

# 中水回用技术及应用

戈 军,吕锡武,荆肇乾

(东南大学环境工程系,江苏 南京 210096)

**摘要** 论述国内外中水回用的现状和意义,介绍中水的分类和用途,提出中水回用的系统处理工艺,并进行了技术经济分析,认为中水回用技术符合水资源循环使用和可持续发展思想,必将在我国拥有广阔的发展前景.

**关键词** 水资源 中水回用 处理工艺 经济分析

**中图分类号** X703      **文献标识码** A      **文章编号** 1006-7647(2005)S2-0073-04

## 1 国内外中水回用的现状及其意义

我国是一个水资源贫乏的国家,人均占有淡水  
量为  $2400\text{ m}^3$  以下,仅为世界平均水平的  $1/4$ ,被世界  
卫生组织列为 12 个贫水国家之一,并且淡水时空  
分布极不平衡,许多城市经济发展和人民生活水平  
的提高受到水资源短缺的严重制约. 据统计,全国  
669 个城市中,400 个城市常年供水不足,其中 110  
个城市严重缺水,日缺水量达  $1600\text{ 万 m}^3$ ,年缺水量  
达  $60\text{ 亿 m}^3$ . 由于缺水,每年造成工业产值损失达  
2000 多亿元.

目前我国的城市污水处理率仅为 25% 左右,城  
市边远地区和农村地区,污水基本没有处理. 污水不  
经处理排放,不仅污染了环境,又浪费了宝贵的水资  
源. 在这种情况下,中水回用技术应运而生. 中水回  
用技术是将污水或者部分杂排水经过适当处理后,  
回用于非人体接触的城市绿化、冲洗厕所、地下水回  
灌、补充地表水等,其水质指标低于饮用水水质标  
准,高于污水允许排入地面水体排放标准<sup>[1]</sup>. 我国在  
“七五”和“八五”期间就已经开始中水回用技术研  
究. 在许多城市,特别是北京、大连、青岛等北方缺水  
城市已经开展了中水回用的试验研究和工程实践.  
北京市 1987 年制定了“北京市中水设施建设的管理  
施行办法”,规定建筑面积  $2\text{ 万 m}^2$  以上的旅馆、饭  
店、公寓,建筑面积  $3\text{ 万 m}^2$  以上的机关、科研单位、  
大专院校、大型文化和体育等公共建筑,按规划应配  
套建设中水设施的住宅小区,以及集中建筑等应按  
规定配套建设中水设施. 北京市政府 2001 年 2 号文  
件“关于加强中水设施建设管理的通告”中规定:“建

筑面积  $5\text{ 万 m}^2$  以上,或可回收水量大于  $150\text{ m}^3/\text{d}$  的  
居住区必须建设中水设施”. 随着水资源短缺的加剧  
和水价的调整,中水回用作为一种水资源有效利用  
的节水技术<sup>[2]</sup>,必将成为解决水资源短缺问题的重要  
途径.

国外实施污水处理回用的时间较长,美国从 20  
世纪 20 年代就开始尝试污水处理后回用于公园、高  
尔夫球场绿化以及冲厕、工业冷却水、地下水回灌  
等,其城市中水回用量已达  $9\text{ 亿 m}^3/\text{a}$ . 中水回用在  
日本已经较为普及. 以东京为例,总设计处理回用量  
为  $7.4\text{ 万 m}^3/\text{d}$ . 日本已普遍采用双路供水系统,即一  
路为饮用水系统,一路为再生水即中水道系统,通过  
中水回用,年平均节水率达 36%. 在以色列、墨西哥,  
污水回用率分别占总用水量的 16% 和 12%. 中水回  
用技术已经得到越来越多的国家和地区的重视.

