

SHUI DE ZAI LIYONG

周运祥 编译

水的再利用



黄河水利出版社

水的再利用

周运祥 编译

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

水的再利用/周运祥编译. —郑州:黄河水利出版社,
2003.12

ISBN 7 - 80621 - 722 - 3

I. 水… II. 周… III. 废水综合利用—案例—美国
IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 087137 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371 - 6022620

E-mail: yrcp@public. zz. ha. cn

承印单位:黄委会设计院印刷厂

开本:850mm × 1 168mm 1/32

印张:7.125

字数:177 千字

印数:1—1 500

版次:2003 年 12 月第 1 版

印次:2003 年 12 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7 - 80621 - 722 - 3/X·9

定价:15.00 元

编译者的话

所谓水的再利用,就是对排放的污水及其他各种工业废水通过有计划的回收、处理,加以重复利用,而且往往都是直接应用。目前,人们在水的再利用方面的兴趣正在与日俱增,且增势十分迅猛。这主要有两方面的原因:一是人们日常排放的各种污水本身就是一种重要的水资源,尤其是在那些干旱缺水的地区;二是要将污水排放或“弃置”于江河湖泊,费用或代价越来越高,因为出于保护水生生物和一系列其他相关利益的需要,以及为了确保河流下游的用水安全,对污水的排放与处理条件的规定越来越严格。排放的污(废)水必须进行处理,而处理费用异常高,这就使得经过处理后的污水在当地消纳利用更具吸引力。

我国人口众多,人均水资源不足世界人均水资源量的 $1/4$,水资源短缺问题越来越成为国民经济和社会发展的制约因素。因此,如何兴利避害,对水资源的合理使用和保护以及回收水的再利用进行更进一步的研究,让水为社会经济的可持续发展服务,是水利工作者新世纪的重要课题之一。

本人针对我国水资源保护以及水的再利用的现状和特点,经授权对美国自来水厂协会(AWWA)《水的再利用》进行了摘录编译。该译本收录了其中的 19 篇文章,以供国内从事水资源保护及从事其他水利工作的同仁参考和借鉴,如能对实际工作有所帮助,本人将不胜荣幸。

按照美国自来水厂协会的惯例,编译者基于出版要求勘校了文中的文理错误与矛盾之处,部分导言和结论标题按我国惯例作了删减。除此以外,未作任何改动或修饰,译文均忠实于原文。美

国自来水厂协会对译文的准确性不予负责。

长江水利委员会图书馆提供原版书,杨明华、黄鹤鸣、杨曦绯负责全书的统校、审核定稿。在出版过程中,秦兆梅、周丽莲、梁敏、李静希给予了很大帮助。在此一并表示衷心感谢。

由于编译者水平有限,加之时间仓促,错误和疏漏在所难免,敬请读者批评指正。

编译者 周运祥

2003 年 6 月

目 录

1	与非饮用水回收系统有关的规划问题	(1)
2	饮用水再利用——水资源管理规划中的重要组成部分 ...	(8)
3	亚利桑那州古德伊尔市废水处理利用的发展趋势	(13)
4	塔拉哈西市农业水再利用体制	(33)
5	佛罗里达州奥兰治县水再利用的综合方法	(43)
6	加利福尼亚州回收水的间接再利用	(55)
7	丹佛回收水直接用做饮用水的示范工程	(60)
8	由拉芙林水回收设施谈沙漠地区巧用水	(81)
9	得克萨斯州南部平原回收水的有益再利用	(92)
10	废水再利用的公私合作项目	(100)
11	地区/机构间的合作是实现美国最大的废水再利用 计划成功的关键	(110)
12	坦帕水资源回收工程	(117)
13	圣迭戈市再利用水中的盐度控制	(143)
14	沃尔特迪斯尼乐园水的再利用和回收	(157)
15	俄亥俄州埃文代尔通用电气航空发动机厂水的 再循环/再利用系统	(165)
16	对水回收和再利用需研究问题的评估	(178)
17	得克萨斯州达拉斯市利用回收水可能性的评估	(192)
18	塔科马市废水用做非饮用水的可行方案	(200)
19	加州南部水再利用工程成功的筹资计划	(212)

