

短流程直饮水处理技术在第四代住宅工程中的应用

沙艳云*

(上海上源水务科技集团有限公司, 上海 200000)

摘要 【目的】 本文着重关注第四代住宅应用场景下直饮水系统的特性及其与健康生活理念的契合程度, 提出了一套全新的管道直饮水系统, 旨在通过技术创新提升住宅用水品质, 推动绿色、健康居住环境的实现。【方法】 本文以国内某第四代住宅项目为例, 从系统设计、工艺选型与工程实施等多角度详细阐述了直饮水处理工艺的整体架构、系统建设的具体内容以及实际运行中的应用状况。核心净化工艺为新型短流程技术——碳分子筛+中空纤维纳滤+臭氧消毒, 有效兼顾水质净化效率与运行能耗控制; 系统建设配备同程式循环管网、双通道计量水表、紫外线杀菌水龙头以及智能管控措施, 全方位保障管道直饮水持续、安全、稳定供应。【结果】 本系统处理效果较为理想, 对浑浊度、溶解性总固体、总硬度、菌落总数等均有较高去除率, 出水清澈、口感优良, 系统运行稳定可靠。【结论】 本新型管道直饮水系统供至用户终端水质完全符合《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)所规定的各项指标, 不仅保障了直饮水的安全性, 也显著提升了饮用口感, 保障了直饮水的水质安全和口感, 满足第四代住宅对于饮水品质的要求。最终, 本文对这类项目的建设应注意的事项提出了建议, 可供从事直饮水系统设计的相关专业人士参考。

关键词 管道直饮水 第四代住宅 碳分子筛 中空纤维纳滤 臭氧消毒

Application of Short-Process Direct Drinking Water Treatment Technology in Fourth-Generation Housing Projects

Sha Yanyun*

(Shanghai Shangyuan Water Science and Technology Group Co., Ltd., Shanghai 200000, China)

Abstract [Objective] This paper focuses on the characteristics of direct drinking water systems in the application scenarios of fourth-generation houses and their compatibility with the concept of healthy living. It proposes an innovative pipeline direct drinking water system, aiming to improve residential water quality through technological innovation and promote the realization of green and healthy living environments. [Methods] Taking a domestic fourth-generation housing project as an example, this paper elaborates on the overall architecture of the direct drinking water treatment process, specific contents of system construction, and practical application status in operation from multiple perspectives, including system design, process selection, and engineering implementation. The core purification process adopts a novel short-flow technology: carbon molecular sieve + hollow fiber nanofiltration + ozone disinfection, which effectively balances water purification efficiency and operating energy consumption control. The system is equipped with a same-loop circulation pipe network, dual-channel metering water meters, ultraviolet germicidal faucets, and intelligent management and control measures, ensuring the continuous, safe, and stable supply of pipeline direct drinking water in an all-round way. [Results] Actual operation data shows that the system achieves ideal treatment effects, with high removal rates for turbidity, total dissolved solids, total hardness, total bacterial count, and other indices. The effluent is clear, has excellent taste, and the system operates stably and reliably. [Conclusion] The water quality of this new pipeline direct drinking water system supplied to user terminals fully complies with all indices specified in the *Water Quality Standards for Fine Drinking Water* (CJ 94—2005). It not only guarantees the safety of direct drinking water but also significantly improves the drinking taste, ensuring water quality safety and palatability, and meeting the water quality requirements of fourth-generation houses. Finally, this paper puts forward suggestions for matters needing attention in the construction of such projects, which can serve as a reference for relevant professionals engaged in the

[收稿日期] 2025-07-14

[通信作者] 沙艳云(1993—), 女, 工程师, 主要从事净水处理技术工程研究工作, E-mail: Scarlet18@163.com。

design of direct drinking water systems.