随着水资源的日趋紧张和水价体系的调整,在  
城市某些人口集中区域,特别是在新建大型居住区、  
公用建筑、学校、机关事业单位等建设中水回用设  
施,近距离地满足回用水要求,而不用大规模铺设城  
市污水回用管网,达到节约用水目的已日益迫切. 据  
统计,我国利用中水系统冲洗厕所等杂用的住宅、旅  
馆等民用建筑,可节约新鲜水 30% ~ 40%<sup>[3]</sup>. 所以,  
在有条件的地区,开展中水回用,实现污水资源化,  
既是一项值得推广的节水技术,又有技术创新的意  
义,具有很好的实用价值.

## 2 中水回用系统的分类

### 2.1 建筑物中水回用

建筑物中水回用是国内外中水回用的最初形

式,以单位建筑物自成系统的方式进行处理及回用,即将建筑物产生的废水处理后回用于本单位厕所冲洗、洗车和绿化等.这种建筑物单独循环使用系统管理方便、责权分明,容易调动积极性,在中水回用系统发展初期发展迅速<sup>[4]</sup>.

## 2.2 区域中水回用

几个小区、单位联合建设中水系统,根据各方水源组成和回用要求选择处理工艺,布置中水处理设施.这种中水系统范围较大,水源和用水较易达到水量平衡,处理规模相对较大,具有一定规模效应,单位投资较省.但不同单位间存在利害关系,容易存在推诿扯皮现象.

## 2.3 城市污水再生回用

城市污水处理厂出水水质好且水量大,是重要的可利用再生水资源.在城市规划中,根据污水处理厂建设需要布置回用系统,污水处理需要增加回用设施,并根据回用单位和农业灌溉的需要布置回用管渠,一次性投资较大,但容易产生规模效益,集中建设便于管理,从长远来说是污水再生回用的主要形式和发展方向.

# 3 中水的主要用途

区域性和小区中水系统主要用于绿化、冲洗厕所、河湖及水景补水、洗车等.

## 3.1 绿化

随着人类居住环境的改善,城市整体绿化、单位和小区绿化覆盖面积日益扩大.据园林、绿化部门统计,每平方米绿地每天需用水约  $0.002\text{ m}^3$ .目前许多小区由于没有地下水和地表水水源,需用自来水浇灌绿地,造成极大的浪费.开发中水系统,利用中水绿化,将大大降低绿化费用.

## 3.2 河湖、水景补水

由于许多城市在河湖岸边设置截流式管道,河流和湖泊的正常补水受到影响,并且由于污染加重,往往需要引水冲洗.如南京市定期从城北水厂引水补给冲洗玄武湖和秦淮河,这种引入新鲜水源补给河道和湖泊的方式是一种治标不治本的行为,且成本费用高,是对水资源的极大浪费.目前许多大型公共建筑、小区建设有喷泉、人工湖渠等水景,也需要定期补水.如果能利用中水代替新鲜水及自来水进行补水,在水质上完全可以做到满足标准,并节省大量的补水费用.

## 3.3 厕所、道路冲洗

厕所特别是公共厕所的冲洗需要耗费大量的水,应提倡使用中水冲洗.北京已开始对二类以上公共厕所实施中水处理改造,用中水冲洗厕所.天津市

梅江小区直接将中水引入住户冲厕,可以节省大量的自来水.

由于地面积尘,道路需要定期冲洗.特别是夏季高温季节,为了路面养护的需要,往往需要一天一次甚至几次喷水冲洗.利用中水冲洗路面,可以达到路面养护的要求,减少扬尘污染,改善城区空气环境,又可以节省大量水源.

## 3.4 洗车

近年来汽车特别是家庭用车数量急剧增加,相应的洗车点数量也在增加,但使用新鲜水洗车造成了极大浪费.许多缺水城市如北京开始限制洗车用水量,对于超量用水进行高额收费.如果使用中水洗车则不存在无水可用的问题.中水洗车,从水质和水量方面均可满足使用要求,既降低了洗车成本,又达到了节水目的.

