

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.14.009

我国非常规水资源利用标准规范体系研究

倪欣业, 郝天, 王真臻, 魏锦程
(中国城市规划设计研究院, 北京 100037)

摘要: 非常规水资源开发利用在缓解水资源供需矛盾、改善水生态环境质量等方面发挥了重要作用。完善的标准规范体系是促进非常规水资源利用的重要前提。系统调研并总结了目前我国制定的与再生水、雨水和淡化海水三大类主要非常规水资源相关的标准规范,形成了包含规划建设、运行维护和水质及检测等利用全流程中的各项环节的标准规范体系,提出推动非常规水利用规划指南编制、完善运行维护规范导则和加快制修订相关水质标准等建议,并结合国家标准同步建立地方标准、团体标准和行业标准。

关键词: 非常规水资源; 标准规范体系; 再生水; 雨水; 淡化海水

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)14-0052-08

Research on Standard and Specification System of Unconventional Water Resources Utilization in China

NI Xin-ye, HAO Tian, WANG Zhen-zhen, WEI Jin-cheng
(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100037, China)

Abstract: The development and utilization of unconventional water resources plays an important role in alleviating the contradiction between water supply and demand and improving the quality of water ecological environment. A perfect standard system is an important prerequisite for promoting the utilization of unconventional water resources. This paper systematically investigated and summarized the standards and specifications of three major unconventional water resources in China, namely, reclaimed water, rainwater and desalinated seawater. A standard and specification system was established, which included all links in the whole process of planning, construction, operation and maintenance and water quality and detection. Some suggestions were proposed, such as promoting the compilation of planning guidelines for unconventional water utilization, improving operational and maintenance guidelines and accelerating the formulation and revision of relevant water quality standards. In addition, local standards, association standards and industry standards should be established simultaneously in combination with national standards.

Key words: unconventional water resources; standard and specification system; reclaimed water; rainwater; desalinated seawater

近年来,我国不断加大非常规水资源开发利用力度,开发利用量逐年上升^[1]。《中国水资源公报》中

其他水源供水量(非常规水资源)主要包括再生水、集蓄雨水、淡化海水以及矿坑水,直接利用海水不计入其中^[2]。根据水利部《中国水资源公报》数据,2011年—2020年期间,我国非常规水源利用量从 $44.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 $128.1 \times 10^8 \text{ m}^3$;非常规水源利用量占总供水量的比重由0.7%增加到2.2%^[2-3]。非常规水资源开发利用和优化配置涉及众多环节,都需遵守相应的标准规范。本研究主要针对非常规水资源中利用比重较大的再生水、雨水和淡化海水,深入剖析已建立的标准规范体系并提出具体建议,为推动我国非常规水资源高效利用提供保障。

1 规划建设标准规范

针对非常规水资源的推广利用,首先需要从规划上进行系统设计,并以建设规范为支撑。国家、相关行业、团体以及地方针对不同类型用水要求制定相关标准规范。

1.1 标准规范概况

1.1.1 再生水

为规范城镇再生水利用规划编制,保证规划编制质量,水利部制定了相关行业标准《城镇再生水利用规划编制指南》(SL 760—2018),用于指导城镇再生水作为工业生产、城市杂用、景观环境、农业灌溉等用途的规划编制,以及工业园区、经济技术开发区、产业集聚区和其他区域再生水利用规划编制。

现行的国家层面的再生水建设标准相对较少,早期以《城镇污水再生利用技术指南(试行)》《城镇污水再生利用工程设计规范》(GB 50335—2016)和《建筑中水设计标准》(GB 50336—2018)为主,指导再生水利用建设工程。近年来,《水回用导则 污水再生处理技术与工艺评价方法》(GB/T 41017—2021)以及相关团体标准颁布,逐步补充和完善了再生水利用工程建设方面的标准(见图1)。



图1 部分再生水利用相关规划建设标准规范

Fig.1 Standard and specification for planning and construction related to reclaimed water utilization

地方层面尤其是北方缺水城市制定了相关建设标准。北京市作为水资源严重短缺的城市之一,也是再生水使用规模较大的城市,其针对不同使用途径制定了标准规范。此外,北方地区包括天津市、山西省、甘肃省、河北省等均制定了再生水利用相关技术规范,但主要集中在灌溉工程,缺乏其他利用类型的技术标准规范。

