

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.24.012

大学校园管道直饮水系统的设计和运行效果

方 芳

(上海市供水调度监测中心, 上海 200080)

摘 要: 管道直饮水(管道净水)是目前提高我国城市居民饮水健康最经济有效的方法。国内某高校为保证师生员工的饮水健康和饮水安全,在全校范围内建设了管道直饮水生产和供水系统。该直饮水系统规模为 $60\text{ m}^3/\text{d}$,主体净水工艺采用“纳滤—微电解+紫外杀菌”,项目总投资为480万元,制水成本约为 $15\text{ 元}/\text{m}^3$,出水浊度为 0.05 NTU 、 $\text{COD}_{\text{Mn}} < 0.5\text{ mg/L}$ 、三氯甲烷 $< 0.01\text{ mg/L}$ 、总溶解性固体(TDS)约为 50 mg/L ,各项指标均优于《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)。

关键词: 管道直饮水; 饮用净水设备; 纳滤; 微电解; 校园

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)24-0071-05

Design and Operation Performance of Pipeline Direct Drinking Water System in University Campus

FANG Fang

(Shanghai Municipal Water Supply Control & Monitoring Center, Shanghai 200080, China)

Abstract: Pipeline direct drinking water (pipeline purified water) is currently the most economical and effective method to improve the drinking water health of urban residents in China. A comprehensive pipeline direct drinking water production and distribution system was constructed throughout the entire campus of a domestic university, so as to ensure the health and safety of drinking water for teachers and students staff. The scale of the direct-drinking water system is $60\text{ m}^3/\text{d}$, and the main water purification process consists of nanofiltration, micro-electrolysis and UV sterilization. The total investment of the project is approximately 4.8 million yuan, and the direct cost is $15\text{ yuan}/\text{m}^3$. The turbidity in effluent is less than 0.05 NTU , the COD_{Mn} in effluent is less than 0.5 mg/L , the trichloromethane in effluent is less than 0.01 mg/L , and the total dissolved solids (TDS) is approximately 50 mg/L , indicating that all indicators are better than the limit specified in *Water Quality Standards for Fine Drinking Water* (CJ 94—2005).

Key words: pipeline direct drinking water; drinking water purification equipment; nanofiltration; micro-electrolysis; campus

校园的饮水对象主要为青少年,量大面广,其饮水健康更关乎国家未来和社会长远发展及稳定。目前,中小学及大学师生日常饮用水除了自来水之外,还包括包装饮用水,也就是桶装水、瓶装水、矿泉水等。但桶装水进校园存在一定的水质卫生安全隐患和管理隐患,例如前几年国内个别大学甚至

发生过影响恶劣的桶装水人为投毒事件,所以建设校园管道直饮水即管道净水系统,具有现实的卫生健康意义以及供水安全价值。

管道直饮水即管道净水,是将自来水或优质地下水经过深度净化后,采用变频水泵和专用管道封闭式供水至终端饮水点供直接饮用的水。管道直

饮水具有水质新鲜卫生、供水安全、有效防止二次污染及交叉感染、低碳环保等优点,且投资低、运行维护及使用方便,因而近年来受到广泛关注和认可,国内不少居民小区、大中小学校园、办公大楼等已经建设了专供饮用的直饮水系统^[1-4],取得了广泛的社会、经济以及环境效益。本研究总结了国内某大学校园管道直饮水系统的设计以及运行效果,可为国内管道直饮水工程的建设和推广提供参考。

1 项目设计概况

1.1 原水及设计出水水质

该直饮水工程采用当地自来水作为原水,水质指标如下:浊度为1.0 NTU,总溶解性固体(TDS)、三氯甲烷、COD_{Mn}、总硬度、硫酸盐、氯化物、氟化物分别为198、0.023、2.16、155、54.3、23.0、0.88 mg/L。饮用净水设备出水口及直饮水管道末端(用水点)水质指标需达到《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)。

1.2 设计制水水量

该项目直饮水供水范围覆盖整个大学校园,包括18栋6层的学生公寓、3栋教学楼以及食堂。该大学日常用水师生约30 000人。根据《管道直饮水系统技术规程》(CJJ 110—2006)规定,以每人每天最多饮用2 L计,则30 000名师生需要直饮水水量为60 m³/d。考虑到学校投资的经济性,净水设备按照日常最大运行时间12 h计,则饮用净水设备制水量为5 m³/h。

