

北京市城市污水处理与再生回用

杭世珺¹ 方先金² 冯运玲²

摘要: 水资源短缺和水污染加重已经成为北京市乃至世界范围内的经济可持续发展的重要制约因素之一。城市污水的再生与回用已成为解决水资源短缺的一条重要途径之一。本文详细介绍了北京市目前水资源的实际情况和今后应采取的措施。概括起来主要阐述了以下几方面内容:

(1) 详细分析和论述了北京市目前的水资源、污水产量以及污水处理情况。

(2) 论证了北京市城市污水再生回用的必要性以及在经济上的可行性, 并以高碑店污水处理厂的二级和深度处理出水为例, 详细分析了城市污水回用在技术上的可行性。

(3) 本文介绍了目前北京市城市污水再生回用情况, 详细介绍了北京市今年刚建成的目前中国最大的中水回用工程, 即高碑店污水处理厂处理水资源化再利用工程。该工程的建成大大缓解了北京市的水资源短缺现状。

(4) 根据国内外经验并结合北京市的实际情况, 提出了北京市城市污水再生回用方案, 为今后北京市城市污水再生与回用工程的建设 and 实施提供了重要参考和指导。

The Treatment, Reclamation and Reuse of Municipal Wastewater in Beijing

Shijun Hang¹ Xianjin Fang² Yunling Feng²

Abstract: The grievous water shortage and aggravating water pollution has become one of the vital factors to restrict the national economy sustainable development of Beijing as well as the world. The reclamation and reuse of municipal wastewater has become one of the important ways to solve the water shortage and alleviate the water pollution. A detailed introduction is given on the status quo of the water resources in Beijing and measures that should be taken in future are brought forward. To sum up, four matters are expounded in this paper.

(1) The status quo of the water resources, wastewater amount and wastewater treatment of Beijing are analyzed and summarized.

(2) The necessity of reclamation and reuse of the municipal wastewater as well as the feasibility on economy are discussed. Taking the example of the secondary and tertiary effluents of Gaobeidian Sewage Treatment Plant (GSTP), the technical feasibility of reclaiming and reusing the municipal wastewater is analyzed.

(3) The status of municipal wastewater reclamation and reuse of Beijing at present is described. Emphases is put on the introduction of the newly completed municipal wastewater reuse project this year which is so far the biggest municipal wastewater reuse project in China, i.e. the Reuse Project of the Secondary Effluent of GSTP.

(4) Based on the experiences in the world and combined with the conditions of Beijing, the municipal

1 北京市市政工程设计研究总院副总工程师 教授级高工
Beijing General Municipal Engineering Design and Research Institute
2 北京市市政工程设计研究总院 高级工程师
Beijing General Municipal Engineering Design and Research Institute

wastewater reclamation and reuse schemes of Beijing are put forward. They will provide significant references guidance for the planning and implementing the reclamation and reuse projects in Beijing in the future.

1. 引言

北京属半干旱季风地区, 降雨量年度变化大, 时空分布极不均匀, 人均年水资源量仅 300m³ 左右, 为全国人均值的 1/8, 世界人均值的 1/30, 是一个严重缺水的城市。根据最近的研究报告, 目前北京市水资源开发利用已达到可供水资源量的自然极限。水资源严重短缺和水污染加重已成为制约北京市社会发展的重要因素之一, 不但造成了巨大的经济损失和严重生态破坏, 而且对人民群众的基本生存条件构成严重威胁。

为了实现北京市国民经济可持续发展和保持生态环境的发展目标, 缓解面临 21 世纪城市发展与水资源利用的矛盾, 实现水的可持续利用和保护, 除最大程度节水和提倡“清洁生产”外, 应尽早实现城市污水资源化。将城市污水处理厂的处理水作为城市第二水源, 使水资源进入良性水质水量再生循环, 已成为当前十分紧迫的任务。

2. 北京市城市污水处理现状

根据 2000 年统计资料, 北京市市区污水总排放量为 264 万 m³/d。目前, 北京市市区投入运行的城市污水处理厂有 4 座, 分别为高碑店污水处理厂、方庄污水处理厂、北小河污水处理厂和酒仙桥污水处理厂, 处理厂的规模和运行情况见表 1。

北京市已建污水处理厂运行水质一览表 (2001.1~9)

