

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.12.003

呼和浩特市大黑河流域区域再生水循环利用方案探讨

孟 涛, 杨仲韬, 渠元闯, 吴宝利, 耿安锋, 杨 睿
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘 要: 生态环境部提出的区域再生水循环利用体系建设方案,为解决我国北方城市水资源、水生态、水环境问题提供了方向性的指导。在该方案的基础上,针对北方重点缺水城市呼和浩特市再生水布局和河道水系进行分析,提出了大黑河流域区域再生水循环利用的系统思路和总体方案,探讨了河道生态补水及水质保持、人工湿地水质净化、湖库水量调蓄等关键技术环节,给出了再生水作为呼和浩特市农业、工业以及饮用水应急备用水源利用的发展方向,以期为北方重点缺水城市的区域再生水循环利用提供思路。

关键词: 北方城市; 再生水循环; 大黑河流域

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)12-0019-07

Study on Recycling Scheme of Regional Reclaimed Water in Dahei River Basin, Hohhot

MENG Tao, YANG Zhong-tao, QU Yuan-chuang, WU Bao-li, GENG An-feng,
YANG Rui

(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381,
China)

Abstract: The construction scheme of regional reclaimed water recycling system was proposed by the Ministry of Ecology and Environment, which provides the directional guidances for solving the problems of water resources, water ecology and water environment in northern cities of China. Based on the construction scheme, the layout of the reclaimed water and river system in a classical north water shortage city Hohhot was analyzed. The systematic idea and overall scheme of regional reclaimed water recycling in Dahei River basin was put forward. In addition, the key technical links such as river ecological water replenishment and water quality maintenance, constructed wetland water purification, lake and reservoir water regulation and storage were discussed. The development direction of reclaimed water as emergency standby water source for agriculture, industry and drinking water in Hohhot was proposed, which provides references for regional reclaimed water recycling in other water shortage cities in north China.

Key words: northern city; reclaimed water circulation; Dahei River basin

大量实践证明,污水再生利用是统筹解决水资源短缺、水环境污染和水生态损害问题的多赢途

径^[1]。2021年12月,生态环境部等四部委联合发布《区域再生水循环利用试点实施方案》,要求到2025

通信作者: 杨仲韬 E-mail: yangzhongtao15@cemi.com.cn

年在区域再生水循环利用的建设、运营、管理等方面形成一批效果好、能持续、可复制的具备全国推广价值的优秀案例。以京津冀地区、黄河流域等缺水地区为重点,在区域层面上统筹再生水生产、调配,利用各环节,推动形成污染治理、生态保护、循环利用有机结合的治理体系。在重点排污口下游、河流入湖(海)口、支流入干流处等关键节点,推广因地制宜地建设人工湿地水质净化等工程设施,使低污染水进一步净化改善后,区域统筹用于生产、生态、生活的污水资源化利用模式。

近年来,北方城市在区域再生水循环利用方面已有较多应用实例,尤其是黄河流域重点城市取得了较大发展^[2]。呼和浩特市作为黄河流域北方重点缺水城市,再生水需求量大、再生水利用具备一定基础^[3],具备统筹实施区域再生水循环利用的条件。

1 背景条件分析

1.1 城市及水资源概况

呼和浩特位于内蒙古自治区中部大青山南侧,地处环渤海经济圈、西部大开发、振兴东北老工业基地三大战略交汇处,是联接黄河经济带、亚欧大陆桥、环渤海经济区域的重要桥梁,是中国向蒙古国、俄罗斯开放的重要沿边开放中心城市。

呼和浩特市域气候属典型的温带大陆性季风气候,冬季漫长而寒冷,夏季短暂而炎热,春季干旱多风,秋季日光充足,气温日较差和年较差大。年均气温为 3~7℃,冷暖变化剧烈,年降水量为 350~500 mm。

呼和浩特市常规水资源可利用总量约 42×10⁴ m³/d,全市人均水资源量为 465 m³/a,是全国平均水平的 1/6。虽然通过实施严格的水资源管理等措施,不断加强水资源管理,节水成效显著,但受水资源时空分布不均等因素影响,呼和浩特市的城市供水矛盾仍十分突出,累积性水生态影响也在持续发酵。提高水资源的利用效率、降低经济社会发展对水资源的需求、增加水资源的可利用空间、提高水资源的承载能力、实现水资源的可持续利用,已成为呼和浩特市目前需要解决的头等大事。