Keywords pipeline direct drinking water fourth generation residential building carbon molecular sieve hollow fiber NF ozone disinfection

随着社会的持续进步与科技的飞速发展,“第四代住宅”概念应运而生^[1],其核心在于融合自然、科技与人文元素,致力于构建一个更健康、智能化、充满人文关怀的生活环境。在这一背景下,饮用水作为维系人体健康的基本要素,在“第四代住宅”中扮演着至关重要的角色。随着公众健康意识的增强及科技的持续进步,管道直饮水分质供水系统作为城市自来水系统,满足部分特定人群的高品质生活需求,提升饮用水品质,确保饮用水安全的辅助手段,正逐渐成为第四代住宅设计中的重要元素。

与欧美及日本等地区的管道直饮水系统相比,我国的直饮水供应模式主要依赖于厨下净水器、售水机、桶装水和瓶装水等方式,这些方法在实际应用中存在诸多不便之处^[2]。伴随着经济的发展、需求的提高以及技术的进步,管道直饮水技术已逐渐在我国多个公共建筑项目中得以应用和推广,为用户提供了便捷、安全且健康的饮用水解决方案,大幅改善了饮水体验,此模式已逐步成为未来小区直饮水系统发展的重要方向之一。复旦大学光华楼的直饮水系统建设即为管道直饮水技术应用的一个成功案例,获得了师生的高度评价,为本文的工程设计应用提供了宝贵的参考。

1 项目介绍

1.1 工程概况

第四代住宅将绿色生态理念与现代高层建筑相结合,从空间功能复合、智能雨水灌溉、太阳能供电、环保再生材料、智能家居系统等诸多领域进行探索与优化,旨在打造一个更加宜居、高效、环保、可持续发展的居住环境,满足人们对高品质生活的追求。本项目系某省首个采用第四代住宅概念的创新性居住区,总占地面积约为 20 000 m²,规划并实施了 5 栋现代化住宅楼的建设,累计入住用户数量达到 320 户。该项目在建设过程中,摒弃传统的每户安装厨下净水器的分散式模式,引入管道直饮水分质供水系统,通过构建集中式直饮水净水泵房,借助先进的管道直饮技术,将经过净化处理的直饮水通过专用管道输送至各个家庭,实现由分散处理向集中净化的现代化升级,同时与第四代住宅在饮水领

域的绿色、低碳、环保要求相契合。相较于传统模式,管道直饮水模式的初期投资成本略高,涵盖直饮水泵房建设、专用直饮水供回水管网及其配件安装等工程;然而,对于终端用户而言,用水成本显著降低,同时避免了需频繁更换净水器滤芯、设备长期不用水质恶化、废水率高等诸多问题,其便捷性、经济性和安全性不言而喻。

1.2 水源分析

本项目从邻近的 DN600 市政给水环网引入一根 DN200 的支管,作为本小区的生活用水及消防用水的水源。随后,经过变频恒压供水设备加压,最终供应至 5 栋住宅楼的生活用水点。

在项目设计的初期阶段,研究团队收集了 2024 年 12 月该区域自来水厂的水质报告,并对泵房总进水管水质、终端用户生活给水管水质进行了采样分析,结果显示,水质均满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)的规定,然而与《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)相比,仍存在一定的差距。分析原因主要为:首先,经过大约 20 km 的长距离输送,泵房及入户水的浑浊度明显上升,这一现象与输水管网老化、清洁难度大等因素导致的二次污染密切相关;其次,菌落总数的显著上升,提示存在一定的微生物滋生问题。而管道直饮水系统工艺的核心在于可有效防止微生物滋生;并在溶解性总固体和总硬度方面表现出显著差异,本工程直饮水工艺将重点关注降低水体硬度,改善饮水口感。

2 管道直饮水工艺

2.1 工艺的选择

本项目所在区域自来水水质具有明显的地域性,其水厂以泉水为水源水,出厂水各项指标均满足国家饮用水水质标准。但管网水质指标中浑浊度、溶解性总固体、细菌含量以及潜在的氯化消毒副产物等,均显示出逐渐上升的趋势。本文拟将这些潜在污染物的浓度进一步降低,以提升终端用户的饮水安全。

