

我国分质供水现状与进展

李政伟¹,安琪尔²,高小涛¹,马 浩¹

(1. 黄河勘测规划设计研究院有限公司,河南 郑州 450003;
2. 呼和浩特市引黄入呼工程建设管理有限公司,内蒙古 呼和浩特 010080)

摘要:为推进水资源集约化利用,助力人水和谐的可持续发展,通过文献调研和工程考察,分析了我国分质供水的特点,并系统梳理了不同行业现有的供水水质标准和政策,从饮用水和特种行业用水等高品质用水以及工业用水和市政杂用等低品质用水方面对我国分质供水的应用现状进行了剖析,指出在分质供水应用过程中存在管道易混接、供水水质保障率低、用户接受度难以统一、区域经济条件及技术发展水平不均等问题,导致分质供水难以推广。提出了加快相关政策法规出台、加强技术研发以及加大科普宣传等对策和建议。

关键词:分质供水; 优水优用; 管道直饮水; 再生水

中图分类号: TU991 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-6933(2025)06-0123-09

Present situation and progress of quality-divided water supply in China//LI Zhengwei¹, AN Qier², GAO Xiaotao¹, MA Hao¹(1. Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China; 2. Yellow River Water Diversion into Hohhot Engineering Construction Management Co., Ltd., Hohhot 010080, China)

Abstract: To promote the intensive utilization of water resources and facilitate the sustainable development of harmonious human-water relationship, the characteristics of quality-divided water supply in China were analyzed through literature research and engineering investigation. The existing water supply quality standards and policies in different industries were systematically reviewed. The application status of quality-divided water supply in China was analyzed from the aspects of high-quality water use such as drinking water and special industrial water use, as well as low-quality water use such as industrial water and municipal miscellaneous water. It was found that during the practices of quality-divided water supply, there were problems such as pipeline misconnection, low water supply quality guarantee rate, difficulty in unifying user acceptance, and uneven regional economic conditions and technical development levels, which made it difficult to popularize quality-divided water supply. Based on this, countermeasures and suggestions such as accelerating the introduction of policies, strengthening technological research and development, and increasing popular science publicity were put forward.

Key words: quality-divided water supply; optimal use of water; piping drinking water; reclaimed water

城市化和气候变化共同加剧了全球水资源短缺,全球缺水城市人口预计从 2016 年的 9.33 亿人增加到 2050 年的 16.93 亿~23.73 亿人^[1]。人多水少、水资源时空分布不均是我国的基本水情^[2],我国人均水资源量仅为世界平均水平的 35%,全国有近 2/3 的城市不同程度缺水,长期面临日益严重的水资源短缺危机和水压力^[3-4]。“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路的提出,为新时代水治理提供了全新的路径和要求^[5]。随着经济社会发展和城乡居民生活水平的提高,用水需求量逐步增大,集中处理、单一供应的供水模式进一步加大了水资源

供需矛盾^[6-7]。用水对象不同,对水质的要求不同,进而直接影响水处理技术的采用和成本投入。采用分质供水的方式进行供水,不仅可以解决不同用水对象对水质的差异化需求,而且可以实现水资源的节约集约利用^[8]。本文通过文献调研,结合实际工程案例,梳理了我国分质供水的发展历史和现状,分析了其中存在的关键问题,并对未来发展方向进行展望,以期为我国分质供水模式的推广应用提供参考。

1 分质供水特点

分质供水是根据不同用水对象对水质的差异化

基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFC3201302)
作者简介:李政伟(1990—),男,高级工程师,博士,主要从事水处理技术研究。E-mail:mengdeerjiayou@163.com

需求,采用不同的供水系统将不同水质标准的水,分别供应给不同用途的用水户^[9](图 1),这是水资源节约集约利用的重要方向,尤其适用于缺水地区或对水质要求差异显著的应用场景。

分质供水的核心是通过差异化供水实现资源优化和成本节约,具有以下特点:

- a. 优化利用水资源。按照水源类型及用户用水需求,将饮用水、生活用水(如洗浴洗涤、冲洗绿化)、工业用水等分质供应^[10],饮用、食品加工等高水质需求领域使用净化水,低水质需求领域使用再生水或自然水源,避免高质水用于冲厕或市政杂用等,提升水资源的利用效率和可持续性^[11]。
- b. 提升饮用水质量。通过独立管道供应直饮水,水质达到直接饮用标准,减少对桶装水的依赖。直饮水系统独立运行,可降低因管网老化或混合用水导致的污染风险,避免饮用水的二次污染,提升居民饮用水质量和安全^[12]。
- c. 降低用水成本。根据用水水质的不同,采用不同的处理技术,仅对高品质用水进行反渗透、紫外线消毒等深度处理,对其他用途水进行简单处理,节省能耗和药剂成本,降低水处理系统成本。有针对性地采用分质供水管道,非饮用水管网采用耐腐蚀、低成本的材质,降低输水系统成本。
- d. 灵活适应需求。根据不同区域需求设计水质,实现区域定制化供水,如工业区重点供应冷却水,居民区强化直饮水。针对现有供水系统,采用逐步改造的方式,分阶段实现分质供水^[13]。
- e. 促进环境保护。将中水回用于绿化、冲厕等,减少对原水资源的消耗,促进再生水的利用。将工业废水经处理后循环利用,减少排放压力,减少对环境的污染^[14]。

