



中国污水处理资源化与再利用发展战略研究报告附件一

# 京津地区建筑中水设施 调 研 报 告

水利部水利水电规划设计总院  
北京汇佳汉青中水科技有限公司

二〇〇五年四月

目 录

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 目 录 .....                     | I   |
| 摘 要 .....                     | III |
| 引言：京津地区开展建筑中水回用概述 .....       | 1   |
| 第一部分 调研目的、方法与对象 .....         | 4   |
| 1. 调研目的 .....                 | 4   |
| 2. 调研方法 .....                 | 4   |
| 3. 调研对象 .....                 | 4   |
| 3.1 商业楼宇 .....                | 4   |
| 3.2 大专院校 .....                | 6   |
| 3.3 居住小区 .....                | 7   |
| 第二部分 调研结果与分析 .....            | 10  |
| 4. 建筑中水设施的建设 .....            | 10  |
| 4.1 建设单位及承建单位 .....           | 10  |
| 4.2 建设程序 .....                | 10  |
| 4.3 建设周期 .....                | 12  |
| 5. 建筑中水设施的中水水源及系统构型 .....     | 13  |
| 5.1 中水水源 .....                | 13  |
| 5.2 管网型式 .....                | 15  |
| 5.3 处理站选址及设置方式 .....          | 16  |
| 5.4 供水方式 .....                | 17  |
| 6. 建筑中水设施的水量平衡 .....          | 18  |
| 6.1 设计处理能力及其利用情况 .....        | 18  |
| 6.2 原水收集与自来水补水情况 .....        | 21  |
| 7. 建筑中水设施的处理工艺及主要设备 .....     | 22  |
| 7.1 处理工艺 .....                | 22  |
| 7.2 主要设备 .....                | 25  |
| 7.2.1 通用设备 .....              | 25  |
| 7.2.2 专用设备 .....              | 26  |
| 8. 建筑中水设施的建设投资及运行成本 .....     | 27  |
| 8.1 建设投资 .....                | 27  |
| 8.1.1 建设投资概况 .....            | 27  |
| 8.1.2 处理规模对建设投资的影响 .....      | 30  |
| 8.1.3 处理工艺对建设投资的影响 .....      | 30  |
| 8.2 运行成本 .....                | 31  |
| 8.2.1 运行成本概况 .....            | 31  |
| 8.2.2 处理规模和运行效率对运行成本的影响 ..... | 33  |
| 8.2.3 处理工艺对运行成本的影响 .....      | 34  |
| 9. 建筑中水设施的运行管理状况 .....        | 36  |
| 9.1 运行管理单位 .....              | 36  |
| 9.2 人员编制及管理制度 .....           | 36  |



|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 10. 建筑中水设施的出水水质与利用途径 .....             | 38 |
| 10.1 建筑中水的出水水质 .....                   | 38 |
| 10.1.1 中水水质标准 .....                    | 38 |
| 10.1.2 中水水质的抽样监测 .....                 | 38 |
| 10.2 建筑中水的利用途径 .....                   | 40 |
| 第三部分 总结与建议 .....                       | 41 |
| 11. 关于对建筑中水回用的认识和态度 .....              | 41 |
| 11.1 建筑中水回用是城市污水再生利用的重要途径 .....        | 41 |
| 11.2 建筑中水回用具有技术经济可行性 .....             | 42 |
| 11.2.1 技术可行性分析 .....                   | 42 |
| 11.2.2 经济可行性分析 .....                   | 43 |
| 12. 关于建筑中水设施的建设和管理体制 .....             | 47 |
| 12.1 加强立法工作, 创建中水回用的法治环境 .....         | 47 |
| 12.2 实施水务一体化管理 .....                   | 47 |
| 12.3 推动投资及运营体制向多元化和企业化转变 .....         | 48 |
| 12.3.1 对建筑中水明确定价, 保证合理的投资回报和运营收益 ..... | 49 |
| 12.3.2 建立中水交易制度, 扩大建筑中水的使用范围 .....     | 50 |
| 13. 制定配套的经济鼓励和处罚政策 .....               | 51 |
| 14. 关于建筑中水工程的规划及设计 .....               | 52 |
| 14.1 将建筑中水回用纳入城市水资源综合规划 .....          | 52 |
| 14.2 新建项目的中水工程必须与主体工程同时设计 .....        | 53 |
| 14.3 重视水量平衡, 提高中水设施的利用率 .....          | 54 |
| 14.3.1 合理确定处理规模 .....                  | 54 |
| 14.3.2 准确设计调节构筑物容积, 优化调节能力 .....       | 54 |
| 14.3.3 通过模块化设计实现设备分期投产 .....           | 54 |
| 14.4 规范中水处理技术, 推广高效、可靠、经济、适用工艺 .....   | 55 |
| 14.4.1 优选并规范中水处理技术 .....               | 55 |
| 14.4.2 鼓励开发小型化、集成化、自动化的中水处理装置 .....    | 55 |
| 14.5 防止建筑中水处理站自身的二次污染问题 .....          | 56 |
| 15. 关于建筑中水工程的施工及验收 .....               | 56 |
| 15.1 新建项目的中水工程土建部分必须与主体工程同时施工 .....    | 56 |
| 15.2 对关键设备进行严格的质量认证 .....              | 57 |
| 15.3 合理确定中水工程的验收时间 .....               | 57 |
| 15.4 出台建筑中水工程施工及验收规范 .....             | 58 |
| 16. 关于建筑中水设施的运行监管 .....                | 58 |
| 16.1 建立和完善对建筑中水设施的运营监管政策 .....         | 58 |
| 16.2 设立具有健全职能的监管机构 .....               | 59 |
| 17. 关于建筑中水回用的公众参与及社会监督 .....           | 60 |
| 17.1 加大节水宣传力度, 消除公众顾虑 .....            | 60 |
| 17.2 发展中介组织, 做好社会监督 .....              | 60 |
| 参考文献 .....                             | 61 |
| 致 谢 .....                              | 62 |

## 摘 要

本文通过现场走访，并结合相关文献和试验分析，对北京和天津两地的宾馆、饭店、写字楼等商业楼宇以及大专院校、居民小区三大类各 16 个、共 48 个建筑中水设施进行了深入的调查研究。通过调研发现：

(1) 房地产开发商和专业环保公司正分别成为建筑中水工程发包方和承包方的主体，新建项目的中水工程在设计、施工、投入使用方面大多滞后于主体工程；

(2) 各类中水设施的中水水源以优质杂排水（洗浴排水、盥洗排水）为主，尤其是商业楼宇和大专院校，居住小区采用杂排水和生活污水的比例有所上升。

(3) 调研的中水设施设计能力利用效率普遍不高，设计处理能力利用率平均为 53%，低于 50% 的中水设施占到 56.25%。由于入住率低、水量平衡系统设计不当、中水水源本身不稳定等原因，约一半受调研的居住小区中水设施存在原水水量严重不足的问题，存在大量补充自来水进入中水贮存池的现象

(4) 大部分建筑中水设施均以生物处理作为主体处理工艺，其中以生物接触氧化法与混凝沉淀过滤的组合工艺较为普遍，但膜生物反应器新型高效中水处理工艺也开始推广应用。以计量泵投加次氯酸钠溶液的是目前主要的消毒方式。建筑中水设施的通用设备主要为格栅、毛发聚集器、曝气机、提升泵等，专用设备则为过滤设备、消毒设备、一体化设备等。

(5) 24 个受调研中水设施的平均单位投资为 3990 元/(m<sup>3</sup>/d)，虽有处理规模和处理工艺的差别，但商业楼宇和居住小区中水设施在主体工程总投资中所占的比例几乎均未超过 1%，平均为 4.93%，均摊在主体工程单位面积上的投资平均约 18 元，居住小区则几乎均未超过 10 元。各类中水设施平均运行成本为 3.29 元/m<sup>3</sup>，其中电费、药剂、人工、维修、折旧分别占到 24.4%、6.2%、10.5%、3.1%和 55.8%。

(6) 写字楼和居民小区的中水设施均由物业管理公司负责管理，大专院校由节水办（节能办或动力中心）负责管理，宾馆饭店则由工程部负责管理。超过半数的商业楼宇和住宅小区均由工程部门或物业部门的有关人员兼职对中水机房实行巡视，大专院校则均为中水设施设置了专门的岗位。但现有中水设施普遍缺乏对仪器仪表读数、设备检修情况以及水质监测数据等的详细记录，平均不到 1/4 的中水设施在日常运行过程中对部分水质和运行指标（如 pH 值、游离余氯、色度、沉降比等）进行监测并记录，水质监测目前仍是建筑中水回用

工作中的一个薄弱环节。

(7) 对 14 个中水设施进行水质臭氧监测发现, 总体上各设施最终出水达标率较高, 但也有个别水质指标超标的现象。建筑中水设施的出水用途主要为冲厕、绿化、洗车、道路或场地浇洒以及景观水体、冷却系统和消防水池补水, 回用概率分别为 90%、60%、15%、17%、8%、4%、4%。

通过本次调研, 我们得出如下结论和建议:

(1) 建筑中水回用是城市污水再生利用的重要途径, 与市政中水回用互为补充、相辅相成, 可共同成为城市的第二水源。建筑中水回用不但具有技术可行性, 而且具有日益显著的直接和间接效益, 经济可行性良好。

(2) 为了更好地开展建筑中水回用工作, 应加强立法工作, 创建中水回用的法治环境, 加快水务一体化体制改革, 推动投资及运营体制向多元化和企业化转变, 并应对建筑中水明确定价, 建立中水交易制度, 扩大建筑中水的使用范围, 以此保证投资者和运营者的回报和收益。

(3) 应为建筑中水设施的建设、运营和中水的使用出台配套的经济鼓励和处罚政策。

(4) 在将建筑中水回用纳入城市水资源综合规划的同时, 也应对建筑中水设施进行区域统筹规划, 做到合理布局, 避免重复建设, 提高设施的利用率, 降低运行成本。应加强主体工程设计与中水工程设计的协调配合, 加强对不同地区的各类用水单元进行详细的水量平衡测算和研究, 在此基础上规范建筑中水设施的设计规模。应推广高效、可靠、经济、适用的中水处理工艺, 鼓励开发小型化、集成化、自动化的中水处理装置。另外, 应防止建筑中水处理站自身的二次污染问题。

(5) 应明确新建项目建设单位对中水工程土建部分的建设责任, 对关键设备进行严格的质量认证, 并应合理确定中水工程的验收时间, 出台建筑中水工程施工及验收规范。

(6) 应逐步建立和完善包括市场准入监管、服务与水质监管、成本与价格监管在内的建筑中水设施运营监管政策, 并设立具有健全职能的监管机构。

(7) 应建立建筑中水回用的公众参与及社会监督体系, 加大节水宣传力度, 消除公众对使用中水的顾虑, 发展中水行业协会和中水消费者协会等中介组织, 做好社会监督。



## 引言：京津地区开展建筑中水回用概述

20 世纪中叶以来，随着工业化、城市化的迅速发展，城市数量和规模不断扩大，城市人口也不断增长，城市用水量迅速增加，同时水环境污染的加剧又使得城市可利用淡水资源日趋不足，世界上很多国家都出现了水资源短缺危机。面对日益严重的水危机，世界各国开始加强淡水资源管理，除了保护淡水资源并对已供清洁淡水厉行节约外，都采取了积极开辟非传统水源等对策。跨流域调水、海水淡化、污水回用和雨水蓄用是目前普遍受到重视的非传统水资源开发措施。城市污水就近可得，水量稳定，经适当处理后可回用至各种途径，比雨水蓄用更为稳定可靠，比海水淡化和跨流域调水成本更低，不仅降低对新鲜淡水的取用量，又可降低城市排水管网负荷、控制水体污染、改善水环境质量、增加可利用水资源总量，具有治污与开源的双重效应，国外很多缺水城市已将城市污水作为稳定的“第二水源”加以有效利用。

在污水再生利用的模式方面，美国、欧洲等国家主要致力于集中式的污水再生利用，即将城市污水处理厂出水经深度处理后回用于工业、农业、景观水体等，日本则根据其国土狭小的特点，大力开展了分散式的污水再生利用，即以建筑物的污水为原水，经处理达到回用要求后作为建筑物和小区的生活杂用水，并设置专门的管道供应系统，称之为“中水道”。日本在中水回用方面的研究与实践已有 40 余年的历史，积累了丰富的实践经验，已建成的大量建筑中水设施，对城市水资源的充分利用，防止水荒，促进城市的繁荣发展起到了重要作用。

北京市是我国开展建筑中水回用起步较早、经验较为成熟的地区。早在 20 世纪 80 年代，当时北京市的水资源供需矛盾十分突出，由于水资源短缺和供水能力不足，导致每年夏天用水高峰时降压供水，甚至不得不采取停工业用水、保生活用水的措施。在严峻的缺水压力下，1987 年北京市政府颁布了我国第一部建筑中水回用的地方规章——《北京市中水设施建设管理试行办法》，明确要求新建项目建筑面积超过 2 万  $\text{m}^2$  的旅馆、饭店、公寓，超过 3 万  $\text{m}^2$  的机关、科研单位、大专院校、大型文化体育设施，按规划应配套建设中水设施的住宅小区、集中建筑区等须建设中水设施；中水的水源主要来自于洗浴室，回用于冲厕、洗车和绿化，同时制订了中水水质标准。该办法的实施推动了北京市中水设施建设的步伐。2001 年，根据《国务院关于加强城市供水节水和水污染防治工作的通知》及《北京市节约用水若干规定》，为加快城市污水资源化进程，



进一步加强北京市规划市区中水设施建设工作，北京市市政管理委员会、北京市规划委员会、北京市建设委员会联合发布了《关于加强中水设施建设管理的通告》，除了重申 1987 年《北京市中水设施建设管理试行办法》中有关规定外，进一步明确要求建筑面积 5 万  $\text{m}^2$  以上，或可回收水量大于  $150\text{m}^3/\text{d}$  的居住区和集中建筑区等新建工程，也必须建设中水设施；应配套建设中水设施的建设项目，如中水来源水量或中水回用水量过小（小于  $50\text{m}^3/\text{d}$ ），必须设计安装中水管道系统；对中水设施的建设、监督、管理等也做出明确规定。日前，《北京市节约用水办法（草案）》的征求意见稿也已公布，并即将提交北京市人大进行审议，北京市的中水设施建设即将得到地方性法规的有力保障。

20 世纪 80 年代末 90 年代初建成的宾馆饭店中水设施是北京市第一批投入使用的建筑中水设施，如金阳大厦（1989 年投产）、中国国际贸易中心、亮马河大厦（1990 年投产）、新世纪饭店（1993 年投产）；随着 2001 年北京市三委联合通告的发布实施，居民小区建筑中水设施的建设进入高潮期。截至 2004 年底，北京市已建成建筑中水设施 300 多个，在建的有 100 多个，日供再生水约 4 万  $\text{m}^3$ 。按照北京市污水回用的总体规划，到 2008 年北京市污水回用率达到 50% 以上，届时北京市大部分的杂用水都将被再生水所取代。

随着天津市经济的飞速发展，城市生活污水和工业废水的排放量显著增加，对周边环境和渤海湾的排放污染也日益增加。天津市在 2001 年的《污水再生回用五年发展规划》中明确，从 2001 年起将加大城市污水再生利用的范围和规模，规划至 2010 年将陆续完成全市 6 大再生水供应系统，即纪庄子、咸阳路、北仓、东郊、双林、张贵庄六个再生水厂，届时，天津市的再生水生产能力计划达到  $49\text{万 m}^3/\text{d}$ ，可满足天津市区及外环线以外部分地区的工业冷却用水、居住区生活杂用水，还可供二级河道、公园、园林绿化、景观用水，再生水将占全市总用水量的三分之一。

2003 年 9 月 10 日天津市第十四届人民代表大会常务委员会第五次会议通过了《天津市城市排水和再生水利用管理条例》，在国内率先制定了再生水利用的地方性法规，明确了“城市排水和再生水利用实行统一规划、配套建设和建设、养护、管理并重的原则。城市污水处理实行集中处理和分散处理相结合的原则”（第四条），并“鼓励以多种投资方式建设、经营城市排水和再生水利用设施，推进城市污水处理和再生水利用的产业化”（第六条），要求“生活杂用、工业生产、景观水体、园林绿化、环境卫生、建筑施工和农业灌溉等应当优先使用再生水。在再生水供水区域内，再生水的水质符合用水标准的，用户



应当使用再生水。再生水用户应当按照规定交纳再生水水费”(第三十五条),同时“禁止将再生水管道与自来水管道连接”(第三十六条)。天津市建设委员会随后出台了《天津市住宅建设中水供水系统建设规定》,该规定明确要求自2004年开始,凡城市中水供水范围内的新建住宅,规划面积5万 $\text{m}^2$ 以上的,建筑面积超过2万 $\text{m}^2$ 的公寓、高层住宅,规划人口在1万人以上的住宅小区,必须同步设计中水冲厕系统。中水供水系统未包含的住宅小区,考虑自循环处理系统,规划设计和工程设计同步实施。