本工程摒弃了传统“预处理+深度处理+后处理”等数十级过滤的工艺模式^[3],尝试采用新型短流程技术,搭配同程供回水管网、双通道计量水表及

紫外线杀菌水龙头等配套措施,实现管道直饮水供应。具体工艺流程如图 1 所示。

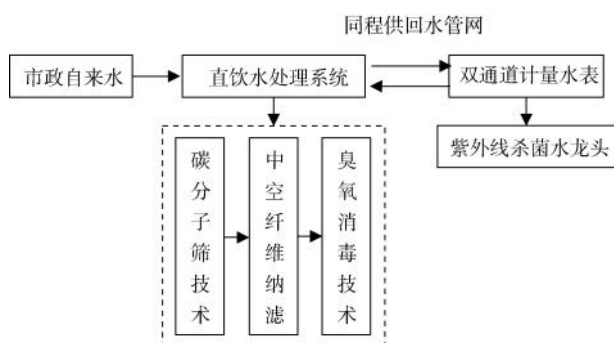


图 1 工艺流程

Fig. 1 Process Flow

2.2 系统组成

本项目依据《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)和《建筑与小区管道直饮水系统技术规程》(CJJ/T 110—2017)等相关规范,设计并实施了管道直饮水系统,包括:建立独立的直饮水泵房,将自来水进一步集中净化处理为优质直饮水;敷设专用直饮水输配水管网系统,实现直饮水的户内供应;通过增设专用双通道计量水表对各用水点的用水量进行精确计量的方案,旨在缩短非循环管网的长度,并以此提升饮水体验。此外,取水点安装专用紫外线杀菌水龙头,以实现直饮水的终端消毒处理;最终,通过回水管网将用户未使用的水输送回直饮水泵房,经二次净化处理合格后储存至净水箱,实现循环供水。

(1) 直饮水处理系统

本文采用了一种新型短流程技术,即碳分子筛技术与中空纤维纳滤技术相结合,并辅以臭氧消毒技术形成串联式处理流程,实现对自来水的有效净化与过滤。

碳分子筛技术涉及一种复合滤芯,该滤芯通过将活性炭粉末材料与高分子热熔成孔材料相结合进行加工,从而实现了吸附与物理拦截的双重功能,有效降低水中的浑浊度,去除水中的有机物、余氯、铁锈及异味等污染物。中空纤维纳滤膜能够有效截留大分子有机物、胶体、藻类、细菌、病毒、颗粒物等,显著降低水中溶解性总固体和总硬度等指标;与此同时,它避免了反渗透膜过于彻底的截留问题,从而防止出水品质接近纯水——既能高效去除有机物、重金属离子等有害成分,同时又适度保留天然泉水中

的优质微量元素及矿物质。水体杀菌采用了紫外线杀菌器与臭氧杀菌相结合的双重模式,通过这种综合处理方式,能够有效地对循环供水管网中的细菌进行抑制和杀灭,从而确保管网内的水质安全,达到持续、稳定的抑菌效果,保障整个供水系统的卫生和健康^[4]。

本工艺路线,有效做到经直饮水工艺处理后,总硬度可降低至合理范围内,浑浊度、溶解性总固体等达到直饮水标准,保留了出水中适度的钙、镁、锶、钾和偏硅酸等对人体有益矿物元素,因地制宜地为小区居民提供了便捷、优质的管道直饮水。

(2) 同程供回水管网

直饮水管道采用 304 不锈钢,以防止在供水和回水过程中发生二次污染。管网采用同程式设计,通过保证供水管和回水管的总长度相等,实现各环节阻力平衡^[5],如图 2 所示。在每栋建筑的供水管网最高处安装自动排气阀,以防止直饮水管网中气泡的积聚,确保供水的稳定性不受影响;同程循环的分支回水管上加装流量调节阀,以实现各分回水管路的水力平衡;部分区域以减压阀代替调节阀进行水力平衡调节。