2 分质供水标准

国外对分质供水的研究和应用起步较早,如罗马、法国、英国、美国、日本等^[15],主要以水是否适合饮用为分类标准,其中可饮用水系统在局部区域作为主体供水系统,其他低品质用水采用单独的管网供水用于市政杂用、工业用水、车辆清洗等^[16]。1983 年,美国分质供水协会(Distribution Division Committee on Dual Distribution Systems)提出《分质供水指南》,将供水分为饮用水和非饮用水,其中可饮用水为符合联邦与州政府水质标准,主要用于直接饮用以及炊事烹调的水,定额为 150 L/(人·d),非饮用水主要为其他的杂用水,可作为饮用水的补充^[17]。1920 年在亚利桑那州修建了第一个分质供水系统,将非饮用水用于浇灌绿地、冲厕、洗车、冷却水等。1964 年东京奥运会,日本建设雨水收集及利用系统,用于场馆的清洁和绿化。

我国对分质供水的应用起步较晚,上海市于 1996 年建成了我国住宅小区首个管道分质供水系统。随着经济和技术水平的不断提高,我国分质供水系统得到了快速发展,不同城市逐步开展分质供水,其中部分城市实现了全域直饮水供水。我国分质供水系统与国外不同,主要是在现有自来水供水的基础上,通过净水设备(集中式或户用式)二次处理供饮用,其他非饮用水则采用自来水,以满足不同用水需求。

近年来,我国先后制定了不同用水的水质标准。按用途分类,可分为居民生活用水、工业用水、农业用水、市政公共用水和生态用水等;按用水水质标准分类,可分为饮用水、非饮用水等。水质标准的制定主要依据用水对象的特征和功能,通过科学分析,有

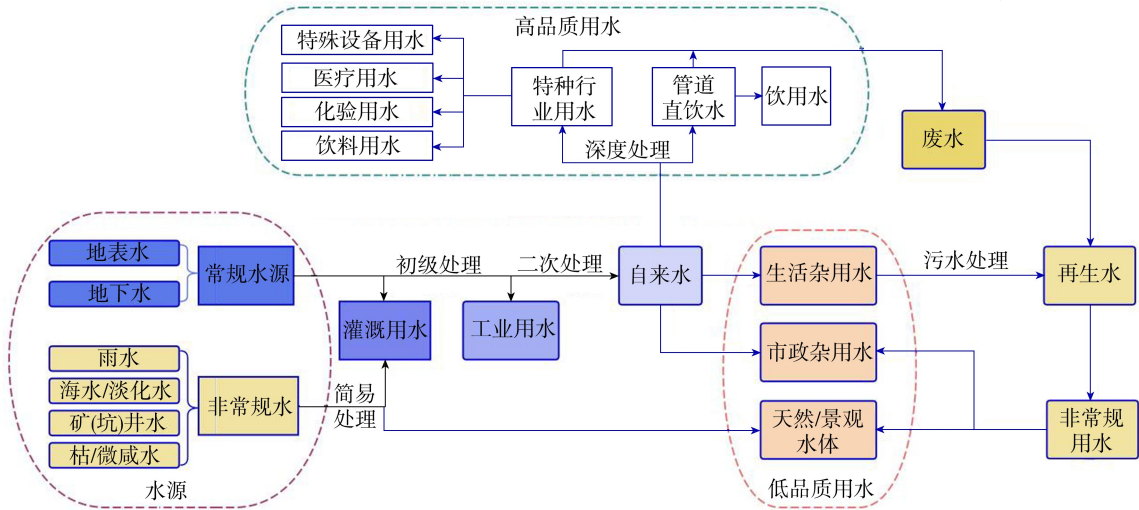


图 1 分质供水示意图

Fig. 1 Schematic diagram of quality-divided water supply

针对性地确定各类指标和范围。不同用途的用水水质差异显著,其中饮用水的要求最为严格。从水质指标数量方面分析,生活饮用水的水质指标最多,共 97 项,其中常规指标 43 项,扩展指标 54 项;景观环境用水的水质指标最少,仅 10 项。结合指标限值分析,生活饮用水的水质指标最严格,包括浊度、色度、pH 值、阴离子表面活性剂、总余氯等多项指标。农田灌溉用水的水质指标相对宽松,其中阴离子表面活性剂质量浓度不大于 5 mg/L,超过生活饮用水卫生标准和城市污水再生利用工业用水水质限值的 10 倍,粪大肠菌群指标限值高达 4 万 MPN/L,而城市污水再生利用工业用水水质中粪大肠菌群指标限值为 1 000 MPN/L,生活饮用水和城市污水再生利用城市杂用水则要求不能检出。对比 GB18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》和 GB5084—2021《农田灌溉水质标准》,如果污水处理厂出水能达到一级 A 标准,同时符合 GB20922—2007《城市污水再生利用农田灌溉用水水质》要求,则污水处理厂出水可用于一般农田灌溉。

根据水质指标特征,生活饮用水水质主要考虑生命健康,重点限制微生物、毒理、感官、化学、放射性、消毒剂等指标。工业用水水质主要考虑工业不同用途(如冷却水、补给水、工艺用水等)以及工业设备及工艺运行,重点限制硬度、盐类、微生物等指

标。景观环境用水水质主要考虑生态安全、人体健康、感官体验,重点限制溶解氧、氮磷、色度、微生物等指标。城市杂用水水质主要考虑人体健康、环境安全、设备保护,重点限制微生物、盐类、氮磷等指标。

3 分质供水政策

分质供水技术通过构建差异化供水体系实现水资源优化配置,节约运行成本,进而为水资源节约集约利用提供技术支撑^[18]。近年来,国家和地方相继出台相关政策(表 1),支持有条件的地区实行分质供水。

国家对分质供水的侧重点在于推进再生水利用,尤其是对污水经过深度处理后的再生水,这类再生水作为优质再生资源已被多个国家使用,是国际公认的“第二水源”^[19-20]。国家相关部委先后出台多项政策,指导地方和相关行业分质、分对象用水。最早出台的《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)中,明确要求除饮用水外的其他杂用水优先使用再生水,将再生水优先应用在工业生产、城市绿化、道路清扫、车辆冲洗、建筑施工以及生态景观等非直接饮用领域,“水十条”是首次在国家层面提出再生水利用的框架性要求。近年来,我国加大了再生水的利用,再生水利用量逐年增加。然而,受不同

