅溪水厂、海口江东水厂等采用占地较小且对低温低浊水处理效果较好的高效沉淀池;济宁长江水厂、郑州航空港二水厂及龙湖水厂、上海临港水厂、广州西部水厂等采用运行稳定且管理简单的折

板絮凝平流沉淀池;郭公庄水厂、石景山水厂、门头沟城子水厂采用在北京地区应有较多、具有丰富管理经验且对低温低浊水处理效果较好的机械搅拌澄清池。

砂滤池池型基本相同,一般采用气水冲洗滤池(V型滤池),有些厂则未设砂滤池。

活性炭滤池池型形式包括上向流和下向流。雄安新区起步区1#水厂、珠海梅溪水厂、海口江东水厂、郑州航空港二水厂、上海临港水厂均采用下向流活性炭滤池;济宁长江水厂、北京门头沟城子水厂、郑州龙湖水厂、广州西部水厂采用上向流活性炭滤池,设置于絮凝沉淀池之后、砂滤池之前;郭公庄水厂、石景山水厂则采用炭砂滤池。

超滤膜形式包括压力式和浸没式,其中压力式使用较多。除济宁长江水厂、郑州航空港二水厂及龙湖水厂采用浸没式超滤膜外,其他水厂均采用压力式超滤膜。

(4)工艺流程长,既要考虑运行灵活性,又要应对运行管理复杂性

大部分全流程水厂都设置了多种运行模式,提高了水厂应对水质、水量变化的灵活性。珠海梅溪水厂、郑州龙湖水厂只设一级中间提升泵房,有利于简化运行管理;雄安新区起步区1#水厂、海口江东水厂、郑州航空港二水厂等采用智慧水务技术提高运行管理水平。

5 全流程水厂设计思考

(1)充分利用国家“水专项”系列成果,建设标杆水厂,促进水厂建设技术进步

全流程水厂是国家“水专项”成果的具体应用,代表了现阶段我国饮用水处理工艺先进水平。其根本宗旨是以人为本,体现了以人民为中心的思想,有利于增强人民群众的获得感和幸福感;其核心理念是多级屏障,强化净化环节的风险管控能力,提升水质安全裕度;其核心工艺是绿色工艺,有利于减小水处理药剂的投加量,水质更加健康、好喝。全流程水厂设计应充分利用“水专项”系列成果及其他最新研究成果,按标杆水厂进行建设,促进我国城市水厂建设技术进步。

当前,我国城市发展已进入到城市更新的阶段,由“增量”向“提质”转变,从“有没有”向“好不好”转变。笔者认为,城市更新行动对城市供水系统的要求

是建设优质供水设施,让老百姓喝上放心水、优质水。对于有需求、有必要、有条件的地区,可以通过全流程水厂的建设带动本地区优质供水设施的建设。

(2)充分分析原水水质,强化风险识别,提高净水工艺针对性,保证安全优质供水,节约投资

全流程水厂应安全与优质并重,原水水质差时保证出水达标,提供合格水;原水水质好时保证出水优质,提供高品质水。全流程水厂设计应对原水水质进行客观、准确分析,对风险进行精准识别,必要时可进行专门试验研究,在此基础上进行工艺选择,以提高净水工艺针对性和有效性。例如,在珠海梅溪水厂设计前,专门在珠海拱北水厂建立了一座水处理全流程中试基地,旨在通过对多水源采用不同组合工艺流程的试验研究,为水厂设计提供依据^[11]。同时还应该认识到,尽管全流程工艺对水质的安全保障性高,但工程投资较大,运行成本相对较高,厂区占地面积较大,运行管理要求更严格,不应为追求全流程而进行全流程设计,而应该按工程实际需要决定是否采用全流程工艺。

在采用全流程工艺保证安全优质供水的基础上,如何降低工程投资也需要深入思考,可考虑的措施包括超滤膜系统分期建设、采用国产超滤膜、减少中间提升泵房、采用炭砂滤池、不设砂滤池等。

