第 29 卷 第 1 期　　太 原 理 工 大 学 学 报　　Vol 29 No. 1
1998 年 1 月　　JOURNAL OF TAIYUAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY　　Jan. 1998

城市污水回用的思考

马志毅①　　米晓军
(环境工程系)　　(市政工程局)

摘要　对污水回用的时代背景、回用对象、措施及经济性，作了简要的分析论述。特别阐明进行污水回用应该首先制定全市污水回用规划，分区集中回供，分质供水；对于用水量不大且较分散的用户，可考虑用水罐车代替回供水管系；对于建筑中水，只能在有条件的地方适当发展，如用于远离城市的边远、孤立区域及未纳入总体集中回用规划的新建住宅小区等，而不应不分条件地普遍推行。

关键词　城市污水；污水回用；污水再用；节水；中水；建筑中水
中图分类号　X703；X37

安全的淡水是维持地球上生命的基本要素[1]，然而地球上的水，97.3% 是海水，淡水不过 2.7%；而且淡水中，冰河、冰帽等难以利用的占了大部分，而寻常意义上可以利用的水资源只占地球上总水量不到 0.6%，而且分布不均。加上经济和人口的增长以及水源的污染，近年世界上许多国家发生了水荒。我国人均水资源占有量仅 2 400 m^3，只有世界人均占有量的 1/4[4]，已被列入世界 12 个贫水国家的名单中。全国已有近 80% 的城市缺水，北方尤为严重，全国每年缺水总量达 1 200 亿 m^3，每年因此而影响工农业产值 2 000 亿元以上[2]，严重影响了人民生活，限制了工农业生产和城市的发展。

在这种形势下，人们不得不在寻求有限的天然水资源（地下水、地面水）之外，通过图 1 所示多种途径开发新的水资源，以补充缺水。每种途径都有一定条件限制，相比之下，污水回用可以成为一种稳定的再生水源应用于许多方面，比较现实易行，既可节约用水，也可减除污染，具有普遍意义。其中隐蔽回用也叫间接回用，在大区域规划中是可以考虑采用的。本文主要讲的是城市污水的直接回用，包括其回用对象和回用方式。

不论以任何方式用于任何对象，污水直接回用必须满足三个基本要求：(1) 水质合格；(2) 水量足够；(3) 经济合算。

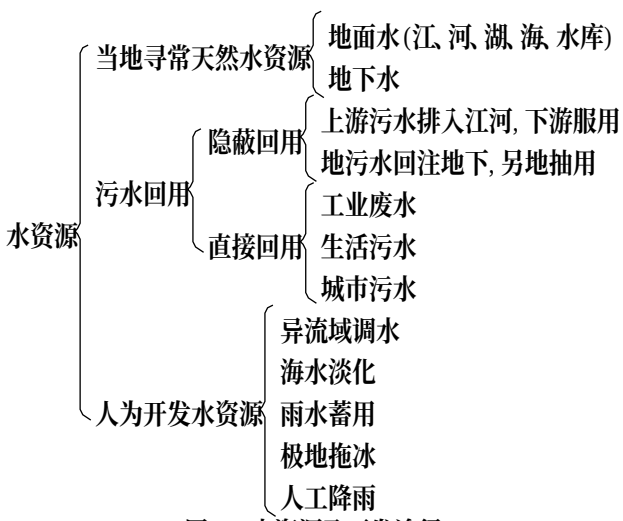

图 1　水资源及开发途径

1　城市污水回用对象

这里所说的回用对象，也可以说是回用的方向、用途、用户。所讲的回用，也包括不是以本系统为对象而是以外系统为对象的再用。

1.1　污水用于农业灌溉

污水回用往往将农业灌溉推为首选对象，理由主要有两点：

(1) 农业灌溉需要的水量很大，污水回用于农业有广阔的天地。全球淡水总量中大约有 70%～

① 男，1933 年生，教授，太原理工大学，030024
文稿收到日期：1997-10-20

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

80% 用于农业，不到 20% 用于工业，6% 用于生活[1]。

(2) 污水灌溉对农业和污水处理都有好处。仅就对农业而言，能够很方便地将水与肥同时供应到农田。除水价外，每 1 m^3 污水中所含的氮、磷、钾等肥分就值 1.4 美分。

但是，当前污水回用于农业，有三个问题需要用心解决:

(1) 水质

应以利用生活污水为主，而且根据土地与作物要求，先对污水进行必要处理，防止危害环境以及长期灌溉后，土壤板结，作物中残毒积累等。

(2) 终年利用

对非灌溉季节的污水出路要事先妥善安排。

(3) 管理

污水灌溉包含许多科学技术，应因地制宜，不断总结经验。此外，目前城市污水的收集、处理与排放，属市政当局投资管理，而污灌后受益归农民。如何处理好供需双方的责、权、利也是一大关键。

