

杭州城市污水处理厂尾水再生利用的探讨

何 凡

(浙江城建设计研究院有限公司,杭州 310005)

摘要: 在阐述目前城市污水厂尾水再生利用现状的基础上,以杭州市七格污水处理厂为例,分析了城市污水处理厂尾水水质情况和尾水作为再生水利用的可能性。同时,结合杭州市经济技术开发区用水情况,以及开发区愿意使用再生水企业的调查情况,对尾水再生利用的必要性、利用应用对象、需水量预测、处理工艺选取、管网配套工程措施和再生水效益等关键问题进行了探讨。

关键词: 污水处理厂尾水;再生水;再生利用;应用对象;需水量预测;再生水效益

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2012)04-0316-07

About recycling for tail water of sewage treatment plant in Hangzhou

HE Fan

(Zhejiang Urban Construction Design and Research Institute Co., Ltd, Hangzhou 310005, China)

Abstract: After elaborating the status quo about recycling for tail water city sewage treatment plant, we analyze sewage tail water quality and possibility of recycling taking Hangzhou Qige sewage Treatment Plant as an example. Considering water using situation in Hangzhou Economic and Technological Development Zone and willingness to use recycled water of enterprises by investigation, we explore some key topics on the necessity of tail water recycling, using the application object, water demand prediction, treatment process selection, pipe network supporting the project measures and reclaimed water benefit.

Key words: tail water of sewage treatment plant; recycling water; reclamation and reuse; application object; water demand prediction; reclaimed water benefits

中国是水资源结构性紧缺的国家之一。伴随着城市化进程,用水量持续增长,单靠加大对自然资源的开发,已无法满足城市用水需求。城市污水处理厂尾水再生利用是解决城市水资源短缺的重要途径之一,对城市的可持续发展具有十分重要的现实意义。

相比于发达国家再生水 70% 的利用率,中国再生水利用还处于起步阶段。根据《中国再生水市场分

收稿日期: 2012-06-01

作者简介: 何 凡(1980—),男,黑龙江省依兰人,满族,工程师,主要从事市政给排水设计。

析报告(2010版)》,截至2008年底,中国有至少16个省的再生水利用率低于10%,在全国36个重点城市中,只有北京、南京和哈尔滨3个城市的再生水生产能力为100万m³/d,超过3/4的重点城市再生水生产能力不足10万m³/d^[1]。

1 国内外尾水再生利用现状

污水尾水再生利用在城市水资源规划中占有非常重要的地位,并且具有非常可观的经济价值。美国的污水回用始于1920年。至1977年,美国就有357个城市实现了再生水回用,其中2.92亿m³/年用于农业,占58.3%;2亿m³/年回用于工业,占40.5%。据报道,日本至1990年,建立了1369座再生水工程。俄罗斯、新加坡、英国、以色列及中东诸国都相继发展再生水回用,以弥补日益缺乏的水资源。

国内如大连、北京等城市也大力发展再生水回用。大连春柳河水质净化厂是中国第一个再生水回用示范工程,它是在二级处理的基础上增加了三级处理而成。再生水回用于附近的工厂作为工艺用水、冷却水、洗焦水、消防、市政杂用等。云南结合地域特点,截至2010年,已建成264座再生水处理设施,日处理量近10万m³/d。北京市十分重视再生水回用,近年来,北京市投资近15亿元,陆续建设完成了酒仙桥再生水厂(6万m³/d)、清河再生水厂(8万m³/d)等再生水厂和400km配套管线,实现再生水年供水能力3.5亿m³。2008年,北京市中水公司向外供水1.9亿m³,其中工业用户供水1.02亿m³,为农灌用户供水5200万m³,景观及河湖补水3200万m³,园林绿化用户供水100万m³,市政杂用和小区用户供水310万m³^[2]。

