

基于水能利用的常州再生水综合利用策略研究

王柯阳¹, 李正兆², 董明京²

(1. 华中科技大学 环境科学与工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 常州市规划设计院, 江苏 常州 213002)

摘要: 再生水的水资源和水能源价值是实现城市清洁能源高效利用和可持续发展的可行途径之一。以常州市新龙国际商务区为研究区域,分析其邻近污水厂的再生水可利用量,2020年达 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 2025年达 $22.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 基本满足再生水能源站的需求量要求。对再生水回用于城市杂用、工业用水等途径的水质标准对比分析结果表明,除城市杂用与景观环境用水的粪大肠菌群数超标外,其余基本控制项满足要求。从水能利用可行性分析,再生水能源站的冷热负荷,2020年达 26 MW/14 MW, 2025年达 93 MW/50 MW, 基本可实现 $210 \times 10^4 \text{ m}^2$ 建筑面积的供冷供热需求。水能、水质、水量三方面的综合评价,一水多用、水能一体的综合利用策略,可以实现再生水的热能利用和资源化利用的双重目的。

关键词: 再生水; 水能利用; 综合利用策略

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)06-0028-05

Study on Comprehensive Utilization Strategy of Reclaimed Water Based on Water Energy Utilization in Changzhou

WANG Ke-yang¹, LI Zheng-zhao², DONG Ming-jing²

(1. School of Environmental Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Changzhou City Planning and Design Institute, Changzhou 213002, China)

Abstract: The value of water resources and water energy in reclaimed water is one of the feasible ways to realize the efficient utilization of clean energy and sustainable development in cities. Taking Xinlong International Business District of Changzhou as the research area, the reclaimed water availability of wastewater treatment plant which was adjacent to the research area was analyzed. It will reach 75 000 m^3/d in 2020 and 225 000 m^3/d in 2025, the availability of reclaimed water basically meets the needs of the reclaimed water energy station. According to contrast analysis of wastewater reclamation and reuse standard with quality of effluent of WWTP, the results showed that the basic control items could meet demand, except for the number of fecal coliform bacteria in urban miscellaneous water and landscape water. According to the feasibility analysis of water energy utilization, the cooling and heat load of reclaimed water energy station can reach 26 MW/14 MW in 2020 and 93 MW/50 MW in 2025, which can basically meet the heating and cooling demand of 2.1 million square meters. The results of comprehensive evaluation and analysis of water energy, water quality and water quantity showed that the strategy of comprehensive utilization of multiple use of water and integration of water resources and water

energy can realize the dual purpose of heat energy utilization and resource utilization of reclaimed water.

Key words: reclaimed water; water energy utilization; comprehensive utilization strategy

当前,城市地表水的大面积污染问题依然严峻,导致城市可利用水资源不断减少,城市水资源的供需平衡受到极大影响,城市再生水的开发利用由此受到了更为广泛的关注和重视^[1]。与此同时,城市化对能源的极大需求,加剧了非清洁能源的大量消耗,城市大气环境污染日趋严重,而城市污水中赋存的大量热能作为一种可利用潜力较大的清洁能源和可再生能源得到了更多的开发和利用^[2]。水源热泵技术的日趋成熟和发展,为实际工程中推广和应用城市再生水热能回收利用系统提供了可靠的技术保障^[3-4]。因此,如何充分挖掘再生水的水资源和能源价值,并在城市规划层面统筹考虑再生水的水资源利用和热能利用,需要在以水资源回收为主的传统再生水综合利用策略上有所突破和改进。

1 研究区域概况

新龙国际商务区位于常州市新北区(见图1),总面积约26 km²。其北部为新龙生态林,占地约5.4 km²,是江边污水厂尾水的重要消纳场地,设计消纳污水厂尾水规模为 8×10^4 m³/d。南部核心区为江苏省绿色建筑示范区,面积约6.0 km²,可再生能源利用和非常规水资源利用是绿色建筑的重要评价指标。研究区域内现状河道整体水质较差,部分河道为劣V类水,时有黑臭发生,使得再生水用于河道生态补水成为改善黑臭河道水质的现实需要。