本工程设计采用一套某企业自主研发和生产的饮用净水产量为5 m³/h的净水设备,该设备具有卫生许可批件。

1.3 管道直饮水建设内容及制水供水工艺流程

该大学校园直饮水系统工程的建设内容包括:净水制备系统、变频恒压供水及管网循环杀菌消毒系统、管网系统、供水终端、计量系统。

管道直饮水水质在达到《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)的同时,更应该是健康水,同时口感好,能被市场接受。根据原水及直饮水水质要求,本工程的重点是最大限度去除原水中残留的对人体健康有害的有机污染物、消毒副产物、氟离子等,难点是同时适量保留其中对人体健康有益的矿物质和微量元素。

纳滤膜是生产优质饮用水的最佳技术之一,其

对浊度和微量有机污染物、内分泌干扰物的去除较为彻底,对无机盐及各种单一无机阴、阳离子的去除率与其标准脱盐率基本一致,可确保直饮水的TDS、COD_{Mn}、硫酸盐、氯化物、浊度等水质指标达到《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005),出水的口感和安全性好^[5-6]。根据原水水质特点,通过选择高品质及适度脱盐率的纳滤膜,可确保出水甘醇可口,有机污染物去除彻底,并且还能保留一定的矿物质。

直饮水生产及其管网循环杀菌消毒装置不仅需具备很强的瞬间杀菌能力,而且要有持续杀菌作用,这样才能确保管网水的卫生安全,有效防止二次污染。某企业自主研发的微电解杀菌器是国家自然科学基金重点资助项目“物理场作用下水处理新技术及其机理的研究”的成果,其采用贵金属基材及氧化物涂层的形稳电极,大大提高了电极的析氧电位。在连续的电解反应中,溶解氧得到活化,产生了超氧离子自由基、羟基自由基($\cdot\text{OH}$)、单线态氧等氧化性很强的活性自由基,具有极强的杀菌抑菌能力。微电解杀菌器单程杀菌效果高达99.99%以上,属于纯物理杀菌方式,杀菌过程不添加任何化学物质,使用方便、安全,没有任何副作用。紫外线杀菌器与微电解产生的活性氧及 $\cdot\text{OH}$ 等协同,可通过光催化作用进一步加强杀菌效果^[1]。

综上,该校园直饮水工程采用“纳滤—微电解+紫外杀菌”的主体净水工艺,其饮用净水生产及直饮水供水工艺流程见图1。

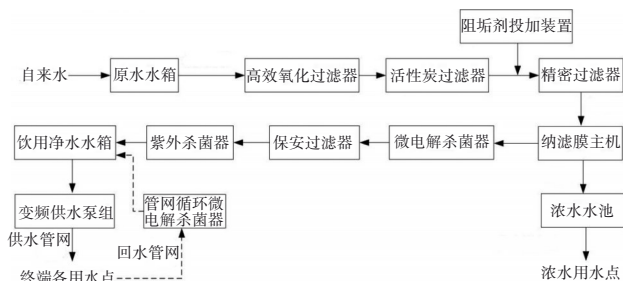


图1 校园管道直饮水生产及供水工艺流程

Fig.1 Production and water supply process of campus pipeline direct drinking water

2 项目设计说明

2.1 工程及工艺设计说明

① 原水水箱

有效容积3 m³,材质SS304。原水水箱可以调节水量和水压并储存预处理设备反冲用水,水箱液位开关与进水电动阀联动。

② 进水提升泵

将待处理原水从原水水箱加压送入后续过滤器。选用 CDLF8-4 水泵 2 台,1 用 1 备, $Q=8\text{ m}^3/\text{h}$, $H=360\text{ kPa}$, $N=1.5\text{ kW}$,材质 SS304。

③ 高效氧化过滤器

采用优质天然石英砂滤料,去除原水中较大的杂质与颗粒,降低原水浊度。设计流量为 $8\text{ m}^3/\text{h}$,材质 SS304,直径 $\varnothing 1.0\text{ m}$,滤速 10.2 m/h ,滤料粒径 8~20 目,装填高度 1.0 m 。高效氧化过滤器每天进行水反冲洗一次,反洗强度 $14\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,每次反洗时间为 8~10 min。