表 1

处理厂	处理厂规模 (万 m ³ /d)	处理级别	BOD ₅ (mg/L)		COD _{Cr} (mg/L)		SS(mg/L)		NH ₃ -N(mg/L)		TP(mg/L)	
			进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
高碑店	100	二级	103.8	9.05	213.2	34.16	183.6	14.56	22.93	15	5.92	4.29
方庄	4	二级	331.5	12.38	642.1	43.34	304.4	17.51	53.93	29.03	9.70	5.34
北小河	4	二级	260.4	12.34	513.8	44.15	296.8	18.18	36.7	23.4	8.46	5.83
酒仙桥	20	二级	217.4	9.5	416.9	33.6	215.5	16.2	42.6	1.8	8.0	2.8

2.1 高碑店污水处理厂

北京高碑店污水处理厂位于北京市广渠门以东 8km 的高碑店村, 设计规模为 100 万 m³/d, 占地 1020 亩。分两期建设, 一期工程 50 万 m³/d, 于 1993 年 10 月竣工投产, 二期工程 50 万 m³/d, 于 1999 年 10 月竣工投产。

该处理厂采用前置缺氧活性污泥法工艺处理, 即在推流式曝气池前端设置缺氧段, 其主要目的是改善活性污泥性能, 防止污泥膨胀。二期工程将 25 万 m³/d 规模曝气池改为缺氧/好氧工艺, 提高出水水质并回用于华能热电厂等用户。污泥采用两级厌氧中温消化、机械脱水工艺处理, 产生的沼气用于发电。一期工程已连续运行近 8 年, 二期工程亦连续运行近 2 年, 处理效果均比预计良好。

高碑店污水处理厂的工艺流程为: 原污水→进水闸井→格栅间→进水泵房→出水井→计量槽→曝气沉砂池→初沉池→曝气池→二沉池(剩余污泥回流到初沉池)→接触池→出水。污泥处理流程为: 初沉池污泥→污泥浓缩池→污泥泵房→一级消化池→二级消化池→污泥脱水机房→污泥堆置棚→脱水泥饼外运处置。

2001 年, 由于“高碑店水资源化再利用工程”的实施, 对该厂二级出水水质提出了更高的要求,

为此, 对该厂一期工程进行了改造。将曝气池改造为倒置型 A²/O 工艺, 并将原有浓缩池改造为酸化池, 为水处理提供更多的碳源, 保证生物除磷效果, 剩余污泥进行机械浓缩脱水, 消化池上清液、脱水机滤液和冲洗污水等收集后采用石灰法除磷。改造工程实施后, 出水 BOD₅ ≤ 10mg/L, COD ≤ 40mg/L, TP ≤ 1mg/L, NH₃-N ≤ 10mg/L。除 TP 外, 基本达到或接近 IV 类水体标准。

2.2 北小河污水处理厂

北小河污水处理厂位于北京市北郊, 北小河北岸, 占地 6ha, 流域面积 1639ha, 一期工程处理规模为 4 万 m³/d, 于 1990 年 9 月投入运行。

北小河污水处理厂是北京市第一座二级城市污水处理厂, 其处理工艺流程为: 原污水→格栅间→进水泵房→出水井→计量槽→曝气沉砂池→初沉池→曝气池→二沉池(剩余污泥回流到初沉池)→接触池→出水。污泥处理流程为: 初沉池→污泥浓缩池→污泥泵房→污泥消化池→污泥脱水机房→污泥堆置棚→脱水泥饼外运处置。

2.3 方庄污水处理厂

方庄污水处理厂位于北京南郊左安门外, 占地 4.14ha。该处理厂主要处理来自方庄住宅小区的全部生活污水, 处理厂规模为 4 万 m³/d, 服务人口 8 万人。

该处理厂采用污水全量回用的深度处理工艺, 其处理工艺流程为: 原污水→格栅间→进水泵房→曝气沉砂池→初沉池→A/O 曝气池→二沉池(剩余污泥回流到初沉池)→反应池→沉淀池→双阀滤池(加氯处理)→清水池→清水泵房→用户。污泥处理流程为: 原污泥(来自初沉池)→贮泥池→污泥泵房→好氧消化池→污泥浓缩池→污泥脱水机房→污泥堆置棚→脱水污泥外运作农肥处置。

设计时, 深度处理出水回用于下列用户: ①方庄住宅小区; ②宋家庄热电厂; ③南郊工业区部分工厂。由于当时对住宅小区投资商没有相应的约束和优惠政策, 造成此项回用工程未能实施, 致使深度处理后出水经雨水管道排入凉水河, 造成大量水资源浪费。