1.2 再生水设施及利用现状

呼和浩特市污水处理厂现有 5 座,分别为公主府污水处理厂、章盖营污水处理厂、辛辛板污水处理厂、金桥污水处理厂、班定营污水处理厂。截至

2020 年呼和浩特市污水处理厂处理规模总计约为 52×10⁴ m³/d,实际污水处理量约为 43×10⁴ m³/d,生产再生水量约为 32×10⁴ m³/d。各污水处理厂近期(2025 年)、远期(2030 年)、远景(2035 年)的建设规模及再生水量见表 1,各污水厂的分布位置见图 1。

表 1 呼和浩特市污水处理厂规模及再生水量

Tab.1 Scale and reclaimed water volume of sewage treatment plants in Hohhot 10⁴ m³·d⁻¹

项 目	污水厂规模/再生水量		
	2025 年	2030 年	2035 年
公主府污水处理厂	5.0/3.0	5.0/3.0	5.0/3.0
章盖营污水处理厂	12.0/9.0	12.0/9.0	12.0/9.0
辛辛板污水处理厂	20.0/16.0	20.0/16.0	20.0/16.0
班定营污水处理厂	19.0/11.0	19.0/15.0	19.0/15.0
金桥污水处理厂	8.0/6.5	8.0/6.5	8.0/6.5
喇嘛营污水处理厂		5.0/3.0	15.0/12.0

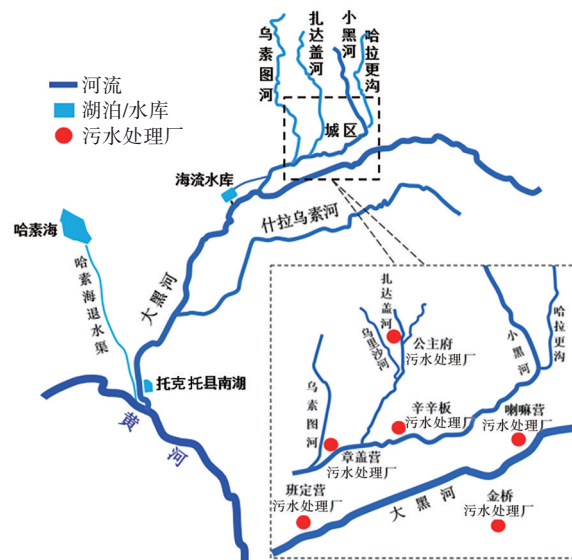


图 1 呼和浩特市污水处理厂及水系分布

Fig.1 Distribution of wastewater treatment plants and water system in Hohhot

已运营污水厂的出水水质依照呼和浩特市地标,主控指标已经优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 A 标准(见表 2),可作为城市再生水使用。

上述各污水厂中,公主府污水厂主要承担北部小区域再生水供水,章盖营污水厂主要承担西二环及周边区域再生水供水,辛辛板污水厂主要承担中部区域及东部部分区域、小黑河、大黑河再生水供水,金桥污水厂主要承担金桥经济园区再生水用水,班定营污水厂主要承担南侧部分区域再生水

供水。

表2 呼和浩特市再生水水质指标与回用水质要求比较

Tab.2 Comparison of reclaimed water quality indicators and reuse water quality requirements in Hohhot

项 目	再生水水质	城市杂用水水质		生态环境用水水质 (观赏类)
		冲厕、车辆 冲洗	城市绿化、 道路清扫、 消防、建筑 施工	
pH	6~9	6~9	6~9	6~9
色/度	≤15	≤15	≤30	≤20
浊度/NTU	≤5	≤5	≤10	≤10(5)
化学需氧量/(mg·L ⁻¹)	≤40			
生化需氧量/(mg·L ⁻¹)	≤10	≤10	≤10	≤10(6)
氨氮/(mg·L ⁻¹)	≤2(3.5)	≤5	≤8	≤5(3)
总氮/(mg·L ⁻¹)	≤10			≤15(10)
总磷(以P计)/(mg·L ⁻¹)	≤0.4			≤0.5(0.3)
溶解氧/(mg·L ⁻¹)	≥2.0	≥2.0	≥2.0	
总余氯/(mg·L ⁻¹)	≥1.0(出厂) ≥0.2(管网 末端)	≥1.0(出厂) ≥0.2(管网末 端)	≥1.0(出厂) ≥0.2(管网末 端)	
粪大肠菌群/(个·L ⁻¹)	≤1 000			≤1 000
注: 再生水水质指标中括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。生态环境用水水质中括号外数值为河道类景观环境用水水质限值,括号内数值为湖泊、水景类景观环境用水水质限值。				