# 4 中水回用处理工艺

中水回用采用什么样的处理工艺技术,主要根据中水原水水质和回用水水质要求来决定.另外,处理工艺的选择还要考虑占地、环境协调和处理成本等因素.中水回用的关键处理工艺,按处理工艺流程和方法一般分为两种类型,即物化处理法,以及生物处理+物化处理法.

## 4.1 物化处理法

以优质杂排水为中水水源的中水系统,由于进水浓度比较低,水质变化不大,采取物化处理法基本能达到中水回用的水质要求,且工艺简单、投资较省.常规工艺流程如图1所示.

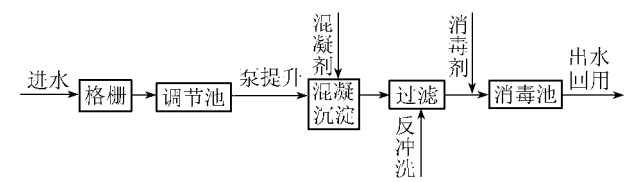


图1 中水物化处理工艺流程

当原水水质较差或掺入一定的生活污水时,单纯的物化处理出水不易达标.随着中水技术及其应用范围的推广,以综合生活污水为原水的中水设施,就需要采用物化处理和生物处理相结合的方法.

## 4.2 生物处理+物化处理法

生物处理+物化处理法适用于有机物含量较高的生活污水原水的处理,通过生物处理去除大部分有机物,必要时在过滤前投加混凝剂微絮凝后进行过滤,进一步去除残余有机物和悬浮物.进水氨氮、总磷含量较高时,生物处理需要采取厌氧/缺氧和好氧组合以脱氮,过滤前投加混凝剂以去除大部分磷酸盐.生化与物化组合处理工艺流程如图2所示.

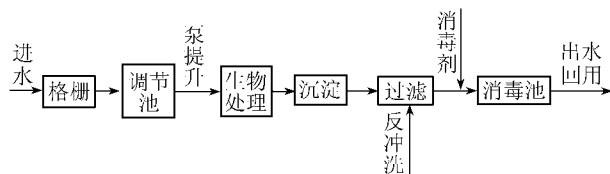


图2 中水生化与物化组合处理工艺流程

生物处理包括生物接触氧化、生物转盘、生物滤池等形式,其中生物接触氧化应用最广,材料设备配套较好,工艺运行稳定,出水满足中水水质标准.生物转盘机械部件和控制系统较为复杂,容易出现机械故障,运行不够稳定,目前在国内的中水回用系统中应用较少.

生物处理对于以杂排水和生活污水为原水的中水系统均适用,能适应一定的冲击负荷,运行稳定,处理效果好,与物化处理组合,能较好地满足回用要求.

随着中水回用技术的发展,出现了许多新技术、新工艺,如将水解酸化厌氧工艺作为前置工艺,降低好氧处理的有机负荷;采取生物活性炭延长活性炭使用周期;应用曝气生物滤池使处理流程更加简约紧凑;土地渗滤系统将污水处理与生态工程相结合等.特别是随着膜技术的发展,膜性能迅速提高,膜组件价格和维护费用日趋降低.膜技术在水处理中,特别是污水回用深度处理中应用愈来愈广.传统的膜处理仅适用于物化处理工艺,近来膜生物反应器的出现,将膜分离和生物处理有效结合,对于原水为生活污水的处理系统同样适用,处理效率高、出水水质稳定、设备布置紧凑、占地面积小,易于系列化设计生产,具有较好的应用前景.

中水工程目前多为就近收集污水,处理后就近回用,规模相对较小,分布较为分散,受场地条件和缺乏专业操作人员的制约,一般要求占地面积小,尽量设于地下,技术集成化程度高,易于自动化运转,因而处理工艺趋于智能型一体化设置,可交由专业化公司维护管理.