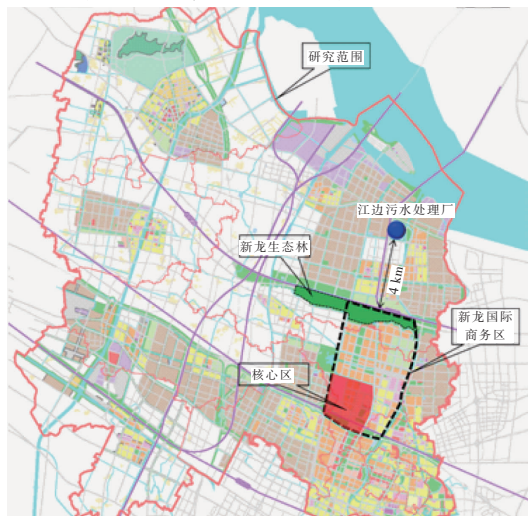


图1 研究区域概况

Fig.1 Schematic map of research area

2 再生水综合利用途径分析

2.1 污水热能利用

根据调研结果,污水处理厂原生污水温度冬季一般为15℃,夏季一般为23~25℃,与环境温度相比,具有明显的冬暖夏凉的特点,满足水源热泵的制热工况要求,是良好的冷热源。城市污水热能利用可以减少煤炭、石油等不清洁能源的使用,降低污染物排放,具有明显的生态效益,符合绿色建筑的发展要求。

与以城市污水厂出水的再生水为热源的技术相比,以未经处理的城市污水为热源的污水热能回收利用技术最大劣势在于对污水厂的稳定运行易造成较大影响,不利于污水厂尾水的达标排放,同时对热能提取设备的防腐蚀和堵塞有更高的要求。常州新龙国际商务区作为江苏省绿色建筑示范区,其区域内商务办公楼、公共建筑等应优先考虑使用可再生能源,为污水热能的利用奠定了现实基础。

2.2 污水资源化利用

按照“优质水优用、低质水低用”的原则,用水量大、水质要求相对较低的用户应尽可能采用再生水。常州市污水资源化利用的途径主要包括以下几个方面:

① 工业用水

再生水回用于工业主要以用水量较大的工业循环冷却水为主。新龙国际商务区周边具有良好的工业用水基础,现有滨江工业园、环保产业园等工业集中区,工业循环冷却水用量潜力较大,可作为优先拓展再生水利用的对象。

② 景观环境用水

常州现状水资源总量充沛,但水流滞缓、水环境容量较低,整体水环境质量较差。因此,将再生水回用作城市河湖的生态补水,有利于提高河道水动力,改善河湖水环境质量,是城市黑臭水体整治的有效措施之一^[5]。

③ 城市杂用水

再生水可广泛用于城市的市政绿化浇灌、道路冲洗、冲厕用水等方面。目前常州城市杂用水仍以优质的城市自来水为主,即使在再生水管道沿线地区的绿化浇灌、道路冲洗等用水,仍未采用再生水,

因此亟需加强再生水在城市杂用方面的使用,提高污水资源化利用水平。

④ 农业灌溉

再生水回用于农业灌溉在国外已有许多成功的应用案例。考虑国内城市污水中往往含有一定比例的工业废水,其水质、水量具有较大的不确定性,《城市污水再生利用 农田灌溉用水水质》(GB 20922—2007)明确要求城市污水再生利用灌溉农田前,应根据当地气候条件、作物种植类型及土壤类别进行灌溉试验,确定适合当地的灌溉制度。因此,不建议再生水直接用于农田灌溉,可用作苗圃、花卉等观赏性植物用水。

综上所述,常州污水资源化利用应以工业、景观环境、城市杂用为主。

2.3 再生水综合利用

① 重视对再生水的热能利用,挖掘再生水的能源价值。

当前城市再生水的利用,仍以水资源回用为主,忽视了对再生水热能的回收利用,导致水能源的大量流失。为了改变当前的再生水回用方式,应提高对水能源价值的认识,使再生水能源作为城市清洁能源得到更广泛的开发利用。

② 统筹布局,实现水资源效益和能源效益的双重提升。

鉴于再生水的热能利用,仅提取水中热能,并不消耗水量、改变水质,需要解决再生水的消纳场地空间。通过统筹布局,做好再生水的热能提取所需水量和区域可消纳水量之间的平衡,避免出现再生水综合利用的水量失衡,造成资源浪费。

③ 依托再生水综合利用规划,推动工程项目有序实施。

为了合理开发再生水的水资源和能源价值,对有条件的区域先行试点编制基于水能利用的再生水综合利用规划,在规划层面对再生水调配、水量平衡和工程建设做好统筹布局,由点到面逐步拓展,综合考虑提取热能后的再生水回用于工业用水、城市杂用、景观环境用水等,充分发挥再生水利用的社会、经济、环境效益。

3 新龙国际商务区再生水综合利用策略

3.1 再生水热能利用分析

根据新龙国际商务区绿色建筑示范区要求,从能源节约、高效利用的角度,通过规划建设再生水能

源站,集中解决示范区建筑的空调冷热水问题。

新龙国际商务区可采用常规供能和水源热泵两种供能模式(见图2、3),常规供能系统,冬季采用燃气锅炉供暖,夏季采用常规的电制冷机组制冷;水源热泵系统,采用再生水水源作为冷热源。