截至2020年,呼和浩特市主城区范围再生水管道总长160 km,绿化取水点191处,基本实现了二环路再生水管线的连通,并同时在丰泰、金桥、金山电厂等企业建有专用管线,可使再生水广泛应用于主城区内的工业企业、市政杂用和河道景观等。其中工业用户合计用水量为3.1×10⁴ m³/d,市政杂用水量1.1×10⁴ m³/d,河道景观用水量为15.6×10⁴ m³/d,合计约19.8×10⁴ m³/d,再生水利用率约为62%。

1.3 河道水系现状

呼和浩特市主城区内的河流主要有大黑河、小黑河、哈拉更沟、扎达盖河、乌素图河等(见图1)。其中哈拉更沟、扎达盖河、乌素图河等6条河流

域面积为1 061.52 km²,占市区总集水面积的99%,均先汇入小黑河再汇入大黑河,最终于托克托县汇入黄河。黄河是呼和浩特市唯一的过境河流,径流量占呼和浩特市径流总量的90%以上,是城市的主要水源。目前,呼和浩特市境内主要河流(除黄河外)非汛期来水主要为污水厂的再生水。

1.4 现状问题分析

“十三五”期间,呼和浩特市下大力气实施水污染防治三年攻坚计划,施行污水厂扩建提标,完善雨污水管网,推进大黑河流域治理,其工作已初见成效^[4]。但从城市整体来看,还存在以下问题:

① 水资源方面。由于呼和浩特市水资源匮乏,黄河是其主要水源,城市用水高峰存在工农业与生活用水的矛盾,也存在黄河水突发性污染事件的可能,城市的供水安全可靠性较低。

② 水生态方面。由于呼和浩特市城区河道属于北方季节性河流,非汛期几乎没有天然径流,河道内平时的径流主要来自城区污水处理厂排入河道的尾水、补入河道的再生水及沿程旗县排入河道的其他水体。

③ 水环境方面。乌素图河、大黑河等主要河道的水功能区考核目标为地表水Ⅳ类,小黑河下游为地表水Ⅴ类。目前,大黑河及其支流存在部分时段水质不达标、部分区域生态环境差等情况^[5-6]。

④ 再生水利用方面。再生水利用主要集中在电厂补水、河道补水和城市杂用水方面,工业和农业利用通道尚未完全打通。

呼和浩特的蒙古语意为青色之城,过去水草丰美、生态和谐,而现在水却成为限制城市发展的因素。因此,需要通过统筹区域再生水,实现再生水在水质、水量两方面的功能,改善水环境、优化水生态、补充水资源,使城市再现“水清岸绿、鱼翔浅底”、绿水绕青城的美景。

2 总体思路及规划布局

2.1 总体思路

大黑河流域区域再生水循环利用的总体思路为抓住水量(收集-分配-调蓄-再分配)和水质(净化-保持-人工+生态提升)两条主线:污水经收集进入污水厂处理达到再生水标准后,首先通过已有管网满足市区电厂用水及市政杂用水,其余大部分再生水排入河道作为生态补水,经河道水系传输、人

工湿地净化、湖库调蓄及净化后,主控指标达到地表水Ⅳ类标准,再经管渠分配,输送至用户作为农业、工业使用,同时湖库调蓄水也可以作为城市应急备用水源。上述总体思路对大黑河流域生态、生产、生活水资源需求进行统筹考虑,在水量梯次利用过程中,通过人工+生态的措施使水质得以梯级净化并保持,提高了北方缺水城市的再生水可利用能力和实际利用率,实现解决水资源短缺、水环境污染和水生态损害问题的多赢目标。