2.4 酒仙桥污水处理厂

酒仙桥污水处理厂位于北京市东北郊酒仙桥地区。1956 年建成 2 万 m³/d 的一级处理厂, 这也是北京市第一座污水处理厂。1998 年该厂进行了重建, 一期工程处理能力 20 万 m³/d, 已于 2000 年 10 月竣工投产, 服务人口 48 万人。

该厂采用氧化沟活性污泥法工艺, 其工艺流程为: 原污水→格栅→进水泵房→曝气沉砂池→氧化沟→沉淀池→出水。污泥通过浓缩、脱水、干燥后外运填埋, 或作为农肥处置。

3. 北京市城市污水处理发展规划

3.1 北京市城市污水量预测

根据用水量预测, 2010 年市区生活用水量为 8.66 亿 m³, 工业用水量为 5.2 亿 m³ (不含电力工业用水量), 相应得出 2010 年生活污水量为 7.78 亿 m³ (213 万 m³/d), 工业废水量为 4.16 亿 m³ (114 万 m³/d), 详见表 2。

2010 年北京市市区污水量预测结果

表 2

项目	2010 年		
	生活		工业
	市区城市	市区乡镇	
用水量(亿 m ³ /a)	8.48	0.18	5.20
污水排除率	0.90	0.85	0.80
污水量(亿 m ³ /a)	7.63	0.15	4.16
合计(亿 m ³ /a)	11.94(327 万 m ³ /d)		

3.2 北京市城市污水处理厂发展规划

根据“北京城市总体规划”，考虑环境保护，就近利用城市污水处理厂出水，建立分流制下水道系统等要求和地形、河流、位置、工程经济性条件，将北京划分为 15 个污水处理系统，每个系统建设一座污水处理厂，全市共有 15 座污水处理厂。其中 10 万 m³/d 以上大型污水处理厂 9 座，其它小型污水处理厂 6 座，全部于 2010 年前建成。

近期城区将建成清河、肖家河、吴家村、卢沟桥、小红门 5 个污水处理厂，使城区污水处理能力由目前的 128 万 m³/d 增加到 232 万 m³/d，2010 年前还将建成郑王坟、北苑、定福庄、东坝、垡头、五里坨 6 个污水处理厂。另外，近期还将在远郊区县建成怀柔、大兴、延庆、平谷、顺义、昌平、沙河、南口 8 座污水处理厂，使郊区县污水处理能力达 34.5 万 m³/d，使整个城市污水处理率达到 90% 以上。

4. 城市污水再生回用的必要性

北京市目前面临的水资源短缺和不足并不是天然资源已达到极限，而是供水与需求之间的不平衡。为了解决这种不平衡，除了需要进行合理的社会经济布局、调整城市产业结构和用水结构、改变水的用途和供水方向外，城市污水再生回用是一种简单易行的解决方法。水资源包括量与质两个方面，除了水资源数量外，还应包括水环境保护、污水处理与再生利用等。城市污水量大、水质稳定、受季节和气候影响小，就近可取，是一种经济的、十分宝贵的水资源。

根据预测北京市市区 2010 年平水年需水量 22.27 亿 m³，供水量 15.70 亿 m³，缺水量 6.57 亿 m³。而 2010 年城市污水二级处理出水量可达 11.94 亿 m³，如按 60% 再生回用，替代城市水源，就可解决用水和供水不平衡的矛盾，同时也减轻了环境污染，促进生态良性循环。因此，城市污水再生回用是十分必要的，是消除缺水危机和解决环境最有效的途径之一。

5. 北京市城市污水再生回用现状

为了解决水源短缺问题，北京市自 80 年代以来，在全面开展节约用水工作的同时，于 1987 年颁发了“北京市中水设施建设管理试行办法”，对建筑物的各种排水经处理后再利用于建筑小区杂用的供水系统进行了具体规定。目前全市已有 200 多座中水回用工程，回用于宾馆、饭店、机关等单位的冲刷、洗车等生活杂用中，中水工程再利用水量为 7015m³/d。

全市现有 202 家工业企业有污水处理设施，26 家企业污水得到再利用，再利用水量为 3.35 万 m³/d，主要再利用于建材行业的磨削、板框压滤机用水，造纸行业的污水回收利用以及区内的杂用水等。