1.1.2 雨水

雨水主要利用途径为建筑与小区雨水利用以

及结合海绵城市和低影响开发方式利用,对应的规划建设标准规范体系如图2所示。为规范和系统化推进海绵城市建设,住房和城乡建设部颁布了《海绵城市专项规划编制暂行规定》(建规〔2016〕50号)和《海绵城市建设专项规划与设计标准(征求意见稿)》两部涉及雨水利用和海绵城市建设的规划标准规范。部分省份也制定了相关规划标准,如湖北省发布了《湖北省海绵城市规划设计规程》(DB 42/T 1714—2021)。

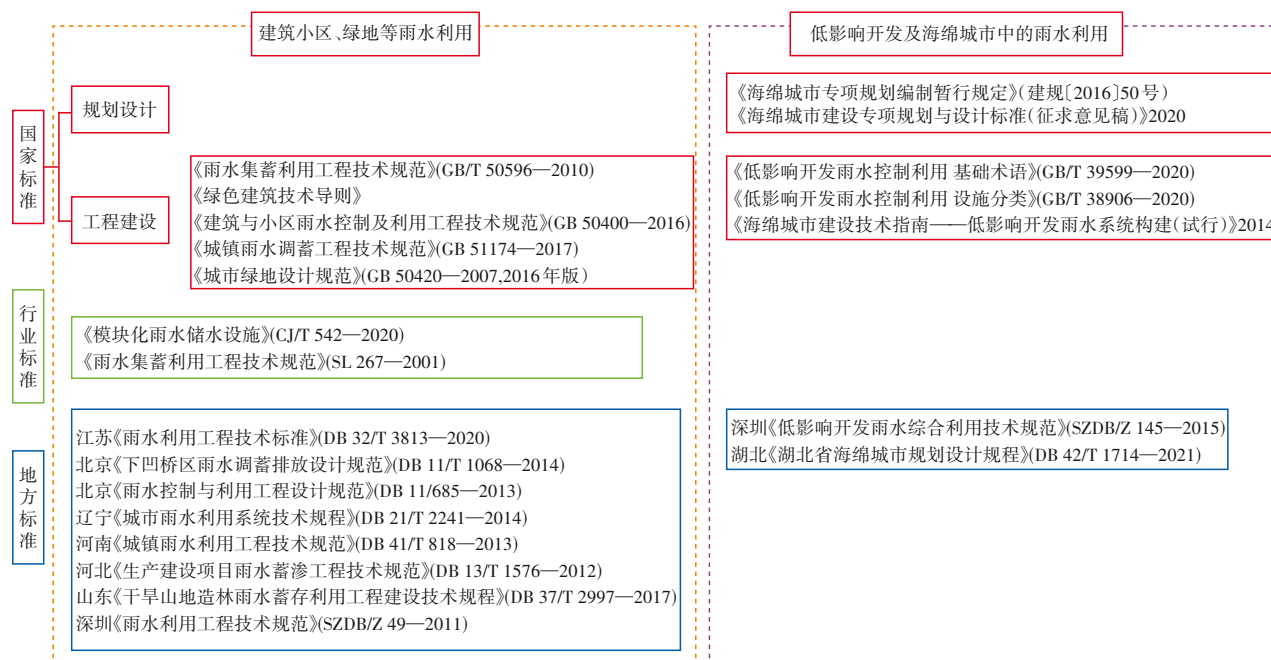


图2 部分雨水利用相关规划建设标准规范

Fig.2 Standard and specification for planning and construction related to rainwater utilization

对于建筑小区雨水利用,国家层面于2006年发布了雨水利用综合性技术规范,即《建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范》(GB 50400—2006),并在2016年发布了修订版GB 50400—2016,其为强制性规范,主要包含了水量与水质、雨水控制及利用系统的设置、雨水收集与排除、雨水入渗、雨水储存与回用、水质处理、调蓄排放、施工及验收、竣工验收及运行管理等内容,较为系统全面。新版标准中补充了海绵城市建设的相关术语、技术要求和控制目标。其中“1.0.5 规划和设计阶段文件应包括雨水控制及利用内容。雨水控制及利用设施应与项目主体工程同时规划设计,同时施工,同时使用”为强制性条款。同时,雨水回用用途应根据多个因素综合考虑确定,可用作景观用水、绿化用水、循环冷却系统补水、路面和地面冲洗用水、冲厕用水、汽