2 杭州水资源概况

杭州虽然地处水资源相对丰富的江南,水资源类型也比较齐全,但仍存在工程性缺水和水质性缺水的情况,水体水量分布时空不均。

杭州市经济技术开发区(以下简称开发区)位于杭州市东部,属中国较早设立的国家级开发区,是杭州三大副城之一。该开发区距离市区18km,行政管辖面积104.7km²,辖区人口约30万。规划到2020年将由最初单一的工业区,发展成为具备工业、科技、居住、教育、研发等多种功能于一体的综合性新城。

该开发区属于比较典型的水质性缺水地区,虽然其紧邻钱塘江,但由于位置处于钱塘江下游,靠近杭州湾入海口,所以江水的水质受咸潮影响较大,无法直接作为淡水水源。随着开发区经济发展和规模扩大,区内企业不断增多,用水需求也不断增加,但目前开发区用水主要由位于杭州市区的清泰水厂长距离供给,供水能力不能完全满足用户需求,用水较为紧张。同时,开发区内很多工业企业对水质要求不高的生产用水具有一定需求量。再生水的使用,一方面将有效缓解开发区对自来水的需求;另一方面具有一定的经济优势,可为企业节省成本。

3 污水处理厂和开发区概况

杭州七格污水处理厂(以下简称七格厂)是杭州市最大的污水处理厂,也是浙江省最大的城市污水处理厂。“七格厂”位于开发区西南部,占地面积约44hm²(660亩),分三期建设,规划至2015年污水处理规模为150万m³/d。已建成的污水处理工艺均为具有脱氮除磷功能的倒置A/A/O法。七格厂自2005年9月投入运行以来,进水量逐年增加,截至2012年5月,60万m³/d的三期工程已进入调试阶段,结合一二期建设,七格厂污水处理能力已达到120万m³/d。就其处理水量而言,具有水量大和流量稳定的特点,受季节、天气雨旱等影响较小,尾水有作为再生水水源的条件。

4 尾水再生利用的必要性

中国是个缺水的国家已是不争的事实,而且水源、水质和水量状况日益恶化。从长远看,拥有稳定水源、水质和水量的再生水,将成为提高水资源综合利用率的有效途径。尾水再生利用,可缓解中国多年经

济发展所带来的水环境污染危机,破解水资源短缺问题,降低供水成本,分散供水压力,提高区域供水安全^[3]。

七格厂尾水量大且稳定,若通过对尾水的深度处理,使其做到再利用,是一种水质可靠、水量稳定、成本廉价的城市水资源,如果将七格厂尾水再生后应用到开发区的日常用水当中,可有效缓解开发区用水紧张的局面。

5 再生水应用对象的选取

城市污水再生利用除了受当地政策和经济能力的制约外,还与城市产业结构、水环境、居民生活水平等密切相关。国家不同、地区不同,再生水的用水对象和用户也不同,对水量水质要求也相差很多。按照 GB/T 18919—2002《城市污水再生利用分类》,污水再生利用主要分成 5 类,即农、林、牧、渔业用水,城市杂用水,工业用水,环境用水,补充水源水。不同地区的再生水利用种类,需结合当地条件分析后确定。

城市开发区再生水的使用,具有少数用水大户对再生水用水量要求大和再生水利用主要以生产工艺水为主的特点^[4]。现根据开发区的实际情况,分析再生水应用对象的可行性。

5.1 农、林、牧、渔业用水

当前污水再生利用于农业,有 3 个问题需要解决:一是长期灌溉后,土壤板结,作物中残毒积累等问题;二是长年利用对非灌溉季节的污水出路要事先妥善安排;三是管理污水灌溉涉及许多科学技术,应因地制宜,不断总结经验,如灌溉的作物是否适合市场销售和得到公众认可,管理不当会使地表水及地下水污染。这几个主要问题未解决前,七格厂尾水再生不考虑作为农、林、牧、渔业用水。