1.2 污水再用于工业

每个城市，从用水量和排水量看，工业都是大户。美国工业用水量约为生活用水的 7 倍。我国太原市历年工业用水量占到全市总用水量的 74%～81%，工业排水量占全市总排水量的 60%～73%. 面对清水日缺、水价渐涨的现实，工业除了尽力将本厂废水循环利用、循序再用，以提高水的重复利用率之外，对城市污水再用于工业，也日渐重视。工业用水根据用途的不同，对水质的要求差异很大。水质要求越高，水处理的费用也越大。理想的回用对象应该是用水量较大且对处理要求不高的。符合这种条件的对象包括:

(1) 间接冷却用水

其对水质的要求，如碱度、硬度、氯化物以及锰含量等，城市污水的二级处理出水均能满足；其对水量的要求很大，考虑循环使用之外，补充用水量就占工业总取水量的 30% 以上，所以应作为再用于工业的首选对象。

(2) 工艺低质用水

工艺用水包括洗涤、冲灰、除尘、直冷、产品用水等，其用水量占到工业总用水量的 37%～50%(太原)。其中许多用途如冲灰、除尘等要求水质较低，完全可以用回用水代替。

1.3 污水再用于城市生活

城市生活用水量比工业用水量小得多，太原历年城市生活用水只占城市总用水量的 19%～26%，其中有 1/3 以上用于公共建筑、绿化和浇洒，其余为居民生活用水。

世界上将城市污水经处理后直接用作生活饮用水源是有先例的。如南非的温得霍克市和美国堪萨斯洲的查纽特等，而且由于处理得当，都未发生卫生问题[3]。但是大多数地区对此仍持保守态度，如美国环保局认为，除非别无水源可用，尽可能不以再生污水作为饮用水源。

可见，现今再生污水可再用于城市生活的对象只限于以下两方面:

(1) 市政用水。即浇洒、绿化、景观、消防、补充河湖等用水。

(2) 杂用水。即冲洗汽车、建筑施工以及公共建筑和居民住宅的冲洗厕所用水等。

这类用水，从水质上讲，要求不高，容易满足；而从水量上讲，只占全市总用水量的 7%～10%，与灌溉用水和工业用水相比，水量少得多。

2 城市污水回用措施

2.1 制订全市污水回用规划

制订好全市污水回用规划是搞好污水回用的首要任务[4,5]。诸如城市中哪些区域的污水回用于哪些对象，回用水在哪个地方处理，处理到什么程度，回用水如何收集、如何供往用户，如何运行管系，甚至本市直接回用之外如何供给下游间接回用等等，都应做出详尽的系统规划，以指导具体回用工作的开展。

2.2 分区集中回供

根据城市排水管系、污水水质及回用对象的分布，确定回用水处理厂的位置；根据用户对水质的要求，回用水处理厂可以提供不同水质的出水，分质供水。但水质种类不宜超过 3 种，以免增加处理和供水的复杂性。用户若要求更高水质，可自作补充处理；根据用户位置分散程度及回用水量的大小，铺设回用水供水管系。对于浇洒、绿化等用水量不大且较分散的用户，可考虑用水罐车运水供应。

2.3 适当发展建筑中水

建筑中水最初是从日本发展起来的，至 1985 年已建 60 处[6]。除日本外，利用建筑中水见诸报道的有：印度孟买有 7 座商业大楼利用中水补充冷却用水，水量为 150～250 m^3/d；美国大峡谷 (the Grand Canyon，Ar.) 用中水冲厕。

我国从 70 年代以来建筑中水发展很快。截至

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1996 年, 仅北京市就建起了 85 处建筑中水设施[7], 用来冲厕、洗车、绿化等都安全可靠, 既减少了排水量, 又节约了自来水, 受到了社会重视。但建筑中水设施建成后能持久应用的为数不多, 就连北京市, 运转好的也只占 30%, 深圳市更决定不再发展。其原因, 主要可以归结为以下几方面:

(1) 一般回用水量小不能满足需要。中水水源不外乎三类: ①包括粪便水在内的生活污水; ②不包括粪便水的杂排水; ③单独的洗浴污水。其中利用第③种的占 80%, 这样可利用的水量就小, 为满足需要, 还需补充自来水, 结果设施复杂, 使用不便。若增大规模, 势必接收第①类水源, 其结果是处理费用增大, 多余的中水白白排放, 造成浪费。若从全市规划角度考虑, 即使全市建筑中水都建成, 其水量也只占全市总用水量的 3%～4% (太原), 比重太小, 不能满足大量回用污水的要求。

(2) 往往运行不正常, 水质水量不稳定, 用户难以放心依赖。有的设备工艺不过关, 达不到预想效果; 运行管理水平普遍不高, 出现问题不能解决, 因此, 水质水量没有保证, 常常停产。至于电阀失灵、计量泵不准、次氯酸钠发生器故障更屡见不鲜。设计时的自动化过不了多久, 普遍变成了手工操作。用户往往建设了中水后, 仍要保留原自来水系统才能放心。当然其中也有社会心理因素在内。

(3) 经济上并不合算。以北京为例[7], 建筑中水成本为 1.4～1.5 元/m^3, 比涉外宾馆的自来水费 (1 元/m^3) 加排污费 (0.12 元/m^3) 总和还要高。建筑中水工程的投资和成本与水量关系如表 1 所示。由表 1 可知, 规模越小, 费用越高。按北京市统计[7], 只有水量≥750 m^3/d 才经济可行。然而现有建筑中水的规模大多小于该值; 此外, 建设建筑中水系统还要涉及室内甚至整个城市上下水系统等的改造, 这也是用户和市政一项额外负担。