车冲洗用水、消防用水等。

城市建设中雨水利用以海绵城市和低影响开发雨水设施建设为主。2014年,住房和城乡建设部颁布了《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》,但内容仅针对低影响开发雨水系统;相关行业也颁布了雨水储水设施以及集蓄工程技术规范。各地区根据雨水利用情况也颁布了相应的雨水利用和海绵城市建设标准规范,并对雨水利用量做出明确规定。尽管相关省市制定了雨水利用工程标准,但针对雨水利用率或雨水替代城市公共供水的比例的计算方法,国家和地方层面并没有明确规定,未来有待进一步完善。

1.1.3 淡化海水

我国海水利用起步较早,主要采用海水淡化和海水直接利用两大方式,其中海水直接利用包含海

水直流冷却、海水循环冷却和大生活用海水。由于海水直接利用不包含在非常规水资源的统计口径中,本研究主要总结海水淡化相关的标准规范。海水淡化利用规划相关要求主要是从政策层面进行颁布,目前暂无海水淡化利用规划编制标准。

我国已形成相对系统的海水淡化利用的建设标准体系(见图3)。标准体系涵盖淡化海水利用的术语和符号、工程设计、通用技术及其方法、施工验收等方面。整体上,淡化后的海水主要在特定行业

和沿海地区利用。因此,相关行业以及地方制定了更为详细具体的标准规范,如钢铁、船舶等行业制定了详细的海水淡化利用的装置、技术、工程设计等方面的规范。山东省截至2019年已建成海水淡化工程规模 $32.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,工业用海水淡化工程比例较高,集中在电力等行业^[4]。作为海水利用较为广泛的省份,山东省于2009年发布了《火力发电厂反渗透海水淡化装置设计导则》(DB 37/T 1177—2009)。



Fig.3 Standard and specification for construction related to seawater desalination utilization

1.2 现状问题

完善科学的规划建设标准规范体系是非常规水资源开发利用的前提,但目前规划层面的标准规范相对较少。此外,对利用的评价指标缺乏具体规定,如再生水利用率作为重要的考核评价指标,相关规划建设标准中暂无明确的计算方式的规定;对雨水利用率或雨水替代城市公共供水的比例的计算方法缺乏明确要求。随着非常规水资源利用和海绵城市的建设推广,国家和地方层面相关规划编制与评估标准、建设设计标准有待进一步完善。

2 运行维护标准规范

2.1 标准规范概况

2.1.1 再生水

再生水利用工程建设完成后,需要系统的运行维护管理标准确保再生水高效配置。但再生水运行维护相关的标准规范较少,需要逐步完善。2021年,国家层面发布了《水回用导则 再生水厂水质管理》(GB/T 41016—2021)。住房和城乡建设部制定了《城镇污水再生利用设施运行、维护及安全技术规程》(CJJ 252—2016),交通运输部针对公路服务

区污水再生利用制定了相关处理系统操作管理规范。中国工业节能与清洁生产协会发布了《工业污水处理与回用工程运行维护管理规范》(T/CIECCPA 006—2020)。北京针对再生水利用设施的运行、安全、管理以及再生水厂评价指标体系制定了相关标准规范,如《地下再生水厂运行及安全管理规范》(DB 11/T 1818—2021)、《安全生产等级评定技术规范 第65部分:城镇污水处理厂(再生水厂)》(DB 11/T 1322.65—2019)等。天津和昆明等地也制定了对应的运营管理规范。

2.1.2 雨水

国家层面针对雨水利用和海绵城市建设中的运行、维护、管理工作的相关标准较少。住房和城乡建设部近年来颁布了《海绵城市建设评价标准》(GB/T 51345—2018)、《海绵城市建设工程竣工验收与运行维护标准(征求意见稿)》和《海绵城市建设监测标准(征求意见稿)》。暂无相关的行业标准颁布。随着海绵城市建设的推进,地方层面的运行维护标准也在陆续制定,如开封市制定了《海绵城市设施运行与维护规范》(DB 4102/T 026—2021)。