# 第一部分 调研目的、方法与对象

## 1. 调研目的

本次调研旨在通过深入了解北京和天津两地各类已投产的建筑中水设施的建设、运行及中水利用情况，全面总结京津地区开展建筑中水回用的良好经验，准确剖析建筑中水回用目前尚面临的困难和问题，以期客观评价建筑中水回用在污水处理资源化与再利用中的地位，对京津两地以及我国其他地区今后更好地开展建筑中水回用提出合理的对策及建议，提高建筑中水设施的综合效益，使其在我国的环境保护和水资源可持续利用方面发挥应有的作用。

## 2. 调研方法

本次调研以现场走访为主，并结合查阅文献、试验分析。通过到各类建筑中水设施的现场进行实地走访，详细考察各设施的运行情况，从与管理人员的交谈中了解运行中存在的问题；通过查阅相关文献了解各类建筑中水设施的建设情况和技术细节；本次调研委托清华大学环境模拟与污染控制国家重点联合实验室对中水水样进行水质检测。

## 3. 调研对象

北京市城市节约用水办公室于 1998 年底对北京市建筑中水设施的调查显示，北京市已建中水设施 88 个，其中宾馆、饭店 68 个；机关、院校 12 个；工厂等 8 个。1998 年以来，北京地区又陆续建立起一批居民小区中水设施，尤其是 2001 年北京市三委联合通告的发布实施，使得此类设施开始大量建设并投入使用。近年，在京的各大专院校也开始重视中水回用。至 2004 年底，北京地区已投入使用的中水设施已超过 300 个，其中大专院校近 20 家。因此，本次调研将宾馆、饭店、写字楼等商业楼宇以及大专院校、居民小区的中水设施作为三大类共 48 个调研对象。

### 3.1 商业楼宇

宾馆、饭店、写字楼等商业楼宇是用水较集中、用水量较大的建筑设施，国内第一批投产的建筑中水设施也是在这些商业楼宇内配套建设，有近 15 年的

运行管理经验。本次调研主要走访了京津地区的 16 家宾馆、饭店、写字楼，有关这些单位的中水工程的基本情况请参见表 1。

表 1 商业楼宇中水设施基本情况一览表

| 指标<br>项目           | 业主<br>单位                | 设计<br>单位               | 施工<br>单位               | 管理<br>单位                | 设计规模<br>(m <sup>3</sup> /d) | 投产<br>时间       | 中水<br>水源             | 出水<br>用途           |
|--------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------|----------------------|--------------------|
| 中国国际<br>贸易中心       | 中国国际<br>贸易中心            | 日本日建设<br>计株式会社         | 日本荏原株<br>式会社           | 中国国际贸易<br>中心            | 600                         | 1990 年<br>8 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕                 |
| 金都假<br>日饭店         | 金都假日<br>饭店              | 香港冯庆延设<br>计师事务所        | 香港艺高工<br>程公司           | 金都假日饭<br>店              | 264                         | 1990 年<br>10 月 | 洗浴排水<br>盥洗排水<br>洗衣排水 | 冲厕、绿<br>化、洗车       |
| 亮马河<br>大厦          | 亮马河大厦                   | 德国<br>BioGest<br>公司    | 德国<br>BioGest<br>公司    | 亮马河大厦                   | 320                         | 1990 年         | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕                 |
| 亚洲锦江<br>大饭店        | 亚洲锦江大<br>饭店             | 北京公益环<br>境保护设备<br>技术公司 | 北京公益环<br>境保护设备<br>技术公司 | 亚洲锦江大<br>饭店             | 120                         | 1991 年<br>5 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕                 |
| 燕莎凯宾<br>斯基饭店       | 凯宾斯基饭<br>店管理集团          | 德国<br>BioGest<br>公司    | 德国<br>BioGest<br>公司    | 凯宾斯基饭<br>店管理集团          | 360                         | 1991 年         | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕、绿<br>化          |
| 松鹤大<br>酒店          | 松鹤大酒店                   | 北京晓清环<br>保技术公司         | 北京晓清环<br>保技术公司         | 松鹤大酒店<br>工程部            | 240                         | 1992 年<br>4 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕、绿<br>化、洗车       |
| 新世纪<br>饭店          | 新世纪饭店                   | 北京银燕环<br>保工程技术<br>公司   | 北京银燕环<br>保工程技术<br>公司   | 新世纪饭店<br>工程部            | 300                         | 1993 年<br>7 月  | 洗浴排水                 | 冲厕、洗<br>车、空调<br>补水 |
| 京民<br>大厦           | 北京市军队<br>离退休干部<br>办公室   | 北京晓清环<br>保技术公司         | 北京晓清环<br>保技术公司         | 北京市军队<br>离退休干部<br>办公室   | 200                         | 1993 年<br>7 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水<br>洗衣排水 | 冲厕                 |
| 苏源锦<br>江大厦         | 苏源锦江大<br>厦              | 北京市肇麟<br>环境技术开<br>发公司  | 北京市肇麟<br>环境技术开<br>发公司  | 锦江北方管<br>理集团            | 100                         | 1997 年<br>8 月  | 洗浴排<br>水、盥洗<br>排水    | 冲厕、洗<br>地          |
| 台湾<br>饭店           | 台湾饭店                    | 北京创立达<br>节水技术服<br>务中心  | 北京创立达<br>节水技术服<br>务中心  | 台湾饭店工<br>程部             | 100                         | 1997 年<br>10 月 | 洗浴排水                 | 冲厕                 |
| 天伦王<br>朝饭店         | 天伦王朝<br>饭店              | 北京晓清环<br>保技术公司         | 北京银燕环<br>保工程技术<br>公司   | 天伦王朝<br>饭店              | 240                         | 1997 年<br>12 月 | 洗浴排水                 | 冲厕、空<br>调补水        |
| 京都信<br>苑饭店         | 京都信苑饭<br>店              | 北京市环境<br>保护科学研<br>究院   | 北京卓诚公<br>司             | 京都信苑饭<br>店              | 200                         | 1998 年         | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕                 |
| 昆泰<br>大厦           | 北京昆泰房<br>地产开发集<br>团     | 北京格瑞环<br>保工程技术<br>有限公司 | 北京格瑞环<br>保工程技术<br>有限公司 | 昆泰大厦工<br>程部             | 180                         | 1999 年<br>3 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕                 |
| 东方国际<br>文化交流<br>中心 | 北京东方康<br>泰房地产开<br>发有限公司 | 北京市环境<br>保护科学研<br>究院   | 北京鑫华成<br>环保设备公<br>司    | 北京东方康<br>泰房地产开<br>发有限公司 | 90                          | 2000 年<br>3 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕、绿<br>化、洗车       |
| 青蓝<br>大厦           | 北京盈生房<br>地产开发有<br>限公司   | 北方宇杰环<br>保科技有限<br>公司   | 北方宇杰环<br>保科技有限<br>公司   | 北京保盈物<br>业管理有限<br>公司    | 100                         | 2001 年<br>2 月  | 洗浴排水                 | 冲厕、绿<br>化          |
| 天津水利<br>科技大厦       | 天津市水利<br>局基建处           | 北京汇佳汉<br>青中水科技<br>有限公司 | 北京汇佳汉<br>青中水科技<br>有限公司 | 天津水利科<br>技大厦物业<br>管理中心  | 25                          | 2003 年<br>8 月  | 生活污水                 | 冲厕、绿<br>化          |

### 3.2 大专院校

北京作为全国的文化中心，高校云集，学生人数众多。目前全市共有普通高校 61 所，在校研究生和本专科生共约 42 万人。在京高校是北京市的用水大户，高校用水量约占北京市生活用水量的 10%。随着高校规模的不断扩大和民办高校的迅速兴起，高校用水量仍呈迅速增加之势。北京市政府要求从 2000 年起“在京各高校要拿出切实可行的方案，实施建设污水再利用工程”。目前，京津地区已有北京交通大学、北京邮电大学、北京航空航天大学、天津大学等相继 20 余家高校配套建设了中水设施。表 2 列出了本次调研走访的 16 家大专院校中水工程的基本情况。

表 2 大专院校中水设施基本情况一览表

| 指标<br>项目 | 业主<br>单位 | 设计<br>单位        | 施工<br>单位        | 管理<br>单位     | 设计规模<br>/m <sup>3</sup> /d | 投产<br>时间    | 中水<br>水源             | 出水<br>用途           |
|----------|----------|-----------------|-----------------|--------------|----------------------------|-------------|----------------------|--------------------|
| 北京交通大学   | 北京交通大学   | 北京市环境保护科学研究院    | 北京市环境保护科学研究院    | 北京交通大学节能科    | 200                        | 1993 年 8 月  | 洗浴排水                 | 操场 消<br>尘、绿化       |
| 北京航空航天大学 | 北京航空航天大学 | 北京创立达节水科技公司     | 北京创立达节水科技公司     | 北京航空航天大学动力中心 | 320                        | 1996 年 11 月 | 洗浴排水                 | 冲厕                 |
| 北京联合大学   | 北京联合大学   | 北京市创立达节水科技工程部   | 北京市创立达节水科技工程部   | 北京联合大学后勤节能办  | 192                        | 1997 年      | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕、绿<br>化          |
| 北京体育大学   | 北京体育大学   | 北京格润通环保工程有限公司   | 北京格润通环保工程有限公司   | 北京体育大学修缮科    | 200                        | 1999 年      | 洗浴排水                 | 冲厕                 |
| 中央民族大学   | 中央民族大学   | 北京万候环境技术开发有限公司  | 北京万候环境技术开发有限公司  | 中央民族大学节能办    | 240                        | 2000 年 12 月 | 洗浴排水                 | 冲厕、绿<br>化          |
| 北京服装学院   | 北京服装学院   | 北京万候环境技术开发有限公司  | 北京万候环境技术开发有限公司  | 北京服装学院节能办    | 240                        | 2001 年 10 月 | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕、绿<br>化、道路<br>浇洒 |
| 首都师范大学   | 首都师范大学   | 北京万候环境技术开发有限公司  | 北京万候环境技术开发有限公司  | 首都师范大学动力中心   | 192                        | 2002 年 5 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕、绿<br>化          |
| 北京邮电大学   | 北京邮电大学   | 北京银燕开普环保工程技术公司  | 北京银燕开普环保工程技术公司  | 北京邮电大学修缮科    | 720                        | 2002 年 11 月 | 洗浴排水<br>盥洗排水<br>洗衣排水 | 冲厕、绿<br>化、道路<br>浇洒 |
| 中华女子学院   | 中华女子学院   | 北京基亚特环保技术设备有限公司 | 北京基亚特环保技术设备有限公司 | 中华女子学院动力中心   | 360                        | 2002 年 12 月 | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕                 |
| 北京工业大学   | 北京工业大学   | 北京科学院建筑科学研究院    | 北京建研环保设备有限公司    | 北京工业大学节水办    | 200                        | 2003 年 3 月  | 洗浴排水                 | 冲厕、绿<br>化、洗车       |
| 北京师范大学   | 北京师范大学   | 北京万邦达环保技术有限公司   | 北京万邦达环保技术有限公司   | 北京师范大学节能办    | 600                        | 2003 年 7 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 景观、绿<br>化、道路<br>浇洒 |
| 北京工商大学   | 北京工商大学   | 北京市环境保护科学研究院    | 北京市环境保护科学研究院    | 北京工商大学节能办    | 240                        | 2002 年      | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕、绿<br>化          |



京津地区建筑中水设施调研报告

| 指标<br>项目   | 业主<br>单位   | 设计<br>单位               | 施工<br>单位               | 管理<br>单位            | 设计规模<br>/m <sup>3</sup> /d | 投产<br>时间      | 中水<br>水源     | 出水<br>用途           |
|------------|------------|------------------------|------------------------|---------------------|----------------------------|---------------|--------------|--------------------|
| 北京林业<br>大学 | 北京林业<br>大学 | 北京红河谷<br>技术研究所         | 北京红河谷<br>技术研究所         | 北京林业大<br>学节能办       | 240                        | 2003 年<br>9 月 | 洗浴排水         | 冲厕、绿<br>化、道路<br>喷洒 |
| 中国地质<br>大学 | 中国地质<br>大学 | 北方宇杰环<br>保公司           | 北方宇杰环<br>保公司           | 中国地质大<br>学节能办       | 400                        | 2004 年<br>4 月 | 洗浴排水<br>盥洗排水 | 冲厕、<br>绿化          |
| 天津<br>大学   | 天津大学       | 天津大学环<br>境科学与工程<br>系   | 天津大学环<br>境科学与工程<br>系   | 天津大学后<br>勤集团        | 500                        | 2004 年        | 洗浴排水         | 冲厕、绿<br>化、景观       |
| 中国农业<br>大学 | 中国农业<br>大学 | 北京春秋鼎<br>盛环保科技有<br>限公司 | 北京春秋鼎<br>盛环保科技有<br>限公司 | 中国农业大<br>学后勤修缮<br>科 | 360                        | 2004 年<br>9 月 | 盥洗排水<br>洗衣排水 | 冲厕                 |

### 3.3 居住小区

居住小区建设中水设施在提高水资源利用率、减少环境污染、减轻对城市排水管道和污水处理厂的压力等方面，已越来越显示出它的优越性。小区中水系统具有实施方便、不影响市政道路、回用管道短、投资少等优点。目前居住小区建设中水设施的条件也已日趋完善。首先，居住小区人口密集、排水量较大、杂用水需求也大，水量易平衡，对中水设施的设计和平稳运行有利；其次，随城镇居住小区的大量建设以及水处理技术的日臻成熟、污水再生利用企业之间的竞争加剧，建筑中水设施的初期投资和运行费用将大幅度降低；再次，住房的私有化、小区物业管理的兴起和完善也为建筑中水系统的投资回报奠定了基础。随着 2001 年北京市三委联合通告以及 2003 年天津市为再生水利用立法，居住小区正成为建筑中水设施建设的主力军。表 3 列出的是本次调研走访的 16 个居住小区的基本情况。

表 3 居住小区中水设施基本情况一览表

| 指标<br>项目          | 业主<br>单位                | 设计<br>单位               | 施工<br>单位               | 管理<br>单位                 | 设计规模<br>/m <sup>3</sup> /d | 投产<br>时间       | 中水<br>水源     | 出水<br>用途              |
|-------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------|--------------|-----------------------|
| 怡生园<br>国际会<br>议中心 | 中化集团                    | 北京建工金<br>源环保工程<br>有限公司 | 北京建工金<br>源环保工程<br>有限公司 | 怡生园国际<br>会议中心            | 1000                       | 1998 年<br>6 月  | 生活污水         | 景观、绿<br>化、道路喷<br>洒、消防 |
| 北潞春               | 北京房山房<br>地产公司           | 北京清华永<br>新双益环保<br>有限公司 | 北京清华永<br>新双益环保<br>有限公司 | 北京景泰物<br>业管理有限<br>公司     | 640                        | 2000 年<br>11 月 | 生活污水         | 绿化、洗<br>车、景观、<br>消防   |
| 亮马新<br>世家         | 北京恒森房<br>地产开发有<br>限公司   | 北京市环境<br>保护科学研<br>究院   | 北京市环境<br>保护科学研<br>究院   | 北京均豪物<br>业管理有限<br>公司     | 240                        | 2003 年<br>6 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水 | 冲厕、绿<br>化             |
| 峰尚国<br>际公寓        | 北京锦绣大<br>地房地产开<br>发有限公司 | 北京碧水源<br>科技发展有<br>限公司  | 北京碧水源<br>科技发展有<br>限公司  | 北京中实杰<br>肯道夫物业<br>管理有限公司 | 240                        | 2003 年<br>12 月 | 洗浴排水         | 绿化                    |
| 金榜园               | 北京龙源房<br>地产开发有<br>限公司   | 北京德基清<br>源科技发展<br>有限公司 | 北京德基清<br>源科技发展<br>有限公司 | 北京惠仁物<br>业管理公司           | 400                        | 至今尚<br>未投产     | 生活污水         | 冲厕、绿<br>化             |