再生水循环利用中各个环节的水质净化(或保持)和水量调配是关键要素,需给予重点考虑。再生水循环利用总体思路见图2。

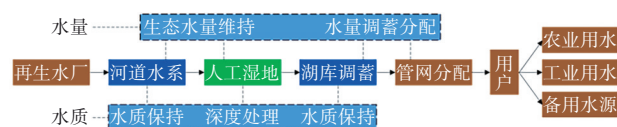


图2 再生水循环利用总体思路

Fig.2 General idea of reclaimed water recycling

2.2 规划布局

在流域控源截污和生态补水等水环境治理措施基础上,结合大黑河流域自然条件,沿程合理布局河道水质净化措施及三处人工湿地,实现水体的梯级净化。同时对现有湖库进行扩建或生态化治理,对湿地处理后的水进行调蓄,再分别供给土左旗金山开发区和托清工业园区作为农业或工业用水。三处人工湿地分别为:乌素图河口人工湿地、海流水库人工湿地、大黑河故道区域人工湿地。总体布局见图3,总体流程见图4。

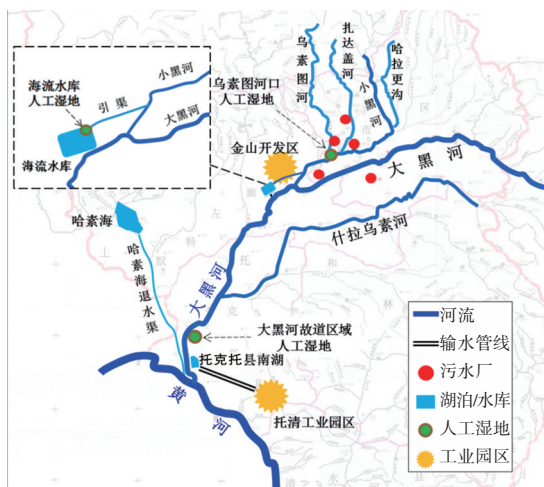


图3 大黑河流域再生水循环利用总体布局

Fig.3 General layout of reclaimed water recycling in Dahei River basin

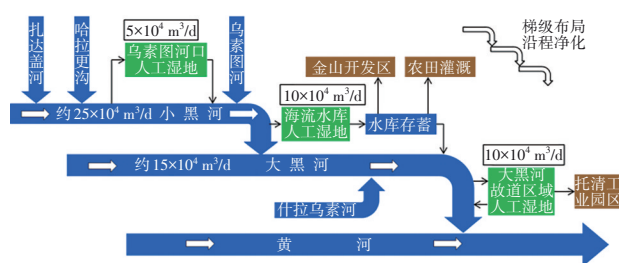


图4 大黑河流域再生水循环利用总体流程

Fig.4 Overall process of reclaimed water recycling in Dahei River basin

3 输配调蓄及水质净化措施

3.1 河道天然输配及湖库生态调蓄

污水经污水厂收集、处理达到再生水标准后,首先通过已有管网满足市区电厂补水及市政杂用水需求,然后再排入河道作为生态补水,经河道水系传输、湖库调蓄后,再经管渠分配,输送至用户作为农业、工业使用,同时调蓄湖库也可以作为城市应急备用水源。

3.1.1 湖库生态调蓄

目前,大黑河流域的海流水库及托克托县南湖两处区域基础条件较好,可利用其对河道传输的再生水进行生态调蓄,上述两处湖库具体情况如下:

① 海流水库

海流水库属于小(I)型平原水库,蓄水面积约4.5 km²,水库平均水深1.39 m,设计总库容为733×10⁴ m³,现状兴利库容约为610.8×10⁴ m³,死库容为73.2×10⁴ m³,设计灌溉面积2 787×10⁴ m²(4.18万亩),保证灌溉面积为2 000×10⁴ m²(3万亩)。在满足现有防洪库容的前提下,水库计划扩容至1 000×10⁴ m³,可用于工业、农业调蓄利用,建成实施后供水量可达到10×10⁴ m³/d。