④ 活性炭过滤器

其作用为完全有效地去除自来水中的余氯,保护后面的纳滤膜不被氧化破坏。同时,尽可能在纳滤之前去除自来水中残留的有机污染物、消毒副产物(三氯甲烷等“三致”物质),并降低原水色度。

活性炭过滤器材质 SS304,内壁喷涂食品级环氧树脂。其设计流量为 $8\text{ m}^3/\text{h}$,直径 $\varnothing 1.0\text{ m}$,滤速 10.2 m/h 。选用果壳活性炭,粒径 8~20 目,装填高度 1.0 m ,其碘吸附值 $\geq 1\,000\text{ mg/g}$,亚甲基蓝吸附值 $\geq 135\text{ mg/g}$ 。活性炭过滤器每天水反冲洗一次,反洗强度 $14\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,每次反洗时间为 8~10 min。

⑤ 反冲洗水泵

主要用于反冲洗高效氧化过滤器及活性炭过滤器。选用 CDLF42-10 水泵 2 台,1 用 1 备, $Q=40\text{ m}^3/\text{h}$, $H=210\text{ kPa}$, $N=4.0\text{ kW}$,材质 SS304。

⑥ 阻垢剂投加系统

在经预处理后的原水进入膜系统之前加入高效率的专用阻垢剂,可有效防止纳滤膜浓水侧结垢,减少硬度等造成的膜污染,延长纳滤膜的使用寿命。

⑦ 精密过滤器

采用微米级滤芯进一步过滤,去除细小悬浮物及活性炭粉末等,以保护后续主机中的膜组件,延长膜寿命,有效降低运行成本。 $Q=8\text{ m}^3/\text{h}$,过滤器材质 SS304。

⑧ 高压泵

将经前述过滤器处理后的原水加压送入后续的纳滤膜主机。选用 CDMF10-11 水泵, $Q=8\text{ m}^3/\text{h}$, $H=1\,080\text{ kPa}$, $N=4.0\text{ kW}$,材质 SS304。高压泵前装有低压保护开关,当压力达到高压泵启动的最小压力 0.1 MPa 后启动。

⑨ 纳滤膜主机

纳滤膜主机净水产量为 $5\text{ m}^3/\text{h}$,设计水回收率为 62.5%。为节约水资源,实际运行中水回收率控制在 70%~80%。经过严格筛选,采用标准脱盐率为 80% 左右的纳滤膜元件 6 支。

⑩ 制水杀菌装置

采用紫外协同微电解组合杀菌器。其中微电解杀菌器采用某企业自主研发的杀菌产品 JSC-5 型微电解杀菌器 1 台,配套直流电源 1 台,运行电流 2 A ,输出电压 $<36\text{ V}$ 。紫外杀菌器采用紫外灯管, $N=39\text{ W}$ 。

⑪ 保安过滤器

采用超微米级过滤滤芯, $Q=5\text{ m}^3/\text{h}$,过滤器材质 SS304。

⑫ 净水水箱

主要用于储存饮用净水,调节用水量与产水量的差别,同时在管网定期消毒时配制消毒液。为彻底防止二次污染,水箱盖上装有密闭呼吸器,过滤空气中的灰尘和细菌。净水水箱容积按日用水量的 17% 计,设计有效容积为 10 m^3 。

⑬ 供水及回水循环管网

为使供水及回水管网中的水能够均匀流动起来,整个管道系统采用管网全循环,在循环杀菌时采用分区、分块序批式方法,确保管网杀菌的效果,彻底杜绝管网的二次污染。管道直饮水供水及回水循环管网选用具有卫生许可批件的优质 PPR 管。

⑭ 直饮水变频供水泵组

饮用净水采用全自动恒压变频供水装置直接提升供水到户的方式,供水能耗低,卫生、安全、可靠,用户随时都能饮用新鲜水,避免了二次污染。整个校园供水系统设恒压变频供水泵组 2 套,进行分区供水:其中 I 区包括 1#~10# 公寓楼,1#、2# 教学楼;II 区包括 11#~18# 公寓楼,3# 教学楼。每套恒压变频供水泵组含 2 台水泵,单台水泵 $Q=24\text{ m}^3/\text{h}$, $H=600\text{ kPa}$,2 用 2 备,材质 SS304,可自动切换运行,并兼作循环泵。