京津地区建筑中水设施调研报告

| 指标<br>项目   | 业主<br>单位            | 设计<br>单位        | 施工<br>单位        | 管理<br>单位           | 设计规模<br>/m <sup>3</sup> /d | 投产<br>时间    | 中水<br>水源             | 出水<br>用途 |
|------------|---------------------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------------------|-------------|----------------------|----------|
| 蓝堡国际公寓     | 北京建华时代房地产有限公司       | 北京万侯环境技术开发有限公司  | 北京万侯环境技术开发有限公司  | 蓝堡国际公寓             | 120                        | 2003 年 12 月 | 洗浴排水<br>盥洗排水<br>厨房排水 | 冲厕       |
| 交大嘉园       | 北京东和房地产开发有限公司       | 北京达清环境设备有限公司    | 北京达清环境设备有限公司    | 北京东和田园物业管理有限公司     | 600                        | 2004 年 3 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 绿化       |
| 当代城市家园(二期) | 北京当代房地产开发有限公司       | 北京华龙环境工程公司      | 北京华龙环境工程公司      | 深圳市长城物业管理有限公司北京分公司 | 240                        | 2004 年 3 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕、绿化    |
| 上地佳园       | 北京实创房地产开发有限公司       | 北京市环境保护科学研究院    | 北京市环境保护科学研究院    | 北京实创物业管理有限公司       | 360                        | 2004 年 4 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水<br>厨房排水 | 冲厕、绿化    |
| 天兆家园       | 北京天缘兆业房地产开发有限公司     | 北京泰普森环境技术有限公司   | 北京泰普森环境技术有限公司   | 北京天缘兆业物业管理有限公司     | 360                        | 2004 年 6 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕       |
| 万柳学区       | 北京万柳房地产开发有限公司       | 北京基亚特环保技术设备有限公司 | 北京基亚特环保技术设备有限公司 | 北京畅春物业管理有限公司       | 300                        | 2004 年 7 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕       |
| 碧水云天-颐园    | 北京亿城(原名星标)房地产开发有限公司 | 天津市兴源环境技术工程有限公司 | 天津市兴源环境技术工程有限公司 | 北京迪加贝施物业管理有限公司     | 120                        | 2004 年 8 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕、绿化    |
| 橙色年代       | 北京耀辉置业有限公司          | 北京绿创环保科技有限公司    | 北京绿创环保科技有限公司    | 北京首航物业管理有限公司       | 240                        | 2004 年 9 月  | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕、绿化    |
| 天秀花园       | 北京海开房地产股份有限公司       | 北京红河谷技术研究所      | 北京红河谷技术研究所      | 北京安居物业管理有限公司       | 360                        | 2004 年 10 月 | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕       |
| 幸福家园       | 北京金第房地产开发有限公司       | 宜兴鹏鹞环保设备有限公司    | 宜兴鹏鹞环保设备有限公司    | 北京金宏宇物业管理有限公司      | 180                        | 2004 年 11 月 | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 冲厕       |
| 百旺家苑       | 北京德成兴业房地产开发有限公司     | 北京基亚特环保技术设备有限公司 | 北京基亚特环保技术设备有限公司 | 深圳长城物业管理有限公司       | 480                        | 2005 年 4 月  | 生活污水                 | 冲厕、绿化    |

对表 1、表 2、表 3 所列三大类、共 48 个建筑中水设施的投产时间进行统计,结果如图 1 所示。可见,从总体上来看,商业楼宇中水设施最早投入使用,其次是大专院校中水设施,居住小区中水设施最晚,绝大部分均为 2003 年以后投入使用。应该说,以上三大类调研对象反映了不同时期、不同服务对象的中水设施的建设特点和建设管理水平,中水水源、处理工艺和处理规模也均有一定的代表性。

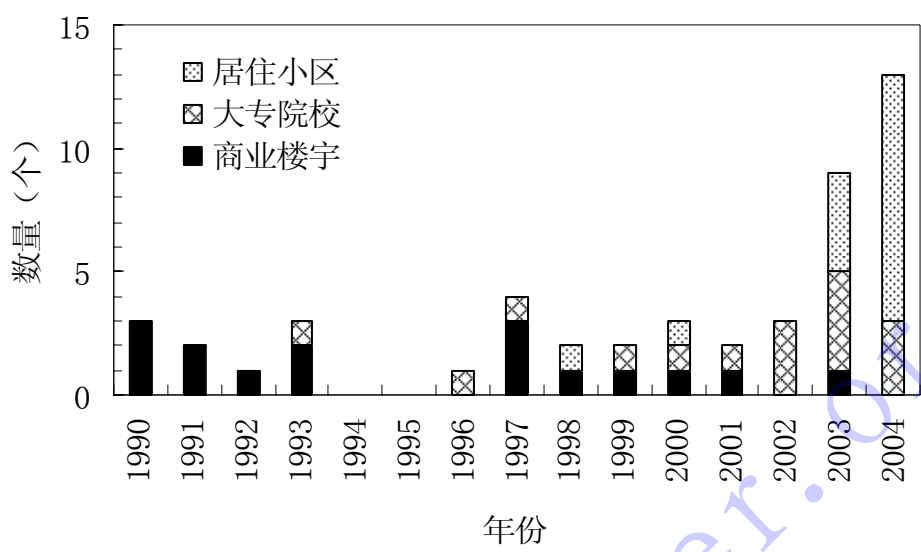


图 1 调研的建筑中水设施历年投产情况统计

## 第二部分 调研结果与分析

### 4. 建筑中水设施的建设

#### 4.1 建设单位及承建单位

由表 1、2、3 可知，目前建筑中水设施的建设单位主要是房地产开发商以及宾馆饭店、大专院校的工程部门或基建部门等，设计单位则主要是一些科研设计院所和专业环保公司，设备提供单位则以专业环保公司为主。北京地区最早一批建成的宾馆饭店中水设施多由境外公司设计，关键设备也多为进口，随后国内科研设计院所和专业环保公司逐渐成为建筑中水市场主要的技术和设备提供方。随着新建的商业楼宇和居住小区中水工程的大批兴建，房地产开发商和专业环保公司正分别成为建筑中水工程发包方和承包方的主体。

#### 4.2 建设程序

房地产开发项目一般主要包括立项和可行性研究阶段、规划设计和市政配套阶段、土地使用权取得阶段、拆迁安置阶段、开工建设和竣工验收阶段、经营阶段、物业管理阶段等，与主体工程配套的中水设施的建设程序如图 2 所示。

调研发现，大部分房地产开发项目在工程勘察设计阶段均由建筑设计院所承担主体工程的设计任务，但这些单位的水专业组绝大多数都是从事给水排水设计的工程师，他们对污水处理尤其是中水处理技术并不熟悉，难以独立承担中水工程的设计任务。多数房地产开发商对配套中水设施的建设也重视不够，很少在工程勘察阶段就委托专业的中水公司承担中水工程的设计任务，或者作为工艺专业，与承担主体工程设计任务的建筑设计院共同完成中水工程的设计工作，因此实际中出现以下几种情况：

(1) 大多数建筑设计院所对中水工程的设计工作进行简化处理，对室内外的原水收集管道和中水供水管道进行布置之后，至于中水处理站的选址、处理工艺、管线预留等问题，则在图纸上标明由建设单位日后选定的中水工程承包方进行二次设计。建设单位为了抢时间，拿到施工图后便组织开工，很多情况下等到主体工程快完工时才开始中水工程的深化设计和建设，此时中水工程承包方在处理站选址、构筑物大小和设置方式、管线布置等方面已处于较为被动

的局面，在深化设计时虽然明知存在一些问题，但迫于甲方对工程整体竣工验收的工期要求或为了达到快速赢利的目的，中水工程未经详细设计便仓促上马。

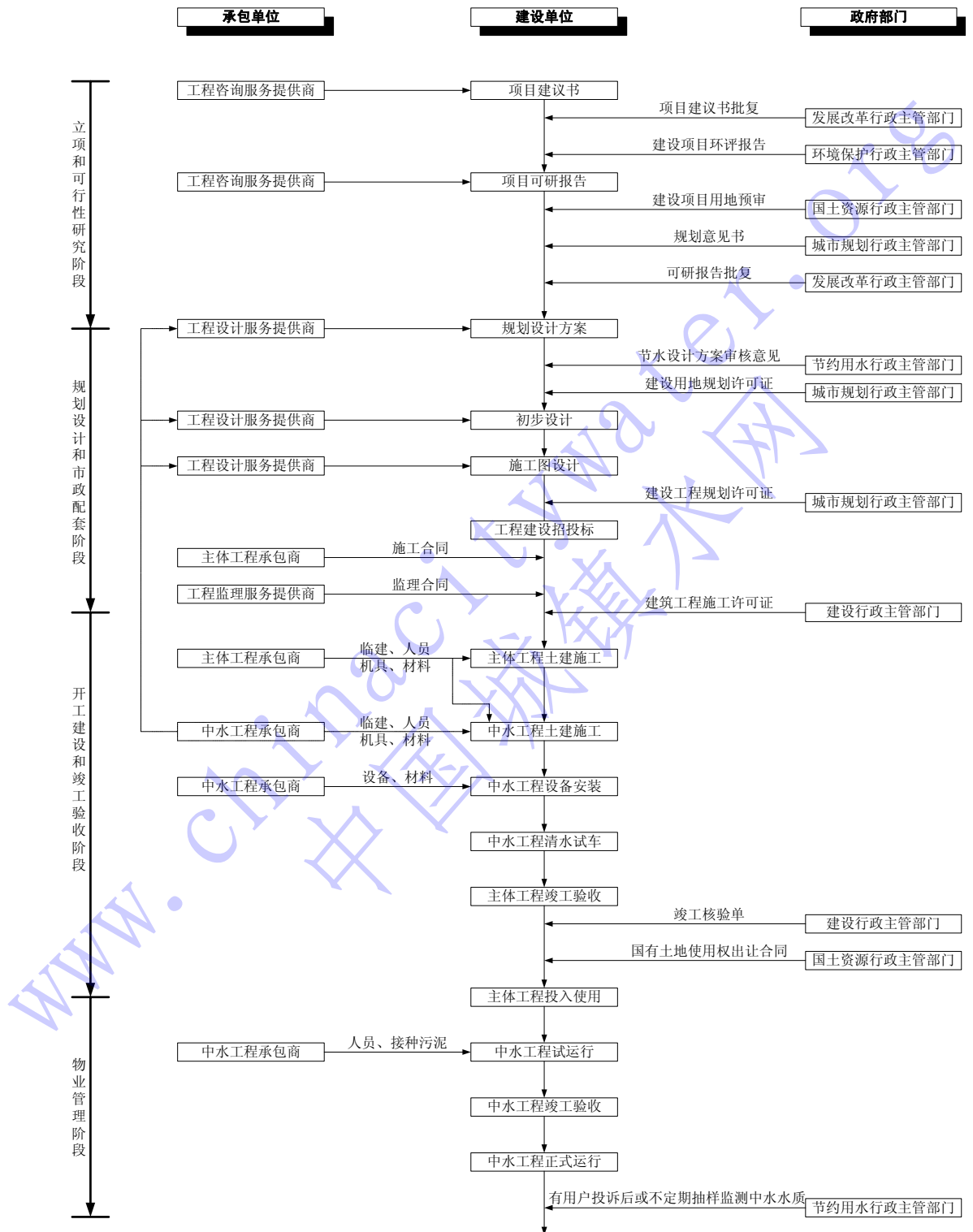


图 2 建筑中水工程的建设程序



(2) 有的建筑设计院所对中水工程的处理流程进行了简单设计,但一般均是机械照搬有关设计规范或规程,不经过细致的水量平衡计算便确定处理规模,未充分考虑原水水质的特殊性以及技术经济可行性便选定处理工艺,各专业设计人员的配合不够,各系统相互配置不当。当建设单位后期选定了中水处理设备的供货厂家时,即便发现有些设计参数选取不当,也不好再做调整,由此大大降低了中水设施建设的技术经济合理性和成功率。

(3) 有的建筑设计院所在进行主体工程设计时,与建设单位选定的专业中水工程承包方进行通力合作,根据可利用原水的水质、水量和中水用途,进行水量平衡和技术经济分析,合理确定中水水源、系统型式、处理工艺和规模。这样的中水工程一般具有较高的成功率。

### 4.3 建设周期

由图 2 可知,对于新建的物业项目,建筑中水设施的建设周期一般起始于主体工程的方案设计阶段,至主体工程投入使用初期仍然尚未结束,还要延续一段时间,待所属物业达到一定入住率、原水量和中水用量趋于稳定时方能进行工艺调试和竣工验收,最终正式投入使用。一般规模的建筑中水工程的土建施工和设备安装施工周期大体为 2~4 个月,调试周期大体为 2 周~2 个月,如果建成后即可通入原水进行调试,自土建开工至工艺调试结束的总周期为 3~6 个月。采用不同处理工艺的中水设施建设周期有所差异,一般生化处理工艺建设周期要大于物化处理工艺。

1987 年 6 月 1 日实施的《北京市中水设施建设管理试行办法》、将于 2005 年 5 月 1 日实施的《北京市节约用水办法》以及《建筑中水设计规范》(GB50336—2002)中都规定建筑中水设施必须与主体工程同时设计,同时施工,同时交付使用,但调研发现建筑中水设施往往要比主体设施晚 6~10 个月投入使用,这主要由以下几个原因造成:1) 主体设施投入使用初期入住率低,收集的原水水量经常不足以满足调试需要;2) 工艺达到稳定运行需要一个反复的调试过程,尤其是建筑中水设施大多采用生化处理工艺,污泥接种、驯化、挂膜等需要必要的时间周期,当工艺参数设计不当,或者实际来水情况与设计有较大出入时,将大大延长这一周期;3) 负责接管的物业公司安排的中水设施运行管理人员对现场操作需要一个熟悉过程,当管理人员迟迟不能上岗,或者上岗的管理人员不具备满足工艺要求的操作技能时,即便中水公司已将调试好的中水设施移交给物业公司,其后也会出现中水设施无法正常运行反复进行调

试的情况。

前述第一种情况在实际中是最普遍发生的现象。中水工程滞后于主体工程投入使用给中水工程承发包双方都造成一定的风险，比如，设备安装完成之后不能马上进行工艺调试，如果发包方予以接收，结清大部分工程款项，若后期正式通入原水后出水水质不达标，发包方将面临业主的投诉，或者使得物业公司因大量补充自来水而有所损失；如果发包方不予以接收，承包方不但不能回收相当一部分工程款项，而且还要承担设备看管的责任，否则设备可能遭到盗窃或损坏，进一步给承包方造成损失。

## 5. 建筑中水设施的中水水源及系统构型

建筑中水是一个系统工程，一般由原水集流管网、原水调节池、原水提升泵、预处理单元、主体处理单元、深度处理单元、中水贮存池、中水供水泵、中水输配管网等部分组成，即包括原水系统、处理系统和供水系统三大部分。

### 5.1 中水水源

建筑中水设施可选择的中水水源有：①优质杂排水，包括洗浴排水、盥洗排水、游泳池排水、洗衣排水以及空调冷却系统排污水和冷凝水等，占建筑排水的40%以上，是回用时优先选用的原水；②杂排水，除了上述优质杂排水外，还包括厨房排水；③生活污水，包括冲厕排水在内的楼宇全部排水；④城市污水处理厂出水；⑤相对洁净的工业排水；⑥小区内的雨水。

中水水源的选择要依据水量平衡和技术经济比较确定，并应优先选择水量充裕稳定、污染物浓度低、水质处理难度小、安全且易被用户接受的水源。医院污水和污染严重的工业废水不宜作为中水水源，同时严禁传染病医院、结核病医院污水和放射性废水作为中水水源。

如果以杂排水或优质杂排水为中水水源，其主要优点是水源水质较好、处理难度小、工艺简单、中水处理设施造价低等。但是由于要增加一套杂排水或优质杂排水收集管网，成倍地增加了建筑排水系统的建设成本和难度。原水的时段性和季节性波动变化较大，难以保证充足稳定的原水水量，不能最大限度的满足建筑和社区中所有杂用水的需求，实际运行时往往还需要补充大量的自来水进入中水供水系统，这种现象在居住小区的入住初期尤为普遍。如果以生活污水为中水水源，其主要特点有：①虽然水处理设施的造价较高，但节约了

一套排水管路，总体投资可能更为节省；②中水系统的水源稳定充足，为进一步拓展中水的用途创造了有利的条件；③原水的污染程度稍高，处理难度加大，要求采用高效可靠的中水处理技术。

图 3 显示的是本次调研的中水设施的中水水源统计情况。由图 3 可知，各类中水设施的中水水源大部分均为优质杂排水，尤其是商业楼宇和大专院校，前者仅有一例采用生活污水，后者全部为优质杂排水，与此不同的是，居住小区采用其他水源的比例有所上升，杂排水有两例，生活污水有四例。分析后认为，由于大部分宾馆饭店写字楼等中水设施建设较早，当时国内的中水处理技术尚处于发展初期，所以绝大多数都选择了客房洗浴和盥洗排水作为中水水源，仅天津水利科技大厦以化粪池排出的生活污水作为中水水源。大专院校由于学生人数较多，学生浴室和宿舍楼盥洗水房每日排水量较大而且相对稳定，所以也都选择了优质杂排水作为中水水源。对于近年大批新建的居住小区，一方面以膜-生物反应器（MBR）为代表的新型高效中水处理技术开始推广应用（天津水利科技大厦和天津大学也采用 MBR 工艺），另一方面由于小区单体建筑较多，开发商须综合考虑中水处理系统和管网的总体投资以及市政配套情况，所以以生活污水为中水水源的案例开始增多。