5.2 城市杂用水

城市杂用水包括城市绿化、冲厕、道路清扫、车辆冲洗、建筑施工和消防等用水。

城市绿地分为公共绿地、专用绿地和生产防护绿地。专用绿地在市区的分布比较分散,在再生水供水管网配备建设完善以前,使用再生水浇洒专用绿地困难较大;而开发区内公共绿地和生产防护绿地较为集中,管网建设简单,可采用七格厂再生水浇洒。

居住和公建的冲厕用水使用再生水,受居民接受程度、管网建设、周围环境等条件限制,实施难度大,尤其是对现状建筑的供水设施改造难度更大,因此再生水冲厕使用,主要是考虑成片规模化开发的建筑用水。

道路清扫用水则完全可以使用再生水,清扫车上水点可结合再生供水管网布置。车辆冲洗、建筑施工和消防的再生水使用,由于用水点或水量的不确定性,不考虑为尾水再生利用的方向。

5.3 工业用水

工业用水是城市用水的重要组成部分。再生水用于工业用水的主要方面有:冷却用水、洗涤用水、锅炉用水、工艺用水和产品用水。针对不同的用途,需要提供的水质也有所不同,差异性很大。水质要求越好,水处理的费用也越高。根据对开发区工业企业的再生水需求调查(表 1)得知,现有企业的洗涤、锅炉、工艺、产品等用水不建议采用再生水。而工业冷却水用量在用水量中所占的比重比较大,对水质要求不高,目前城市再生水回用于工业冷却水是国内外应用较广的回用用途之一。因此,七格厂尾水再生利用的工业用水主要是冷却水。

5.4 环境用水

再生水应用于环境用水,包括娱乐性景观用水、观赏性景观用水和湿地环境用水,即景观、补充河湖等用水。开发区内河网相对独立,属于平原河网水系。河道水源的来源主要是降雨和排灌站翻水,通过补水配水,基本消除了河道水体发黑发臭的现象,但水质仍未达到水功能区 V 类目标要求。

为进一步掌握开发区河道现状水质整体情况,分别提取开发区内 5 个河道取样点的水样进行检测,检测指标按照 GB/T 18921—2002《城市污水再生利用 景观环境用水水质》中指标进行摘取,共计 13 项。各取样点主要检测指标见表 2。

表1 开发区愿意使用再生水的部分企业反馈情况表

Table 1 Feedback table of some enterprises willing to use recycled water

序号	企业名称	再生水水质系能否满足要求				
		冷却用水	锅炉用水	生产工艺用水	生活杂用水	其他用水
1	杭州旭化成纺织有限公司	能		不能	能	
2	运萨(杭州)包装制品有限公司	能			能	
3	浙江爱生药业有限公司			不能		
4	杭州佐帕斯工业有限公司	能		能	能	
5	杭州相良塑料有限公司	能	能	能	能	
6	杭州紫江包装有限公司	能				
7	杭州杭联热电有限公司	能	不能		能	
8	浙江中大金属有限公司	能		不能		
9	杭州泰明顿摩擦材料有限公司				能	
10	杭州中萃食品有限公司	不能		不能		
11	杭州松下住宅电器设备有限公司	能		能	能	
12	大安控股集团股份有限公司				能	
13	杭州松下马达有限公司	不能	不能	不能	能	不能
14	杭州金陵科技有限公司				能	

注:再生水水质系指城市污水再生利用的国家标准中明确的水质标准。

表2 开发区河道5个取样点水质指标表

Table 2 River water quality indicators in five sampling points

取样点	pH值	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	浊度/ 度	悬浮物/ (mg·L ⁻¹)	溶解氧/ (mg·L ⁻¹)	总磷/ (mg·L ⁻¹)	总氮/ (mg·L ⁻¹)
四格排灌站	7.5	7.1	20.0	<5	8.84	0.33	5.96
七格闸	7.6	38.1	50.0	7.6	6.04	2.56	26.87
创业一号闸	7.3	31.0	42.7	9.3	1.42	1.42	12.73
新建河二号坝河叉口	7.6	18.6	22.3	9.6	4.98	1.41	16.00
850排灌站	7.6	27.1	29.3	10.6	2.49	1.26	11.88