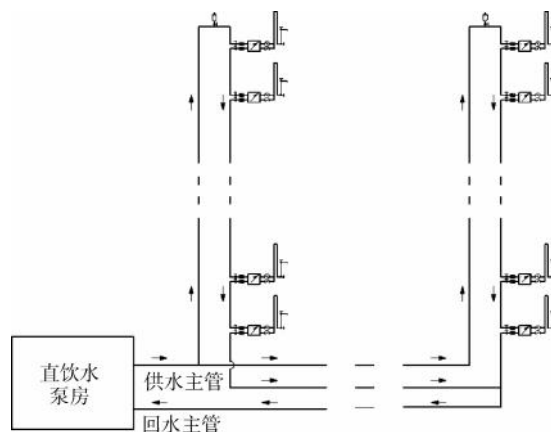


图 2 直饮水循环管网

Fig. 2 Circulating Pipeline Network of Direct Drinking Water

(3) 双通道计量水表

根据相关规范要求,非循环直饮水支管长度不得超过 6 m,以避免对水质产生不利影响。本项目在管道井内配置供水及回水主管道,同时搭配双通道计量水表,将供回水支管延伸至用户端,以确保非循环管段长度被限制在 1 m 以内,同时安装止回阀避免串流污染用户水质。双通道计量水表运用超声波技术同步测量供水与回水流量,差额即为用户实

际用水量。此外,该水表具备远程传输功能,能够将测量数据传送至监控平台。

(4) 紫外线杀菌水龙头

用户终端取水模式采用了特制的紫外线杀菌水龙头,这一设计具有双重优势:首先,在水龙头的内部嵌入高效的紫外线杀菌元件,当水流经过时能瞬间受到紫外线的照射,从而实现有效的杀菌消毒,确保水中的细菌和病毒被彻底灭活,保障了直饮水的卫生安全;其次,为了提升用户体验,特别提高了水嘴的额定流量,这意味着在接水过程中,水流速度更快,用户无需长时间等待,大大减少了接水时的等待时间,提高了直饮水取水的便捷性和效率。

2.3 建设模式

(1) 泵房建设

考虑到取水的便捷性,减少输水管道长度和能量损耗,本项目直饮水泵房邻近二次供水泵房独立建设。本工程总服务人口约为 980,饮水点数为 320 个,最高楼层为 13 层,主处理设备额定产水量为 $0.25 \text{ m}^3/\text{h}$,工作压力为 $0.1 \sim 1.0 \text{ MPa}$,供水流量为 $2.16 \text{ m}^3/\text{h}$,供水压力为 70 m 。每单元采用无分区供水模式,第 1~10 层设置减压阀,以调节入户水压,从而改善用户的取水体验。

泵房的设计严格遵循布局紧凑、便于日常维护和检修等多重原则,确保空间利用高效。其中,直饮水处理系统作为一个独立模块布置在泵房中央,原水箱和净水箱布置于直饮水处理系统后侧,既保证了水质的安全储存,又便于定期清洗和保养。净水箱采用臭氧与紫外线联合杀菌技术,保障水质及系统处于无菌状态;同时配置抑菌呼吸器与臭氧消解器,前者可防止水箱液位波动带来的水质污染问题,后者能将臭氧有效分解为氧气,避免泵房内臭氧浓度超标问题。控制系统作为整个泵房的核心大脑,采用先进的智能化技术,独立布置在易于操作和监控的位置,在满足水电分离的基础上,确保对各元器件的精准调控。供水泵组则布置在净水箱旁,既避免了设备间的相互干扰,又便于单独维护和控制,从而全面提升直饮水供水的安全性。供水泵组加压采用变频供水,保证压力稳定性,降低能耗。本项目采用全循环方式供水,供水系统兼做循环泵,循环回水管上设置循环回水流量控制阀,使配水系统不易产

生滞水,管道系统严密、无泄漏以保证供水安全可靠,泵房布局如图 3 所示。

(2) 管网及配套设施建设

鉴于直饮水用水量较小,但使用时间集中,管网中停留时间可能较长,因此需对管材的稳定性提出更高要求。本次选用 SUS304 食品级薄壁不锈钢管道,并以卡压方式连接,以防止滋生细菌。考虑当地政府对新建住宅配套设施的政策要求,直饮水供回水立管置于公共管道井中,供回水横管实施预埋安装,采用外覆塑不锈钢管,避免管道预埋后生锈腐蚀。满足隐蔽性、美观性及安全性要求。为满足管道同程布置,公共管道井内敷设 1 根直饮水供水管和 2 根回水立管,立管最低处设置泄水球阀,可作为水质检测的取样口。公共管道井至每户户表之间均为 2 根双向管路,控制不循环管段长度小于 1 m 。通过双通道计量水表,智能或远传型,高精度差值计量用户用水量;计量精度等级按水平安装 D 级,非水平安装不低于 C 级,且内部均带有防止回流装置。用户终端的取水点特别采用紫外线杀菌水龙头,作为最后一道防线,对终端出水进行杀菌消毒,保障了用户的健康;此外,龙头出水量显著提升,达到 0.1 L/s ,大幅度缩短取水等待时间,提升用水体验。