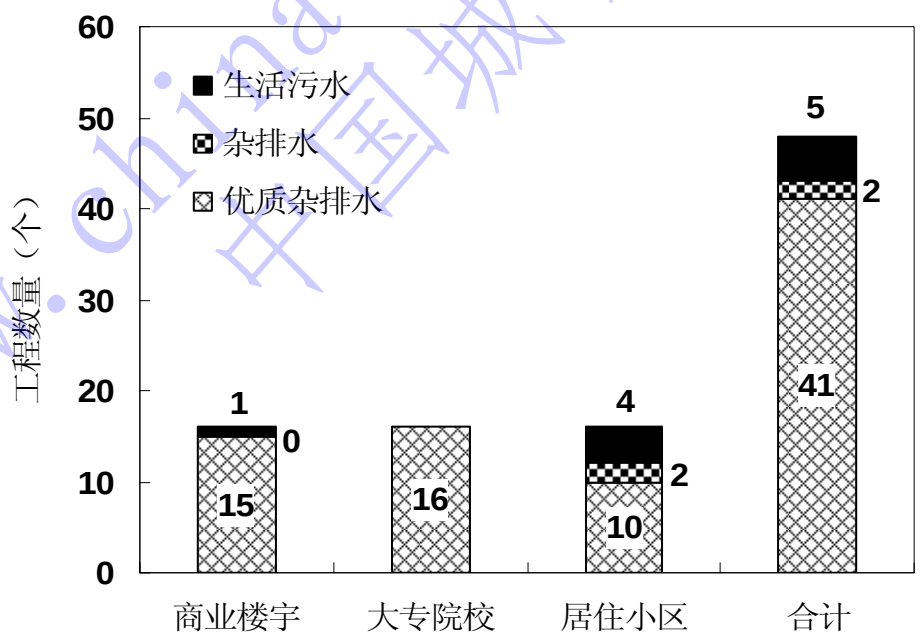


图 3 建筑中水设施的中水水源统计

5.2 管网型式

建筑中水系统的管网型式可分为：全部完全分流系统、部分完全分流系统、半完全分流系统和无分流管系的简化系统。有关这些型式的介绍和示意可分别参见表 4。开发商和设计单位一般从中水水源选择、市政配套情况、建筑型式、档次以及用户的可接受程度和开发商的经济承受能力等多方面因素进行考虑、选择。

表 4 建筑中水设施的管网型式

| 系统型式       |          | 型 式 说 明                                                             | 优 点                                           | 缺 点                                                      | 案 例                 |
|------------|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------|
| 完全分流系统     | 全部完全分流系统 | 有粪便污水和杂排水两套排水管，有自来水和中水两套给水管，并且原水分流管系和中水供水管系覆盖全部建筑物                  | 适用于严重缺水、水价较高地区推广中水回用的起步阶段，居民对优质杂排水处理后的中水更容易接受 | 管线上比较复杂，给设计、施工增加了难度，也增加了管线投资，同时原水时变化系数较大，要求处理系统具有较大的调节容积 | 蓝堡国际公寓、松鹤大酒店、天兆家园   |
|            | 部分完全分流系统 | 有粪便污水和杂排水两套排水管，自来水和中水两套给水管，但原水分流管系和中水供水管系仅覆盖部分建筑物                   |                                               |                                                          | 昆泰大厦、上地佳园、天秀花园、百旺家苑 |
| 半完全分流      | “两进一出”   | 建筑物内有一套排水管（原水为生活污水或外接水源），有自来水和中水两套给水管                               | 节省了部分管线投资，原水水量稳定，时变化系数相对较小                    | 用户可能存在顾虑，要求高效、可靠的处理工艺以保证中水安全                             | 天津水利大厦、金榜园          |
|            | “一进两出”   | 建筑物内有粪便污水和杂排水两套排水管，但只有自来水一套给水管，处理后的中水用于室外杂用                         | 节省了部分管线投资，居民易于接受                              | 限制了中水的使用范围，在北方地区存在冬季停运的问题                                | 交大嘉园、峰尚国际公寓         |
| 无分流管系的简化系统 |          | 建筑物内分别只有一套排水管和给水管，处理后的中水主要用于园林绿化、道路喷洒、水景观和人工河湖补水、地下车库地面冲洗、汽车清洗等室外杂用 | 中水不上楼入户，使楼内的管道设计更为简化，管线投资最省，居民易于接受，适用于已建小区    | 限制了中水的使用范围，在北方地区存在冬季停运的问题                                | 怡生园国际会议中心、北潞春       |

在本次调研的中水案例当中，商业楼宇几乎皆采用全部完全分流系统，主要考虑到以优质杂排水为中水水源（仅有“天津水利科技大厦”中水工程采用“两进一出”的半完全分流系统，对应的中水水源为生活污水）。大专院校对部分完全分流系统、半完全分流系统和无分流管系的简化系统均有选择，主要原因是学校多为已建建筑，且人口密度大、用水量大，学生浴室排出的洗浴污水和学生公寓排出的盥洗排水均可作为稳定的中水水源，而学生公寓冲厕和学校园林绿化也均为中水的稳定用途，因此各学校一般主要根据对中水回用途径

的侧重和原水收集的方便程度来具体选定中水系统的管网型式：若只将新建学生公寓的盥洗排水回用于楼内冲厕之用，则采用部分完全分流系统；若将学生浴室排出的洗浴污水回用于早年建设的学生公寓冲厕之用，则采用“两进一出”的半完全分流系统；若考虑将学生公寓排出的盥洗排水回用于园林绿化和景观水体补水等室外杂用，则采用“一进两出”的半完全分流系统；若考虑将学生浴室排出的洗浴污水回用于园林绿化和景观水体补水等室外杂用，则采用无分流管系的简化系统。居住小区对以上各类系统型式均有选用，比如北潞春小区、峰尚国际公寓为简化系统，交大嘉园为“一进两出”的半完全分流系统，天通苑小区和金榜园小区为“两进一出”的半完全分流系统，上地家园等采用部分完全分流系统，蓝堡国际公寓和天兆家园等采用全部完全分流系统，从总体上来看，居住小区仍以全部或部分完全分流系统为主，距离中心城区较远、周边没有配套的市政排水管网的小区，则主要采用“两进一出”的半完全分流系统或简化系统。

### 5.3 处理站选址及设置方式

建筑中水设施的处理系统即中水处理站，一般包括原水调节池、生化反应池、中水贮存池等处理构筑物以及格栅、毛发聚集器、提升泵、曝气机、过滤器、一体化设备等处理设备。

《建筑中水设计规范》(GB50336-2002)第 7.0.1 条规定：“中水处理站位置应根据建筑的总体规划、中水原水的产生、中水用水的位置、环境卫生和管理维护要求等因素确定。以生活污水为原水的地面处理站与公共建筑和住宅的距离不宜小于 15m，建筑物内的中水处理站宜设在建筑物的最低层，建筑群(组团)的中水处理站宜设在其中心建筑的地下室或裙房内，小区中水处理站按规划要求独立设置，处理构筑物宜为地下式或封闭式。”

中水处理站如果选址不当，会给周围环境带来严重影响，同时也给设施的长期稳定运行设置了障碍。比如首都师范大学的中水处理站建在学生宿舍楼地下室，3 层以下的学生宿舍里常常充满处理间的臭味，一年四季都不敢开窗户，严重影响了学生们的正常生活。再如，百旺家苑小区的中水处理站由于紧邻居民楼，尽管全部设于地下，也给旁边的居民造成了较为严重的噪声污染。因此，建筑中水设施选址时应尽量远离居住或办公等地点，避免对周围环境造成影响。

依据建筑和小区整体格局的不同，中水处理站的各构筑物和设备也有多种

设置方式，本次调研的各类中水处理站的设置方式请参见表 5。调研发现，很多设于主体建筑地下室的中水处理站自身的环境卫生状况普遍不佳，通风条件不好，设备间内存在较大刺鼻的异味，有的地面排水不畅，存在污水死水坑。由于建筑中水设施大多建在人口密集地区，故今后在设计中，必须加强对中水处理站内通风、排风或除臭处理的要求。

### 5.4 供水方式

供水系统是建筑中水设施的重要组成部分，是建筑中水设施区别于一般污水处理设施的明显特征，其任务是将中水处理站的中水池内贮存的中水输配到建筑及小区内各中水用户的卫生洁具及小区其他用水点处，满足各用户各用水点对中水水量水压的要求，同时防止中水污染自来水。

建筑中水设施的中水供水方式主要有水泵—水箱（水塔）供水方式、气压供水方式和变频调速泵供水方式等。2000 年以后新建项目绝大部分均为变频调速泵供水方式，与其它两种供水方式相比，变频供水方式可大幅节省运行费用。高层建筑中水供水系统一般都采用分区供水。

表 5 建筑中水处理站设置方式一览表

| 设置方式              |                                                          |                                     | 特 点                                                                       | 举 例                                                                        |
|-------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 合建式<br>中水处<br>理站  | 平面布置                                                     | 中水设施各组成部分在主体建筑的同一高程上进行平面布置          | 便于物业人员对建筑各种配套设备实行统一管理，适当节省管线投资，但占用主体建筑内部空间，较难创造良好的通风条件，气味和噪声容易对主体设施造成不良影响 | 亮马河大厦、新世纪饭店、天伦王朝饭店、青蓝大厦、昆泰大厦、苏源锦江大厦、台湾饭店、松鹤大酒店<br>金都假日饭店、京都信苑大酒店、当代城市家园    |
|                   | 立体布置                                                     | 设备间等位于调节池、生化反应池、沉淀池、中水池等构筑物之上       |                                                                           |                                                                            |
| 部分合建式中水处理站        | 调节池、清水池等全部或部分构筑物设于主体建筑以外（一般为绿地之下），中水处理机房位于主体建筑的裙房或地下设备间内 |                                     | 适当增加主体建筑的使用空间，若生化反应池设于主体建筑之外并采用潜水曝气机可适当降低气味和噪声对主体设施的不良影响                  | 首都师范大学、北京联合大学                                                              |
| 分建式<br>(独立式)中水处理站 | 全地下式                                                     | 整套中水处理设施全部位于地下                      | 不占用主体建筑内部空间，可降低气味和噪声对主体设施造成的影响，便于施工和维修管理，通风条件好，但占地面积较大                    | 北京邮电大学、北京林业大学、天秀花园、百旺家苑<br>中国国际贸易中心、北京交通大学、中国地质大学、天津大学、怡生园国际会议中心、北潞春小区、金榜园 |
|                   | 半地下式                                                     | 调节池、中水池等全部或部分构筑物位于地下，值班控制间等其他部分位于地上 |                                                                           |                                                                            |

## 6. 建筑中水设施的水量平衡

建筑中水设施的水量平衡是指原水量、处理水量和中水用量三者之间形成动态平衡，使原水量、处理水量能够实时的、恰当的满足中水用量的要求，亦即使溢流的原水量、补充的自来水量达到最小值，最大限度地发挥建筑中水设施的效益。在中水工程设计之初，需认真分析用水规律，准确计算可集流原水水量和中水用量，准确进行水量平衡计算，并绘制水量平衡图以清楚地表达各水量之间的关系，作为合理确定中水工程处理规模的重要依据。

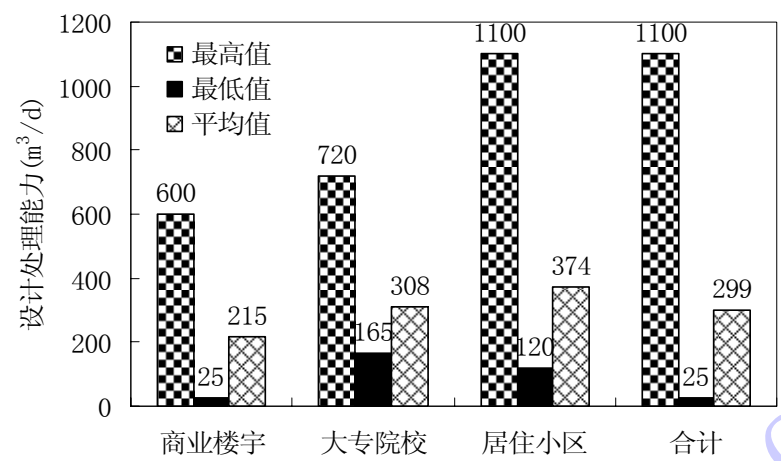
为使原水水量、处理水量和中水用量保持均衡，使中水产量与用量在一天内逐时的不均匀变化以及一年内各季节的变化都能得到调节，必须采取水量平衡措施，设置包括原水贮存池（调节池）和中水贮存池（中水池）在内的水量平衡系统。水量平衡系统的功能即是确保原水被尽量收集，处理系统尽可能连续均匀和稳定地运行，处理设备有较高的利用率，出水有较高的稳定性，处理后的中水尽可能多地得到利用。

### 6.1 设计处理能力及其利用情况

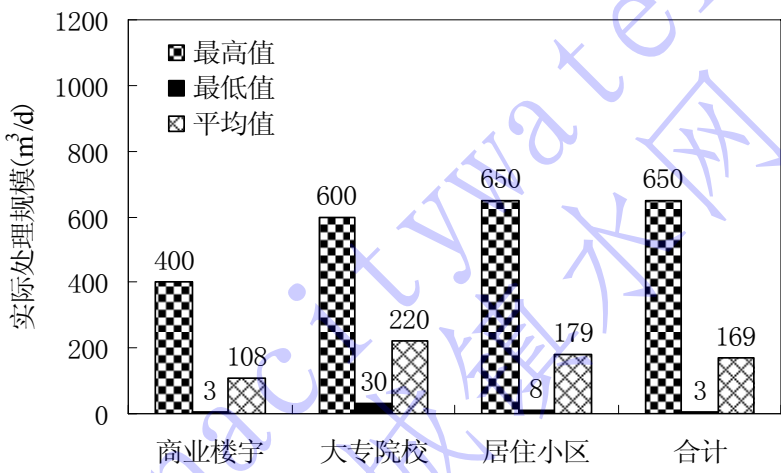
本次调研的各类中水设施设计处理能力及其利用情况的统计结果如图 4 所示。可见，从平均设计处理能力来看，居住小区中水设施最高，约为  $374\text{m}^3/\text{d}$ ，大专院校次之，约为  $308\text{m}^3/\text{d}$ ，商业楼宇最小，约为  $215\text{m}^3/\text{d}$ 。从实际处理规模的平均值来看，三者分别为  $374\text{m}^3/\text{d}$ 、 $308\text{m}^3/\text{d}$  和  $108\text{m}^3/\text{d}$ 。从设计能力利用率的平均值来看，大专院校最高，为 68%，商业楼宇次之，为 50%，居住小区则最低，为 41%。但总的来说，调研的中水设施设计能力利用效率普遍不高，平均只有 53%。如图 5 所示，设计处理能力利用率低于 50% 的中水设施分别占到商业楼宇、大专院校、居住小区中水设施总数的 62.5%、25%、81.25%，占全部中水设施的 56.25%。

分析建筑中水设施设计能力利用率普遍不高可能由以下几个原因造成：

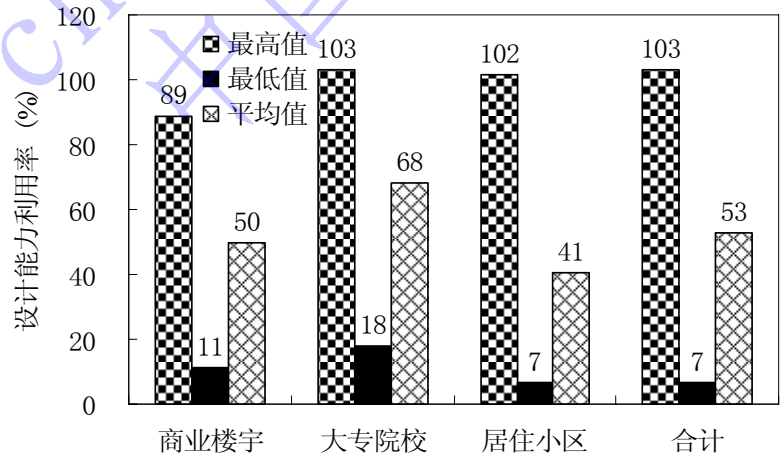
（1）在缺乏实测水量平衡数据情况下的保守设计。在中水工程与主体工程“三同时”的要求下，中水工程设计一般是在没有该工程实际的原水水量、中水用量时变化资料的情况下进行的，只能参照现有的有关城市用水定额和建筑给水排水设计规范、建筑中水设计规范等进行日处理量的核算，由于各规范在有些参量的取值上均具有一定的保险系数，这样一级一级算下来，最终的设计规模可能就远大于将来投入使用后的实际规模。



(a) 设计处理能力



(b) 实际处理规模



(c) 实际处理规模

图 4 建筑中水设施的设计处理能力及其利用情况统计

(2) 中水工程承包方提供的设计能力与实际不符。在中水工程发包阶段，发包方一般都极力压低造价，有的承包商以较低价格获得中标之后，在工程实施阶段却按较小的处理规模进行构筑物设计和设备选型，以此来降低造价，获得工程利润。

(3) 水量平衡系统设计不当。比如，当以洗浴排水和盥洗排水为中水水源时，排水高峰一般集中在早晨和晚上，如果调节池及中水池的设计容量偏小，在高峰排水时，调节池将会出现溢流现象，而此时中水池却因进水不足而需大量补充自来水，使实际处理能力远低于设计能力。造成该现象又有以下两个方面的原因：a) 在工程建设中总是将建筑中水设施用地挤占，最后只能将调节池、中水池的尺寸缩小；b) 《建筑中水设计规范》提出，“调节池（箱）的调节容积应按中水原水量及处理量的逐时变化曲线求算。在缺乏上述资料时……连续运行时，调节池（箱）的调节容积可按日处理水量的 35%~50% 计算”，许多建筑中水工程都是依此设计，但实际上，调节池容积、原水泵流量、原水泵启动水位以及后续系统规模四者均对水量平衡系统的调节能力产生重要影响，未对四者之间的匹配性进行综合考量下便简单确定调节池容积，很有可能造成即便调节池容积较大，但仍然出现溢流的现象。