表 1 国家和地方对分质供水的政策规划(节选)

Table 1 National and local policy planning for quality-divided water supply (excerpts)

层面	机构、地区	出台时间	政策名称	相关内容
国家	国务院	2015-04-16	《水污染防治行动计划》	工业生产、城市绿化等用水应优先使用再生水
	国家发展改革委、水利部	2019-04-15	《国家节水行动方案》	促进企业间串联用水、分质用水、一水多用和循环利用
	国家发展改革委、科技部、工业和信息化部等十部委	2021-01-04	《关于推进污水资源化利用的指导意见》	资源型缺水地区实施以需定供、分质用水,合理安排污水处理厂网布局和建设
	国家发展改革委、水利部、住房和城乡建设部等五部委	2021-10-28	《“十四五”节水型社会建设规划》	分质、分对象用水,推进再生水优先用于工业生产、市政杂用、生态用水
	国务院	2024-03-20	《节约用水条例》	工业企业应采用分质供水、循环用水、废水处理回用等
地方	包头市	2004-04-08	《关于城市生活分质供水工程建设的若干规定》	管道直饮水系统纳入住宅配套项目建设
	河南省	2020-01-10	《2020 年河南省政府工作报告》	开展“双排双供”新型城镇供排水系统建设试点
	义乌市	2020-03-13	《义乌市分质供水专项规划》(2019—2035 年)	采用双管系统,确保优质优用、低质低用
	海宁市	2020-05-09	《海宁市域给水工程专项规划修编(2020—2035)》	主干输水管道分为两组,分别用于输送千岛湖水和普通自来水,实现工业用水与生活用水分质供水
	浙江省	2020-06-04	《浙江省节水行动实施方案》	优质水源紧缺地区大力推进工业园区水源分质供水
	北京市	2020-10-09	《北京市节水行动实施方案》(2020 年)	住宅小区、单位内部的景观环境用水和其他市政杂用水使用再生水或者雨水,不得使用自来水
	苏州市	2022-09-23	《苏州市水资源综合规划(2021—2035)》	依靠价格手段推动再生水利用市场的形成,做到优水优用
	济南市	2021-05-28	《济南市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》	推行“双供双排”城市用水循环系统
	深圳市	2024-06-11	《深圳市污水资源化利用行动方案》	因地制宜构建再生水分质供水体系

因素的影响,我国再生水利用率还不高,仅为20.44%^[21]。目前已形成“政策引导-标准支撑-技术赋能”的体系化框架,随后《国家节水行动方案》设定了2022年缺水城市再生水利用率不低于20%的量化目标。《“十四五”节水型社会建设规划》明确强调“分质供水、优水优用”,要求建立基于水质分级的水资源配置体系。在此基础上,《国家水网建设规划纲要》进一步强调多水源协同调度与分质管网的系统集成。

为加强对分质供水的规范和指导,国家先后出台GB/T 18920—2020《城市污水再生利用 城市杂用水水质》和CJJ/T 110—2017《建筑与小区管道直饮水系统技术规程》,分别规范了非饮用水水质和直饮水系统建设,形成全链条标准约束。分质供水具体实施路径主要聚焦三大方向:①水源分类管理,即按用途匹配地表水、再生水等水源类型;②管网分质建设,在新建城区执行“双管入户”强制标准;③动态水质监控,即通过在线监测设备实现非饮用水系统实时预警。现阶段政策演进呈现目标刚性化、技术标准化和系统集成化的显著特征,标志着分质供水已从试点探索转向规模化推广阶段。

为进一步加强分质供水体系建设,国内多个省、市制定了相关政策,普遍以《国家节水行动方案》为纲领,结合区域水资源禀赋制定量化指标,形成因地制宜、分级管控的实施特点。浙江省义乌市出台了《义乌市分质供水专项规划》(2019—2035年),强调根据不同用水的水质需求,实现供水优质优用、低质低用,是国内为数不多的分质供水专项规划;河南省和济南市在分质供水的基础上,提出了分类排水的要求,即将生活污水按照排放来源和水质差异分为黑水(卫生便器排水)和灰水(其他杂排水)^[22],有助于实现再生水的就近回用^[23],开启了“双供双排”新型城镇供排水系统建设新规划,进一步促进水资源的节约集约利用,解决供水系统“高不成、低不就”的现状;北京市出台了《北京市节水行动实施方案》(2020年),要求2025年再生水利用率达60%,重点构建“市政-再生-雨水”三水联供网络;深圳市依据《节约用水条例》(2021年修订)在坪山高新区推行饮用水与非饮用水“双管入户”,要求新建城区管网分质覆盖率达100%;雄安新区按《河北雄安新区规划纲要》建立直饮水、生活水、生态水和工业水4类独立循环系统。缺水地区如宁夏回族自治区侧重再生水工业回用,而经济发达地区试点“成本分摊+水价浮动”市场化机制。

此外,各地还积极探索技术适配与制度突破双重路径。浙江省出台了《关于全域推进未来社区建

设的指导意见》,要求新建社区同步部署数字孪生供水系统,实现分质管网动态监测。广东省在《粤港澳大湾区水安全保障规划》中构建了工业用水分质定价体系,对高耗水行业实行阶梯水价政策。青岛市则依托《海水淡化发展规划》将淡化海水纳入分质供水体系,专供工业园区。

4 分质供水实施进展

4.1 高品质用水

4.1.1 饮用水分质供水

饮用水分质供水通过对优质水源进行深度优化处理,达到饮用水卫生标准要求。随着人民群众生活水平的提高和水处理工艺的不断改进和创新,越来越多的居民小区推行分质供水^[24-25]。