可见, 对于建筑中水, 只能在有条件的地方, 适当发展, 例如:

(1) 远离城市的边远、孤立区域, 如别墅、军营、渡假村、疗养院等给水困难、排水不便的地方, 最适宜考虑建设建筑中水;

表 1　建筑中水投资及成本估算表

处理水量 /10^3 m^3/d	投资/(10^3 元/m^3·d^{-1})			年运行费用/元			回用水成本/元·m^{-3}		
	高	中	低	高	中	低	高	中	低
0.1	9.07	6.542	5.10	7.80	7.68	6.90	2.14	2.10	1.89
0.2	7.42	5.58	4.44	11.68	11.16	10.23	1.60	1.53	1.40
0.3	6.60	5.08	4.09	14.70	14.19	12.62	1.34	1.30	1.15
0.5	5.69	4.52	3.69	22.42	19.94	17.78	1.23	1.09	0.97
1	4.65	3.85	3.22	43.74	35.30	29.74	1.20	0.97	0.81
2	3.81	3.28	2.80	67.52	59.10	53.99	0.93	0.81	0.74
3	3.38	2.99	2.68	94.50	82.38	75.88	0.87	0.75	0.69
5	2.92	2.66	2.33	134.20	124.14	115.44	0.74	0.68	0.63
10	2.39	2.27	2.03	222.92	220.97	208.35	0.61	0.60	0.57
20	1.95	1.93	1.77	388.93	386.51	375.60	0.533	0.53	0.51
50	1.50	1.57	1.47	829.40	893.19	867.88	0.494	0.49	0.48

注: 该表中之污水处理系按一般流程考虑, 即污水→格栅→调节池→生物处理→沉淀→过滤→消毒→贮存池→回用。投资额即按该流程建立起的中水处理费用函数 $C = aQ^{-n}$ 计算[8], 并按高、中、低三档, a 分别取 34 500, 18 868.33, 12 805.12; n 为 0.29, 0.23, 0.20 .

(2) 城市中, 未纳入总体回用规划的新建住宅小区, 可以考虑建设区域性中水;

(3) 城市中, 未纳入总体回用规划且比较集中的宾馆、饭店、办公楼等, 可以考虑联合建设建筑中水, 共同投资, 共同受益。

明显不宜建设建筑中水的情况有:

(1) 离城市污水处理厂很近的地区;

(2) 已纳入或有可能纳入城市统一污水回用规划的区域;

(3) 规模较小, 经济上不合算的地方;

(4) 不缺水的地方。

3　城市污水回用的经济性

当对城市污水采取分区集中回供时, 与开发其它水资源相比, 在经济上是有优势的。

(1) 它比远距离引水便宜, 将城市污水处理到

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

可以回用作杂用水的程度，其基建投资只相当于从 30 km 外引水；若处理到可回用作较高要求的工艺用水，其投资相当于从 40～60 km 外引水[5]。

(2) 它比海水淡化经济。城市污水中所含的杂质少于 0.1%，而且可用深度处理方法加以去除；而海水则含有 3.5% 的溶解盐和大量有机物，其杂质含量为污水二级处理出水的 35 倍以上。

(3) 污水回用既节约了水资源也消除了环境污染，其经济效益也是双重的。据估计[3]，若将美国全部城市污水都加以回用，其代价不过合全美国每人每月 1 美元。

参 考 文 献

1 中国环境报社．迈向 21 世纪．北京：中国环境科学出版社，1992. 185
2 杨肇蕃．城市和工业节约用水计划指标体系．北京：中国建筑工业出版社，1993. 40～50
3 Culp L Russel, Wesner Mack George, Culp L Gorden. 城市污水高级处理手册．北京：中国建筑工业出版社，1986. 9～10
4 马志毅，张元月，徐明德．太原市城市污水资源化规划总结．给水排水，1997，23 (2)：18～20
5 唐志伟．北京污水资源化与回用问题．中国给水排水，1995，11 (5)：20～22
6 高明远．建筑中水工程．北京：中国建筑工业出版社，1992. 3～13
7 王 玫．北京市中水现状的研究．北京：北京市政设计院，1996. 1～7
8 郭功全主编．给水排水工程概预算与经济评价手册．北京：中国建筑工业出版社，1993. 236～249

Ponderation on Municipal Wastewater Reuse

Ma Zhiyi

(*Dept. of Environmental & Muni. Engg.*)

Abstract In this paper, the epoch background of wastewater reuse and the reuse objects and patterns are mentioned comprehensively, especially the building-wastewater reuse is thoroughly discussed. It stresses that for a city, a programming of municipal wastewater reuse should be made at first, the renovation and reuse should be carried out by a centralized way within each region according to the plan and the supplied water may be divided into different qualities. As to the building intermediate water system, it should be built in suitable places rather than wherever.

Key words municipal wastewater; wastewater reuse; wastewater recycle; water saving; intermediate water; building intermediate water

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net