(4) 居住小区中水设施设计能力利用率尤为偏低与入住率较低有直接关系。本次调研的大部分居住小区均于近一两年内建成并开始入住，不少小区内的实际人口数量与设计值有一定的差距（有的房子虽然已经出售，但业主迟迟不装修入住，或者等待出租、转手出让等），因此中水原水量和用水量也同样低于设计值。

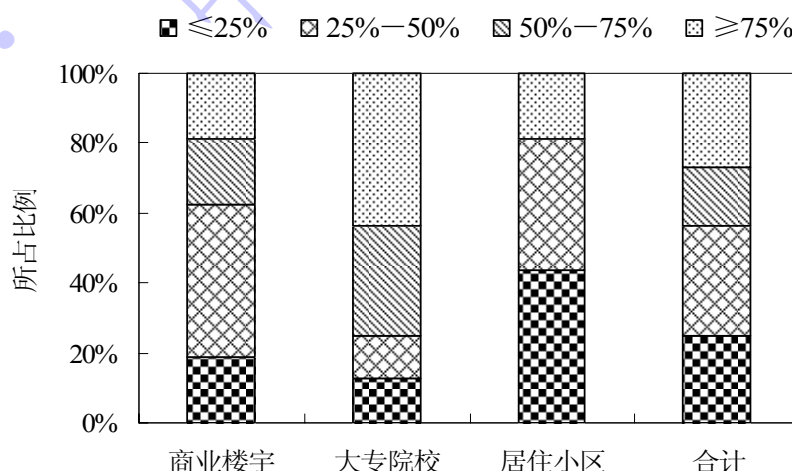


图 5 建筑中水设施设计能力利用率的分布情况

对商业楼宇、居住小区两大类共 32 个中水设施的单位主体面积设计规模和实际规模（即每万平米主体工程配套的中水工程规模）进行统计后得到图 6。从图 6 可知，无论从设计值还是实际值来看，不同的中水设施相差较大，一方面存在主体设施功能以及经营状况不同导致的服务人口数量和用水量的差别，但另一方面也暴露出水量平衡设计工作并无可靠的规范可依，所以导致类似使用功能主体工程配套的中水设施规模相差较大。再从商业楼宇、居住小区两大类中水设施平均的单位主体面积实际规模来看，分别为  $21(\text{m}^3/\text{d})/\text{万 m}^2$  和  $17(\text{m}^3/\text{d})/\text{万 m}^2$ ，较为接近，但前者大于后者，与实际上前者服务人口密度更大是一致的。

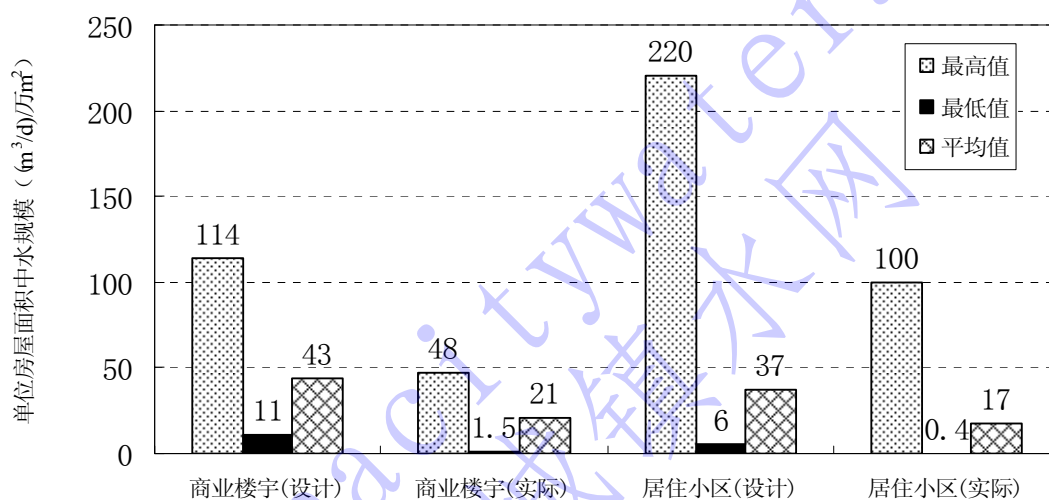


图 6 单位主体面积配套中水设施的处理规模

## 6.2 原水收集与自来水补水情况

调研发现，由于入住率低、水量平衡系统设计不当、中水水源本身不稳定等原因，不少居住小区中水设施存在原水水量严重不足的问题，比如亮马新世家、蓝堡国际公寓、上地佳园、万柳学区、橙色年代、天秀花园、幸福家园，约为受调研居住小区的一半，由此导致这些小区的中水设施目前存在大量补充自来水进入中水贮存池的现象。

商业楼宇中水设施虽然也有一部分存在原水水量不足、设计能力利用率偏低的问题，但自来水的补水比例不高，而且有相当一部分中水刚好满足需求，甚至有的出现中水用不完的现象，比如松鹤大酒店、京民大厦、东方国际文化交流中心等。

大专院校中水设施是平均设计能力利用率最高的一类，不过大专院校人口密度较大，可利用的原水水量也较多，目前已建的这些中水设施虽然基本满足中水的供水要求，但校园内中水的使用范围仍然具有较大的拓展空间。

## 7. 建筑中水设施的处理工艺及主要设备

### 7.1 处理工艺

中水处理工艺是包括预处理单元、主体处理单元、深度处理单元在内的几种或多种单元污水处理工艺的高效集成，单元处理工艺的正确选择与合理组合对于中水系统的正常运行及处理效果有着至关重要的意义。预处理单元一般包括格栅、毛发聚集器、预曝气等；主体处理单元一般分为物化处理和生物处理等两大类型，物化处理单元如混凝—沉淀、混凝—气浮、微絮凝等，生物处理单元如生物转盘、生物接触氧化法等；深度处理单元如过滤（石英砂过滤或纤维球过滤等）、活性炭吸附、膜分离、消毒（加氯消毒、紫外线消毒、臭氧消毒、电化学消毒）等。有的工艺中也将主体处理单元和深度处理单元有机结合，如曝气生物滤池、膜-生物反应器、混凝-连续微滤等。不同的中水工程采用的预处理单元大同小异，主体处理单元和深度处理单元则可能差别较大。

由于建筑中水设施的原水主要污染物是溶解性有机物及洗涤剂等，因此一般采用以生物处理为主的处理工艺方能经济有效地予以去除，当然，若以优质杂排水为原水，原水中有有机物和阴离子表面活性剂（LAS）浓度较低时，采用单纯的物化处理作为主体处理工艺也能获得较好的处理效果。表 6 列举了本次调研的建筑中水工程所采用的处理工艺。

图 7 对表 6 中各种工艺的采用情况进行了统计。由图 7 可知，大部分建筑中水设施均以生物处理作为主体处理工艺，其中以生物接触氧化法与混凝沉淀过滤的组合工艺较为普遍，尤其是调研的 16 所高校中有 13 所均采用了该工艺。与北京地区早期的中水工程多局限于常规生物处理和物化处理工艺不同的是，本次调研发现新型中水处理工艺也得到了推广应用，如将水解酸化厌氧工艺作为前置工艺降低后续好氧单元的有机负荷，采用生物活性炭以延长活性炭的使用寿命，应用曝气生物滤池、膜-生物反应器使得处理流程更加简约紧凑，尤其是后者对病原微生物的控制更为有效，自然处理系统将污水处理与景观建设有机结合，等等。



**表 6 建筑中水处理工艺一览表**

| 序号 | 工艺名称          | 工艺流程                                             | 适用原水                    | 优缺点                                                              | 工程实例                         |
|----|---------------|--------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 1  | 混凝过滤          | 格栅→调节池→混凝→沉淀/气浮→过滤→(活性炭)→消毒                      | 优质杂排水                   | 工艺简单, 占地少, 但需要定期反冲洗, 产水率不高                                       | 北京航空航天大学、北京工业大学              |
| 2  | 微絮凝过滤         | 格栅→调节池→微絮凝过滤→活性炭→消毒                              | 优质杂排水                   | 工艺简单, 占地少, 设备化程度高, 出水水质优于混凝过滤, 但需要定期反冲洗, 产水率不高, 活性炭易饱和           | 燕莎凯宾斯基饭店、亚洲锦江大饭店、昆泰大厦        |
| 3  | 混凝过滤-臭氧氧化     | 格栅→调节池→混凝沉淀→过滤→臭氧→消毒                             | 优质杂排水                   | 过滤效果好, 水质有保障, 具备物理化学的优点, 但臭氧发生器损耗较大。实际应用较少                       | 亮马河大厦                        |
| 4  | 生物转盘          | 格栅→调节池→生物转盘→沉淀→过滤→(活性炭)→消毒                       | 优质杂排水                   | 部分盘面暴露在空气中, 给周围环境带来较大气味。实际应用较少                                   | 京都信苑饭店                       |
| 5  | 一级生物接触氧化      | 格栅→调节池→生物接触氧化→沉淀→过滤→(活性炭)→消毒                     | 优质杂排水                   | 耐冲击负荷, 造价低, 但后续过滤单元需要定期反冲洗。实际应用较多                                | 新世纪饭店、北京邮电大学、当代城市家园          |
| 6  | 两级生物接触氧化      | 格栅→调节池→一级生物接触氧化→二级生物接触氧化→沉淀→过滤→(活性炭)→消毒          | 优质杂排水、杂排水以及生活污水         | 耐冲击负荷, 造价低, 但后续过滤单元需要定期反冲洗, 占地大, 维护管理复杂。实际应用较多                   | 中国国际贸易中心、北京工商大学、上地佳园         |
| 7  | 水解酸化-生物接触氧化   | 格栅→水解酸化调节池→生物接触氧化→沉淀→过滤→消毒                       | 生活污水                    | 造价低, 但流程较长, 占地较大, 出水水质不稳定                                        | 百旺家苑                         |
| 8  | 曝气生物滤池 (BAF)  | 格栅→调节池→BAF→(过滤)→消毒                               | 适用于含洗浴排水的优质杂排水及杂排水、生活污水 | 造价及运行成本较低, 占地很省, 有机物及氮、磷去除率高, 但需要定期反冲洗, 系统产水率不高                  | 东方国际文化交流中心                   |
| 9  | 膜-生物反应器 (MBR) | 格栅→调节池→MBR→消毒→                                   | 适用于含洗浴排水的优质杂排水及杂排水、生活污水 | 出水水质优良稳定, 对病原微生物去除率高, 占地紧凑, 剩余污泥排放少, 耐冲击负荷, 易于实现全自动无人看护运行, 但造价较高 | 天津水利科技大厦、天津大学、峰尚国际公寓、碧水云天·颐园 |
| 10 | 氧化沟           | 格栅→氧化沟→混凝沉淀/气浮→消毒                                | 生活污水                    | 建设、运行费用低, 有机物及氮、磷去除率高, 运行管理简单, 但占地较大                             | 怡生园国际会议中心                    |
| 11 | 内循环三相好氧生物流化床  | 格栅→调节池→生物流化床→过滤→消毒                               | 生活污水                    | 占地很省, 耐冲击负荷, 运行费用低                                               | 北潞春                          |
| 12 | 自然处理          | 格栅→预处理(水解酸化或生物接触氧化)→自然处理(土地处理系统、人工湿地、稳定塘、水生植物塘等) | 生活污水                    | 投资及运行费用最省, 处理效果稳定, 对病原微生物去除率高, 但占地很大                             | 金榜园                          |

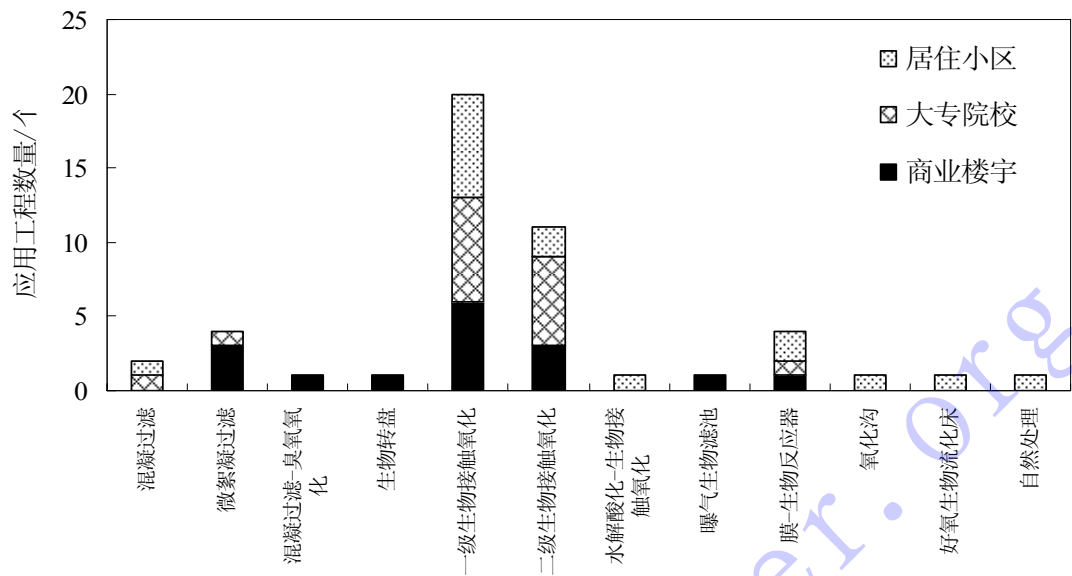


图7 建筑中水设施的主体处理工艺统计

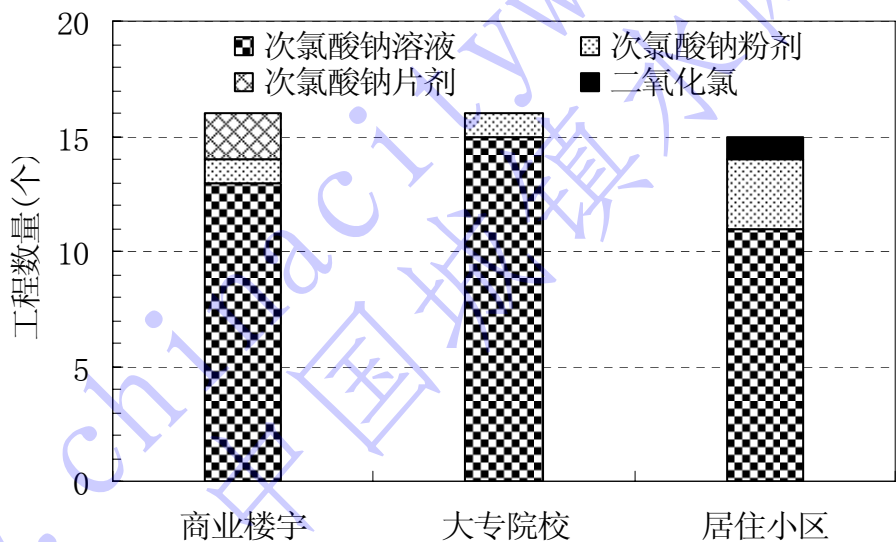


图8 建筑中水设施的消毒工艺统计

本次调研的建筑中水设施对消毒工艺的选用情况如图8所示。调研案例中未发现使用紫外线、臭氧以及电化学等消毒方式，采用次氯酸钠片剂消毒的有东方国际文化交流和天津水利科技大厦，采用次氯酸钠粉剂的有京民大厦（原用漂粉精）、北京交通大学、金榜园小区、蓝堡国际公寓以及峰尚国际公寓，采用二氧化氯消毒的仅为当代城市家园小区。其余绝大部分中水设施目前均采用以计量泵投加次氯酸钠溶液的加氯消毒方式，因为运行管理单位较易从市场上购得相对廉价的成品次氯酸钠溶液（一般为桶装，每桶盛50kg浓度为8%~



10%的次氯酸钠溶液，售价约 90 元），投加设备多为进口电磁计量泵，故障率低，后期维护少，较之采用次氯酸钠发生器、二氧化氯发生器、臭氧发生器等现场制备消毒剂等方式更为廉价和简便，不会因设备频出故障而影响中水使用或者有气体散发而要求严格的通风条件。此外，次氯酸钠片剂、粉剂也因存在难溶、易堵塞加药泵、易发生回凝等问题而应用较少。在目前采用次氯酸钠溶液的中水设施中，天伦王朝饭店原用次氯酸钠发生器，亚洲锦江大饭店原用漂白粉，松鹤大酒店原用漂粉精，苏源锦江大厦原用二氧化氯发生器。