② 托克托县南湖

南湖水塘位于呼和浩特市托克托县境内,距大黑河故道人工湿地约10 km,距离托清工业园区约25 km,湖区东西窄,南北长,现有水面1 km²,水深1~2 m,湖中丛生芦苇面积约15×10⁴ m²。现有可调蓄容积约为(100~150)×10⁴ m³,计划扩容至400×10⁴ m³,可全部用于工业调蓄利用,建成实施后供水量可达到10×10⁴ m³/d。

3.1.2 河道天然输配

河道生态补水(或称河道景观用水)既是再生水回用的一种方式,也是污水厂处理达标排放的出

路。呼和浩特市城区 6 条主要河道(大黑河、小黑河、东河、扎达盖河、乌里沙河、乌素图河)的总长度近 100 km,规划用于生态补水的总量为 13.00×

10⁴ m³/d,通过辛辛板、章盖营、公主府、金桥 4 座污水厂的再生水进行补充。各条河道的规划水面面积、再生水需水量及水量分配方案见表 3。

表 3 呼和浩特市城区河道水面面积、需水量及补水分配方案

Tab.3 Water surface area, water demand and replenishment water distribution scheme of urban rivers in Hohhot

项目	景观水面面积/ 10 ⁴ m ²	再生水需水量/ (10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	占比/%	补水分配方案
大黑河	315	3.00	23	辛辛板污水处理厂 1.5×10 ⁴ m ³ /d,金桥污水处理厂 1.5×10 ⁴ m ³ /d
小黑河	294	3.00	23	辛辛板污水处理厂 3.00×10 ⁴ m ³ /d
东河	150	2.00	15	辛辛板污水处理厂 2.00×10 ⁴ m ³ /d
扎达盖河	85	1.50	12	公主府污水处理厂 1.50×10 ⁴ m ³ /d
乌里沙河	40	0.50	4	公主府污水处理厂 0.50×10 ⁴ m ³ /d
乌素图河	245	3.00	23	章盖营污水处理厂 3.00×10 ⁴ m ³ /d

3.2 水质净化措施

3.2.1 河道水质保持

① 城区段河道水质保持

呼和浩特城区段河道已基本经过防洪治理及堤防整修,并采取了控源截污措施,除初期雨水径流污染外基本防止了外源污染的输入。该地区河道由于天然径流较少,除汛期外均靠再生水补充。为营造一定的水景效果,在河道若干区段修筑了拦水坝进行蓄水,河底采取了防渗措施,致使这些区段河道的水力停留时间较长且与地下水的交换能力减弱,在夏秋季光照充足时易发生富营养化等现象,从而导致水质变差,故应采取一定的措施以保障水质。

本次方案在确保防洪安全的前提下重点实施河道生态治理。首先是打破现有的“水满景美”的常规思维,将水生态修复与水景观提升相结合,以满足城市功能与人民亲水需求,打造人水和谐的滨水空间。实施中以河道形态恢复和生态环境营造为主,在土地利用条件许可的前提下,保护与修复河槽的蜿蜒性,采取河滨缓冲带建设、仿自然河道生境等举措,维持和恢复河漫滩宽度和植被空间,在水中布置生态浮床、栽种水生植物,丰富河滨带和河滩湿地水生植物群落,提高生物多样性。减小现有蓄水区的蓄水深度,加快水体循环,同时利用河道自然高差,设置多级跌水,增强自然复氧,提高水中溶解氧浓度,维持河道水体水质不劣于补水水质。

水质保持工程措施示意图 5。

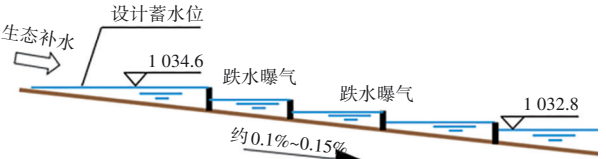


图 5 水质保持工程措施示意

Fig.5 Schematic diagram of engineering measures for water quality maintenance

② 郊野段河道水质保持

郊野段河道上布置的挡水建筑物较少,水动力较好,但受限于地理区位,在截污控源等方面采取的整治力度不如前述城区段河道,且存在农田面源污染随雨水冲刷进入河道的现象,因此在加强截污控源力度的基础上,可采取建设生态截流沟的措施,削减河道沿线农田面源污染,以防水质变差。