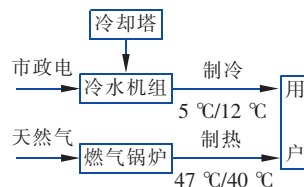


图2 常规供能系统供冷供热流程

Fig. 2 Flow chart of cooling and heating in conventional energy supply system

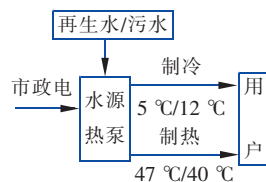


图3 水源热泵系统供冷供热流程

Fig. 3 Flow chart of cooling and heating in water source heat pump system

对上述两种供能方案从投资、运行、能耗等方面进行综合比较(见表1),水源热泵系统方案相对于常规供能系统,在投资、运行费用、能源消耗和CO₂减排等方面都具有一定的优势,且系统能源组合形式多样,运行安全稳定可靠。推荐采用水源热泵系统方案,以再生水作为热泵机组的冷热源。据测算,再生水能源站可为核心区内210×10⁴ m²的建筑面积提供冷热源,其冷热负荷2020年达26 MW/14 MW,2025年达93 MW/50 MW。

表1 供能方案对比

Tab. 1 Contrast of energy supply scheme

项目	能源站内设备投资/万元	运行费用/(万元·a ⁻¹)	能源消耗(标煤)/(t·a ⁻¹)	CO ₂ 排放量/(t·a ⁻¹)
常规供能系统	3 713.10	2 073.97	7 038.53	17 239.59
水源热泵系统	3 471.00	1 670.71	5 837.74	16 171.41

3.2 水量平衡分析

根据新龙国际商务区用地类型、面积,以及相关标准规范用水量指标,对再生水需水量进行测算(见表2)。依据水利部门的统计数据,新北区2016

年工业自备水量约 $8.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,工业再生水需水量近、远期分别按 30% 和 75% 再生水替代率进行测算。

根据能源站提供的 2018 年—2025 年最高日需水量数据,与江边污水处理厂可供水量、新龙国际商务区再生水用量进行对比分析,结果见表 3。从水量平衡结果来看,2020 年污水处理厂再生水供应量满足能源站夏季和冬季的热能利用需求,但不满足回用对象的需水量,应优先保证工业用水和城市杂用。2025 年污水处理厂再生水供应量能满足回用对象的需水量和能源站冬季的热能利用需求,但不能满足夏季部分高峰用热需求,不足部分可采用其

他能源补充。

表 2 新龙国际商务区及周边再生水需水量预测

Tab. 2 Prediction of demand of reclaimed water in Xinlong International Business District and its surrounding area

$10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$

项目		需水量预测	
		2020 年	2025 年
工业用水		2.60	6.40
城市杂用	地块内绿化浇灌用水	0.03	0.27
	公共绿地与城市道路	0.07	0.15
环境景观用水	景观水体	4.28	6.82
总需水量		6.98	13.64
注: 景观用水不含新龙生态林。			

表 3 新龙国际商务区及周边水量平衡

Tab. 3 Water balance of Xinlong International Business District and its surrounding area

$10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$

项 目		2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	2024 年	2025 年
总需水量				6.98					13.64
新龙生态林需水量				8.00					8.00
合计				14.98					21.64
能源站需水量	夏季		0.68	5.37	8.73	13.89	18.85	23.42	34.79
	冬季		0.29	2.16	3.48	5.51	7.13	8.82	13.17
江边污水厂	设计规模	10	10	10	30	30	30	30	30
	按运行负荷率 75% 计	7.5	7.5	7.5	17.5	19.5	22.5	22.5	22.5

3.3 水质对比分析

① 再生水水源

再生水水源采用常州江边污水处理厂现状三期 ($10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) 和在建四期 ($20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) 尾水。根据环评报告,现状三期和在建四期均以生活污水为主,执行一级 A 排放标准,是优质的再生水水源,其出水水质基本满足再生水回用相关标准要求。

② 水质标准对比

按照《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB

18918—2002) 中 12 项基本控制项目,将江边污水处理厂实际出厂水质与一级 A 排放标准进行对比分析(见表 4)。

同时参考《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)、《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2002)、《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)、《城市污水再生利用 农田灌溉用水水质》(GB 20922—2007)。

表 4 江边污水厂出水水质与一级 A 排放标准

Tab. 4 Effluent quality of Jianbian WWTP and the first class A standard of GB 18918—2002

项目	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	动植物油/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	石油类/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	LAS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NH ₃ -N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	色度/ 倍	pH 值	粪大肠 菌群数/ ($\text{个} \cdot \text{L}^{-1}$)
一级 A 标准	50	10	10	1	1	0.5	15	5(8)	0.5	30	6~9	1 000
江边厂出水水质	30	2	10	1	1	0.2	10	0.5	0.2	2	7~8	一般<200