## 7.2 主要设备

建筑中水设施的主要设备一般可分为通用设备和专用设备两大类。

### 7.2.1 通用设备

#### ①格栅

格栅主要是去除污水中的悬浮性物质。根据栅条间隙大小可分为粗、中、细 3 种，建筑中水设施原水中的悬浮性物质颗粒较小，实际工程中主要采用中、细两种格栅。《建筑中水设计规范》要求中格栅的栅条间隙为 10~20mm，细格栅为 2.5mm。实际工程中有的选用机械格栅，有的采用自制格栅（筛网用得较多），前者一般价格较高，但可以自动清渣，减少了操作人员的劳动强度。

#### ②毛发聚集器

目前已建的建筑中水设施的中水水源一般都包含洗浴污水，因此均设有毛发聚集器，以去除其中的毛发，防止后续管线和设备的堵塞。毛发聚集器多采用人工清洗，清洗周期从数日到几周不等，根据水质不同而定。毛发聚集器的处理效果往往决定着后续设施能不能正常运行，比如，北京林业大学中水处理站的中水水源为澡堂淋浴排水，由于来水中毛发较多，且毛发聚集器选型不当，结果导致毛发聚集器、二级提升泵、砂滤管等常常发生毛发堵塞现象，严重影响了工艺的正常运行。

#### ③曝气机

曝气机是生化处理工艺的关键设备，一旦曝气机出现故障整个工艺都无法正常运行。实际工程中常用的曝气机有射流曝气机和鼓风机两种形式，前者浸没安装于生化反应池的底部，后者干式安装于专设的鼓风机房（间），并多以三

叶罗茨鼓风机为主。鼓风机噪音较大，但便于安装和维修，能耗较低；射流曝气机一般噪音较小，但维修麻烦，能耗较高。若选用鼓风机曝气，应配备消音装置，以防止噪声污染。调研中即发现部分中水设施存在噪音超标现象，因此在选择鼓风机时一定要将噪声作为一个重要考核指标。

#### ④提升泵

中水原水经过格栅进入调节池后往往达到最低高程，因此须设置提升泵将污水扬至后续处理单元。建筑中水设施的提升泵主要有自吸排污泵和潜水污水泵两种形式，分别采用干式和湿式两种安装方式，毛发聚集器则分别设在前者的吸水管上和后者的出水管上。由于自吸排污泵占用了一定的设备间面积，因此实际工程中多采用潜水污水泵，但要求毛发聚集器应得到及时清洗，否则会因出水管压过高而导致电机烧损。调研还发现不少建筑中水设施的提升泵与实际运行情况不匹配，主要表现为运行效率低下，比如北京联合大学中水处理站设计规模为  $8\text{m}^3/\text{h}$ ，而提升泵流量只有  $6\text{m}^3/\text{h}$ ，结果导致整个工艺不得不间歇运行，目前该项目正在进行改造。因此提升泵的选型应根据调节构筑物的容积、启闭水位、运行时间等情况进行合理确定。

### 7.2.2 专用设备

#### ①过滤设备

建筑中水设施的过滤设备主要是去除生化处理出水中较小的颗粒物质，实际工程中多采用砂滤、活性炭过滤以及二者的组合。过滤设备的罐体有钢质和玻璃钢质两种，内部滤料有石英砂、陶粒、无烟煤、活性炭及各种弹性填料。过滤设备须定期进行反冲洗，是日常运行维护中消耗人工较多的操作环节，提高自动化程度后不但可以减少劳动强度，也可以避免因反冲不及时造成的过滤设备效率降低等问题。

#### ②一体化设备

由于城市土地资源紧张等原因，近几年相继有一批一体化中水处理设备投入使用，比如，苏源锦江大厦、青蓝大厦、北京工业大学、北京交通大学、橙色年代小区、天绣花园小区、幸福家园小区等中水工程均采用了一体化设备。

目前中水市场上的一体化设备常采用多个单元工艺组合的形式，比如混凝+沉淀+过滤、混凝+气浮+过滤、生物接触氧化+沉淀（+过滤）、多级过滤

等。目前这类一体化设备普遍存在抗水力冲击负荷能力较差的缺点，当水量变化较大时设备无法稳定运行。同时一体化设备的生产厂家也较为杂乱，尚没有统一的产品标准。因此对于一体化设备应考虑实施标准化和严格的质量认证。

也有的一体化设备采用新型的膜-生物反应器（MBR）工艺。MBR 工艺具有出水水质好、占地面积小、适于模块化设计、易于实现自动控制、便于操作管理等优点，近年在实际的中水工程中逐渐得到了应用，并取得了较好的应用效果，比如天津水利科技大厦、北京峰尚国际公寓、北京碧水云天·颐园小区等中水工程均采用 MBR 工艺。随着膜组件的国产化及膜使用寿命的延长，采用 MBR 工艺的一体化设备在中小规模的建筑中水工程中将有广阔的应用前景。

### ③消毒设备

消毒设备主要依消毒工艺而定，目前实际工程中选用的主要有电磁计量泵（定量投加次氯酸钠溶液等）、消毒灌（贮存次氯酸钠粉剂或片剂）、二氧化氯发生器、紫外消毒器、臭氧发生器、电化学消毒器等。

## 8. 建筑中水设施的建设投资及运行成本

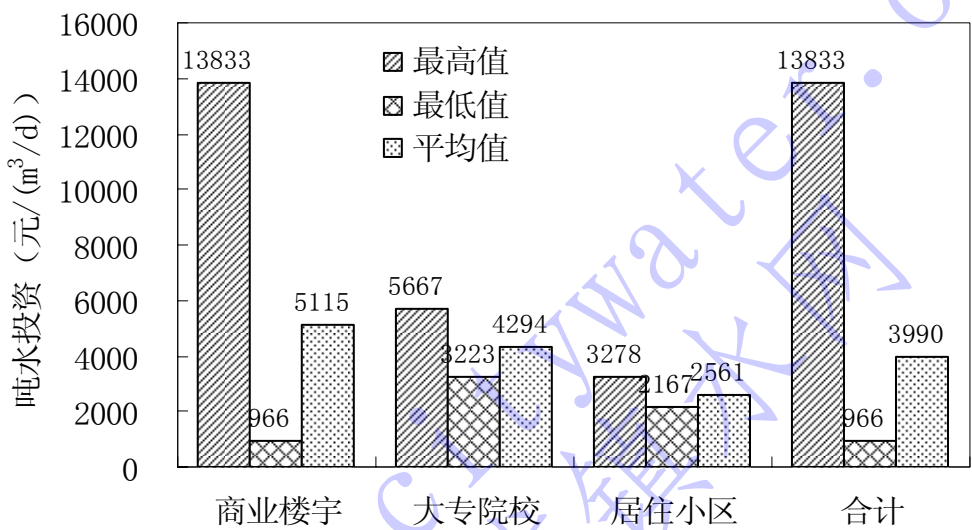
建筑中水设施的经济效益是建设单位最关注的问题，作为投资者，首先考虑的就是要花多少钱，需要投入多少，能够得到多少效益回报，经济上是不是划算。

### 8.1 建设投资

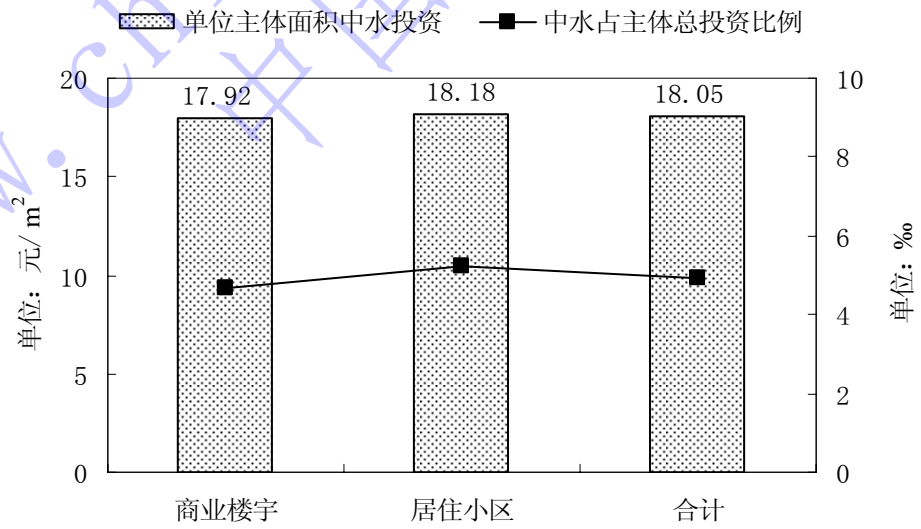
#### 8.1.1 建设投资概况

建筑中水设施的投资主要包括配套管网费用、中水处理站的基建及设备投入等。根据现场走访及查阅相关文献，将 24 个建筑中水设施的建设投资情况列于表 7。图 9 根据表 7 中的数据对中水设施的单位投资和中水设施投资占主体工程总投资的比例进行了统计。由表 7 和图 9 可知，24 个中水设施的平均单位投资为 3990 元/(m<sup>3</sup>/d)，从类别来看，商业楼宇最高，平均为 5115 元/(m<sup>3</sup>/d)，大专院校次之，平均为 4294 元/(m<sup>3</sup>/d)，居住小区最低，平均为 2561 元/(m<sup>3</sup>/d)，基本上反映出建设时间越晚（参见图 1），设备国产化率越高、供应商越多、竞争程度越激烈，使得单位投资就越低。事实上，一般情况下建筑中水处理站的吨水投资可控制在 2000~4000 元/(m<sup>3</sup>/d)的范围内，以目前以及将来建筑中水回

用领域两类主导工艺——生物接触氧化与混凝沉淀过滤的组合工艺和膜生物反应器工艺为例，前者的吨水投资一般为 2000~3000 元/(m<sup>3</sup>/d)，后者则一般为 2500~4000 元/(m<sup>3</sup>/d)。此外，尽管各类建筑中水设施的处理规模和处理工艺有所不同，但它们在主体工程总投资中所占的比例均较低，除怡生园国际会议中心外，其余均未超过 1%，调研的全部商业楼宇和居住小区中水设施投资平均占主体工程总投资的 4.93‰，均摊在主体工程单位面积上的投资平均约 18 元，除了怡生园国际会议中心外的居住小区则均未超过 10 元。



(a) 各类建筑中水设施的吨水投资情况



(b) 单位主体面积的中水投资及中水占主体总投资的比例情况

图 9 建筑中水设施的单位投资及占总投资的比例情况

表 7 部分建筑中水设施建设投资情况一览表

| 工程名称       | 建设时间                           | 主体工程<br>建筑面积<br>(m <sup>2</sup> ) | 单位面积<br>主体投资<br>(元/m <sup>2</sup> ) | 主体工程<br>总投资<br>(万元) | 中水工程<br>设计规模<br>(m <sup>3</sup> /d) | 中水设施<br>占地面积<br>(m <sup>2</sup> ) | 中水设施<br>主体工艺 | 中水设施总投资（万元）        |       |                 | 中水设施单位投资 |       | 中水投资占<br>总投资比例<br>(%) |
|------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------------|-------|-----------------|----------|-------|-----------------------|
|            |                                |                                   |                                     |                     |                                     |                                   |              | 土建                 | 设备    | 合计 <sup>f</sup> | 单位面积     | 单位水量  |                       |
| 商业楼宇中水工程   |                                |                                   |                                     |                     |                                     |                                   |              |                    |       |                 |          |       |                       |
| 中国国际贸易中心   | 1990 年 8 月                     | 56                                | 7707                                | 431600              | 600                                 | 490                               | 两级接触氧化       | 232.4              | 597.6 | 830             | 14.82    | 13833 | 0.19                  |
| 金都假日饭店     | 1990 年 10 月                    | 2.7288                            | 3777 <sup>a</sup>                   | 10307               | 264                                 | 125                               | 两级接触氧化       | 8.57 <sup>d</sup>  | 91    | 99.57           | 36.49    | 3772  | 0.97                  |
| 亚洲锦江大饭店    | 1991 年 5 月                     | 4.3                               | 3777 <sup>a</sup>                   | 16241               | 120                                 | 100                               | 微絮凝过滤        | 8.4 <sup>d</sup>   | 60    | 68.4            | 15.91    | 5700  | 0.42                  |
| 燕莎凯宾斯基饭店   | 1991 年                         | 16                                | 3777 <sup>a</sup>                   | 60432               | 360                                 | 80                                | 微絮凝过滤        | 12.96 <sup>e</sup> | 420   | 432.96          | 27.06    | 12027 | 0.72                  |
| 松鹤大酒店      | 1992 年 4 月                     | 2.1                               | 3777 <sup>a</sup>                   | 7932                | 240                                 | 120                               | 两级接触氧化       | 4.68 <sup>d</sup>  | 18.5  | 23.18           | 11.04    | 966   | 0.29                  |
| 京民大厦       | 1993 年 7 月                     | 3.4                               | 3777 <sup>a</sup>                   | 12842               | 200                                 | 162                               | 一级接触氧化       | 6 <sup>d</sup>     | 20    | 26              | 7.65     | 1300  | 0.20                  |
| 台湾饭店       | 1990 年试运行, 1997<br>年 10 月改造后运行 | 2.2045                            | 3777 <sup>a</sup>                   | 8326                | 100                                 | 100                               | 一级接触氧化       | 9.14 <sup>d</sup>  | 64.36 | 73.5            | 33.34    | 7350  | 0.88                  |
| 天伦王朝饭店     | 1993 年试运行, 1997<br>年 12 月改造后运行 | 5.27                              | 3777 <sup>a</sup>                   | 19905               | 240                                 | 145                               | 一级接触氧化       | 7.28 <sup>d</sup>  | 30    | 37.28           | 7.07     | 1553  | 0.19                  |
| 京都信苑饭店     | 1998 年                         | 5.6                               | 3593 <sup>a</sup>                   | 20121               | 200                                 | 120                               | 生物转盘         |                    |       | 100             | 17.86    | 5000  | 0.50                  |
| 昆泰大厦       | 1999 年 3 月                     | 4                                 | 3336 <sup>a</sup>                   | 13344               | 180                                 | 69                                | 微絮凝过滤        | 5                  | 40    | 45              | 11.25    | 2500  | 0.34                  |
| 东方国际文化交流中心 | 2000 年 3 月                     | 2.4                               | 2900 <sup>a</sup>                   | 6960                | 90                                  | 60                                | 曝气生物滤池       | 7.86 <sup>d</sup>  | 23.5  | 31.36           | 13.06    | 3484  | 0.45                  |
| 青蓝大厦       | 2001 年 2 月                     | 2                                 | 4390 <sup>a</sup>                   | 8780                | 100                                 | 80                                | 一级接触氧化       | 10                 | 29    | 39              | 19.50    | 3900  | 0.44                  |
| 平均         |                                |                                   |                                     |                     |                                     |                                   |              |                    |       |                 | 17.92    | 5115  | 0.47                  |
| 大专院校中水工程   |                                |                                   |                                     |                     |                                     |                                   |              |                    |       |                 |          |       |                       |
| 北京航空航天大学   | 1996 年 11 月                    | —                                 | —                                   | —                   | 320                                 | 200                               | 微絮凝过滤        | 11.52 <sup>e</sup> | 91.6  | 103.12          | —        | 3223  | —                     |
| 北京联合大学     | 1997 年                         | —                                 | —                                   | —                   | 165                                 | 63                                | 两级接触氧化       | 16                 | 39    | 55              | —        | 3333  | —                     |
| 中央民族大学     | 2000 年 12 月                    | —                                 | —                                   | —                   | 240                                 | 150                               | 两级接触氧化       | 95                 | 31    | 126             | —        | 5250  | —                     |
| 北京服装学院     | 2001 年 10 月                    | —                                 | —                                   | —                   | 240                                 | ?                                 | 两级接触氧化       | 60                 | 45    | 105             | —        | 4375  | —                     |
| 中华女子学院     | 2002 年 12 月                    | —                                 | —                                   | —                   | 360                                 | 150                               | 一级接触氧化       | 90                 | 51    | 141             | —        | 3917  | —                     |
| 北京师范大学     | 2003 年 7 月                     | —                                 | —                                   | —                   | 600                                 | ?                                 | 两级接触氧化       | 220                | 120   | 340             | —        | 5667  | —                     |
| 天津大学       | 2004 年                         | —                                 | —                                   | —                   | 500                                 | ?                                 | 膜生物反应器       |                    |       | 200             | —        | 4000  | —                     |
| 平均         |                                |                                   |                                     |                     |                                     |                                   |              |                    |       |                 | —        | 4294  | —                     |
| 居住小区中水工程   |                                |                                   |                                     |                     |                                     |                                   |              |                    |       |                 |          |       |                       |
| 怡生园国际会议中心  | 1998 年 6 月                     | 5                                 | 5071 <sup>b</sup>                   | 25355               | 1100                                | 370                               | 氧化沟          |                    |       | 300             | 60.00    | 2727  | 1.18                  |
| 北潞春        | 2000 年 11 月                    | 16.63                             | 2371 <sup>c</sup>                   | 39430               | 640                                 | 600                               | 三相好氧流化床      | 25                 | 115   | 140             | 8.42     | 2188  | 0.36                  |
| 亮马新世家      | 2003 年 6 月(4 个月后<br>停运)        | 9.5                               | 2113 <sup>c</sup>                   | 20074               | 240                                 | 120                               | 一级接触氧化       | 8.64 <sup>e</sup>  | 50    | 58.64           | 6.17     | 2443  | 0.29                  |
| 峰尚国际公寓     | 2003 年 7 月                     | 8                                 | 2113 <sup>c</sup>                   | 16904               | 240                                 | 30                                | 膜生物反应器       | 32                 | 20    | 52              | 6.50     | 2167  | 0.31                  |
| 幸福家园       | 2004 年 11 月                    | 6                                 | 2113 <sup>c</sup>                   | 12678               | 180                                 | 140                               | 一级接触氧化       | 15                 | 44    | 59              | 9.83     | 3278  | 0.47                  |
| 平均         |                                |                                   |                                     |                     |                                     |                                   |              |                    |       |                 | 18.18    | 2561  | 0.52                  |
| 总平均        |                                |                                   |                                     |                     |                                     |                                   |              |                    |       |                 | 18.05    | 3990  | 0.49                  |