饮用水分质供水主要依据GB 5749—2022《生活饮用水卫生标准》,为居民提供高品质的生活用水,通常分为5种模式:①集中式供水,即采用统一供应的方式为所有住宅小区提供优质饮用水。为解决老旧供水管网管材及供水管理历史遗留等问题,提高全市居民生活饮用水水质,深圳市自2013年开始实施优质饮用水入户工程,通过社区供水管网改造工程和二次供水设施提标改造工程,计划2025年实现自来水全城可直饮^[26];上海市通过逐步完善多源连通互补的原水系统布局、全面实施水厂深度处理工程、滚动推进老旧供水管网改造、强化二次供水监管能力建设等措施,全面提高上海市自来水水质,计划到2035年全市范围内入户水质达到直饮要求^[27]。②分布式供水,即在居民住宅小区附近建设多个分布式水处理站,通过管道直饮水方式为居民提供优质饮用水。包头市从2003年开始实施管道直饮水工程^[28],截至2020年已建成直饮水站157座、分站70座,管道直饮水设施覆盖人口159.97万人,占比81%;海宁市自2020年起,以常规城市市政供水为基础,实施分布式高品质管道饮用水工程建设,计划到2030年实现全市高品质饮水的全覆盖。③分散式供水,即通过在小区内布设社区直饮水站或水屋,供小区居民取水,是国内目前较为常见的直饮水供水模式。截至2020年底,包头市通过自助水屋和现制现售水设施,解决了老旧小区水站选址落地困难的问题,自助水屋覆盖人口占直饮水覆盖人口的19%。④户用式供水,即居民在家中自主安装小型净水机,通过对户内自来水处理后达到直饮标准。随着居民经济水平的提高,对更高质量生活的需求进一步提升,户用净水机规模发展迅速,每年增长约15%^[29]。未来,为应对居民对更高饮用水质和更加环保性能的需求,家用净水机将

向智能化、节能化、健康化、环保化方向发展^[30]。
⑤包装式供水,即直接购买包装好的桶装水,这种方式具有安全、快捷、方便的特性。我国包装饮用水产业始于 1995 年,随后桶装水被越来越多的居民家庭使用^[31]。

4.1.2 特种行业分质供水

特种行业用水对水质具有严苛要求,其处理标准显著高于生活用水及一般工业用水,主要涵盖制药、电子制造、医疗灭菌、实验室分析及高端食品饮料等领域。

医疗系统分质供水指医疗机构在日常工作中,根据不同诊疗活动需要提供不同水质的特殊用水。一般以自来水为水源,通过水处理设备进行深度处理后达到不同水质要求。国内越来越多新建及改扩建医院的医疗系统开始采用分质供水系统^[32],根据用水需求,可分为器械清洗用水、化验分析用水、手术治疗用水、直饮水、常规用水等^[33]。根据用水水质特点,医疗系统用水可分为饮用水、杂用水、软化水、无菌水和纯化水等。其供水通常分为两种模式:①分散式供水,即为各用水科室设置独立的水处理设备,按照用水水质需求向各科室单独供水,是国内目前普遍采用的医疗系统分质供水模式;②中央式供水,即将水处理设备集中布置,对自来水进行预处理,通过管网输送至各科室,再通过每个科室末端的二次处理设备,达到各科室用水要求,是近年来逐渐推行的分质供水模式^[34]。与模式①相比,模式②具有节约占地、管理方便、节能环保、运行成本低等优点^[32,34],可实现大型医疗系统的用水安全和高效供应。张芹芹等^[32]对比分析了医疗系统分散式和中央式供水运行成本,发现中央式供水的运行成本仅为分散式供水运行成本的 55%。

部分工业用水对水质要求较为严格,甚至比生活饮用水的品质要求更高^[35],这主要源于其设备的特殊用水性质,对包括总硬度、电导率、油类及总铁等在内的水质指标有较高控制要求。在工业用水循环使用过程中,如果部分水质指标超标,将影响设备的正常运行^[36]。针对特殊工业用水需求,与医疗系统分质供水类似,可采用直接供应高品质用水或在现状供水基础上进行深度处理。

4.2 低品质用水

低品质用水对用水水质要求较为宽松,可根据需要按照不同用水水质标准将处理后的生活污水、工业污水以及雨水应用于不同用水场景^[37],通常多应用于非饮用水类场景,如工业用水、水体补充、农业灌溉、冲厕、绿化浇灌、道路冲洗、建筑施工等^[38],是实现水资源节约集约利用、破解水资源短缺和水环

境污染问题的重要途径^[39-40],也是国家和地方尤其要求和鼓励的节水方式。近年来,我国加大了对再生水供水的力度。根据水利部发布的 2019—2023 年《中国水资源公报》数据(2019 年之前无再生水供水数据),得到我国再生水供水情况如图 2 所示。我国再生水供水量逐年增长,从 2019 年的 87.4 亿 m³ 增长至 2023 年的 177.7 亿 m³,5 a 时间增长了 1 倍,年均增长率 19.6%。此外,我国再生水是非常规水的重要组成部分,再生水供水量占非常规水供水量的比例较为稳定,始终维持在 83.6%以上水平。