## 5 中水回用技术经济分析

中水回用的经济性是决定其能否广泛应用的关键因素之一<sup>[1]</sup>.中水处理工程投资包括土建投资和设备投资两部分.居住小区和公用建筑的中水回用设施一般都建于地下,并考虑与周围环境协调,基建投资相对较高.采用进口设备投资相对较高,据北京市中水回用统计资料显示,进口设备费用高于国产设备3.3~7.6倍,因此应优先选用国产的可靠设备.中水回用投资相对而言,比处理后直接排放投资高,工艺选用应结合原水水质和回用要求采取简便、灵活、可靠的工艺,对以优质杂排水为原水的系统采

用物化处理,污水处理及回用设施投资可控制在1000元/ $\text{m}^3$ .对于以生活污水为原水的中水回用系统,采取物化与生化处理相结合的处理工艺,处理及回用设施投资控制在1500元/ $\text{m}^3$ .

中水处理设施的运行费用包括动力、药剂消耗、人员工资、设备维修及折旧、水质化验等.中水回用具有规模效应,处理设施规模越大,处理能力利用越充分,则运行费用越低,中水运行越经济<sup>[5]</sup>.对于处理能力在100~500 $\text{m}^3/\text{d}$ 的中水处理设施,运行费用可控制在1.0元/ $\text{m}^3$ 以下;对于处理能力在500 $\text{m}^3/\text{d}$ 以上的中水处理设施,运行费用可控制在0.8元/ $\text{m}^3$ 以下.

以南京市某小区为例,总建筑面积200000 $\text{m}^2$ ,容积率为2,共计约2000户,按每户3.5人计,共有7000居民,用水定额200L/(人·d),排水系数0.75,则每天产生污水1050 $\text{m}^3$ .小区绿化、道路冲洗、水景补水、公厕冲洗等每天用水量为300 $\text{m}^3/\text{d}$ ,建设中水回用设施按300 $\text{m}^3/\text{d}$ 设计,每吨水投资按1500元/ $\text{m}^3$ 计,则建设总投资为45万元,按单位建筑面积均摊仅需增加2.25元/ $\text{m}^2$ ,运行费用300元/d.如果使用自来水,水费按2.3元/t计,需要690元/d,使用中水每天可节省390元,每年可节省14万元,静态投资回收期仅3.2年.另外,随着人们对居住环境要求的提高,新建居住小区往往需要建设人工湖泊、瀑布、小溪、喷泉、水景广场等.2002年北京、上海、广州等城市分别有15%,31%,22%的新开发楼盘建设有水景,经调查水景房价平均要比无水景房价高10%~40%,其中北京市有水景住宅比周边房价高500~1000元/ $\text{m}^2$ ,上海市则高1000元/ $\text{m}^2$ 以上.水景用水需要定期循环和补充,开发商在重视水景建设的同时应切实考虑水景水源,在周边没有充足的河湖水源的情况下,中水回用无疑是最为经济可靠的选择.把中水利用和水景建设结合起来,实现污水资源化,在减少污染、优化居住区生态环境的同时,相应符合了国家对生态小区建设的要求,提高了住宅品质,对开发商和居民是一种双赢的选择.

## 6 中水回用技术在我国的应用前景

我国淡水资源贫乏,污水资源化是解决水资源紧缺问题的必要途径.中水回用无论从技术上还是经济上分析均为可行.随着设备国产化程度的提高和技术优化,中水回用向产业化和市场化方向的发展,中水投资和运行费用必呈下降趋势.在自来水和污水处理价格不断提高的情况下,中水的价格优势日益显现,中水回用是节水技术发展的必然趋势.首先可以在新建的大型公共建筑、集中住宅区实施,对

已建的公共建筑、集中住宅区可通过逐步改造来实现中水回用,有条件的地区可以结合城市污水处理厂的建设,将污水厂二级出水处理回用,实现区域性的中水回用。中水回用减少了污水排放量,符合减量化原则和水资源循环使用原则,符合可持续发展思想<sup>[6]</sup>,必将在我国拥有广阔的发展前景。

参考文献：

[1] 吴松平, 古国榜, 胡有勇. 中水回用 [J]. 水处理技术, 2002, 28(6) : 370-372.