1 与非饮用水回收系统有关的规划问题

(Salvatore D' Angelo)

在美国的一些地区,虽然利用经高度处理过的废水(回收水)来满足非饮用水的需要已经半个多世纪了,但对某些人来说,利用回收水仍然是一个新概念。此外,即使在利用回收水已多年的地区,对个别户主来说,利用回收水浇灌草坪也是一个新概念。

随着提供符合现代标准的饮用水费用的日益增加,对水回收系统的经济可行性的要求更高了。在美国的许多地方,在饮用水用于非饮用用途(如灌溉)已经受到限制的情况下,利用回收水将可能成为一种趋势。

根据其他工程经验所制定的工程规划,通常只能做到基本正确。对于水回收系统来说,尤其如此。这是因为各个工程具有各自独特的条件。饮用水的配水系统一般按通用标准设计,且往往受保险业规定的消防用水最小流量和最低压力的限制;而回收水系统则往往采用具体问题具体分析的做法来进行设计,以满足回收水供应商和回收水用户的特殊需要。

本文将对与非饮用水回收系统有关的一些关键性规划问题加以论述,重点探讨城市社区的回收水系统规划。探讨主题如下:

- 水质与水处理;
- 回收水的供需矛盾;
- 储水;
- 补充供水;
- 配水;
- 备用处理设施;
- 公众教育。

1.1 水质与水处理

1.1.1 水质要求

在废水再使用之前,对其进行适当的处理,是所有废水回收工程极其重要的一个环节。在对回收水进行处理和监测时,必须充分考虑人们对公共卫生的关注,同时还必须满足特殊用户的特殊要求。例如,商业用户或工业用户的要求可能不同于对公共卫生用水的要求。

1.1.2 回收水的水质标准

与饮用水不同,目前回收水的水质还没有国家标准。一些州已经制定了各自的回收水水质标准。这些州标准一般要求在消毒之前要基本上除去水中的悬移质。大肠杆菌总数通常是鉴定回收水中有无病原体的一项指标。

1.1.3 环境保护局(EPA)的导则

美国环境保护局最近以文件的形式发布了如下几份导则:

- 《水的再利用导则》,1992,美国环境保护局
- 《技术转让,EPA/625/R-92/004W》

一般说来,这些导则体现了在美国水的再利用必须达到最低处理水平的共识,回收水的处理水平视其用途而异。

1.1.4 水质规划问题

与水质有关的规划问题可以分为两个组成部分:技术要求和公众观念。这两个方面同等重要。在进行水回收工程规划时,必须对两个方面加以充分考虑。

与水质和水处理有关的技术问题,一般包括如下项目:

- 州或地方标准的最低要求;
- 水质监测;
- 防止水处理后的水质下降;
- 可靠性/备用部件;

·未达标的处理水的分流与再处理。

水回收系统的规划人员,除应熟悉对此类工程有管辖权的州和地方标准外,还应熟悉 EPA 导则和预测未来可能提出的其他一些要求。通常为未来设施作准备而增加的费用,同工程完工以后再增加一个项目所需的费用相比是很少的。

1.1.1.5 公众教育/试点一示范研究

当居民拟使用回收水时,公众教育极其重要。用户主要关注的问题是水质,他们想知道使用回收水是否安全。虽然在技术上可以信赖水质研究成果,但对要处理的特定废水进行试点或示范试验,仍是大有益处的。

介绍试点或示范工程的成功结果,是博取公众信任的极好方法。清澈无异味的回收水水样,在纠正“把污水喷在人们的地产上”的误传信息方面是大有帮助的。此外,试点或示范试验还可为回收水系统的最终设计提供有用的数据。

1.1.1.6 与地方媒体协调

同地方媒体协调进行宣传,是获得公众认可的有效办法。在工程初期,应花些时间向记者们详细介绍情况。在真实信息得以传播后,所规划的工程就可以在公众的支持下付诸实施了。

1.2 回收水的供需矛盾

1.2.1 供需均衡问题

水回收设施的水量随日、周、季而变。就需求而言,如果回收水的主要用途为灌溉,则需水量呈季节性变化:干旱季节需水达到高峰;而在多雨季节,需水量则显著减少。如果存在商业或工业用户,其需水量可能与其生产计划有关,在很大程度上可能呈季节性变化。