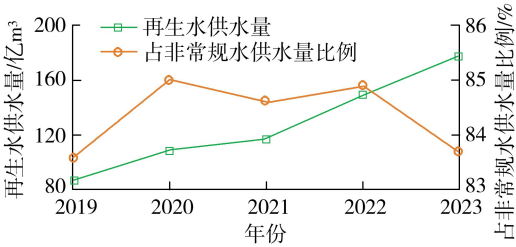


图 2 2019—2023 年我国再生水供水量

Fig. 2 Reclaimed water supply in China from 2019 to 2023

我国各省(区、市)采用了一系列再生水利用措施,取得了良好的应用效果。以北京市为例,2006 年北京市开始建设再生水供水管网系统,截至 2023 年底,已建成再生水管线达 2 274 km,优先应用于工业、景观水体、市政杂用等^[41],有效缓解了北京市水资源短缺的问题。2023 年北京市再生水利用量达到 12.77 亿 m³,占全市用水总量的 30%,再生水已成为北京市稳定可靠的第二水源。2023 年 1 月北京市发布了《北京市全面打赢城乡水环境治理歼灭战三年行动方案(2023—2025 年)》,计划到 2025 年全市新建再生水管线 170 km。为加快推进再生水利用,2024 年 7 月国家发展和改革委员会等发布了《关于印发再生水利用重点城市名单的通知》,在全国范围内确定了 50 个再生水利用重点城市,要求再生水利用率低于 30%的城市提升 20 个百分点,再生水利用率高于 30%的城市提升 10 个百分点。

5 分质供水问题分析

分质供水具有较好的节水效果和经济效益,然而目前我国尚未得到全面推广,主要存在以下几个方面的问题和限制因素:

- a. 管道混接问题。分质供水需要建设多条不同管道,针对不同用水需求,管道末端出水水质不同。受制于规划、设计、施工、管理等多方面的因素,易出现管道混接问题,导致出水水质无法满足用水需求。我国已出现多起将再生水回用管道与自来水管道的误接事件。
- b. 供水水质问题。不同用途(如饮用水、灌溉

用水、工业用水)对水质要求差异较大,分质供水需按照不同的水质标准进行供水,水处理工艺流程不同,对输配水管材的要求也不同。影响水质的因素较多,包括取水水源、处理设施、输配水管网及管理维护等^[42],在实际实施过程中,易出现出水水质非所需水质的问题。王德东等^[43]分析了2008—2015年广州市各分质供水站的水质监测数据,发现管网末梢水的三氯甲烷和铅超标率均高于水源,可能原因是供水管道材质年久腐蚀。刘晓霞等^[44]对2016—2020年包头市管道直饮水的水质进行监测分析,发现终端水的指标合格率为92.47%,不合格指标主要为菌落总数超标,约占2.84%。

c. 用户接受度问题。用户接受度是限制分质供水推广应用的主要因素。一方面,由于长期以来形成的用水习惯,传统“一管到底”的供水模式根深蒂固,导致用户缺乏分质用水的意识,即使在建筑小区内安装两路分质供水管道,由于管道直饮水的价格较高,用户仍大量使用常规自来水,极易导致直饮水量较低^[45]。对于企业而言,部分工业企业考虑经济性问题,更希望维持现有用水现状,对分质供水持观望态度^[46]。另一方面,用户对非饮用水(如再生水)的水质存在疑虑,对将其用于家庭冲厕、绿化等的接受度较低,尤其是社会上曾出现管道混接的现象,进一步加大了用户对分质供水的担忧。应亮等^[47]采用专题调查的方法调研了上海市管道分质供水现状,发现上海市管道分质供水自2008年兴起后逐步放缓,用户对管道分质供水水质的可靠性存在疑虑,导致分质供水小区平均开通用户不足50%。

d. 区域经济问题。分质供水需要在现有供水模式的基础上新增一套供水系统,或在末端增加深度处理设施,从投资、运行、管理等方面考虑,经济成本显著增加,因此,需要达到一定用水规模,分质供水才具有经济可行性。针对饮用水分质供水,饮用水占总供水量比例需超过20%^[48]。若将管道直饮水设施成本分摊至家庭,也需要达到一定规模才具有显著的规模效应,如管道直饮水用水户数从500户增加至1500户时,分摊费用将降低34%^[49]。受制于当前经济发展水平,分质供水在部分地区无法大面积应用和推广。

e. 技术发展问题。技术水平显著影响分质供水的制水工艺,对用户用水成本产生间接影响。目前,公众对于生活饮用水水质要求严格较为接受,普遍认为工业用水使用低品质水即可。受制于工业用水成本问题,水厂在水处理过程中多采用传统的水处理工艺,对可溶性离子的处理缺乏有效的应对措施,易导致出水中产生离子型污染^[50],而部分工业

用水对水质要求较高,需要针对不同水质需求研发新的混凝药剂和水处理工艺^[51]。

6 对策与建议

分质供水不仅具有良好的经济性,而且具有较强的节水效果,可有效促进水资源的节约集约利用,但在实际应用过程中,受多项因素制约,导致其在我国的推广和应用受到限制,对此提出以下对策和建议:

a. 加快相关政策法规出台。结合分质供水的应用场景和实际需求,建议各地根据实际情况,有针对性地出台相关政策法规,鼓励和引导用户基于分质供水理念制定早期规划^[52],以便统筹后续设计、施工和管理工作,同时通过水价杠杆与智慧水务平台构建水资源优化配置体系。如内蒙古自治区政府2024年10月印发了《内蒙古自治区城镇排水与污水处理办法》,特别强调“再生水利用设施应当设有明显标识,禁止将再生水管道与城镇公共供水管道连接”“禁止将再生水用于生活饮用、食品生产、水产养殖、游泳洗浴等影响人身健康的用途”。

b. 加强技术研发。分质供水水质的影响因素较多,为保证末端出水水质满足用户需求,需从取水、输水、净水和配水等多个方面加强技术研发,优化全过程设计,方便后续施工和管理。建议加强对末端水质监测和处理的技术研发,以更好地保证出水水质。同时结合“双碳”目标,重点发展可再生能源驱动的分布式水处理技术。

c. 加大科普宣传。针对用户对分质供水水质的疑虑,建议通过走访和调查的方式,了解用户对分质供水较为关心和敏感的关键事项,通过定期公布水质监测数据,并加大对分质供水技术的科普宣传,包括对技术的经济性、可靠性等进行宣传,逐步引导用户关注和认可分质供水。