[2] 姜建军. 节约水资源与中水回用系统 [J]. 云南环境科学, 2001, 20(4) : 15-16.  
[3] 汪良珠. 大型公共建筑中水回用 [J]. 中国资源综合利用, 2002(12) : 14-16.  
[4] 北京市城市节约用水办公室. 中水工程实例及评析 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.  
[5] 张雅君, 冯萃敏, 孟光辉. 北京中水设施运行中存在的问题及解决措施 [J]. 给水排水, 2003, 29(11) : 63-66.  
[6] 赵新华, 李长洪, 肖迪. 高校校园中水回用的研究与规划 [J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(3) : 63-65.  
(收稿日期: 2005-09-18 编辑: 高建群)

(上接第 20 页)

过程曲线, 单元动剪应力反应过程曲线,  $x$  向加速度等值线, 最大动剪应力比等值线, 孔压比等值线, 残余沉降等值线(动)。

- b. 7 度地震烈度时算得洛河配比为 2:3:5、 $D_r = 0.5$  的粉煤灰垫层孔隙水压力甚小, 不会液化。
- c. 洛河配比为 2:3:5、 $D_r = 0.5$  的粉煤灰填筑在坝内其他部位, 7 度地震烈度时也不会发生液化。

6 结 语

- a. 本文在对粉煤灰试验方案优化的基础上, 建立了透水层粉煤灰在不同围压时的统一液化公式。利用最大孔隙水压力对孔隙水压力进行归一化, 提出了透水层粉煤灰振动孔隙水压力公式, 并建立了动力残余应变公式。
- b. 计算结果说明 7 度地震烈度时计算得到的粉煤灰垫层孔隙水压力甚小, 表明灰坝透水垫层采用粉煤灰取代砂子的方案即使在 7 度地震烈度时也是可行的。
- c. 试验及计算表明, 洛河配比 2:3:5、 $D_r = 0.5$  的粉煤灰不仅可作为坝内透水层材料, 在有护坡及有效措施下也可填筑在坝内其他部位。7 度地震烈度时不会发生液化。
- d. 以粉煤灰作为透水层取代砂, 既可大幅度降低工程造价, 变废为宝, 又能扩大挖取粉煤灰灰场的库容量。经分析比较, 可节约工程造价超千万元。
- e. 洛河二期灰坝安全运行 10 多年, 实践证明以粉煤灰作为透水层取代砂的工程实例是值得推广应用的。

参考文献：

[1] SDS01—79, 土工试验规程 [S].  
[2] 黄文熙. 土的工程性质 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1983.

[3] 谢定义. 土动力学 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1988.  
[4] 华东水利学院土力学教研室. 土工原理与计算 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1980.  
[5] 朱百里, 沈珠江. 计算土力学 [M]. 上海: 上海科技出版社, 1990.  
[6] 张德兴. 有限元素法新编教程 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1989.  
[7] 徐志英, 周健. 土坝地震孔隙水压力产生、扩散和消散的三维动力分析 [J]. 地震工程与工程振动, 1985, 5(4) : 57-72.  
[8] 汪闻韶, 秦蔚琴. 电厂粉煤灰的强度和液化特性以及对贮灰场设计的看法 [C] // 全国土工建筑物及地基抗震学术讨论会论文集, 1986 : 156-161.  
[9] 郭佩玖, 胡成. 粉煤灰的动力特性及动力分析 [J]. 岩土工程学报, 1988, 10(5) : 83-85.  
[10] 曾国熙, 顾尧章, 吴建平. 粉煤灰的动剪切模量 [J]. 岩土工程学报, 1985, 7(2) : 1-9.  
[11] SEED H B, IDRISSE I M. Analysis of soil liquefaction Niigate earthquake [C] // J. SMFD, Proc, ASCE, 1967, 93 (SM3) : 83-108.

(收稿日期: 2005-09-18 编辑: 高建群)

