

洗浴废水循环再利用技术的探讨和分析

崔福义 杨海燕 马放

(哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090)

刘国平

(哈尔滨绍和供水有限公司, 哈尔滨 150080)

摘要 在我国,洗浴废水达到城市生活污水量的30%。本文针对目前洗浴废水通常作为一次性用水的现象,参考各国在污水再利用方面所做的工作,结合国内外对洗浴废水处理的研究成果,探讨了把洗浴废水处理为浴池补给用水的经济、技术、政策和公众接受观念的可行性,分析了现有对洗浴废水的处理方法及其工艺流程。提出将洗浴废水处理为浴池直接的补给水的思路,同时,通过对洗浴废水的成分分析、各种处理工艺的优缺点比较及处理后水回用的适用场所的讨论,论述洗浴废水经处理后达到《生活饮用水卫生标准》的可能性,可以安全地用作浴池补给用水。

关键词 水资源 污水处理 废水回用 洗浴废水

Discussion and analysis of bathing wastewater reuse technology

Cui Fuyi Yang Haiyan Ma Fang

(School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090)

Liu Guoping

(Harbin Shaohe Drinking Water Supply Co. LTD, Harbin 150080)

Abstract Bathing wastewater flow contributed 30 % of domestic sewage stream in China. In this paper, aiming at the fact that bathing wastewater is usually used as one-off water, some approaches that treating bathing wastewater to bathing water are discussed on the aspects of economical feasibility, technological feasibility, policy and acceptable quality. In the study, existing ways and flowcharts of treating bathing wastewater are analyzed, and the idea of recycling bathing wastewater as bathing water is discussed for the first time. By analyzing the ingredients of bathing wastewater, comparing the advantages and disadvantages of all the treatment techniques, and discussing the application ranges of the recycled wastewater, it can be seen that the treatment effluent meets the Sanitary Standard for Drinking Water and exposes to no foreseeable health risks for bathing water use.

Key words water resource; sewage treatment; wastewater reuse; bathing wastewater

水是地球上一切生命赖以生存的基础,人类生产活动和生活活动中不可缺少的重要物质,是不可替代的重要自然资源。

自从20世纪60年代以来,世界上许多国家和地区相继出现了以水资源紧缺和水污染加剧为主要标志的“水危机”。我国属于世界上最缺水的13个国家之一,很多水域受到不同程度的污染,水资源时空分布也很不均衡,水资源短缺已成为制约我国社会经济可持续发展的重要因素。我国目前的600多个城市中,400多个是缺水城市。缺水迫使我们高效地和重复地利用水资源,实现污水的资源化是有效解决水危机的重要措施。

1 国内外污水利用现状

面对水资源短缺的问题,许多国家十分重视实现各类污水的资源化。日本从1968年开始大规模

地回用和再利用城市污水,目前已经形成了分布于城市、小区及建筑内的中水道系统^[1]。早在1918年,美国加利福尼亚州就颁布了水回用的第一个标准,在1920年亚利桑纳州和加利福尼亚州实现了回用水的农田灌溉^[2]。1965年,以色列卫生部颁布了允许用二级处理出水来灌溉农作物的法规^[3],现在,以色列的污水再利用量占总水量的70%。纳米比亚的温得和克从1968年就开始将污水作为生活用水来回用^[4]。法国^[5]、德国^[6]、俄罗斯^[7]、印度和沙

攻关项目:黑龙江省科技攻关重点项目(CB02C0202-01);国家“十五”科技攻关项目(2002BA806B04)

收稿日期:2003-08-26;修订日期:2003-10-30

作者简介:崔福义(1958~),男,教授,博士生导师,主要从事水处理工艺及处理过程优化与自动化研究工作。

E-mail:cuifuyi@public.hr.hl.cn

特阿拉伯^[8]等国家污水回用也很普遍,并对相应标准不断地进行修订,以适应新形势的需要。

目前,我国污水的回用方式主要有 2 种:一是集中处理回用,二是分散的建筑中水回用。我国自 20 世纪 50 年代开始采用污水灌溉的方式来回用污水,但真正将污水深度处理并回用于城市生产和生活仅有 20 年的历史。20 世纪 80 年代,某些缺水大城市相继开展了污水回用于工业和民用的试点研究。1985 年北京环科院建成了我国第一座中水回用试点工程。北京已建成的中水设施超过 100 套,在建的中水设施还有 100 多个,已经投入正常运行的有 70 套左右,大约每年新增中水设施近 30 套,在全国稳居首位。上海宝钢生活污水就地处理回用,用于厂区绿化浇灌、喷洒马路和冲刷等,提高了水重复利用率,实现了节能降耗、降本增效。目前,北京、深圳、大连和天津等城市已陆续颁布了相关的法规和文件,以推广应用中水回用技术。另外,青岛、太原、郑州和沈阳等城市也建成了一系列中水工程。大连、天津等地还建成了大规模的城市污水回用水厂。在台湾,采用各种化学方法和补充处理等措施对冷却水的回用正在不断地兴起^[9]。污水回用的潜力还很大,开展污水回用技术与应用的研究十分必要。