取样点	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	粪大肠菌群/ (个·L ⁻¹)	氯离子/ (mg·L ⁻¹)	色度/ 倍	石油类/ (mg·L ⁻¹)	阴离子表面活性剂/ (mg·L ⁻¹)
四格排灌站	2.76	119 000	38.8	4	1.25	0.086
七格闸	27.73	5 347 000	470.3	4	7.38	0.760
创业一号闸	9.09	450 000	385.7	4	5.89	0.341
新建河二号坝河叉口	12.20	112 000	512.0	4	4.26	0.381
850排灌站	8.70	564 000	529.3	4	2.75	0.254

将河道各点取样分析结果对照 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》地表水环境质量标准基本项目标准限值,开发区的河网总体上属于劣V类河道,主要是BOD₅、总磷、总氮等超标。

七格污水处理厂的出水已基本达到国家一级B排放标准。对七格厂的一期出水进行其他指标检测分析,同时对七格厂出水与河道水质进行比较,可以看到,再生水,在城市杂用水、工业用水、环境用水等多方面有良好的应用前景。设计的七格厂一期出水水质的检测指标综合了GB/T 18921—2002《城市污水再生利用景观环境用水水质》、GB/T 19923—2005《城市污水再生利用 工业用水水质》、GB/T 18920—2002《城市污水再生利用 城市杂用水水质》中的各项指标共计22项,检测分析结果详见表3。

表 3 七格厂一期出水水质数据

Table 3 Water quality data of Qige Sewage Treatment Plant

指标名称	数值	指标名称	数值	指标名称	数值
pH 值	7.8	BOD ₅ /(mg · L ⁻¹)	21.7	总氮/(mg · L ⁻¹)	27.3
浊度/度	42	悬浮物/(mg · L ⁻¹)	16	氨氮/(mg · L ⁻¹)	21.7
溶解氧/(mg · L ⁻¹)	8.64	总磷/(mg · L ⁻¹)	3.54	粪大肠菌群/(个 · L ⁻¹)	2 100 000
色度/倍	8	石油类/(mg · L ⁻¹)	4.81	硫酸盐/(mg · L ⁻¹)	448
CODcr/(mg · L ⁻¹)	123	铁/(mg · L ⁻¹)	0.253	阴离子表面活性剂/(mg · L ⁻¹)	0.309
锰/(mg · L ⁻¹)	0.133	氯离子/(mg · L ⁻¹)	187	二氧化硅/(mg · L ⁻¹)	3.8
总硬度/(mmol · L ⁻¹)	2.70	总碱度/(mg · L ⁻¹)	14.2	溶解性总固体/(mg · L ⁻¹)	633

通过七格厂一期出水水质指标和现状河道水质检测结果的对比,可以看出:七格厂总体上出水水质与河道水质相近,部分指标如氯离子、BOD₅、溶解氧等还优于河道水体。因此,现状水体的补充可以使用七格厂再生水,从而增加河道水量、增强水体的流动性、改善水质。

另外,开发区实施引钱塘江水向河道配水后,钱塘江高泥沙、高氯度水源带来了一些负面影响,因此,在钱塘江水位低、含沙量大或含氯度大时,可以利用七格厂尾水再生利用作为钱塘江配水的补充。再生水应用于开发区河道景观用水,具有悬浮物浓度低、基本无泥沙、含氯度低、水源稳定等特点,有利于缓解负面问题的发生与恶化;可作为开发区河道引配水的有效补充,提高河道配水的连续性。

5.5 补充水源水

再生水补充水源水包括补充地表水和补充地下水。考虑作为杭州城市水源的钱塘江,径流量很大,故七格厂再生水就不考虑作为补充水源水应用。

5.6 结论

通过以上分析,杭州七格污水厂尾水再生水的利用主要应用于城市杂用水(即城市绿化、道路清扫用水)、工业用水(即冷却用水)和景观环境用水(即河道配水补充),是切实可行的。