2.1.3 淡化海水

海水淡化工程的运行维护标准相对较少,国家层面颁布了《海水综合利用工程环境影响评价技术导则》(GB/T 22413—2008)和《海水淡化反渗透系统运行管理规范》(GB/T 31328—2014)等相关运行维护管理标准。山东省发布了《海水淡化生活饮用水

集中式供水单位卫生管理规范》(DB 37/T 3683—2019),其在海水淡化利用规模以及标准制定上走在前列。

2.2 现状问题

运行维护标准是持续稳定推进非常规水资源利用的基础,但目前存在以下不足:再生水利用生态风险管理标准、输配系统标准、服务与监管标准和再生水定价相关标准有待完善;除北京市颁布了包含运行、管理、安全、评价指标体系等在内的较为系统的工程标准外,其他缺水省市尚未形成完善的标准体系。雨水利用依托于海绵城市建设,地方层面海绵城市相关工程设施运行与维护规范等有待进一步完善。海水淡化浓盐水及温排水排放、能耗限值、运行维护、管理等标准规范有待进一步完善;未同步建立相应地方标准。

3 水质及检测标准规范

3.1 标准规范概况

3.1.1 再生水

为保障再生水用水安全,促进再生水行业发展,自2002年以来,我国针对城镇再生水利用陆续颁布了相关国家标准和规范,并在近年来不断扩充完善。

各行业、团体和地方也根据自身用水需求,以国家标准为基础,制定了相关标准,其对具体指标提出了更高的要求。此外,针对相关指标制定了检测标准(见图4)。

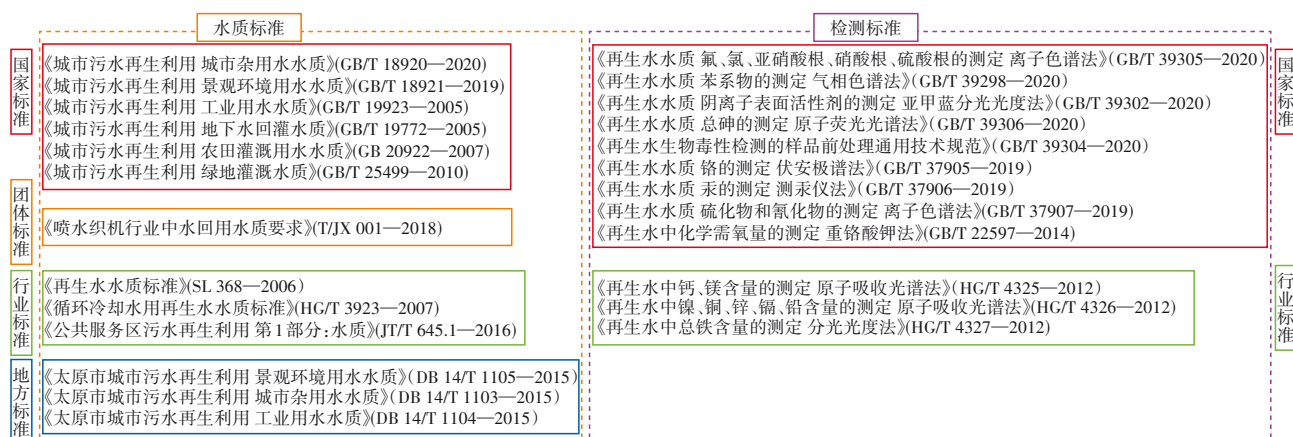


图4 部分再生水水质和检测标准规范

Fig.4 Standard and specification for water quality and detection related to reclaimed water utilization

我国针对城镇再生水的不同利用方式,制定了具体的水质标准。《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2019)在修订后对指标数量

进行了精简。同时,标准在满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准要求的基础上,对特定指标和类型用水提出更高要

求。其中具有流动性的河道景观的限值与流动性较弱的湖泊类和水景类相比适当宽松。湖泊类、水景类用水的 BOD_5 、总磷限值与《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类限值一致。

《城市污水再生利用 城市杂用水水质》在2020年修订后的标准中将城市杂用水水质整合为2类:第一类冲厕、车辆冲洗;第二类城市绿化、道路清扫、消防和建筑施工。同时,相关指标限值比2002年版中更为严格。对于第一类用途,考虑到感官接受水平,其色度的要求高于一级A标准,第二类用途的色度要求与一级A标准一致。城市杂用过程中富营养化风险较小,相关限值比景观环境用水更为宽松。《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)目前仍在修订中。现行标准中主要规定了20项指标限值,其中 BOD_5 、COD、总氮、SS等均低于城镇污水处理厂一级A标准。