2 洗浴废水重复利用的前景

2.1 洗浴废水的特点

洗浴废水是生活污水的主要来源之一。传统上,洗浴水多数被一次性应用后直接排放。从水量方面来说,洗浴废水的水量较大。据调查,在公共浴池人均一次洗浴用水量为 $0.3 \sim 0.5 \text{ m}^3$,对于一个日客流量为几百人的普通浴池来说,日用水量在百吨以上。一般情况下,洗浴废水达到城市生活污水量的 30%。人们日常使用的洗浴水主要是经过加热的自来水。

由于洗浴行业是一种需要消耗大量水资源的行

业,而且洗浴废水具有水量大、污染轻、水质稳定的特点,所以,洗浴废水应优先作为一种再利用的水源来开发,必将在城市节约用水中发挥重要作用。

2.2 洗浴废水中的主要污染物

洗浴废水所含的污染物主要有人体皮肤分泌物、毛发、污垢、合成洗涤剂 and 香料,以及细菌、真菌、大肠杆菌和病毒等。洗浴废水的浊度可达到几十 NTU 甚至超过 100 NTU,但色度不高,嗅味为强烈的洗浴用品的芳香,具有一定 COD 和 BOD 值,不会引起铁、锰、铜、砷、镉、铬、铅、汞、硒和硼等物质的超标变化。表 1 为哈尔滨市不同类型洗浴地点水质的统计数据。可以看出,受污染严重的主要水质参数有:阴离子洗涤剂、浊度、COD、BOD、细菌总数和大肠菌群等。

2.3 洗浴废水重复利用的途径

目前,洗浴废水经处理后的主要利用途径是作为工业水的补给、农田灌溉、浇洒绿地、水景喷泉或作为清洗汽车、冲厕等杂用水。这类水的水质要求不高,只需适当处理,满足 GB5084-92《农田灌溉水质标准》或 CJ25.1-89《生活杂用水水质标准》即可。

但是,洗浴废水的这些再利用方式在实践中存在一定的困难。回用水用户往往是间歇式用水的,公共浴池等处连续产生的大量洗浴废水需要大容积的储水设备,或者需要专门的输水车辆或输水管道运出;洗浴废水分散在各个洗浴场所,也难以建立专门的收集系统;再次,这种水的使用需要不同部门之间建立供需关系,协调用水计划等。因此,往往由于这些问题得不到很好的解决,只能将大量洗浴废水排入城市排水管网,既加重了城市排水及水处理的负担,也浪费了宝贵的水资源。

将洗浴废水处理作为浴池用水的补给,可就地直接回用于浴池,避免以上这些问题。当然,作为洗浴用水,对水质的要求更严格,需要满足生活饮用水卫生标准的要求。

表 1 不同类型洗浴废水水质

Table 1 Bathing wastewater quality from various sources

项 目	色 度 (度)	嗅	pH	LAS (mg/L)	浊度 (NTU)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	细菌总数 (个/mL)	总大肠菌群 (个/L)
公 寓	5	洗涤剂	5.5~7.5	5.5	20	20	60	6.6×10^3	2.4×10^4
公共浴池	5	有味	5.8~8.0	2.0~4.8	110~184	179~258	242~543	2.2×10^4	2.4×10^4
宾馆饭店	3	香精	6.8~8.2	2.7~5.0	30~50	25~30	50~150	1.8×10^3	2.4×10^4

3 洗浴废水循环利用的可行性

从当前国内外水资源保护与利用的发展动向来看,洗浴废水的直接循环利用前景非常可观,可以从以下几个方面来分析。

3.1 经济因素

在城市供水领域,随着市场机制的引入,为缓解水资源市场的供需矛盾,水价必然会呈上升的趋势,将推动洗浴废水的回用。对于浴池这种大量用水行业,许多城市采取高水价政策。例如,东北某市的洗浴业水价为7元/ m^3 ,对于一个有几百名顾客的普通浴池,每年水费达40多万元。如果该浴池用水能够循环使用,按回用率为70%~80%计,即使处理回用1 m^3 水的费用为4元,仍可年节约水费30%以上,同时节约了大量宝贵的水资源。