⑮ 管网循环微电解杀菌器

采用某企业自主研发的杀菌产品 TJSC-25 型微电解杀菌器作为管网循环杀菌器。设计采用自动定时循环消毒和手动强制循环消毒两种方式,以满足平时管网循环杀菌及定期维护或紧急情况时的需求。

⑩ 浓水收集再利用

饮用净水设备运行会产生 $12 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右的浓水,经检测,浓水水质符合《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2020)要求,设计对浓水进行了收集,回用于绿化等校园杂用。

2.2 其他设计说明

2.2.1 自控及仪表系统

饮用净水设备及供水和循环杀菌系统均采用 PLC 自动控制,具有自动启停、自动反冲洗及大流量冲洗、自动供水及循环杀菌等功能。膜主机配有电导率在线检测仪及在线流量计、压力表,随时监测水质并方便流量调整。变频供水系统配有压力表、流量计及压力变送器。

2.2.2 供水终端

1#~18#公寓楼,每栋6层,每层设1台管线饮水机。1#、2#教学楼,每栋5层,每层设4台管线饮水机。3#教学楼分3个区,其中A区3层,每层设2台管线饮水机;B区5层,每层设2台管线饮水机;C区7层,每层设2台管线饮水机。每台管线饮水机配置2个常温水龙头和2个热水龙头,配储热式内胆。

2.3 设备间设计及占地面积

所有设备包括饮用净水设备、恒压变频供水泵组、管网循环杀菌系统、净水水箱等均集中在直饮水设备间,以方便日常的运行管理和设备的维护保养。设备间还设有化学指标化验室和微生物指标化验室等。直饮水设备间位于校园中心位置的生活服务处,便于管理,总占地面积约 100 m^2 。

3 管道直饮水系统的运行效果

该直饮水项目总投资为480万元左右。项目建设完成、调试合格后,首先取得了当地政府卫生行政部门颁发的卫生许可证,之后正式投入运行。项目投运后饮用净水直接生产成本约 $15 \text{ 元}/\text{m}^3$,按照 $0.2 \text{ 元}/\text{L}$ 常温净水、 $0.25 \text{ 元}/\text{L}$ 加热净水向学校师生供水。师生取水、交费纳入校园卡统一管理,充值、取水极其方便。该项目直饮水系统覆盖了学校教学区、宿舍区、食堂及餐饮区、办公区、运动区等,为广大师生提供24 h不间断的净水供应服务。相较于直饮水投运前师生购买桶装水、瓶装水,不但极大地节约了饮水开支,而且杜绝了桶装水进校园,消除了安全隐患,同时低碳环保、水质新鲜、健康安

全、物美价廉,深受师生欢迎。

2022年管道饮用净水水质检测结果见表1。结果表明,直饮水系统核心工艺单元采用纳滤膜过滤以及微电解杀菌器,在最大限度去除原水中污染物的同时,适度保留了有益于人体健康的矿物质,各项指标均优于《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)。项目投运以来饮用净水 TDS 约 $50 \text{ mg}/\text{L}$ 、浊度为 0.05 NTU 、 $\text{COD}_{\text{Mn}} < 0.5 \text{ mg}/\text{L}$ 、三氯甲烷 $< 0.01 \text{ mg}/\text{L}$,微生物指标全部合格。

表1 2022年管道直饮水主要水质指标

Tab.1 Main water quality indicators for pipeline direct drinking water in 2022

| 项 目 | 浊度/ NTU | TDS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 三氯 甲烷/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | COD_{Mn} / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 总硬 度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 硫酸 盐/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 氯化 物/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 氟化 物/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) |
|--------------------|------------|---|--|---|---|---|---|---|
| 管道直饮水 检测均值 | 0.05 | 51.5 | < 0.01 | 0.48 | 2.98 | 1.1 | 11.75 | < 0.05 |
| CJ 94—2005 标准限值 | 0.5 | 500 | 0.03 | 2 | 300 | 100 | 100 | 1 |