7 结 语

分质供水系统通过差异化水质供给实现水资源精准化分级利用,其核心优势在于依据工业冷却、市政绿化、生活杂用及高端用水等不同场景需求,定制化提供差异化水质标准的用水,从而降低系统运行能耗,减少优质水的消耗量,提高水资源节约集约利用水平。未来可进一步完善政策标准,制定激励措施,同时加强制水工艺和智慧水务等方面的技术创新,推动水质分级精细化发展,最终构建多级串联式水资源利用体系,进一步保障终端用水水质,降低供水成本,并加大分质供水的宣传力度,取得用户的关注和认可。未来,分质供水将成为供水的主流模式,推动水资源实现更精准和多层次的可持续利用。

参考文献:

[1] HE Chunyang, LIU Zhifeng, WU Jianguo, et al. Future global urban water scarcity and potential solutions [J]. Nature Communications, 2021, 12 (1) : 4667.

[2] 左其亭, 张志卓, 马军霞. 竞争性用水问题本质及解决途径与方法 [J]. 水资源保护, 2025, 41 (1) : 1-8. (ZUO Qiting, ZHANG Zhizhuo, MA Junxia. Essence, resolutions, and dealing methods of competitive water use issues [J]. Water Resources Protection, 2025, 41 (1) : 1-8. (in Chinese))

[3] LIU Yanbing, HAN Baolong, LU Fei, et al. Improving water efficiency is more effective in mitigating water stress than water transfer in Chinese cities [J]. iScience, 2024, 27 (3) : 109195.

[4] 魏豪杉, 王红瑞, 郑鹏鑫, 等. 基于水资源空间均衡的“四水四定”调控模型的应用 [J]. 水资源保护, 2024, 40 (5) : 78-85. (WEI Haoshan, WANG Hongrui, JIA Pengxin, et al. Application of water resources spatial equilibrium-based “defining city, land, population, and industry based on water” regulation and control model [J]. Water Resources Protection, 2024, 40 (5) : 78-85. (in Chinese))

[5] 金海, 徐静, 池欣阳, 等. 习近平总书记治水思路引领新时代全球水治理 [J]. 水利发展研究, 2024, 24 (12) : 5-9. (JIN Hai, XU Jing, CHI Xinyang, et al. General secretary Xi Jinping ’ s water governance principles contributes to global water governance in the new era [J]. Water Resources Development Research, 2024, 24 (12) : 5-9. (in Chinese))

[6] 王丽娟. 城市供水系统节水研究 [J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2020, 20 (3) : 37-39. (WANG Lijuan. Study on water saving of urban waterworks [J]. Journal of Anhui Technical College of Water Resources and Hydroelectric Power, 2020, 20 (3) : 37-39. (in Chinese))

[7] LEWANDOWSKA A, SZYMAŃSKA D. Ecologisation of polish cities in the light of selected parameters of sustainable development [J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 64 : 102538.

[8] 安莉娜, 范国福, 吴迪, 等. 基于水资源承载力与城市经济社会发展水平耦合协调度模型的遵义市发展评价 [J]. 河海大学学报(自然科学版), 2023, 51 (2) : 35-41. (AN Lina, FAN Guofu, WU Di, et al. Development evaluation of Zunyi City based on coupling coordination degree model of water resources carrying capacity and urban economic and social development level [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2023, 51 (2) : 35-41. (in Chinese))

[9] WILLIS R M, STEWART R A, WILLIAMS P R, et al. Residential potable and recycled water end uses in a dual reticulated supply system [J]. Desalination, 2011, 272 (1/2/3) : 201-211.

[10] FENG Chen, WU Fengping, ZHANG Chenjun, et al. Synergistic development path of conventional and unconventional water in China: from the perspectives of output and substitution elasticities [J]. Journal of Cleaner Production, 2024, 481 : 144095.

[11] BURSZTA-ADAMIAK E, SPYCHALSKI P. Water savings and reduction of costs through the use of a dual water supply system in a sports facility [J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 66 : 102620.

[12] BHATTA R, LOC H H, BABEL M S, et al. Assessment and enhancement of community water supply system sustainability: a dual framework approach [J]. Environmental and Sustainability Indicators, 2024, 24 : 100486.

[13] ZHANG Shanghong, WEN Xiaoxiong, ZHANG Rongqi, et al. An optimal allocation model based on the regional ecological water requirements and multi-water supply characteristics: a case study of Shandong Province, China [J]. Journal of Hydrology: Regional Studies, 2023, 49 : 101513.

[14] MUNNÉ A, SOLÀ C, EJARQUE E, et al. Indirect potable water reuse to face drought events in Barcelona City: setting a monitoring procedure to protect aquatic ecosystems and to ensure a safe drinking water supply [J]. Science of the Total Environment, 2023, 866 : 161339.

[15] 储柱全. 国内分质供水系统发展及其存在的问题 [J]. 城镇供水, 2008 (3) : 79-81. (CHU Zhuquan. The development and existing problems of separate water supply system in China [J]. City and Town Water Supply, 2008 (3) : 79-81. (in Chinese))

[16] LAW I B. Rouse Hill-Australia's first full scale domestic non-potable reuse application [J]. Water Science and Technology, 1996, 33 (10/11) : 71-78.