3.2.2 人工湿地水质净化

在区域水循环利用中,人工湿地承担着重要的角色,即对河道传输的再生水进一步处理,使其水质进一步提升以满足农业、工业及城市备用水源的使用标准。同时,通过人工湿地水质净化可以削减呼和浩特市经由大黑河进入黄河的污染物总量,对保护黄河水环境安全具有重要意义。

人工湿地宜选在重点排污口下游、河流入湖(海)口、支流入干流处等关键节点处,经踏勘、调研,目前大黑河流域建设人工湿地可实施条件较好的位置有 3 处,分别为乌素图河入小黑河口、海流水库及大黑河故道区域。

① 处理规模

根据大黑河及其支流远期规划生态补水量,以

水质净化目标为导向,根据梯级布局、沿程净化的总体思路,并结合各建设区的可用地范围,综合确定各湿地的处理规模,如表4所示。

表4 人工湿地处理规模及占地面积

Tab.4 Treatment scale and area of constructed wetland

项 目	处理规模/($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	占地面积/ 10^4 m^2
乌素图河口人工湿地	5	41.3
海流水库人工湿地	10	112.5
大黑河故道区域人工湿地	10	52.3

② 设计水质

湿地进水主要为排入大黑河及其支流的再生水,该再生水水质已达到前述的一级A标准。由于河道受外水输入、降雨冲刷等因素影响,根据现场调研情况、生态补水水质,并考虑远期截污控源措施及水质变化趋势,结合出水水质要求,综合确定工程进水按照《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准考虑。

大黑河入黄断面的水质考核标准为地表水V类,远期目标为地表水IV类。人工湿地水质净化的主要目的是削减小黑河来水中的主要污染物,进而改善大黑河流域水质。综合上述因素确定本工程湿地的出水水质执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的IV类标准(总氮除外)。

③ 处理工艺

人工湿地拟采用的处理工艺主要为:将河道(大黑河或其支流)来水首先引入生态滞留塘进行沉淀及预处理,再引入潜流湿地和表流湿地进行深度处理,湿地出水部分进入蓄水区存蓄以供周边农业灌溉或工业用水,剩余水体就近排入河道。工艺流程见图6。

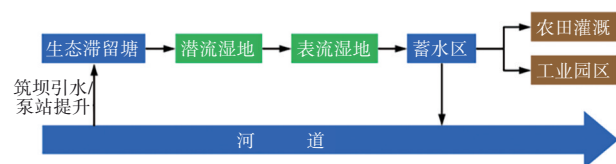


图6 人工湿地工艺流程

Fig.6 Process flow chart of wastewater treatment for constructed wetland

考虑到河道来水中悬浮物含量较高、来水量不稳定等问题,为增强人工湿地处理效果并减小潜流湿地堵塞风险,在最前端设置以沉淀功能为主的预

处理构筑物,以降低进水的SS浓度。

潜流湿地是人工湿地的核心处理区,承担了绝大部分的污染物处理负荷。在潜流湿地选型上,应着重考虑呼和浩特市冬季气温较低等因素,优先采用水平推流湿地或复合垂直流湿地等处理工艺,将配水、集水管路布置在填料层内部,避免其暴露在空气中,防止冬季低温时被冻裂。

表流湿地内的水体以地表流动为主,自由水面暴露于大气,故其在冬季容易结冰,在设计时应考虑冬季不利条件下的处理效果,并预留一定的冰盖层深度以保证湿地的水力停留时间。

3.2.3 湖库水质保持

进入湖库的再生水在一定条件下易发生富营养化等水质问题,从而导致藻类污染,进而造成水厂生产成本增加甚至威胁供水安全和人民群众身体健康,故需对其采取一定的工程措施以保证湖库的水质。建设库区生态缓冲带、恢复水生植被、设置人工植物浮岛、采用生物操纵等技术是维持湖库水质的有效措施,必要时也可采取扬水曝气技术、太阳能水生态修复技术等加强手段。

4 再生水回用方向

再生水利用的方向包括市政杂用、工业利用、生态环境、农业灌溉及生活用水等方面,主要用途需结合再生水的水量、水质和地区水资源特征、经济社会文化状况综合考虑。本方案中的再生水通过沿程梯级净化,水质基本满足大部分用户用水要求,并且通过海流水库和南湖进行水量集中调蓄,能够更好地进行综合利用。