备注：

a、b、c 分别为北京市统计局提供的当年北京地区旅馆招待所类、办公室类、商业营业类房屋每平方米造价；

d、e 该部分中水设施的土建部分未与主体工程分开统计，根据各中水设施的构筑物总容积，按 600 元/m<sup>3</sup> 进行估算。其中标 e 的部分的构筑物容积由于缺乏数据，假设构筑物仅包括调节池和中水池，并分别为设计日处理规模的 35%和 25%；

f 由于无法统计中水管网系统的投资，所有中水设施的总投资仅为中水处理站的土建和设备投资。

### 8.1.2 处理规模对建设投资的影响

图 10 显示的是同样以生物接触氧化为主体处理工艺的松鹤大酒店、京民大厦、台湾饭店、天伦王朝饭店、青蓝大厦、北京联合大学、亮马新世家、幸福家园等 8 个中水设施的单位水量投资情况。可见，随着处理规模的增大，中水设施的单位投资总体呈下降趋势，表明中水设施的投资具有一定的规模经济性。

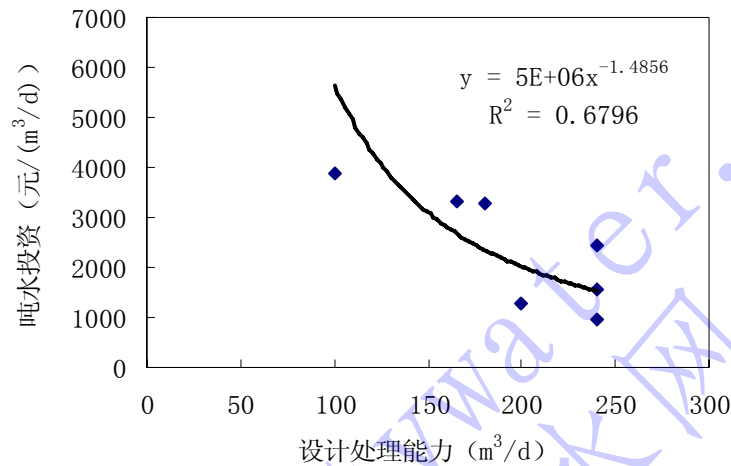


图 10 建筑中水设施单位投资与处理规模的关系

### 8.1.3 处理工艺对建设投资的影响

对表 7 所列中水设施按主体处理工艺进行划分，相同工艺的单位投资取各案例的平均值，则各种工艺的单位水量投资情况如图 11 所示。由图 11 可知，各种工艺的单位投资从大到小的次序为：微絮凝过滤>生物转盘>生物接触氧化>曝气生物滤池>膜生物反应器>氧化沟>生物流化床。这与上述工艺的实际所需投资情况有所不同，可见在中水工程承发包当中，决定标的值尚有诸多商业因素在起作用。需要指出的是，由于采用微絮凝过滤、生物转盘、生物接触氧化工艺的一般均为早期的中水工程，部分工程为进口的成套设备（如中国国际贸易中心和燕莎凯宾斯基饭店，吨水投资分别高达 13833 元/(m³/d)和 12027 元/(m³/d)），部分工程又经历过改造（如台湾饭店由生物转盘改为生物接触氧化，吨水投资为 7350 元/(m³/d)，高于平均水平），因此，这三类工艺的单位投资处于最高的水平。表 7 中列举的采用膜生物反应器工艺的中水工程有天津大学和峰尚国际公寓两家，吨水投资分别为 4000 元/(m³/d)和 2167 元/(m³/d)，总体上处于中等偏下水平。

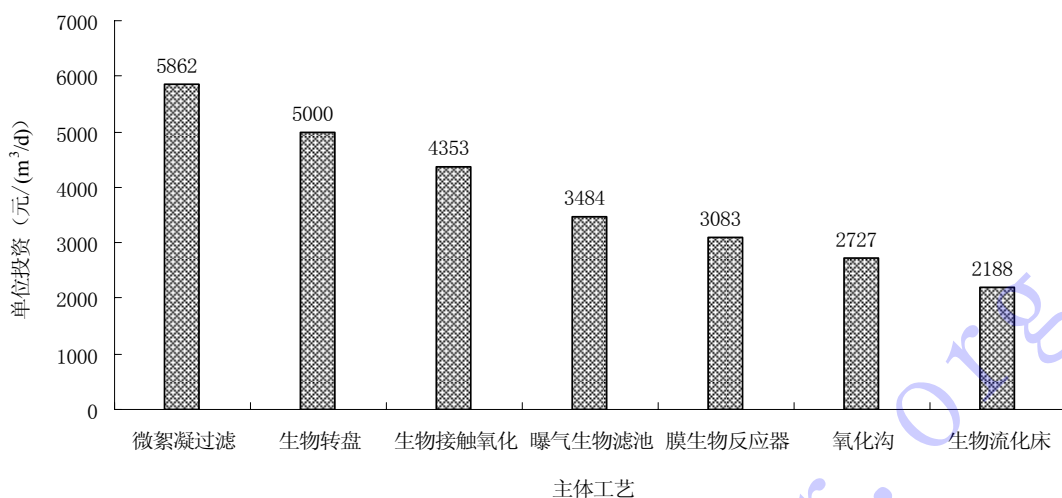
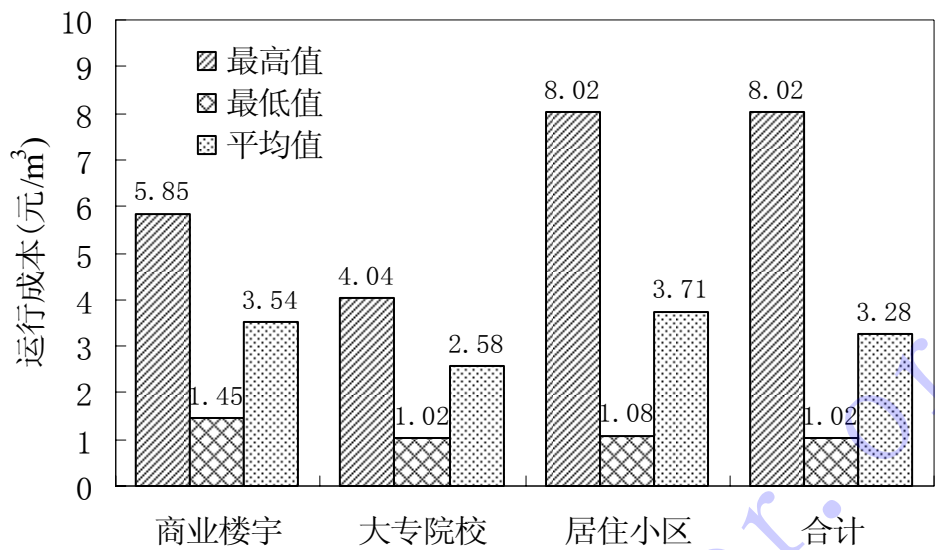


图 11 不同处理工艺的建筑中水设施单位投资的比较情况

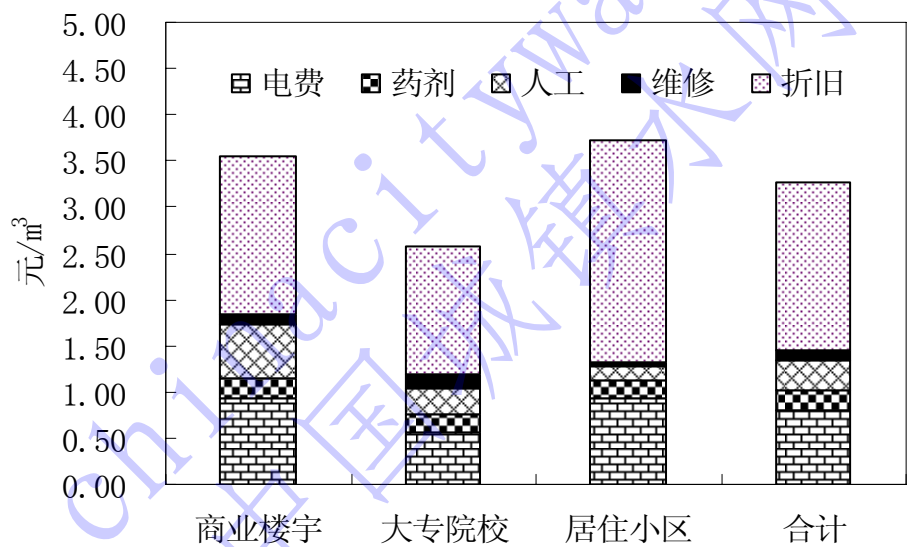
## 8.2 运行成本

### 8.2.1 运行成本概况

建筑中水设施的运行成本主要包括动力、药剂消耗、人员工资、设备维修、折旧等项。表 8 和图 12 对表 7 中所列中水设施的运行成本情况进行了统计。从平均运行成本来看，居住小区最高，达到 3.71 元/m<sup>3</sup>，商业楼宇次之，为 3.54 元/m<sup>3</sup>，大专院校最低，为 2.58 元/m<sup>3</sup>。但整体上，调研的中水设施的运行成本普遍偏高，平均达到 3.28 元/m<sup>3</sup>。分析认为：1）商业楼宇中水设施运行成本偏高的主要原因是建设时间较早，设备投资较大，加之运行效率也不高（平均为 51.41%），致使折旧费较高，平均达 1.69 元/m<sup>3</sup>，另外人工费也较高，平均达 0.60 元/m<sup>3</sup>，为三类中最高；2）大专院校中水设施运行成本较高的主要原因是运行效率较低，平均为 52.39%，虽然高于其他两类，但仍有近一半的设计能力闲置，折旧费也高达 1.39 元/m<sup>3</sup>；3）居住小区中水设施运行成本最高的原因主要是运行效率过低，平均仅为 45.79%，低于其他两类，幸福家园和亮马新世家分别仅为 11.11%和 20.83%，致使两者的运行成本分别高达 5.27 元/m<sup>3</sup>和 8.02 元/m<sup>3</sup>。实际上，如果投资适中，设计能力利用率超过 80%，建筑中水设施的运行成本一般可控制在 1.00~2.00 元/m<sup>3</sup> 的范围内，同样以生物接触氧化与混凝沉淀过滤的组合工艺和膜生物反应器工艺为例，前者的运行成本一般为 1.40~2.00 元/m<sup>3</sup>，后者的运行成本一般为 1.00~1.60 元/m<sup>3</sup>。可见，提高运行效率是现有中水设施降低成本的有效途径。



(a) 各类建筑中水设施运行成本的变化幅度



(b) 各类建筑中水设施平均运行成本的构成

图 12 各类建筑中水设施的运行成本及其构成

下面再结合表 8 和图 12 对运行成本的各个分项逐一进行分析。

① 电费

电费平均占总运行成本的 24.6%，仅次于折旧费。建筑中水设施的耗电量根据耗电设备的功率、台数、用电时间计算，电费单价随用电单位和用电时段而有所不同，北京市正常时段平均电价约 0.67 元/（kw·h）。建筑中水设施的主要耗电设备为鼓风机和污水提升泵，在实际运行过程中若根据日用水量变化曲线，适时调控各耗电设备，优化耗电设备的运行，可以有效降低电费。



## ② 药剂费

药剂费平均占总运行成本的 6.2%，根据药剂的种类、用量及单价计算。建筑中水设施所用的药剂主要是消毒剂和混凝剂，其中前者为各工艺普遍采用，后者主要是生物接触氧化等常规生物处理与混凝沉淀过滤的组合工艺所采用，曝气生物滤池和膜生物反应器工艺不投加混凝剂。目前实际工程中所采用的消毒剂主要有次氯酸钠、臭氧、二氧化氯，但大部分都采用次氯酸钠消毒。目前常用的混凝剂主要有聚合氯化铝（PACl）和聚合氯化铁，通过调研和实验发现最佳混凝剂为聚合氯化铝，最佳投药量为 30mg/l。

## ③ 人工费

人工费平均占总运行成本的 10.5%。根据实际用人情况及工资水平计算。设备自动化程度及各运行单位的管理方式是影响人工费的主要因素。设备的自动化程度越高，占用的管理人员越少，人工费就越低。在人员的管理上，有的单位设专职人员管理，有的兼职管理。

## ④ 维修费

维修费平均占总运行成本的 3.0%。建筑中水设施因投入时间、设备完好程度不同，大修及日常维护费用差别很大，并且在调研中发现，维修费用的历史数据记录普遍欠缺。

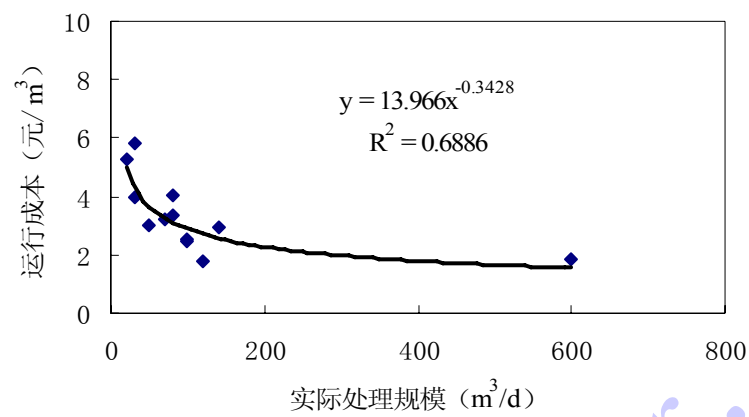
## ⑤ 折旧费

折旧费在总运行成本中所占比例最高，平均为 55.7%。有关折旧费用的计算方法各个单位有所不同。有的单位是按总投资进行折旧，有的仅按设备折旧，折旧率也不尽相同，为了便于比较，表 8 按照“市政公用设施项目经济评价细则”的规定，折旧率统一按总投资的 4.6%进行计算。在建筑中水设施的建设投资中，设备部分约占整个工程投资的 70%~80%，土建部分只占 20%~30%，因此选择质优价廉的中水处理设备对降低折旧费至关重要。

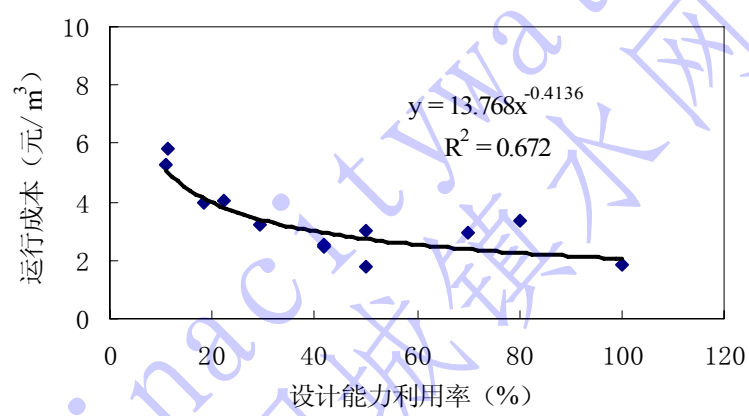
### 8.2.2 处理规模和运行效率对运行成本的影响

根据表 8 中所列的同样以生物接触氧化为主体处理工艺的金都假日酒店、松鹤大酒店、京民大厦、台湾饭店、天伦王朝饭店、青蓝大厦、北京联合大学、中央民族大学、北京服装学院、中华女子学院、北京师范大学、幸福家园等 12 个中水设施的运行成本情况，可以知道中水设施运行成本与实际处理规模和运行效率均呈一定的负相关（如图 13 所示），合理地扩大处理能力并提高运行效

率，是降低中水设施运行成本的有效途径。



(a) 运行成本随实际处理规模的变动情况



(b) 运行成本随运行效率的变动情况

图 13 建筑中水设施运行成本与处理规模、运行效率的关系

8.2.3 处理工艺对运行成本的影响

对表 8 所列中水设施按主体处理工艺进行划分，相同工艺的运行成本取各案例的平均值，则各种工艺的运行成本情况如图 14 所示。由于采用微絮凝过滤、生物转盘、生物接触氧化三种主体处理工艺的中水设施的单位投资偏高，物化处理单元需投加混凝剂并需配备较多的管理人员，所以相应的折旧费、药剂费和人工费均高于其他工艺，总运行成本也是如此。