《城市污水再生利用 地下水回灌水质》(GB/T 19772—2005)主要规定了地表回灌和井灌的水质指标,是再生水相关水质标准中控制项目最多的标准,包含了21项基本控制项目以及52项选择控制项目。整体上,井灌的水质标准限值比地表回灌更为严格。井灌和地表回灌的 BOD_5 分别符合地表水Ⅲ类和Ⅴ类标准,COD限值分别符合Ⅱ类和Ⅴ类标准。地下水回灌标准中的指标限值基本与一级A一致或比一级A更为严格,但由于其制定时间较早,与2017年发布的《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)中的相关要求仍有差距。

《城市污水再生利用 农田灌溉用水水质》(GB 20922—2007)目前是再生水水质标准体系中唯一一项强制性国家标准,内容涵盖再生水灌溉纤维作物、旱地作物、油料作物、水田作物和露地蔬菜等的水质指标限值,主要包括19项基本控制项目及9项选择控制项目。除常规指标外,也对微生物指标、重金属以及有机物等指标提出了相关要求。但该标准制定时间较早,内容上没有对农作物的食用方式进行区别,其与《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)存在差距,在执行过程中缺乏针对性和灵活性。《城市污水再生利用 绿地灌溉水质》(GB/T 25499—2010)标准中规定了12项基本控制项目以及22项选择控制项目。其中微生物指标除粪大肠菌群外,还控制了蛔虫卵数。针对非限制性绿地的微生物指标比限制性绿地更为严格。

3.1.2 雨水

由于雨水为天然降水,主要通过直接或修建集雨场地和微型蓄水工程进行收集、存储并加以利用,其水质较难控制,因此,国家和相关行业并未出台雨水利用直接相关的水质标准,仅在《建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范》(GB 50400—2016)中规定了回用雨水的COD和SS指标限值。目前,深圳市出台了相关水质规范,即《再生水、雨水利用水质规范》(SZJG 32—2010),针对再生水和雨水利用的相关水质指标提出了具体要求(见表1)。其中 BOD_5 指标限值略严于地表水Ⅳ类,COD与地表水Ⅳ类限值一致,氨氮指标与地表水Ⅲ类一致,总磷、总氮、色度等指标符合一级A标准。此外,该标准中要求利用水水质应确保在其环境中的暴露不得危害人体健康,因此对于微生物指标要求较为严格,要求总大肠菌群、埃希氏大肠菌群及耐热大肠菌群不得检出,细菌总数不超过100个/L。标准中明确了雨水利用的水源包括从非特殊污染地区收集并经过初期径流弃流或初期径流污染控制后的雨水,主要用途包括:城市杂用水、景观环境用水、工业用水。

表1 《再生水、雨水利用水质规范》(SZJG 32—2010)主要指标限值

Tab.1 Limits of main indicators in Specification of Water Quality for Reclaimed Water and Rainwater Utilization (SZJG 32—2010)

项 目	SZJG 32—2010限值
pH	6.5~8.5
$BOD_5/(mg \cdot L^{-1})$	5
$COD/(mg \cdot L^{-1})$	30
$SS/(mg \cdot L^{-1})$	10
总磷/($mg \cdot L^{-1}$)	0.5
总氮/($mg \cdot L^{-1}$)	15
氨氮/($mg \cdot L^{-1}$)	1
粪大肠菌群/(个 $\cdot L^{-1}$)	不得检出
总大肠菌群/(个 $\cdot L^{-1}$)	不得检出
色度/倍	30
浊度/NTU	3
余氯/($mg \cdot L^{-1}$)	$0.3 \leq \text{出厂水} \leq 5$; 管网末梢 ≥ 0.05

此外,目前暂无针对雨水水质的检测标准,一方面因为国家层面暂无雨水水质标准,地方层面的标准也较少;另一方面雨水水质的检测可利用再生水、污水或饮用水水质检测中使用的方法。