1.2.2 缓和需水高峰的步骤

在对水的再利用系统进行规划设计时,必须考虑供、需两方面

的情况。此外,在用户协议中可作出一些限制性规定来缓和需水高峰。需水量大的用户可能愿意修建自己的储水设施,大量用水时,不从水的再利用系统取水,如高尔夫球场就是如此。这些用户通常将回收水不断地泵入储水池,需要时直接从储水池取用。

1.3 储水

1.3.1 日储水和季储水

在24h内,水的供需不均衡程度可能相当大。例如,在早晨的几个小时,流入废水处理厂的流量一般都比较小。如果回收水系统是为装有自动喷水器的居民服务,一般在这个时段喷水器是打开的。在这种情况下,如果废水流量最小,就会出现峰值需水量。为使供需平衡,需要每日进行储水工作。

季节性变化也可以通过储水加以解决。不过,如果需要90d甚至更长时间的用水量,对于储水设施规划来说,可能是不现实的。只有在土地不存在限制的地方,季节性储水才较为现实。

1.3.2 水池与水箱

明池既可作为日储水设备,也可作为季节性储水设备。明池的缺点是易造成水质降级。经过处理的废水通常富含营养物,藻类和水生杂草易于生长。经处理的废水储存在明池里,可能使悬浮质增多。虽然从卫生观点来看,这不是什么大问题,但对某些用户可能产生操作上的问题,例如使用微喷射器灌溉设备的用户可能遇到喷射器被阻塞的问题。此外,如果藻类或水生杂草使水的颜色变得很深或气味变得很浓,从美学上说,会使人不愉快。加盖的水箱用做日储水设备,可以避免出现这种问题。

1.4 补充供水

另一种方法是采用补充供水的方式来满足高峰时的用水需求。在回收水的主要用途为居民灌溉时,水的再利用系统中,回收

水的持续高峰需水量为年平均需水量的 2~3 倍。通常的做法是只修建较小的回收水配水系统,使峰值供水量只超过具有日储水设备的回收水设施的供水容量。然而,这样做不能充分利用回收水,依然允许未纳入回收水系统的用户使用饮用水进行灌溉。

作为一种替代办法,一些公用事业公司修建较大的回收水配水系统,使用可饮用水或暴雨雨水来满足季节性高峰需水量。按年计算,达到了充分利用回收水替代饮用水用于非饮用用途的目的。这种做法解决了与季节性储水有关的一些问题,而且可以使更多的用户用上回收水。

1.5 配水

与回收水配水有关的一个问题是交叉接头的管理。其目的是教育公众正确地使用回收水,并在回收水设施上设计合理的防护装置,可以减少装设交叉接头。交叉接头管理,通常通过管路分开、颜色编码、标记带、装设合适的回流装置来实现。

回收水管路使用紫色似乎已成为流行的做法。采用回流装置时,都是将其安装在与回收水管道相通的饮用水设备上。应当指出的是,这种装置不能保护用户不受其个人设备上的交叉接头的影响。回流装置只是用来防止个人设备上的交叉接头造成对公用水系统的污染。

配水系统规划必须解决下列问题:

- 保证用户的水压力多大?
- 用户需要将回收水再加压才能使用其喷水设备吗?
- 软管龙头可以使用吗?
- 这种系统会被用于冲洗厕所吗?
- 将采取什么步骤来教育用户正确地使用回收水?
- 将采取什么防护措施来保证在回收水设施转让以后,新的业主(户主)懂得正确使用回收水?

·不管用户是否与回收水系统接通,所有用户的可利用回收水费用都进行估计吗?

·回收水用计量仪表计量吗?

·向用户收费是采用统一收费率还是按用水量计收费率?