(3) 智能化建设

为确保持续供应高品质饮用水,本项目在直饮水泵房供水及回水主管上均部署了实时水质监控系统。该系统监测的水质指标涵盖浊度、pH、臭氧浓度、电导率及温度,这 5 项指标的在线监测实现了远程检测功能,并通过全自动化机制将数据实时传输至物业监控中心。依据数据变化情况,在专业指导下,将定期或根据需要进行设备的维护工作。此外,该监控系统与区域内的设备管理系统相连接,确保运营团队能够实时接收数据并监控,以便在水质发生突发变化时能够迅速采取应对措施。

3 管道直饮水系统工艺效果分析

3.1 水质指标分析

为确保系统的可靠性,本研究在系统构建完毕后,邀请了具备资质的第三方检测机构,对小区内随机选取的 5 个采样点进行了出水水质的检测。检测结果如表 1 所示。

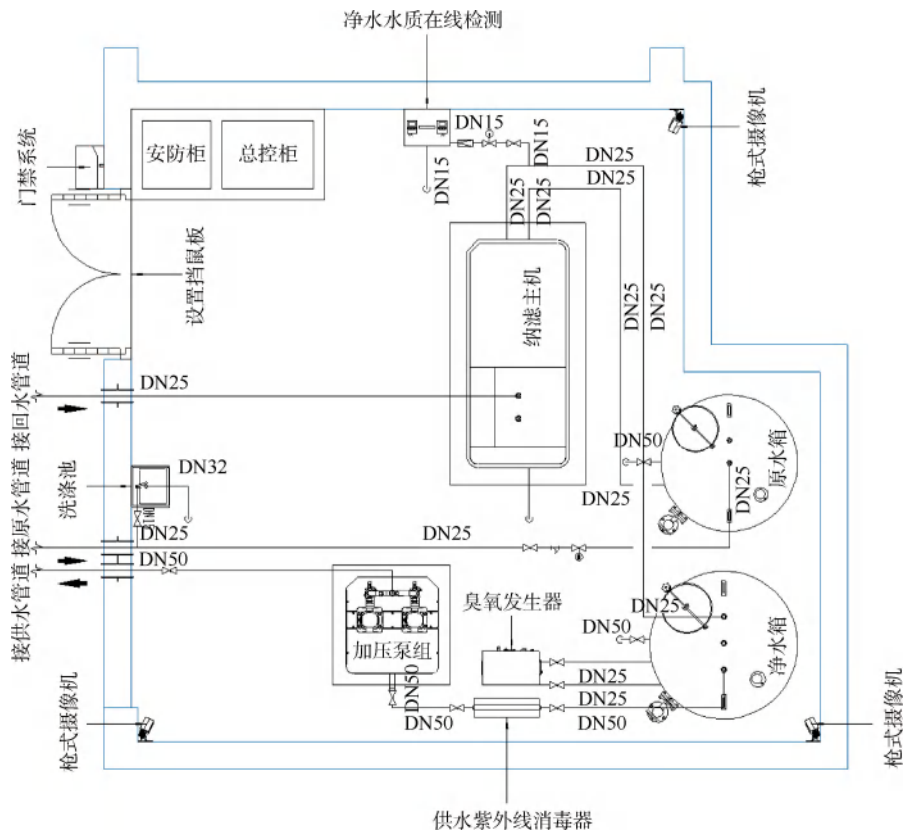


图 3 直饮水泵房布局

Fig. 3 Pump Room Layout of Direct Drinking Water

表 1 直饮水项目水质

Tab. 1 Project Water Quality of Direct Drinking Water

指标	单位	取样点 a	取样点 b	取样点 c	取样点 d	取样点 e
色度	度	0	0	0	0	0
浑浊度	NTU	0.02	0.02	0.06	0.08	0.05
pH 值	—	7.18	7.19	7.06	7.10	7.12
肉眼可见物	—	无	无	无	无	无
臭和味	—	无	无	无	无	无
耗氧量(以 O ₂ 计)	mg/L	0.67	0.68	0.90	0.61	0.80
溶解性总固体	mg/L	180	175	166	179	165
总硬度(以 CaCO ₃ 计)	mg/L	95	90	80	85	75
铁	mg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
锰	mg/L	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
铝	mg/L	0.054	0.082	0.079	0.067	0.087
锌	mg/L	0.13	0.16	0.10	0.17	0.14
铜	mg/L	0.013	0.018	0.017	0.013	0.016
镉	mg/L	<0.000 3	<0.000 3	<0.000 3	<0.000 3	<0.000 3
银	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
铅	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

(续表1)

指标	单位	取样点 a	取样点 b	取样点 c	取样点 d	取样点 e
汞	mg/L	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
砷	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
硒	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
铬(六价)	mg/L	0.018	0.018	0.016	0.019	0.017
阴离子合成洗涤剂	mg/L	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
挥发酚(以苯酚计)	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