(3)合理选择工艺单元及工艺参数,净水处理系统具备弹性

全流程水厂各工艺单元具备不同功能,要结合项目特点和具体工艺流程合理选择工艺单元及其形式。如预处理的形式、絮凝沉淀池池型、砂滤池池型、活性炭滤池池型、超滤膜形式(压力式或浸没式);是否设置砂滤,砂滤池在前还是活性炭滤池在前;是否有必要设置纳滤,以及考虑纳滤处理水量的比例;活性炭滤池前是否设置提升泵房等。不同的池型形式存在不同的适用条件和优缺点,并无严格的好坏之分,以合适为原则。

全流程水厂各工艺单元处理侧重点不同,其基本原则是前序单元为后续单元减负荷,后续单元为前序单元加保险。因此,对于全流程水厂设计,仍要注意强化常规处理单元的效果,其设计参数取值不宜因采用全流程工艺而偏高,一般情况下仍可相对保守,以提高常规处理系统的弹性,便于后续深度处理单元的功能发挥或超越运行。例如雄安新区起步区1#水厂、珠海梅溪水厂高效沉淀池斜管沉淀区液

面负荷取值都靠近现行《室外给水设计标准》的下限值,北京郭公庄、石景山、门头沟城子水厂机械搅拌澄清池斜管上升流速均为1 mm/s,有利于保证沉淀池出水水质;雄安新区起步区1#水厂、珠海梅溪水厂和海口江东新区水厂砂滤池设计滤速均低于7.5 m/h,均属于中间偏下的滤速。

(4)贯彻绿色生态理念,设施采用集约化布置方式,做到水厂与环境的高度融合

全流程水厂工艺单元多,占地面积较大,应按照集约化原则(如平面组合,竖向叠合等)进行水厂总平面布置,减小厂区占地,缩短连接管路,方便巡视管理,提高土地利用效率,结合海绵设施打造厂区优美景观环境。应重视厂区建筑设计,采用去工业化设计理念,将净水构筑物建筑化,并且要求厂区工业建筑像民用建筑那样拥有建筑艺术性,创造宜人、优美、时尚、有文化的建筑空间环境,达到水厂与周边环境的高度融合。例如,在雄安新区起步区1#水厂设计中,根据规划要求对厂区地形进行重构,通过地形绿化和覆土景观营造造成一幅“行云流水”般的画卷,采用组合式构(建)筑物,集约化布置,并将构筑物建筑化,以达到厂区设施与周边环境的高度融合;珠海梅溪水厂厂区利用采石场废坑建设,充分利用山地地形,因山就势,处理设施采用组合设计、集约化布置,消隐于山谷,与环境高度融合,占地极省;海口江东新区水厂是国内首座全地下式水厂(臭氧发生间等少数设施布置在地面上),对地上面积进行复合式开发利用,提高了土地利用率和抗台风等自然灾害的能力;北京石景山水厂采取调整水厂设计高程、降低厂区建筑物高度的方式,建成为半地下式水厂,保证项目所在地金顶山的景观风貌不受影响,用地比标准低20%^[7]。

全流程水厂生产废水量较大,需要最大程度地回收利用,这对于保护生态环境、充分利用水资源具有重要意义。如何根据生产废水性质(絮凝沉淀池排泥水、砂滤池反冲排水、炭滤池反冲排水、砂滤池和炭滤池的初滤水、超滤膜反洗水等)进行分质、分点回用,降低废水处理系统的投资,减小回用水对净水系统的冲击影响,值得进一步研究和探索。

(5)合理进行净水构筑物水力高程布置,设置多种运行模式,提高水厂运转灵活性,节约运行成本

全流程水厂工艺流程长,安全性高,但运行成本

(下转第26页)

- field-scale stormwater bioretention structure flow and pollutant load reductions in a semi-arid coastal climate [J]. *Ecological Engineering*, 2019, 142: 100007. DOI: 10.1016/j.ecoena.2019.100007.
- [66] LUO Y, YUE X, DUAN Y, et al. A bilayer media bioretention system for enhanced nitrogen removal from road runoff [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 705: 135893. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135893.
- [67] ZUO X, ZHANG H, YU J. Microbial diversity for the improvement of nitrogen removal in stormwater bioretention cells with three aquatic plants [J]. *Chemosphere*, 2020, 244: 125626. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.125626.
- [68] SHRESTHA P, HURLEY S E, WEMPLE B C. Effects of different soil media, vegetation, and hydrologic treatments on nutrient and sediment removal in roadside bioretention systems [J]. *Ecological Engineering*, 2018, 112: 116-131. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.12.004.
- [69] LOPEZ-PONNADA E V, LYNN T J, ERGAS S J, et al. Long-term field performance of a conventional and modified bioretention system for removing dissolved nitrogen species in stormwater runoff [J]. *Water Research*, 2020, 170: 115336. DOI: 10.1016/j.watres.2019.115336.