1.6 备用处理设施

当回收水供过于求时,将多余的水引走是保证回收水系统可靠性的重要一环,对于没有季节性储水设备的回收水系统更应如此。

在回收水需要量小的时期,而且储水容量又得以充分利用以后,废水处理系统必须具备处理多余回收水的可靠设施,例如地面弃水、渗透池或专用喷灌场地。

在规划备用处理设施所需的容量时,应考虑备用水的排放时间以减少费用。例如,地面弃水营养负荷应按年估计。如果排放时段比较短,在技术上就不需要除去营养物质的高级废水处理设备。

当然,需要同管理机构密切协调,否则可能会要求公用事业公司修建一年之中只有小部分时间使用的高级废水处理设施。在这种情况下,经济方面的考虑可能会驱使公用事业公司采用“备用处理设施”方案作为多余回收水的主要处理办法。这就背离了在可能利用回收水的地方最大限度地利用回收水的宗旨。

如果喷灌系统只是短期使用,设计方案也可能有所不同。与每天灌溉相反,若是不经常灌溉,场地容量可能显著较大。因而,在规划回收水系统时,应考虑短期使用的影响。

1.7 公众教育

对于任何包括居民在内的水的再利用项目,应该实施公众教育计划,并持续地进行这种教育。许多运行回收水系统的公用事

业公司雇用了向公众提供信息和反映有关回收水利用问题的专职人员。

如果在回收水利用不普遍的地区实施这种工程,需要采取更加广泛的促进方法博得用户的支持。应该准备各种各样的宣传材料,包括小册子、电视片、说明实际情况的印刷品等。通常,在一些出版物上刊登专用工程建筑物的具体情况的信息是有益的。

公众教育在任何水的再利用工程的初步规划中均应予以考虑。

2 饮用水再利用——水资源管理 规划中的重要组成部分

(Gary M. Bostrom, Brock McEwen)

2.1 概况

科罗拉多州斯普林斯市的城市用水需求,目前由当地各种水源来满足。这些水源发源于派克斯峰附近,以及从科罗拉多河流域和南普拉特河流域引来的穿山引水水源。这些水源已被该市利用了 100 多年,能可靠地满足城市供水系统的需要。本文论述了怎样利用已经开发的水资源回收水,用以满足该市直到 2042 年及之后的用水需求。

最新的人口增长预测和未来的需水量估计表明,到 2012 年,目前采用当地水源和穿山引水的供水系统将不能满足该市预测的用水需求。到 2042 年,该市需要增加供水容量,并增加饮用水配水系统的水源,以满足相当于约 15.7 万人口的用水需求。为此,必须兴建新的设施或采取相应策略予以解决。

通过回收从拉斯维加斯废水处理厂排到方廷溪的水以及其他经处理的废水,并采取适当的处理措施以供该市进一步加以利用。本文对此进行了可行性评估。

根据最新的估计,到 2042 年,该市水需求将再增加 10 万 m^3/d ,有足够多的水可供回收,供未来 50 年利用。如果扩大兴建回收水工程,还有可能满足下一个 50 年以后的用水需求。

将水回收方案同平行于现有方廷瓦利管道修建的新输水系统作比较。修建这些管道的目的是把上阿肯色河和附近的普韦布洛水库增加的水量分别输到该市,进行处理和分配。虽然在法律上

可获得一些遥远水源的水权,但现在尚未进行输水系统规划。水回收方案是正在研究的、可满足一直到 2012 年长期水需求增长的惟一的方案,而无需修建从阿肯色河输水的输水系统。

2.2 水回收工程的目标

此处所论述的水回收工程,已根据各种制度、体制和技术标准的要求确定了一个初步方案。水回收得到公众的认可关键,也是确定本报告提出的各个方案的处理工序的一个因素。为了确定水回收方案的经济可行性,基建、运行以及维护的现值成本将同其他方案进行比较。

同市府人员合作,CH2M HILL(公司)制定了能达到本研究目标的 9 个水回收方案。然后,根据已定标准,对 9 个方案分别进行了评估,并对其进行了排序。

市府人员和 CH2M HILL 采用 7 个筛选标准来确定 9 个水回收工程配置的相对顺序。所采用的筛选标准是:

- 水量损失(配置效率的指标);
- 输水;
- 水库与娱乐机会;
- 各组成部分分期实施的可能性;
- 运行的灵活性;
- 公众认可;
- 相对成本。

对 9 种配置进行定性和半定量评价,得出被确定的各组成部分的优先选用的配置。然后,优化优先选用的配置,以得到成本最少的回收水方案的配置,供市府人员参照其他方案加以确定。

2.3 研究结果

两个在供水数量和质量上最符合规划准则和成本少、效益高

的配水系统被确定为可供选用的水回收方案。这两个方案分别称为 E-1 方案和 E-2 方案,以便同市府考虑的其他供水方案区分开来。

2.3.1 E-1 方案

该方案是把饮用水直接从水回收厂输入终端储水池和配水系统,按全年和基本负荷运行,最终提供的水量为 10.6 万 m^3/d (28Mgal/d^①)。为了满足夏季的用水需求,最高流量可达 25.5 万 m^3/d 。图 2-1 为拟在 2042 年投入运行的工程各单元示意图。

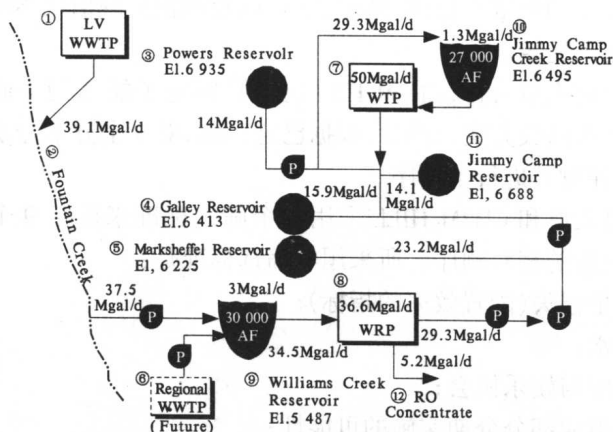


图 2-1 科罗拉多州斯普林斯市水回收评估 E-1 方案系统示意图

①—拉斯维加斯废水处理厂;②—方廷溪;③—鲍尔斯水库;④—加利水库;⑤—马克雪菲尔水库;⑥—地区废水处理厂(未来);⑦—50Mgal/d 水处理厂;⑧—36.6Mgal/d 水回收厂;⑨—威廉姆斯支流水库;⑩—吉米坎普溪水库;⑪—吉米坎普水库;⑫—反渗透,浓缩

E-1 方案的水源是从拉斯维加斯废水处理厂排入方廷溪的经处理的污水。采用一座取水坝和一个泵站(位于拉斯维加斯废水处理厂以南约 26km 处)来取水,并把水泵送到威廉姆斯支流水

① $1\text{Mgal/d} \approx 3\,800\text{m}^3/\text{d}$ 。

库(库容 3 700 万 m^3),拦蓄从方廷溪引来的水流,然后按照需求以均匀的流量把水供给水库附近的水回收厂。

水回收厂水处理包括下列工序:

- 澄清;
- 臭氧初级消毒;
- 生物学活性炭过滤;
- 微过滤和反渗透处理。

这些工序提供多重污染物拦截,以生产可靠的安全卫生用水。该水回收厂将分组件建造,扩大以后,到 2042 年可供均匀流量 10.6 万 m^3/d 的再利用水。

E-1 方案将于 2012 年开始供水,分期扩大直至 2042 年。2042 年以后,则可按扩大的容量供水,初步设计工作于 1996 年前开始。表 2-1 为 E-1 方案费用一览表。

表 2-1 E-1 方案费用一览表(1993 年价格)

费用名称	费用额(美元)
总基建费用	3.734 亿
总运行与维护费用	2.884 亿
总工程费用(50 年使用期)	6.619 亿
现值	2.372 亿
单位(AF) ^① 现值	2 066

2.3.2 E-2 方案

该方案与 E-1 方案不同之处是水回收厂位于威廉姆斯支流水库的上游。水库的水被抽到吉米坎普水库或北面的自来水厂。输送到饮用水配水系统的所有水都由自来水厂进行处理。图 2-

① AF 为灌溉用水的水量单位,相当于覆盖 1 英亩面积的土地至 1 英尺水深的水量,即 $1\text{AF} = 1\,233.5\text{m}^3$ 。