[17] HAMBLY A C, HENDERSON R K, STOREY M V, et al. Fluorescence monitoring at a recycled water treatment plant and associated dual distribution system: implications for cross-connection detection [J]. Water Research, 2010, 44 (18) : 5323-5333

[18] 陆鼎言. 对“水质型”缺水城市实行分质供水的探讨 [J]. 水资源保护, 2001, 17 (4) : 60-63. (LU Dingyan. Discussion on water quality based water supply in pollution induced water shortage cities [J]. Water Resources Protection, 2001, 17 (4) : 60-63. (in Chinese))

[19] CHEN Rong, WANG Xiaochang, WU Kun, et al. Wastewater reclamation for various non-potable supplies and water quality control in a minimum-emission hydrologic cycle [J]. Desalination and Water Treatment, 2014, 52 (25/26/27) : 5015-5020.

- [20] LIU H C, LEE M, HOU C H. Development and environmental performance of a pilot-scale membrane capacitive deionization system for wastewater reclamation; long-term operation and life cycle analysis[J]. Science of the Total Environment, 2024, 957: 177454.
- [21] 蒋云钟, 何凡, 姜珊, 等. 我国再生水利用分析及政策建议[J]. 水利发展研究, 2025, 25(1): 86-93. (JIANG Yunzhong, HE Fan, JIANG Shan, et al. Analysis and policy suggestions on the utilization of recycled water in China [J]. Water Resources Development Research, 2025, 25(1): 86-93. (in Chinese))
- [22] 张金良. 绿色节水节能型城镇“双供双排”系统方案[J]. 中国工程咨询, 2019(6): 33. (ZHANG Jinliang. Green water-saving and energy-saving town “double supply and double drainage” system scheme [J]. China Engineering Consultants, 2019(6): 33. (in Chinese))
- [23] 张金良, 樊新颖, 蔡明, 等. 我国城镇生活污水水源分离技术实施途径探究[J]. 水资源保护, 2022, 38(5): 1-7. (ZHANG Jinliang, FAN Xinying, CAI Ming, et al. Approaches to implementation of urban domestic sewage source separation technology in China [J]. Water Resources Protection, 2022, 38(5): 1-7. (in Chinese))
- [24] 周伟伟, 高洪波, 王科伦, 等. 济南市分质供水项目实施经验总结及思索: 以山水华府小区为例[J]. 净水技术, 2019, 38(5): 122-127. (ZHOU Weiwei, GAO Hongbo, WANG Kelun, et al. Summary and consideration of implementation experience for quality classified water supply project in Jinan: a case study in Shanshuihuafu community [J]. Water Purification Technology, 2019, 38(5): 122-127. (in Chinese))
- [25] 金伟, 李怀正, 李忆, 等. 上海锦华苑分质供水工程的实施总结[J]. 给水排水, 2004, 30(2): 55-58. (JIN Wei, LI Huaizheng, LI Yi, et al. Summary on construction of dual water supplying system for Jinhua Garden in Shanghai [J]. Water & Wastewater Engineering, 2004, 30(2): 55-58. (in Chinese))
- [26] 丁旭. 深圳市优质饮用水入户工程实施效果评价研究[D]. 长春: 吉林建筑大学, 2019.
- [27] 童俊. 上海市政自来水实现直饮目标的对策研究[J]. 给水排水, 2020, 46(4): 70-75. (TONG Jun. Study on the countermeasures of Shanghai municipal tap water to achieve the target of direct drinking [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(4): 70-75. (in Chinese))
- [28] 李瑞雪, 王艳菲, 郝海东. 浅谈包头市直饮水工程发展模式和发展历程[J]. 内蒙古水利, 2018(8): 64-65. (LI Ruixue, WANG Yanfei, HAO Haidong. Discussion on the development mode and development process of direct drinking water project in Baotou City [J]. Inner Mongolia Water, 2018(8): 64-65. (in Chinese))
- [29] 傅申森. 家用净水机未来展望[J]. 绿色建筑, 2021, 13(5): 41-44. (FU Shensen. Household water purifier development [J]. Green Building, 2021, 13(5): 41-44. (in Chinese))
- [30] 陈子斌. 家用净水器滤芯现状与发展[J]. 日用电器, 2024(1): 111-115. (CHEN Zibin. Present situation and development of filter element of household water purifier [J]. Electrical Appliances, 2024(1): 111-115. (in Chinese))
- [31] 王珍, 王川丕, 夏慧丽, 等. 2016—2019 年我国包装饮用水中铜绿假单胞菌的抽检分析[J]. 生物加工过程, 2023, 21(3): 346-354. (WANG Zhen, WANG Chuanpi, XIA Huili, et al. Inspection of *Pseudomonas aeruginosa* in packaged drinking water from 2016 to 2019 in China [J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2023, 21(3): 346-354. (in Chinese))
- [32] 张芹芹, 周艳, 程文彬. 医院中央分质供水系统设计及探讨[J]. 建筑节能(中英文), 2024, 52(3): 47-51. (ZHANG Qinqin, ZHOU Yan, CHENG Wenbin. Design of central distributed water supply system in hospital [J]. Journal of Building Energy Efficiency, 2024, 52(3): 47-51. (in Chinese))
- [33] 朱建波, 肖翔, 李桂明. 医院中央纯水系统的运行保障探讨[J]. 中国医院建筑与装备, 2019, 20(4): 74-76. (ZHU Jianbo, XIAO Xiang, LI Guiming. Discussion on the operational guarantee of central pure water system in hospital [J]. Chinese Hospital Architecture & Equipment, 2019, 20(4): 74-76. (in Chinese))
- [34] 周洪宏. 医院给水系统设计若干问题探讨[J]. 工程建设, 2022, 54(5): 19-23. (ZHOU Honghong. Discussion on several problems in design of hospital water supply system [J]. Engineering Construction, 2022, 54(5): 19-23. (in Chinese))
- [35] 邵东艳, 何伟栋, 王泽国, 等. “分质供水”背景下宁波工业用水水质困局及应对[J]. 浙江水利科技, 2024, 52(6): 11-16. (SHAO Dongyan, HE Weidong, WANG Zeguo, et al. The dilemma and response of industrial water quality under the background of “differentiated water supply strategy” in Ningbo [J]. Zhejiang Hydrotechnics, 2024, 52(6): 11-16. (in Chinese))
- [36] 段守荣, 梁伟. 水利工程建设的项目管理方法: 以茅洲河界河段综合整治工程(东莞部分)为例[J]. 西北水电, 2022(4): 118-121. (DUAN Shourong, LIANG Wei. Project management methods for water conservancy project construction: taking the comprehensive improvement project of the Maozhou River boundary section (Dongguan part) as an example [J]. Northwest Hydropower, 2022(4): 118-121. (in Chinese))
- [37] 李轶, 万芬芬, 张文龙. 长三角地区工业园区水资源高效利用的发展趋势与策略[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2023, 51(3): 1-9. (LI Yi, WAN Fenfen, ZHANG Wenlong. Development trend and strategy of efficient