水质对比结果表明,除粪大肠菌群数指标,江边污水厂出水水质基本满足工业循环冷却水、城市杂用和城市景观环境用水的水质要求。鉴于各类用水对象水质指标的差异,还应根据不同用水对象对水质的实际需求,增加相应的检测项及必要的深度处

理设施,以保障再生水用户的水质安全。

3.4 综合利用策略

江边污水厂的再生水经能源站提取热能后,就近回用于新龙国际商务区及周边的工业、城市杂用和景观环境等。其综合利用实施路径如图 4 所示。

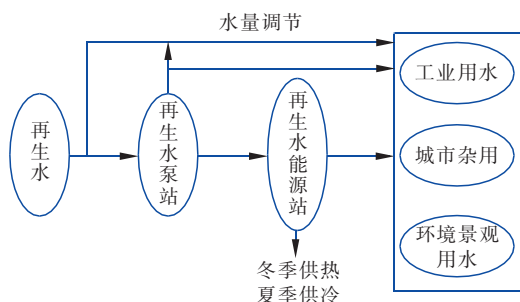


图4 再生水综合利用实施路径

Fig.4 Schematic diagram of implementation path for comprehensive utilization of reclaimed water

由于再生水能源站的需水量受季节、水温、用户用热需求等条件的影响较大,存在一定的不稳定性,需要根据用水对象分布及其水量需求,进行必要的水量调节,以实现整个系统的稳定运行。

新龙国际商务区基于水资源价值和能源价值双重效益提升的再生水综合利用策略,可以归纳为一水多用、水能一体,其核心在于将水资源回用与热能利用统筹起来考虑。从可实施性分析来看,再生水中所含热能可以解决核心区建筑供能需求,且存在可以就近消纳再生水的空间条件,水质指标基本满足相关污水再生回用的标准要求,具备再生水资源化利用和能源回收利用的现实条件。

4 结论

再生水综合利用不能局限于其水质、水量方面的评价,应统筹水质、水量、水能的综合评估,极大拓展再生水的利用领域,为城市的资源、能源的可持续发展奠定坚实的基础。本案例再生水的冷热负荷2025年达93 MW/50 MW,在保证核心区建筑供能需求的同时,实现了经热能提取后的再生水的就地消纳,总用水量达 $21.64 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。一水多用、水能一体的综合利用策略应根据不同城市的实际情况,在水量平衡上做好评估,进而确定污水热能利用的需水总量。基于水能利用的策略,已编制完成《常州市新龙国际商务区再生水利用规划》,再生水能源站、加压泵房、再生水管道等相关工程已进入实施阶段,实现了从理论策略到实践的探索,具有一定的推广意义和借鉴价值。

参考文献:

[1] 尹军,韦新东. 我国主要城市污水中可利用热能状况

初探[J]. 中国给水排水,2001,17(4):27-30.

Yin Jun, Wei Xindong. Conditions of heat energy available in municipal wastewater in major Chinese cities [J]. China Water & Wastewater, 2001, 17(4): 27-30 (in Chinese).

[2] 尹军,韦新东. 城市污水热能利用系统对减轻大气污染的作用[J]. 中国给水排水,2002,18(10):36-38.

Yin Jun, Wei Xindong. Utilization of heat energy from urban wastewater for alleviation of air pollution [J]. China Water & Wastewater, 2002, 18(10): 36-38 (in Chinese).

[3] 贾玉鹤,李晶,刘洪波,等. 污水源热泵系统在沈阳地区的应用前景分析[J]. 中国给水排水,2007,23(16):1-3.

Jia Yuhe, Li Jing, Liu Hongbo, et al. Application analysis of sewage-source heat pump system in Shenyang region [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(16): 1-3 (in Chinese).

[4] 马最良,姚杨,赵丽莹. 污水源热泵系统的应用前景[J]. 中国给水排水,2003,19(7):41-43.

Ma Zuiliang, Yao Yang, Zhao Liying. Prospect of the application of sewage heat pump system [J]. China Water & Wastewater, 2003, 19(7): 41-43 (in Chinese).

[5] 张列宇,王浩,李国文,等. 城市黑臭水体治理技术及其发展趋势[J]. 环境保护,2017,45(5):62-65.

Zhang Lieyu, Wang Hao, Li Guowen, et al. Management technology and development trend for urban black and odorous water body [J]. Environmental Protection, 2017, 45(5): 62-65 (in Chinese).



作者简介:王柯阳(1997-),男,江苏常州人,本科在读,主要研究方向为市政规划、设计。

E-mail: 840875035@qq.com

收稿日期:2018-12-20