3.1.3 淡化海水

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国海洋环境保护法》，环境保护部批准实施了《海水水质标准》(GB 3097—1997)。该标准按照海域的不同使用功能和保护目标，将海水水质分为四类，并规定了使用用途，但该标准不涉及海水淡化的水源水质。

我国海水淡化利用的水质标准较少，仅针对工业利用制定了《海水淡化利用 工业用水水质》(GB/T 39481—2020)(见表2)。标准对海水淡化后作为锅炉补给水、循环冷却水补充水及工艺用水的水质进行规定，除常规指标外，还结合工业利用特点规定了TDS、总硬度、总碱度、氯化物等物质的含量。此外，针对海水淡化的相关水质标准目前也在制定过程中，未来将形成完善的海水淡化利用水质标准体系。

针对海水利用，我国也制定了一系列检测标准，有效规范了海水水质的检测过程，保障了检测

指标的质量(见图5)。辽宁省大连市进行海水淡化利用较早，颁布了相应的地方标准，即《海水中总大肠菌群和粪大肠菌群快速测定 酶底物法》(DB 21/T 2368—2014)。

表2 海水淡化利用相关水质指标限值

Tab.2 Limits of water quality indicators related to seawater desalination utilization

项 目	《海水淡化利用 工业用水水质》(GB/T 39481—2020)	
	锅炉补给水	循环冷却水补充水及工艺用水
pH	7.0~8.5	6.5~8.5
TDS/(mg·L ⁻¹)	20	500
色度/倍		15
浊度/NTU	0.1	1
余氯/(mg·L ⁻¹)	0.05	0.05
TOC/(mg·L ⁻¹)	0.5	2.5
总硬度/(mg·L ⁻¹)	1	50
总碱度/(mg·L ⁻¹)		20

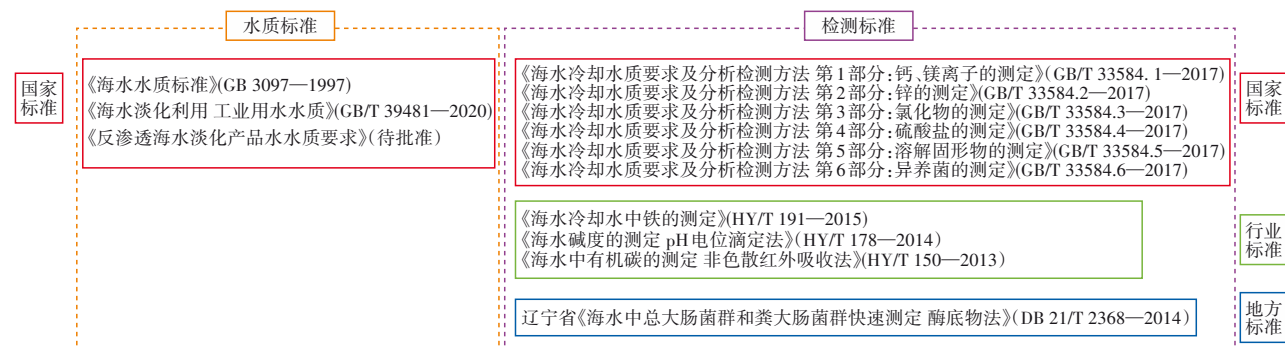


图5 部分海水淡化利用相关水质及检测标准规范

Fig.5 Standard and specification for water quality and detection related to seawater desalination utilization

3.2 现状问题

水质标准是非常规水资源利用的重要保障。再生水利用的水质标准体系相对完善，但部分再生水水质标准未完成修订，如工业利用水、地下水回灌和农田灌溉用水等相关标准中存在着部分指标过于宽松或过于严格的现象，同时大部分标准为推荐性标准，缺乏强制力；地方层面针对不同用途的再生水利用水质标准体系有待建立。雨水利用主要通过直接或修建集雨场地和微型蓄水工程进行收集、存储并加以利用，用途包括景观用水、绿化用水、循环冷却系统补水、路面和地面冲洗用水、冲厕用水等，对水质要求不高，因此制定的雨水水质标准较少。海水淡化利用由于受地理区位的限制，相