6 再生处理工艺的论证

现代污水回用已有 100 余年的历史,技术上已相当成熟。国内外均有丰富的再生水技术积累和经验。再生水处理工程包括:污水二级强化+深度处理+消毒等工序。根据再生水应用对象要求的水质标准,选取处理设施的不同组合与技术设备的集成^[5]。

七格厂尾水再生处理工艺,备选方案一为混凝沉淀过滤处理工艺(过滤采用活性砂过滤器),方案二为连续流微过滤膜工艺,方案三为高效纤维滤池处理工艺,3 个方案的综合比较见表 4。

由表 4 可见,上述 3 种深度处理工艺各有优缺点,应根据具体情况选择。混凝沉淀过滤处理工艺具有工程投资和运行成本低的优点,占地面积也小;膜生物反应器占地面积较小,但工程投资及运行成本最大;高效纤维滤池介于二者之间。

综上所述,根据再生水进出水水质要求,兼之七格厂一期内再生水预留用地紧张的实际情况,选择混凝沉淀过滤处理工艺作为七格厂尾水再生利用工程的处理工艺。工艺流程如图 1 所示。

表 4 方案综合比较表

Table 4 Comprehensive comparison table of plans

项目	混凝沉淀过滤	连续流微过滤膜	高效纤维滤池
工程投资	低	高	较低
运行成本	低	高	较低
消毒加药量	少	很少	少
处理效果	较好	很好	好
运行管理	较简便	简便	较简便
占地面积	小	小	较小
建设周期	短	较短	较短

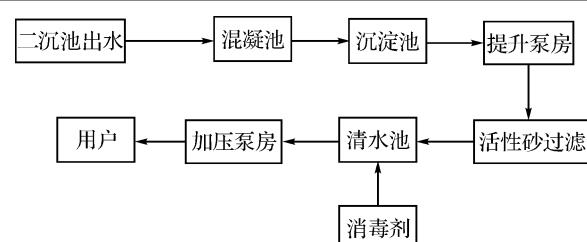


图 1 尾水处理工艺流程图

Fig. 1 Treatment process of recycling water

7 再生利用需水量预测

以开发区作为七格厂尾水再生利用的主要区域,并考虑远期至2020年所需的尾水量,再生水量的确定按照城市杂用水、工业用水和环境用水三方面进行分析预测。

7.1 城市杂用水需水量

考虑到现有建筑增加再生水利用系统存在造价高、实施难度大等问题,杂用水主要考虑为规划新开发的土地,随着再生水利用的相关政策法规的出台实施及百姓环保意识的逐步提高,远期再生水也将在居民日常生活中得到应用。因此,远期杂用水主要按表5考虑。

表5 城市杂用再生水量预测表

Table 5 Prediction of amount for urban recycling water

用地性质	2020年用地面积/万m ²	平均日用水量标准/(L/m ² ·d)	平均日用水量/(万m ³ ·d ⁻¹)
绿化用地	858	2.0	1.7
道路用地	598	2.0	1.2
新建居住用地	805(平均容积率约1.5)	1.5	3.6
公建用地	390(平均容积率约1.5)	3.0	
合计			6.5

7.2 工业用水需水量

根据预测,2020年开发区的工业用水量约为16万m³/d。考虑到远期工业企业的具体分布门类尚难预测,暂时按调查得到的2010年愿意使用的再生水量为基础。根据调查,目前愿意使用企业的再生水量占企业总用水量平均在20%~30%。到2020年,一方面再生水普及率将大大提高,另一方面所占平均比例将在现有的基础上可能有所增加,故工业再生水量预计远期将占到工业总用水量的30%,即4.8万m³/d。

7.3 环境用水需水量

开发区远期水功能区目标为V类水体,现行再生利用标准部分指标无法满足,因此,暂不能作为河道景观补充用水,但随着技术发展及再生水标准的提高和完善,远期可根据河道实际情况予以考虑。