- utilization of water resources for industrial parks in Yangtze River delta region [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2023, 51 (3): 1-9. (in Chinese)
- [38] ZHAO Xiaohui, XIE En. Reclaimed water influences bacterioplankton and bacteriobenthos communities differently in river networks [J]. Water Research, 2023, 243:120389.
- [39] CHEN Zhuo, WU Guangxue, WU Yinhu, et al. Water eco-nexus cycle system (WaterEcoNet) as a key solution for water shortage and water environment problems in urban areas [J]. Water Cycle, 2020, 1:71-77.
- [40] 孙克, 张信为, 聂坚, 等. 中国省域水资源利用绩效评价及空间分异和驱动因素分析 [J]. 水资源保护, 2023, 39 (4): 102-110. (SUN Ke, ZHANG Xinwei, NIE Jian, et al. Evaluation of provincial water resources utilization performance in China and its spatial differentiation and driving factor analysis [J]. Water Resources Protection, 2023, 39 (4): 102-110. (in Chinese))
- [41] 史莹, 司哺春. 我国城市再生水利用现状及政策建议 [J]. 水利发展研究, 2024, 24 (5): 24-29. (SHI Ying, SI Buchun. Current situation and policy suggestions on the utilization of regenerated water in Chinese cities [J]. Water Resources Development Research, 2024, 24 (5): 24-29. (in Chinese))
- [42] 张红, 徐爱英, 俞玲玲, 等. 上海市闵行区管道分质供水水质影响因素探究 [J]. 上海预防医学, 2016, 28 (9): 618-621. (ZHANG Hong, XU Aiyong, YU Lingling, et al. Study on the influencing factors of water quality of pipeline water supply in Minhang District of Shanghai [J]. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 2016, 28 (9): 618-621. (in Chinese))
- [43] 王德东, 钟巍, 李琴, 等. 2008—2015 年广州市分质供水水质监测结果分析 [J]. 医学动物防制, 2017, 33 (9): 949-951. (WANG Dedong, ZHONG Yi, LI Qin, et al. The analysis of the water quality from 2008 to 2015 in Guangzhou City [J]. Journal of Medical Pest Control, 2017, 33 (9): 949-951. (in Chinese))
- [44] 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))
- [45] 郝新宇, 宋亮, 陈辰斌. 域外引水条件下的城市分质供水模式研究 [J]. 给水排水, 2021, 47 (11): 126-131. (HAO Xinyu, SONG Liang, CHEN Chenbin. Study on urban water supply mode with different quality under the condition of extraterritorial water diversion [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47 (11): 126-131. (in Chinese))
- [46] 罗延歆. 合肥工业园区实行分质供水的探讨 [J]. 安徽建筑, 2016, 23 (2): 208-210. (LUO Yanxin. Discussion on the implementation of quality water supply in Hefei Industrial Park [J]. Anhui Architecture, 2016, 23 (2): 208-210. (in Chinese))
- [47] 应亮, 张怡琼, 周晓梅, 等. 上海市管道分质供水历史沿革、现状及对策 [J]. 上海预防医学, 2016, 28 (4): 209-213. (YING Liang, ZHANG Yiqiong, ZHOU Xiaomei, et al. The history, current situation and sanitary management countermeasures of dual piping water supply in Shanghai [J]. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 2016, 28 (4): 209-213. (in Chinese))
- [48] 李明, 刘应宗, 金宇澄. 探讨我国的城市分质供水模式 [J]. 华中科技大学学报 (城市科学版), 2005, 22 (3): 80-84. (LI Ming, LIU Yingzong, JIN Yucheng. Mode of urban water supply in different quality in our country [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Urban Science Edition), 2005, 22 (3): 80-84. (in Chinese))
- [49] 李绍峰, 黄君礼, 徐洪福, 等. 管道分质供水可行性分析 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35 (10): 1258-1260. (LI Shaofeng, HUANG Junli, XU Hongfu, et al. Feasibility analysis for pipe dual water supply [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35 (10): 1258-1260. (in Chinese))
- [50] 常啸. 基于机器学习的自来水厂混凝剂投加控制研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2021.
- [51] 张媛媛, 付英, 罗述元, 等. 天然混凝剂在水处理中的应用研究 [J]. 工业用水与废水, 2023, 54 (2): 5-9. (ZHANG Yuanyuan, FU Ying, LUO Shuyuan, et al. Research on application of natural coagulants in water treatment [J]. Industrial Water & Wastewater, 2023, 54 (2): 5-9. (in Chinese))
- [52] 王丰, 王红瑞, 来文立, 等. 再生水利用激励机制研究 [J]. 水资源保护, 2022, 38 (2): 112-118. (WANG Feng, WANG Hongrui, LAI Wenli, et al. Research on incentive mechanism of reclaimed water utilization [J]. Water Resources Protection, 2022, 38 (2): 112-118. (in Chinese))

(收稿日期: 2025 - 02 - 19 编辑: 施业)