关水质标准较少，缺乏海水淡化的水源水质及不同海水用途的水质标准。

4 结论与建议

4.1 结论

完善的标准规范体系是促进多种水资源高效利用、实现非常规水资源与常规水资源有效衔接的重要保障。目前，我国已初步形成了以规划建设标准为基础、运行维护标准为拓展、水质及检测标准为保障的非常规水资源利用标准规范体系，从各个环节保障非常规水资源的多途径高效安全利用，满足了建设部门、运行管理部门、监管部门和终端用户等的共同需求，具有较强的指导意义。未来，该体系有待进一步完善。同时，在国家标准基础上，

仍需同步建立地方标准、团体标准和行业标准。

4.2 建议

① 推动非常规水资源利用规划指南编制,加强统筹协调和顶层设计。

加快制修订非常规水资源规划建设标准规范,从宏观上统筹利用的各个环节。完善再生水利用规划编制指南,尤其是缺水城市。雨水利用主要基于海绵城市建设过程进行,因此需重点补充海绵城市系统统筹及规划编制相关技术标准,综合统筹雨水、污水、再生水、城市水体等城市水系统。补充制定海水淡化利用相关规划编制指南。

此外,制定规范过程中,应明确相应评价指标的计算规则,如再生水利用率、雨水利用率等。完善针对不同目标的再生水、雨水、海水淡化利用工程应用标准规范。各地抓紧制修订《雨水集蓄利用工程规范》《海绵城市建设工程技术规程》等。

② 完善运行维护规范导则,稳步推进非常规水资源利用。

全面推进非常规水资源利用相关运行维护标准规范制定工作。针对再生水利用,制修订相关运行管理标准规范,明确污水资源化利用生态环境风险管理要求、监管标准、安全管理标准、再生水定价机制等。完善雨水集蓄利用、海绵城市建设和低影响开发措施相关的验收规范和运行与维护标准。制定海水淡化浓盐水及温排水排放、能耗限值及运行监测等规范导则。

③ 制修订水质标准,解决协调问题,提高系统性协调性。

针对再生水利用,根据分质供水原则,适时制修订污水资源化利用分级分质系列标准。加快修订《城市污水再生利用 地下水回灌水质》标准,保障指标限值与《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)的兼容性;修订《城市污水再生利用 农田灌溉水质》标准,针对农作物的使用方式区别制定指标限值,实现与《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)的有效衔接。我国再生水利用标准大部分为推荐标准,由于其利用愈来愈广泛,利用过程涉及公共健康安全和生态安全,应考虑设定为强制性标准。尤其是缺水城市以及京津冀地区应根据现行的国家标准,

因地制宜地制定各地的污染物排放标准、再生水水质标准等。

针对雨水利用,国家或地方层面可针对雨水集蓄利用补充完善相关水质标准。针对海水淡化利用,建议制修订海水淡化水源水质标准及分用途供水水质标准,明确淡化海水作为生活饮用水所需水质,保障与传统饮用水体系的兼容性。相关沿海城市应进一步完善地方海水淡化利用的水质标准。

参考文献:

- [1] 马涛,刘九夫,彭安帮,等.中国非常规水资源开发利用进展[J].水科学进展,2020,31(6):960-969.
MA Tao, LIU Jiufu, PENG Anbang, et al. Progress in development and utilization of non-conventional water resources in China [J]. Advances in Water Science, 2020, 31(6): 960-969 (in Chinese).
- [2] 水利部.中国水资源公报2020[M].北京:中国水利水电出版社,2021.
Ministry of Water Resources. 2020 China Water Resources Bulletin [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2021 (in Chinese).
- [3] 水利部.中国水资源公报2011[M].北京:中国水利水电出版社,2012.
Ministry of Water Resources. 2011 China Water Resources Bulletin [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2012 (in Chinese).
- [4] 自然资源部海洋战略规划与经济司.2019年全国海水利用报告[EB/OL]. [2022-02-20]. http://gi.mnr.gov.cn/202010/t20201015_2564968.html.
Department of Marine Strategic Planning and Economics, Ministry of Natural Resources. 2019 national seawater utilization report [EB/OL]. [2022-02-20]. http://gi.mnr.gov.cn/202010/t20201015_2564968.html (in Chinese).

作者简介:倪欣业(1994—),女,江苏南通人,博士,工程师,从事城市水系统规划及管理政策研究。

E-mail: 914871600@qq.com

收稿日期:2022-04-29

修回日期:2022-05-07

(编辑:孔红春)