氟化物	mg/L	0.21	0.20	0.019	0.018	0.019
氯化物	mg/L	37.71	37.82	36.86	35.42	37.80
硝酸盐氮	mg/L	0.90	1.09	1.17	1.03	1.11
硫酸盐	mg/L	29.00	29.02	29.61	28.16	28.59
三氯甲烷	mg/L	<0.000 4	<0.000 4	<0.000 4	<0.000 4	<0.000 4
四氯化碳	mg/L	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
细菌总数	CFU/mL	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
总大肠菌群	MPN/(100 mL)	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
耐热大肠菌群	MPN/(100 mL)	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出

根据水质检测报告,相较于水源水质,本项目的自来水在经过特定处理工艺以及配套管网、水龙头等设施后,其浑浊度降低至 0.08 NTU,溶解性总固体质量浓度降至 180 mg/L,总硬度降至 95 mg/L,且菌落总数去除率达到 100%。这些数据表明,出水的各项指标均符合《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)的要求。值得注意的是,日本“可口水研究会”曾界定“美味可口水”的硬度为 10~100 mg/L,而欧美学者亦认同健康直饮水应具备适量的硬度,因为硬度的极端高低均可能对人的健康及口感体验产生负面影响。本系统产出的水平均硬度约为 85 mg/L,处于一个相对适宜的区间,并且未显现出明显的苦涩口感。自项目启动以来,已历时 2 年,期间收集的用户反馈普遍表现出较高的满意度。

3.2 经济性分析

3.2.1 饮水成本分析

本项目管道直饮水系统在长期运行中具有显著的经济性优势。传统家庭通常采用桶装水或家用净水器作为饮水解决方案;桶装水涉及高昂的配送、存储和空桶回收费用,市场成本为 800~1 500 元/t;家用净水器则需投入初始购买资金和频繁的滤芯更换支出,进一步增加了用户负担。相比之下,本项目管道直饮水采用计量收费模式,价格仅为 350 元/t,用户饮水成本降幅达 40%~76%。长期来看,这种模

式不仅能持续节省家庭开支,还避免了传统方法的水质波动问题,提升了经济性和实用性。

3.2.2 运营成本分析

相较于传统直饮水处理工艺中常见的数十级过滤步骤,如粗滤、细滤、活性炭吸附和多重消毒等复杂环节,本项目创新采用的“碳分子筛+中空纤维纳滤+臭氧消毒”技术通过整合高效吸附、膜组精密过滤和强力杀菌功能,显著缩短了整体处理流程。同时,配套的自动监控系统实时跟踪水质指标变化,智能清洗装置根据运行数据定期执行维护任务,有效保障了设备的长期稳定运行,避免了故障停机风险,还大幅降低了日常运维成本和人工干预需求。目前,本项目设备运营成本主要涉及水费成本、电费成本、滤芯更换成本及人工成本等,综合核算后运营成本稳定在 8.95 元/t。

3.2.3 投资回报分析

经过综合测算分析,本管道直饮水项目的投资回收周期预计为 6.5 年。此测算充分考虑了项目初期投入成本(包括设备采购、安装、管网建设等)、后期运营维护费用,以及预期用户用水规模等多方面因素。此外,项目的政策补贴与碳交易机制正成为新变量,例如直饮机组通过节能减排认证可获得额外收益,使综合投资回报率提高 8~12 个百分点。