加强水站的日常维护和管理是保证管道直饮水水质的主要环节^[2]。整个校园直饮水系统生产和供水全自动启停,自动化程度高,处理过程不投加除阻垢剂之外的化学药剂,管理维护方便。该校园直饮水系统投运以来,学校后勤处制定并不断完善《校园直饮水生产和供水管理办法》,牢固树立了饮水安全无小事的思想,日常工作从细节做起,严格执行直饮水站卫生管理制度,委派专人维护、管理和巡视,并负责每日化验水质,包括化学指标和微生物指标,当地政府卫生行政部门定期取样检测,确保了制水系统及末端饮水点水质达标。运行实践表明,经过严格管理,纳滤膜元件使用寿命可达6年以上,膜元件的清洗周期为6个月左右。

4 结论

本工程在国内高校较早建成规模为 $60 \text{ m}^3/\text{d}$,覆盖教学区、宿舍区、食堂及餐饮区、办公区、运动区等范围的全校园直饮水系统,包括管道直饮水集中生产设备、恒压变频集中供水系统、管网及循环杀菌系统、校园各饮水点加热及取水系统等,采用“纳滤—微电解+紫外杀菌”的主体净水工艺,项目总投资约为480万元,制水成本约为 $15 \text{ 元}/\text{m}^3$,直饮水浊度为 0.05 NTU 、 $\text{COD}_{\text{Mn}} < 0.5 \text{ mg}/\text{L}$ 、三氯甲烷 $< 0.01 \text{ mg}/\text{L}$ 、TDS 约为 $50 \text{ mg}/\text{L}$,各项指标均优于《饮用净水

水质标准》(CJ 94—2005)。直饮水供水纳入校园卡统一管理,充值、取水极其方便,深受师生欢迎。在“双碳”减排的大战略框架下,管道直饮水以其水质新鲜、安全卫生、低碳环保等优势而更具有广泛的社会、经济以及环境效益,值得大力推广应用。

参考文献:

- [1] 章建科,魏宏斌,张鸿,等. 包钢住宅区及厂区直饮水工程的设计、建设及运行[J]. 中国给水排水,2015,31(4):54-57.
ZHANG Jianke, WEI Hongbin, ZHANG Hong, *et al.* Design, construction and operation of direct drinking water project for Baogang residential and factory areas [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(4): 54-57 (in Chinese).
- [2] 刘晓霞,余三平,张晓婷. 2016—2020年包头市管道直饮水水质监测结果分析[J]. 质量安全与检验检测, 2022, 32(3):18-21.
LIU Xiaoxia, YU Sanping, ZHANG Xiaoting. Analysis of the monitoring results of direct drinking water quality of pipes in Baotou City from 2016 to 2020 [J]. Quality Safety Inspection and Testing, 2022, 32(3): 18-21 (in Chinese).
- [3] 陈霞,黄美珍,葛鹏. 住宅小区管道直饮水设计中的思考[J]. 中国给水排水,2015, 31(6):42-45.
CHEN Xia, HUANG Meizhen, GE Peng. Thinking in design of pipe fine drinking water system in residential area [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(6): 42-45 (in Chinese).
- [4] 李清华,侯英娜,费霞丽,等. 一种梯户式管道直饮水系统的中试效果分析[J]. 中国给水排水,2022, 38(17):34-38.
LI Qinghua, HOU Yingna, FEI Xiali, *et al.* Performance analysis on pilot-scale direct drinking water system in buildings [J]. Chinese Water & Wastewater, 2022, 38(17):34-38 (in Chinese).
- [5] 魏宏斌,杨庆娟,邹平,等. 纳滤膜用于直饮水生产的中试研究[J]. 中国给水排水,2009,25(7):55-58.
WEI Hongbin, YANG Qingjuan, ZOU Ping, *et al.* Pilot study on NF membrane for producing direct drinking water [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(7): 55-58 (in Chinese).
- [6] 许金明,赵斌,张朝晖,等. 校园管道直饮水设计及运行[J]. 水处理技术, 2022, 48(9):146-149.
XU Jinming, ZHAO Bin, ZHANG Zhaozhui, *et al.* Design and operation of direct drinking water project for campus [J]. Technology of Water Treatment, 2022, 48(9): 146-149 (in Chinese).

作者简介:方芳(1972—),女,浙江余姚人,本科,高级工程师,主要从事供水生产运行管理及相关信息化研究工作。

E-mail:65852177@qq.com

收稿日期:2023-08-09

修回日期:2023-09-20

(编辑:沈靖怡)

像保护眼睛一样保护生态环境,
像对待生命一样对待生态环境