综合上述预测,远期开发区需要的再生水量将大于11万m³/d。

8 再生水管网建设可行性

开发区核心区是最早建设的区域。建设初期,开发区曾考虑到不同工业企业对供水水质需求存在一定差别,在道路给水管网建设时设置了两套给水管网,一套为给水厂供水的生活与生产供水管网,一套为供应原水(后期由企业自行处理)的供水管网。但受多种原因影响,后一套管网并未投入使用,这套管网可考虑作为再生水的现状管网,可利用这套现有管网向用户供水,减少开挖,先行启动。需在现状道路上增设再生水管的,可考虑在道路两侧现有绿化带内布设;无绿化带的道路也将再生水管尽可能设置在非机动车道或人行道上,尽量避免设置在快车道上,减少开挖。新建道路可根据道路的建设埋设再生水管。这样,近远期再生水管网的建设都具有较好的可实施性。

9 再生水效益分析

尾水再生利用以服务于社会为主要目的,属城市基础设施建设,再生水的效益除了可以定量计算的经济效益外,更多体现的是用货币量化难以衡量的社会效益和环境效益。

再生水的可定量的经济效益,一方面表现为制水企业内部的利润,另一方面表现为用水单位生产管理成本的下降。一般来说,再生水的价格远低于自来水,再生水以合理的价格出售给用水单位,可以使制水企业获得收益。经计算,七格厂再生水达到11万m³/d生产能力后,制水企业一年收益约965万元;用水单位通过使用再生水替代自来水,可降低企业成本费用,用水成本将节省2~3万元/万m³,生产成本得

到明显降低(杭州市经营用水自来水价格 2.95 元/ m^3 ,再生水价格参照北京市 1 元/ m^3)。

对于再生水的社会效益和环境效益,是需要人们在充分认识和使用再生水后,得以缓慢而长期体现的。杭州所在的江南地区,由于水资源相对充沛,自来水生产使用价格偏低,导致人们对再生水利用认识不足,很多人对再生水的认识还停留在“污水”上,所以,应加强对再生水利用的宣传引导,改变观念,让人们充分认识再生水,去理解它使用它,这样才能推广再生水的使用,使再生水的社会效益和环境效益持久化体现。

10 结语

城市污水处理厂尾水再生利用,可以减少污水排放量,相应的污染负荷排放量也减少,对保护水体意义重大。尾水再生利用同时也产生一定的经济效益,表现为城市分质供水适应用户对给水水质的不同要求,可以降低用户的水费开支。尾水再生利用的实施将缓解城市水资源紧张,合理利用水资源,对促进工业加速发展具有深远的意义和影响。尾水再生利用可以使城市生活和投资环境得到改善,同时增强全民节约用水和自觉保护环境的意识,促进国内城市供水标准逐步与发达国家接轨,提高城市生活用水的质量。

杭州作为长三角区域经济、旅游和文化强市,一直以来就注重环境与经济的协调发展,也具备了再生水利用的各种条件。城市再生水的利用,无论从生态环境、经济效益、利用水资源和可持续发展等方面,都将对杭州城市发展建设起到深远的影响。

参考文献:

- [1] 吕立宏.再生水利用经济效益和社会效益分析[J].科技创新导报,2011(11):135.
- [2] 周军,杜炜,张静慧,等.北京市再生水行业的现状与发展[J].中国建设信息:水工业市场,2009(9):12-14.
- [3] 张云,崔树彬,胡惠方,等.南方地区再生水利用可行性及关键问题[J].南水北调与水利科技,2011,9(1):122-125.
- [4] 吕鑑,梁小田,杨京生,等.经济技术开发区再生水用水量特点研究[J].给水排水,2009,35(S1):52-54.
- [5] 张秋菊,王铂铎,崔晨,等.西安市再生水回用浅析[J].地下水,2011,33(2):95-97.