此外,洗浴废水回用相应地减少了污水排放量,减轻了城市排水系统的负担,也降低了城市污水厂的处理费用。

3.2 技术因素

水处理技术的发展为各种污水的深度处理提供了可能,而洗浴业很高的水价又为采用各种高级水处理技术创造了经济上的条件。除了有成熟经验的许多传统的污水和饮用水处理工艺外,可以利用的深度处理技术很多,如活性炭吸附去除水中的有机物、色度和嗅;臭氧具有很强的氧化能力,能够通过破坏有机物的分子结构达到改变污染物性质的目的;将臭氧和活性炭联用,可以克服二者各自之短,发挥各自之长;生物活性炭发挥了微生物的降解作用,延长了活性炭的再生周期,可提高出水水质;光催化氧化技术可以将有机物充分氧化;电化学方法将物理和化学方法结合在一起,是一种清洁、灵活并且功能强大的处理方法;膜技术去除污染物的范围广,从颗粒杂质到离子、细菌和病毒等,特别是反渗透技术可以充分去除水中各种形态的杂质、制备纯水。此外,生物过滤反应器、生物转盘反应器、生物塔滤和生物接触氧化等生物膜处理技术,借助于微生物的新陈代谢活动,对水中的有机污染物和无机污染物具有不同的去除作用。将其中若干技术合理组合起来,必能使处理后的洗浴废水达到循环利用的要求。

3.3 政策因素

修订后的新水法于2002年10月1日起实施,规定从江河取水要收费。各地也以国家水法为指

导,结合本地区具体情况,制定鼓励节约用水的技术经济政策,以促进现有工业企业节约用水的积极性和技术设备的改造,以及污水资源化的实施,如《北京市中水设施建设管理试行办法》、《天津市节约用水“十五”计划》和《郑州市城市节约用水管理条例》等。各地都在逐步提高城市用水价格以及水利工程供给工厂和自来水管厂的用水价格,同时,对各类用水实行定额管理,超额加价,对浪费水资源的行为实行惩罚性收费。将水价改革与改革水资源管理体制、改造供水设施、推行科学节水制度结合起来实施,各部门可以实现高效地利用水、自主地节约水。深圳市即将推行强制性的节约水资源措施,建立专门机构,积极推行计划用水和用水定额管理制度,对超计划用水实行累进加价制度。这些政策上的扶持可使节水工作能较顺利地在全社会展开,也将引导洗浴业这种大量高价用水行业加强节水工作。

3.4 接受观念因素

洗浴废水经过净化后回用于浴池,使用者的接受观念可能会存在一定的障碍。对于这种观念上的纠正,需要社会不断地宣传和教育,而更重要的是人们自身认识水平的提高。在纳米比亚的温得和克,将污水处理为可饮用的水,已有30多年的历史。正像温得和克水回用系统的Lucas van Vuuren博士所说“对水的评价不是看它的来源,而是看它的质量”^[4]。因此,只要处理后的水达到水质标准的要求,对人们的观念以科学的方法纠正是完全可行的。

上述分析说明,洗浴水的循环利用符合国家的节水政策,技术上可行,经济上有利,观念上可以接受,是完全可能实现的。

4 洗浴废水处理工艺的研究现状

目前,处理洗浴废水的工艺按技术方法主要分为3类:物理化学方法、生物处理方法和二者相结合的方法。

4.1 以物理化学为主的工艺流程

这一类工艺主要包括传统的处理工艺,如反应-气浮(或沉淀)-过滤以及氧化法和膜滤法等。通常在主工艺的前后阶段需投加混凝剂和消毒剂。

4.1.1 以药剂处理为主的研究

日本发明特定的吸油剂处理温度较高的洗浴用水,不仅能够去除浊度固体成分,而且可以有效地去除油脂等油性成分,使洗浴后的浴用水被澄清净化。许治峰等^[10]采用聚合氯化铝(PAC)去除色度、COD、

BOD、SS、LAS 和石油类,可达到《农田灌溉水质标准》中的“水田作物”的水质。武跃等^[11]以浊度、LAS 为去除对象,经过比较选择了聚合氯化铝铁(PAFC)和聚丙烯酰胺(PAM)复合的混凝剂处理大连地区的洗浴废水,效果较佳。刘丽兰等^[12]采用 ClO_2 氧化、PAC 为絮凝剂、P-1 为助凝剂对洗浴废水进行处理。处理方法的流程如图 1 所示。