目前北京市城市污水集中处理后的出水汇入附近河道，与其余未经处理的城市污水混合作为沿岸和下游地区的农田灌溉用水。沿市区清河、坝河、通惠河以及凉水河四条河道分布着大小十几条灌渠，将河道中的污水引至丰台区、朝阳区、大兴县以及通州区的农田灌溉渠道。据水利部门 1997 年统计，农田取用污水（包括部分河水）灌溉面积达 29.6 万亩，每年使用污水量 2.21 亿 m³，约占市区污水总量的 24.7%，即约 1/4 的市区污水被用来浇灌农田。

高碑店污水处理厂已建规模为 1 万 m³/d 的厂内回用水工程，主要用于污泥脱水冲洗滤布、检修、喷洒、浇洒绿地、洗车用水水源等。高碑店污水处理厂至华能热电厂之间铺设了两条直径 800mm 管道，同时在华能热电厂内部已建深度处理站。华能热电厂冷却补水全部使用高碑店污水处理厂二级出水作为水源，并通过本厂深度处理站处理后再利用，以保证冷却水水质。该厂实际可利用高碑店污水处理厂二级出水为 7.68 万 m³/d，目前已回用 4 万 m³/d。

2001 年 7 月北京市完成了目前中国国内最大的城市污水再生回用工程，即高碑店污水处理厂处

理水资源化再利用工程。该工程将高碑店污水处理厂二沉池出水经新建泵站（规模 47 万 m^3/d ）提升后用两条管道分别输送到高碑店湖（规模 30 万 m^3/d ）和水源六厂（规模 17 万 m^3/d ）。送至高碑店湖的处理水通过北京第一热电厂内深度处理后该厂冷冻用水；送至水源六厂的处理水在该厂进行深度处理后，一部分通过水源六厂现有供水系统供给东郊工业区和焦化厂；一部分通过新建管道输送到西便门和东便门。在水源六厂现有供水管道和新建管道沿线设取水口，供市政杂用取水。该工程近期规模为 30 万 m^3/d ，回用水用户为：第一热电厂冷冻用水 20 万 m^3/d ，市政杂用水（绿化、浇洒马路、河道景观、冲厕等用水）5 万 m^3/d ，通过水源六厂供东郊工业区和焦化厂用水量 5 万 m^3/d 。远期增加工业冷却用水 10 万 m^3/d ，增加市政杂用水 7 万 m^3/d ，使远期规模达到 47 万 m^3/d 。该工程能达到开源节流的目的，具有明显的节水效益，能为北京市城市绿化面积扩大和道路喷洒压尘创造条件，对环境综合治理具有较大的作用。

目前北京市城市污水再生回用量已近 40 万 m^3/d （不包括农业灌溉），今年将完成酒仙桥、吴家村、清河、小红门、卢沟桥、方庄、北小河 7 个污水处理厂再生水回用工程的可行性研究，待这 7 个污水回用工程完成后，北京市的城市污水再生回用量将超过 80 万 m^3/d 。

6. 北京市城市污水再生回用方案

根据国内外经验，城市污水二级处理后，优先回用于农业。虽然农田灌溉季节性强，但农田面积大，用水量多，水质要求不高，是符合我国国情，易于实现的回用途径。相对于农灌，工业及市政杂用需水量较为稳定，所产生的资源效益较高，也是重点回用对象之一。在工业回用中，应首先选择回用于工业冷却，其次是工艺低质用水和厂内杂用水。

（1）农业

根据北京市总体规划和产业结构的调整规划，农业生产结构也会得到调整，北京的农田将不再增加，并会适当减少。据估计 2005 年北京市农业用水约 1 亿 m^3 ，2010 年约 6 亿 m^3 ，这部分用水可直接使用污水处理厂二级出水。

（2）工业

近期（2005 年）工业回用对象主要在东郊工业区、垡头工业区、南郊工业区、石景山工业区和西三旗工业区等，需深度处理可回用量为 29 万 m^3/d ，远期（2010 年）考虑原有地区增加水量及新建各工业边缘地区需水量，可回用水量约 50 万 m^3/d 。

（3）市政杂用

市政杂用（包括冲洗道路及浇洒绿地等），近期需水量 4.2 万 m^3/d ，远期约 5.8 万 m^3/d 。

（4）景观河道补水

景观河道补水主要考虑河湖蒸发、渗漏及定期更新水质等因素，近期补水量约 60 万 m^3/d ，远期约 73 万 m^3/d 。

（5）住宅小区杂用

住宅小区杂用水包括冲洗厕所、公建及市政杂用水等，近期建设两个试点小区，其需水量为 7400 m^3/d ，远期拟建 10 个边缘集团，总需水量约 24 万 m^3/d 。