(上接第6页)

也较高,需要合理进行净水构筑物水力高程布置设计,具备多种运行模式,从而提高水厂运转灵活性,节约运行成本。上述介绍的很多全流程水厂均具备长流程、中流程、短流程等多种运行模式,包括:正常运行工况,全部单元运行的长流程运行模式;超越运行工况一,超越炭滤池的中流程运行模式;超越工况二,超越全部膜处理单元的中流程运行模式;超越工况三,超越部分膜处理单元的中流程运行模式;超越工况四,特殊情况下超越炭滤池和膜处理单元的常规处理短流程模式等。例如在原水水质较好的情况下,可采用中流程或短流程运行模式,在保证出水安全优质的情况下节约运行成本,提高膜的使用寿命。

全流程水厂常常需要设置两级中间提升泵房,即臭氧-活性炭之前、超滤膜前或膜后,这无疑增大了管理复杂性,有条件时应尽可能减少一级提升。可通过优化提升泵房的溢流方式(溢流堰),保证运行灵活和安全。另外,可通过优化压力式超滤膜的布置,充分利用膜的出水余压。

(6)按智慧型水厂进行设计建设,提升水厂运行管理水平

数字化转型是时代的要求。全流程水厂工艺相对复杂,对运行管理提出了更高要求,迫切需要利用数字技术进行运行管理赋能。全流程水厂宜按智慧型水厂进行设计建设,配置完善的自动检测系统、自动/智能控制系统、资产管理系统、生产信息管理系统等,以实现对水厂的全流程在线监测、对工艺单元的自动/智能化控制、对生产过程的预警预测及模拟分析、对水厂运行的整体优化和辅助决策,从而保证水厂运行安全、稳定、高效。

6 结语

全流程水厂设计建设是新时代我国城市供水系统高标准建设的最新实践,需要不断总结经验。提供安全、优质的饮用水是供水行业从业人员永恒的追求,期望通过全流程水厂的设计建设,打造供水基础设施高标准建设示范标杆,引领供水行业技术进步,为城市安全供水做出更大贡献。

参考文献

- [1] 林民利,秦建明,张全斌.“从源头到龙头”的饮用水安全保障技术体系及其应用[J]. *环境工程技术学报*, 2019, 9(4): 362-367.
- [2] 王占生,孙文俊.我国给水行业深度处理发展趋势[C]. 太仓:中国土木工程学会水工业分会2019年给水深度处理研讨会论文集,2019:1-6.
- [3] 吕东明.饮用水多屏障消毒策略及紫外消毒技术的应用[J]. *净水技术*, 2019, 38(1): 1-6.
- [4] 韩艳梅.多屏障工艺设计保障供水水质安全——天津开发区水厂三期工程[C]. 乌海:2011年全国给水排水技术信息网年会暨技术交流会议论文集,2011:47-49.
- [5] 周大农.北京市第十水厂处理工艺的选择[J]. *中国给水排水*, 2015, 31(6): 12-15, 21.
- [6] 饶磊.浅谈郭公庄水厂的工艺设计及优化[J]. *给水排水*, 2015, 41(4): 9-12.
- [7] 罗丁,杨力,方帷韬,等.风景区半地下净水厂工艺设计方案探讨[J]. *给水排水*, 2021, 47(4): 28-32.
- [8] 张东波,徐海燕,郭亦俊,等.新型现代化大型净水厂工程设计[J]. *给水排水*, 2017, 43(8): 9-13.
- [9] 张东波.关于全流程工艺净水厂高程布置的优化设计[J]. *节能技术与应用*, 2018, 43(7): 95-97.
- [10] 李丰庆.我国超大超滤水厂——广州北部水厂工艺设计[J]. *中国给水排水*, 2021, 37(10): 66-70.
- [11] 镇祥华,余琴芳,何晓梅,等.某多水源水厂不同组合工艺流程的试验研究[J]. *给水排水*, 2020, 46(6): 72-78.