图 1 药剂处理为主的工艺流程

Fig. 1 Flow diagram of chemical additive treatment

以药剂为主的洗浴废水处理研究主要是围绕浊度、COD 和 LAS 的去除进行。其主要思想是利用药剂的氧化作用或絮凝作用,之后为较精密的过滤单元,使洗浴废水净化,能达到中水回用、生活杂用的水平。

4.1.2 以膜处理为主的研究

刘静纬等^[13]采用的工艺流程为微絮凝过滤器-中空纤维超滤膜联用,处理后的水用于绿化、冲洗汽车、淋洒道路和厕所等杂用。张洪国等^[14]采用微絮凝直接过滤-中空纤维超滤膜方法处理,以浊度、悬浮物固体、LAS 和有机物为主要处理对象,处理后的水达到作为杂用水的标准,可作为中水回用。这些处理工艺在膜反应器前只进行物化处理而没有进行生物处理。

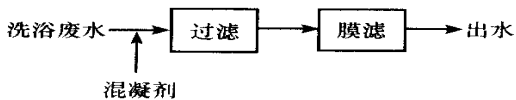


图 2 膜滤为主的工艺流程

Fig. 2 Flow diagram of membrane treatment

4.2 以生物处理为主的工艺流程

生物处理是一种廉价、环保的处理技术,有一定的优势。其流程主要为生物过滤和沉淀过程(在某些工艺中省去了沉淀)。

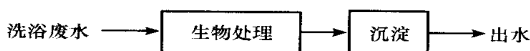


图 3 生物处理为主的工艺流程

Fig. 3 Flow diagram of biological treatment

宝钢钢管厂采用 PLC 控制过滤-生物炭技术处理洗浴废水,每天可回用 500 m^3 水,用于工厂的绿化或工业用水补给,处理后水的 SS、BOD、COD、LAS、嗅和大肠菌群数等指标达到回用水的标准。姚明宽等^[15]采用生物接触氧化-沉淀工艺处理矿区洗浴废水,无需投加混凝药剂和消毒剂,处理后的水用于矿区的工业用水、清洗车辆和庭院绿化等。张金炳等^[16]采用人工砂和天然砂相结合的方式建立污水快速渗滤复合处理系统,对洗浴废水进行了 5 个月的试验研究,讨论了系统对 COD、BOD、SS 及 LAS 的去除效果,处理后的水可以作为中水回用。

4.3 组合工艺流程

组合工艺是将物理化学方法和生物方法组合起来的水处理技术。一般生物处理过程在前,物理化学处理过程在后。



图 4 组合方法的工艺流程

Fig. 4 Flow diagram of combination processes and operations

刘锐等^[17]用一体式中空纤维膜-生物反应器处理学生浴池的水,试验监测了 SS、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD、BOD、LAS、色度、浊度、嗅和大肠菌群等指标,出水水质符合生活杂用水标准。Brenner 等^[18]采用 2 种工艺流程处理污水,一是用序批式反应器 SBR 单元和微粒过滤器联用,另一是 SBR 单元和微滤膜联用。SBR 是一个有效的生物处理单元,其出水含有较低的 BOD 和 SS,对细菌、大肠菌群和粪大肠菌群等具有非常有效的去除作用。处理后的水完全可以用于农业生产,甚至达到任意再利用标准的要求。

4.4 现行处理工艺的评价

上述 3 种方法处理洗浴废水,因其自身特点的不同,因而各有优势和不足。

物理化学法的研究比较成熟,并且操作方便,但常规流程占地较大,而且若处理后的水回用则要做进一步的处理。相对而言,这种工艺是以去除 $> 3 \mu\text{m}$ 颗粒物质和胶体为主的。以膜处理为主的工艺,可以去除污物、细菌、病毒和溶解性的盐类,处理洗浴废水的效果较好,且操作简单、设备占地较小,易于实现自动化。但膜污染控制问题、膜系统运行的费用是阻碍膜技术应用的关键。

生物处理法可以发挥微生物的活性,是一种以治污的环保方法。通过微生物自身或者它的代谢

产物将溶解性的有机物和某些细菌去除。处理费用低廉,但系统的运行管理较复杂,需要具有一定专业水平的人员来操作管理,实现对生物控制的自动化有一定难度。

组合工艺将2种工艺组合在一起,充分发挥各自不同的作用将污水净化,比单一处理工艺处理效果好,出水水质好,运行费用相对于膜处理方法要经济,但设备的结构会相对繁琐,操作管理就会复杂。这种系统在洗浴废水处理中具有较大的发展空间,由于这种系统的影响因素较多,有待进一步的研究。