从上述分析可以看出，回用水量（包括工业、河道补水及住宅杂用水等），近期约 94 万 m^3/d ，远期为 152.8 万 m^3/d ，结合北京市近、远期拟建污水处理厂的布局，确定深度处理厂地点及规模如下（见表 3、表 4）。

近期 (2005 年) 深度处理厂地点及规模 (万 m³/d)

表 3

处理厂名	规模	深度处理水量	二级处理水量 (农灌, 河道补充水等)
高碑店污水处理厂	100	55.68	44.32
方庄污水处理厂	4	0.19	3.81
清河污水处理厂	20	8.88	11.12
酒仙桥污水处理厂	20	2.0	18.0
首钢污水处理厂	12	10.8	1.20
肖家河污水处理厂	4	4	/
吴家村污水处理厂	8	5.97	2.03
五里坨污水处理厂	2	0.65	1.35
小红门污水处理厂	60	2.89	57.11
北小河污水处理厂	10	2.5	7.5
芦沟桥污水处理厂	20	5.61	14.39
齐庄小区中水	0.1	0.1	/
零星工业企业	5.9	5.9	/
总计	266	105.17	160.83

为了保证城市污水再生回用方案的实施, 还必须建立相应的再生回用水管道系统。根据已确定的污水处理厂布局, 以各污水处理厂为中心, 考虑到再生回用水用户的分布、再生水用量、回用距离、地形地势情况等因素, 文献[5]中对各个污水处理厂再生水供水范围进行了研究, 按规划要求, 共要建约 163.5km 的供水干线, 同时还要建更长的供水支线以逐步形成再生水供水系统, 以解决北京市 21 世纪水资源短缺与国民经济可持续发展的矛盾。

远期 (2010 年) 深度处理厂地点及规模 (万 m³/d)

表 4

处理厂名	规模	深度处理水量	二级处理水量 (农灌, 河道补充水等)
高碑店污水处理厂	100	55.68	44.32
方庄污水处理厂	4	0.19	3.81
首钢污水处理厂	20	15.34	4.66
清河污水处理厂	40	11.13	28.87
酒仙桥污水处理厂	35	6	29
郑王坟污水处理厂	30	0.6	29.4
北苑污水处理厂	4	1.24	2.76
定福庄污水处理厂	19	0.3	18.7
东坝污水处理厂	6	0.23	5.77
小红门污水处理厂	60	7.04	52.96
肖家河污水处理厂	4	4	/
吴家村污水处理厂	8	8	/
北小河污水处理厂	10	3.5	6.5
芦沟桥污水处理厂	20	7.22	12.78
五里坨污水处理厂	2	0.65	1.35
齐庄小区中水	0.1	0.1	/
零星工业企业	5.9	5.9	/
总计	368	127.12	240.88

7. 结论与建议

(1) 城市污水处理与再生利用是水的良性循环的重要组成部分, 是促进水污染控制和提高水资源合理利用的根本保障。

(2) 北京市城市污水再生回用应纳入水资源合理分配与开发利用计划, 加快污水回用规划的制定和实施。

(3) 工程实施要考虑我国国情和经济实力, 提倡切实可行的标准和可靠的技术方案。

(4) 要尽快建立合理的水价体系, 积极利用污水再生资源, 增强全民节水意识。

感谢!

本文在写作过程中得到北京市城市规划设计研究院唐炳华、刘永琪、张玉林、段昌河、王军等同志的许多帮助, 他们提供了大量的数据资料, 为此衷心表示感谢!

主要参考文献:

1. 亚洲开发银行水资源项目北京研究组, 北京水资源研究最终总报告, 1992. 3
 2. 北京市城市规划设计研究院、北京市节约用水办公室, 北京市城市污水综合利用研究, 1999. 4
 3. 北京市市政管理委员会、北京市市政工程设计研究总院, 高碑店污水处理厂处理水资源化再利用方案, 1999. 6
 4. 王宝贞, 中国缺水城市污水加收与再用探讨, 21 世纪中国城市水管理国际研讨会论文集, 1999. 9
 5. 北京市城市规划设计研究院、北京市城市排水公司, 北京市区城市污水处理厂再生回用规划纲要, 2001. 6
- 方先金、张韵, 高碑店污水处理厂回用工程设计, 全国污水回用研究会第 5 届年会论文集, 中国大连, 2001. 6
- 杭世珺, 北京市城市污水处理与再利用, 中国水工业科技与产业, 2000. 11