4 总结

与传统多级过滤工艺不同,本项目第四代住宅理念下的创新居住区采用了新型的短流程直饮水处理工艺,并配备了同程循环管网、双通道计量水表、紫外线杀菌水龙头等先进设施,整合了在线水质检测设备与远程控制系统,以确保管道直饮水的安全与健康供应。根据分析,该系统提供的水质稳定,符合《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)所规定的各项指标。

在此类项目的设计过程中需注意以下几点。

自来水原水水质的分析研究对处理工艺的选择具有至关重要的意义。鉴于第四代住宅多位于市区边缘地带,自来水供应的原水水质以及经过市政管网长距离输送后的水质可能并不能始终维持在优良状态。为确保系统出水水质的安全性,在项目设计的初期阶段,必须对原水水质进行详尽的调查研究,以保障系统的安全性。

本研究项目采用多单元同程全循环不分区系统,其他项目可因地制宜选择多单元封闭全循环系统,同时根据项目单元、楼层数量等,按区块、竖向合理分区,实现安全、低碳供水。供回水管网的材料宜选用不锈钢,同时亦可考虑铜管或其他符合环保标准的管材。应避免使用铸铁管,以确保直饮水的安全,防止二次污染。

必须对出水水质进行持续监控,并定期检查碳分子筛复合滤芯、中空纤维纳滤膜、臭氧发生器、紫外线杀菌灯等关键组件的性能与运行状况,以确保系统的稳定运行。同时,应依据出水水质、过流压差、累计运行时间、产水量及使用寿命等关键参数,进行综合评估,并适时更换上述组件,以预防直饮水供水末端污染,确保不会对用户健康构成潜在威胁。

参考文献

- [1] 丰都县住房和城乡建设委员会,丰都县规划和自然资源局. 关于印发《丰都县小县大城试点推进高品质住宅(含四代建筑)建设政策措施》[EB/OL]. (2004-04-16)[2025-07-14]. https://cqfd.gov.cn/bm/zfhcxjswyh/zwgk_36090/zfxxgkml/gfxwj/xyxwj/202404/t20240418_13141675.html. Fengdu County Housing and Urban-Rural Development Commission, Fengdu County Planning and Natural Resources Bureau. Notice on issuing the *Policies and Measures for Promoting High-Quality Residential Buildings (Including Fourth-Generation Architecture) in the Pilot Project of 'Small County, Big City' in Fengdu County*[EB/OL]. (2004-04-16)[2025-07-14]. https://cqfd.gov.cn/bm/zfhcxjswyh/zwgk_36090/zfxxgkml/gfxwj/xyxwj/202404/t20240418_13141675.html.
- [2] 王林鹏,庞晓飞,刘阳. 管道直饮水发展现状及实施建议[J]. 供水技术, 2025, 19(2): 23-27. Wang L P, Pang X F, Liu Y. Development status and implementation suggestions of pipeline direct drinking water[J]. *Water Technology*, 2025, 19(2): 23-27.
- [3] 张逊之,韩毅,章琪,等. 一种基于自来水的一体化纳滤直饮水处理工艺路线的系统: 202323140500. 9[P]. 2024-08-27. Zhang M Z, Han Y, Zhang Q, et al. A System for an integrated nanofiltration direct drinking water treatment process based on tap water: 202323140500. 9[P]. 2024-08-27.
- [4] 柯水洲,张春雨,欧阳林,等. 建筑管道直饮水系统臭氧衰减模型及生产运行调控[J]. 中国给水排水, 2024, 40(15): 9-15. Ke S Z, Zhang C Y, Ouyang L, et al. Ozone attenuation model and operation control of building pipeline direct drinking water system[J]. *China Water & Wastewater*, 2024, 40(15): 9-15.
- [5] 唐超. 管道直饮水系统设计优化分析[J]. 江苏建材, 2023(4): 74-76. Tang C. Optimize analysis of pipe system for fine drinking water system[J]. *Jiangsu Building Materials*, 2023(4): 74-76.