上述这些处理工艺,都是将洗浴废水处理之后以生活杂用水为目标的,直接回用于浴池在国内至今还没有报道。

5 结论与展望

洗浴废水作为一种可重复利用的水资源正在引起水处理工作者越来越多的关注。目前,将洗浴废水深度处理为可直接重复利用的洗浴水的例子非常少见。现行的各类水质标准对水质安全性的评价并不完善,随着日常生活、工业生产中使用的化学物质种类和数量的增多以及人们健康安全意识的不断增强,对回用水的安全性评价还需进一步的研究。

经过调研工作的深入,认为将物化处理与生化处理单元集成为小型高效的处理设备,应用于浴池,将洗浴废水处理成为浴池可以直接回用的补给水,具有相当广阔的前景。

正是这种回用方式具有较高的实用性和普遍意义,将对节约城市用水、减少城市污水排放量作出重要贡献。本研究认为:

(1) 从节约用水的目的出发,洗浴废水处理后严格达到饮用水水质标准的出水,回用于浴池是可行的;

(2) 公众从心理观念上能够接受这种水回用的方式,并会得到环保主义者的支持;

(3) 回用水的费用大大低于洗浴行业用水的水价,节省了洗浴行业的水费支出,会比较容易被洗浴行业所接受;

(4) 这种回用方式,不仅可节约用水,减少排污量,而且可使重复利用就地实现,可以减轻城市不同部门之间协调工作的负担,利于推广。

参考文献

- [1] T. Asano, M. Maeda and M. Takaki. Wastewater reclamation and reuse in Japan: Overview and implementation examples. *Water Science and Technology*, **1996**, 34(11): 219~226
- [2] James Crook, Rao Y. Surampalli. Water reclamation and reuse criteria in the U. S. *Water Science and Technology*, **1996**, 33(10~11): 451~462
- [3] Takashi Asano, Audrey D. Levine. Wastewater reclamation recycling and reuse: Past, present and future. *Water Science and Technology*, **1996**, 33(10~11): 1~14
- [4] Johannes Haarhoff, Ben Van der Merwe. Twentyfive years of wastewater reclamation in Windhoek, Namibia. *Water Science and Technology*, **1996**, 33(10~11): 25~35
- [5] Faby J. A., Brissaud F., Bontoux J. Wastewater reuse in France: Water quality standards and wastewater treatment technologies. *Water Science and Technology*, **1999**, 40(4): 37~42
- [6] 郑琴. 德国污水处理概况. *中国市政工程*, **1998**, (4): 53~55
- [7] 刘鸿志. 国外城市污水处理厂的建设及运行管理. *世界环境*, **2000**, (1): 31~33
- [8] Abur Rizaiza O. S. Modification of the standards of wastewater reuse in Saudi Arabia. *Water Research*, **1999**, 69(3): 191~198
- [9] You Shuhai, Tseng Dyihwa, Guo Galuen, et al. Potential for the recovery and reuse of cooling water in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, **1999**, 26(1): 53~70
- [10] 许治峰, 马琳. 物化法处理洗浴废水的探索. *铁道劳动安全卫生与环保*, **2002**, 29(3): 115
- [11] 武跃, 崔洪光. 复配混凝剂在洗浴废水回用技术中的应用. *辽宁师范大学学报*, **2002**, 25(2): 166~168
- [12] 刘丽兰, 阎金宏, 赵锡斌. 浴用水复用开发的研究. *天津化工*, **2001**, (2): 30~31
- [13] 刘静纬, 王宝清. 超滤法处理宾馆洗浴废水及超滤装置化的研制开发. *膜科学与技术*, **1998**, 18(5): 35~37
- [14] 张洪国, 赵洪宾, 薛罡, 等. 气浮-纤维过滤法和微絮凝纤维过滤-膜滤法处理洗浴废水的研究. *中国给水排水*, **1998**, 14(2): 10~13
- [15] 姚明宽, 张策. 生物接触氧化法处理洗浴废水的研究. *煤矿环境保护*, **1994**, 8(4): 7~9
- [16] 张金炳, 汤鸣皋, 陈鸿汉, 等. 人工快速渗滤系统处理洗浴废水的试验研究. *岩石矿物学杂志*, **2001**, 20(4): 539~543
- [17] 刘锐, 黄霞, 陈吕军, 等. 一体式膜-生物反应器处理洗浴废水. *中国给水排水*, **2001**, 17(1): 5~8
- [18] A. Brenner, S. Shandalov, R. Messalem, et al. Wastewater reclamation for agricultural reuse in Israel: Trends and experimental results. *Water, Air, and Soil Pollution*, **2000**, 123(1~4): 167~182