4.1 工业利用

根据上述规划布局,在海流水库和托克托县南湖内存蓄的再生水可分别就近供给金山工业园区和托清工业园区使用。

① 金山工业园区

该园区位于土默特左旗台阁牧镇,距海流水库约20 km,主导产业为高新技术制造、新一代信息技术和石油化工等。至2035年,该园区再生水总需水量将达到 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

② 托清工业园区

该园区位于托克托县,距南湖约24 km,包含托克托工业园区和清水河园区,主导产业为现代化工产业、生物医药产业和非金属材料产业。至2035

年,该园区再生水总需水量将达到 $13.80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

4.2 农业灌溉利用

海流水库和南湖存储再生水的主控水质指标达到了《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)。将再生水用于农业灌溉,将从根本上缓解工业和生活用水紧缺状况,并同时改善水环境。

4.3 城市应急备用水源利用

目前,公众在心理上较难接受再生水直接补给城市水源,而更容易接受再生水间接补给方式,即再生水在河道、水库或地下蓄水层的贮存过程中得到天然净化后再补给城市水源^[1]。本方案的再生水经人工湿地净化后进入海流水库或托克托县南湖进行贮存,经天然净化后再补给城市水源可极大地提高公众在心理上的接受程度。

5 结论

城市再生水作为生态补水排入河道后,经过河道自净及人工湿地水质净化,水质进一步提高,通过湖库水量调蓄后可用作北方重点缺水城市如呼和浩特市农业灌溉用水、工业用水以及饮用水应急备用水源。实施区域再生水循环利用也有利于营造良好的河道及湿地生态系统,保护生物多样性,削减呼和浩特市经由大黑河进入黄河的污染物总量,对保护黄河水环境安全具有重要意义。

参考文献:

- [1] 胡洪营. 中国城镇污水处理与再生利用发展报告(1978—2020)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2021.
- HU Hongying. Development Report on Municipal Wastewater Treatment and Reuse in China(1978—2020)[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2021(in Chinese).
- [2] 颜秉斐, 夏瑞, 魏东洋, 等. 黄河流域区域再生水循环利用对策建议[J]. 环境保护, 2021, 49(13): 15—16.
- YAN Bingfei, XIA Rui, WEI Dongyang, et al.

Countermeasures of the recycle of regional reclaimed water in the Yellow River basin [J]. Environmental Protection, 2021, 49(13):15—16(in Chinese).

- [3] 李河. 呼和浩特市再生水综合利用模式及风险评估研究[D]. 内蒙古:内蒙古农业大学, 2017.
- LI He. Study on Comprehensive Utilization Model and Risk Assessment of Reclaimed Water in Hohhot [D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia Agricultural University, 2017(in Chinese).
- [4] 黄悦, 孙增峰, 牛建森, 等. 北方缺水型城市黑臭水体治理的实践与探索——以呼和浩特市为例[J]. 建设科技, 2020(9): 82—85.
- HUANG Yue, SUN Zengfeng, NIU Jiansen, et al. Practice and exploration of black-malodorous water treatment in water deficient cities in north China—a case study of Hohhot [J]. Construction Science and Technology, 2020(9):82—85(in Chinese).
- [5] 李英. 呼和浩特市水环境现状及未来展望[J]. 环境与发展, 2020, 32(11):236—237.
- LI Ying. Present situation and future prospect of Hohhot water environment [J]. Environment and Development, 2020, 32(11):236—237(in Chinese).
- [6] 张慧, 杨力鹏, 张颖, 等. 呼和浩特市大黑河水污染现状分析及治理对策研究[J]. 环境科学与管理, 2020, 45(8):5—8.
- ZHANG Hui, YANG Lipeng, ZHANG Ying, et al. Study on water pollution situation and governance countermeasures of Dahei River in Hohhot [J]. Environmental Science and Management, 2020, 45(8): 5—8(in Chinese).

作者简介:孟涛(1981—),男,陕西商洛人,本科,高级工程师,注册公用设备工程师,注册环保工程师,主要从事水环境综合治理、市政给排水设计工作。

E-mail:927001238@qq.com

收稿日期:2022-07-13

修回日期:2022-07-22

(编辑:丁彩娟)