表 8 部分建筑中水设施运行成本情况一览表

| 工程名称       | 主体处理工艺    | 设计处理能力<br>(m³/d) | 实际处理规模<br>(m³/d) | 设计能力利用率<br>(%) | 运行费用 (元/m³) |      |      |      |                   |      |
|------------|-----------|------------------|------------------|----------------|-------------|------|------|------|-------------------|------|
|            |           |                  |                  |                | 电费          | 药剂   | 人工   | 维修   | 折旧                | 合计   |
| 商业楼宇中水工程   |           |                  |                  |                |             |      |      |      |                   |      |
| 中国国际贸易中心   | 两级接触氧化    | 600              | 400              | 66.67          | 1.30        | 0.20 | 1.10 | 0.30 | 2.62 <sup>a</sup> | 5.52 |
| 金都假日酒店     | 两级接触氧化    | 264              | 30               | 11.36          | 1.30        | 0.15 | 0.13 | 0.09 | 4.18 <sup>a</sup> | 5.85 |
| 亚洲锦江饭店     | 微絮凝过滤     | 120              | 40               | 33.33          | 1.10        | 0.21 | 0.42 | 0.06 | 2.73 <sup>b</sup> | 4.52 |
| 燕莎凯宾斯基饭店   | 微絮凝过滤     | 360              | 210              | 58.33          | 1.10        | 0.20 | 0.30 | 0.20 | 2.60 <sup>a</sup> | 4.40 |
| 松鹤大酒店      | 两级接触氧化    | 240              | 100              | 41.67          | 0.71        | 0.05 | 1.40 | 0.04 | 0.35 <sup>b</sup> | 2.55 |
| 京民大厦       | 一级接触氧化    | 200              | 140              | 70.00          | 1.00        | 0.15 | 0.40 | 0.10 | 1.30 <sup>b</sup> | 2.95 |
| 台湾饭店       | 一级接触氧化    | 100              | 50               | 50.00          | 0.45        | 0.07 | 0.60 | 0.04 | 1.85 <sup>a</sup> | 3.02 |
| 天伦王朝饭店     | 一级接触氧化    | 240              | 120              | 50.00          | 1.06        | 0.08 | 0.23 | 0.03 | 0.39 <sup>a</sup> | 1.79 |
| 京都信苑饭店     | 生物转盘      | 200              | 100              | 50.00          | 0.80        | 0.80 | 0.50 | 0.20 | 1.26 <sup>a</sup> | 3.56 |
| 昆泰大厦       | 微絮凝过滤     | 180              | 30               | 16.67          | 0.60        | 0.27 | 0.66 | 0.10 | 1.89 <sup>a</sup> | 3.52 |
| 东方国际文化交流中心 | 曝气生物滤池    | 90               | 80               | 88.89          | 0.56        | 0.10 | 0.20 | 0.05 | 0.54 <sup>b</sup> | 1.45 |
| 青蓝大厦       | 一级接触氧化    | 100              | 80               | 80.00          | 1.10        | 0.30 | 1.23 | 0.10 | 0.61 <sup>a</sup> | 3.34 |
| 平均         |           | 224.5            | 115              | 51.41          | 0.92        | 0.22 | 0.60 | 0.11 | 1.69              | 3.54 |
| 大专院校中水工程   |           |                  |                  |                |             |      |      |      |                   |      |
| 北京航空航天大学   | 微絮凝过滤     | 320              | 330              | 103.13         | 0.60        | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.60 <sup>b</sup> | 1.50 |
| 北京联合大学     | 两级接触氧化    | 165              | 30               | 18.18          | 0.28        | 0.48 | 0.37 | 0.50 | 2.31 <sup>a</sup> | 3.94 |
| 中央民族大学     | 两级接触氧化    | 240              | 100              | 41.67          | 0.36        | 0.11 | 0.37 | 0.06 | 1.59 <sup>a</sup> | 2.49 |
| 北京服装学院     | 两级接触氧化    | 240              | 70               | 29.17          | 0.81        | 0.15 | 0.29 | 0.09 | 1.89 <sup>a</sup> | 3.22 |
| 中华女子学院     | 一级接触氧化    | 360              | 80               | 22.22          | 0.96        | 0.31 | 0.50 | 0.05 | 2.22 <sup>a</sup> | 4.04 |
| 北京师范大学     | 两级接触氧化    | 600              | 600              | 100.00         | 0.50        | 0.28 | 0.20 | 0.13 | 0.71 <sup>a</sup> | 1.83 |
| 天津大学       | 膜生物反应器    | 500              | 500              | 100.00         | 0.40        | 0.02 | 0.10 | 0.08 | 0.50 <sup>a</sup> | 1.10 |
| 平均         |           | 320.83           | 185              | 49.62          | 0.56        | 0.21 | 0.28 | 0.14 | 1.39              | 2.58 |
| 居住小区中水工程   |           |                  |                  |                |             |      |      |      |                   |      |
| 怡生园国际会议中心  | 氧化沟       | 1100             | 500              | 45.45          | 1.06        | 0.10 | 0.27 | 0.06 | 0.76 <sup>a</sup> | 2.24 |
| 北潞春        | 三相好氧生物流化床 | 640              | 650              | 101.56         | 0.43        | 0.05 | 0.09 | 0.03 | 0.48 <sup>b</sup> | 1.08 |
| 亮马新世家      | 一级接触氧化    | 240              | 50               | 20.83          | 1.50        | 0.60 | 0.20 | 0.00 | 5.72 <sup>a</sup> | 8.02 |
| 峰尚国际公寓     | 膜生物反应器    | 240              | 120              | 50.00          | 0.60        | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 1.28 <sup>a</sup> | 1.96 |
| 幸福家园       | 一级接触氧化    | 180              | 20               | 11.11          | 1.10        | 0.15 | 0.20 | 0.10 | 3.72 <sup>a</sup> | 5.27 |
| 平均         |           | 480              | 268              | 45.79          | 0.94        | 0.18 | 0.16 | 0.04 | 2.39              | 3.71 |
| 总平均        |           | 341.78           | 189.33           | 48.94          | 0.81        | 0.20 | 0.34 | 0.10 | 1.83              | 3.28 |

备注：

a、该部分中水设施的折旧费有的运行管理单位作了统计，有的未作统计，进行统计的单位有的也仅对设备进行了统计，而且折旧年限参差不齐，为便于比较，本文根据中水设施总投资额度并依照“市政公用设施项目经济评价细则”取综合折旧率为4.6%进行计算，如运行单位提供的折旧费低于校正值，以校正值为准，如高于校正值，取运行单位提供的折旧费；

b、为运行单位提供的折旧费。

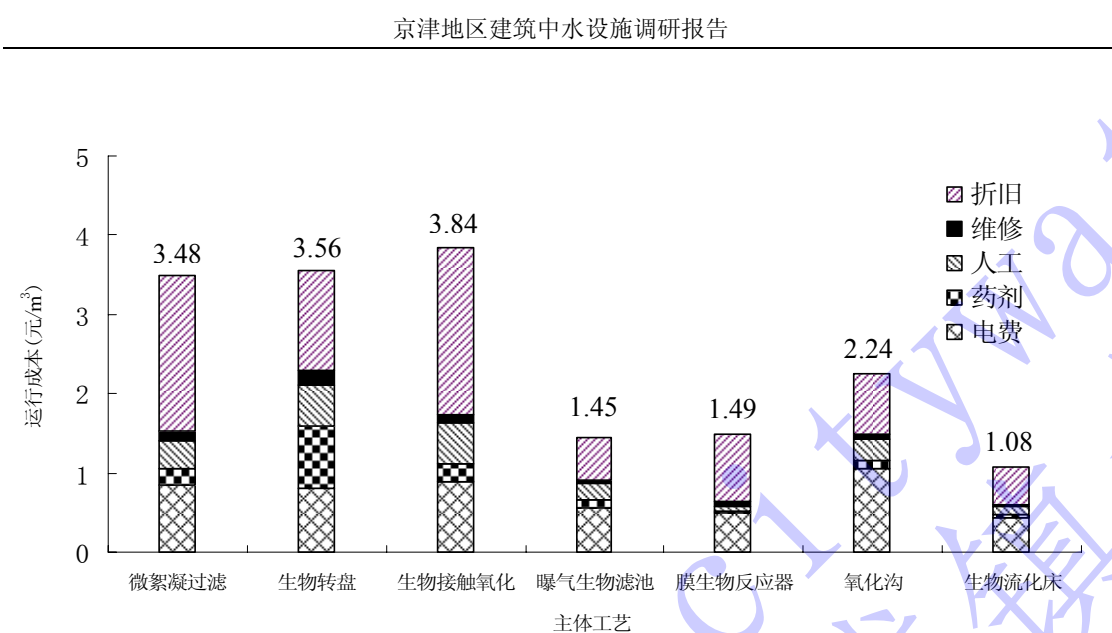


图 14 不同处理工艺的建筑中水设施运行成本的比较情况

## 9. 建筑中水设施的运行管理状况

### 9.1 运行管理单位

由表 1、2、3 可知，写字楼和居民小区的中水设施均由物业管理公司负责管理，大专院校由节水办（有的称节能办或动力中心）负责管理，宾馆饭店则由工程部负责管理。由此可见，建筑中水设施运行管理单位的性质不尽相同，较难形成统一有效的运行管理机制，另外，对于大部分商业楼宇和居住小区的中水设施，运行管理单位与建设单位并不相同或同属一个上级单位，因此容易造成责权不清晰、出现问题互相推托等现象。大专院校的中水设施一般也是多部门参与建设和管理，比如由基建部门负责立项和建设，后勤部门负责运行管理，节水办负责协助管理，也可能出现上述问题。

### 9.2 人员编制及管理制度

本次调研对各建筑中水设施的人员编制及管理制度建立情况进行了考察，结果如图 15 所示。

从人员编制情况来看，超过半数的商业楼宇和住宅小区未设置专门的中水岗位，一般由工程部门或物业部门的有关人员兼职对中水机房实行巡视，相比之下，大专院校均为中水设施设置了专门的岗位。另外，宾馆饭店和大专院校的操作人员一般参加过节水办组织的专门培训。但从总体上，各类中水设施的

京津地区建筑中水设施调研报告

操作人员均为高中或高中以下学历，对处理工艺大多没有深入了解。

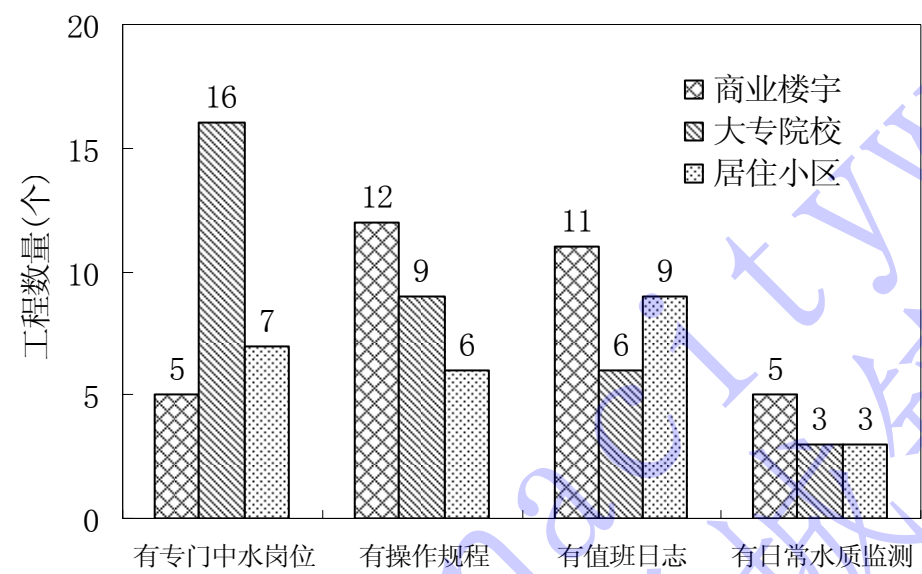


图 15 建筑中水设施的人员编制及管理制度情况

从操作规程和值班日志的情况来看，平均约一半的中水设施制定了操作规程和值班人员的工作日志，商业楼宇要多于其他两类，这与商业楼宇更为规范的物业管理不无关系。但从总体上来看，现有中水设施普遍缺乏对仪器仪表读数、设备检修情况以及水质监测数据等的详细记录，因此不能综合反映中水设施的运转情况。

从日常水质监测的情况来看，平均不到 1/4 的中水设施在日常运行过程中对部分水质和运行指标（如 pH 值、游离余氯、色度、沉降比等）进行监测并记录。可见，水质监测目前仍是建筑中水回用工作中的一个薄弱环节，管理单位“三无”现象（即一没有水质监测场所，二没有配备符合要求的水质监测仪器，三没有经过培训的上岗人员）与早年没有明显改观，在缺乏现场例行监测和定期送样监测的情况下，大部分建筑中水设施的运行实际上处于盲目状态，无法根据出水水质对运行参数作必要的调整（如水量调解，增加投药量，增加滤罐反冲洗次数，投加营养物质以改善污泥活性等）。

今后随着大量建筑中水工程的建成和使用，建筑中水设施的管理和操作人员日益增多，相应的人员培训和质量监管工作已成为亟待解决的问题。

10. 建筑中水设施的出水水质与利用途径

10.1 建筑中水的出水水质

10.1.1 中水水质标准

中水用作城市杂用水，如冲厕、绿化、洗车、道路喷洒、消防、建筑施工等，其水质应符合国家标准《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002) 的规定；中水用于景观环境用水，其水质应符合国家标准《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2002) 的规定；中水用于食用作物、蔬菜浇灌用水时，应符合《农田灌溉水质标准》(GB 5084) 的要求；中水用于采暖补水和冷却水时，其水质应达到相应使用要求的水质标准；当中水同时满足多种用途时，其水质应按最高水质标准确定。

10.1.2 中水水质的抽样监测

本次调研对部分建筑中水设施的出水水质进行了抽样监测，结果见表 9。从浊度的情况来看，万柳学区和天津水利科技大厦确认超出国家标准，但后者符合原部颁标准，北京林业大学、中华女子学院沉淀池上清液浊度超出原部颁标准，但砂滤后的最终出水有可能达标；从色度来看，监测的各设施均达标；从化学需氧量（COD）来看，上地佳园、万柳学区可以确认超出原部颁标准和北京市标准，北京林业大学和北京工业大学 1 月 18 日样品有可能超标，其他均未超标；从 5 日生化需氧量（BOD<sub>5</sub>）来看，万柳学区确认超出各标准，北京林业大学、中华女子学院有可能超标；从氨氮（NH<sub>3</sub>-N）来看，除怡生园国际会议中心超出原部颁标准和国家标准外，其他均达标；从总氮（TN）、总磷（TP）来看，以优质杂排水为水源的原水中二者的值很低，但以杂排水和生活污水为水源时，二者的值明显增大；从三个卫生学指标来看，以生活污水为水源的原水中 SC 噬菌体和粪大肠菌均大大高于优质杂排水，不过除了蓝堡国际公寓和当代城市家园的最终出水中检测到 SC 噬菌体，天津水利科技大厦和当代城市家园的最终出水中检测到粪大肠菌外，其他受检的最终出水中均未检测到 SC 噬菌体和粪大肠菌，表明氯消毒对这两类微生物具有明显的致死效果；F-RNA 噬菌体在以生活污水和杂排水为水源的原水中含量较高，天津水利科技大厦和蓝堡国际公寓的最终出水中该值大致相当，但前者的中水系统对其具有更高的去除率，而后者对其几乎没有去除，其他受检的最终出水中未检测到，可见氯

表 9 中水水质抽样监测结果

| 工程名称                               | 主体工艺     | 消毒工艺   | 中水水源                 | 取样点          | 浊 度<br>(NTU)      | 色 度<br>(度) | COD<br>(mg/L)      | BOD <sub>5</sub><br>(mg/L) | NH <sub>3</sub> -N<br>(mg/L) | TN<br>(mg/L) | TP<br>(mg/L) | 粪大肠菌<br>(cfu/100mL) | SC 噬菌体 <sup>c</sup><br>(pfu/100mL) | F-RNA 噬菌体 <sup>d</sup><br>(pfu/100mL) | 取样时间      | 备注 |
|------------------------------------|----------|--------|----------------------|--------------|-------------------|------------|--------------------|----------------------------|------------------------------|--------------|--------------|---------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------|----|
| 中国地质大学                             | 一级接触氧化   | 次氯酸钠溶液 | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 石英砂过滤罐后      | 3.1               | 3          | 18.37              | —                          | 3.22                         |              |              |                     |                                    |                                       | 2005-1-18 |    |
| 上地佳园                               | 两级接触氧化   | 次氯酸钠溶液 | 洗浴排水<br>盥洗排水<br>厨房排水 | 石英砂过滤罐后      | 2.6               | 15         | 63.30 <sup>a</sup> | 6.4                        | 4.97                         |              |              |                     |                                    |                                       | 2005-1-18 | 过滤 |
| 万柳学区                               | 一级接触氧化   | 次氯酸钠溶液 | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 石英砂过滤罐后      | 12.7 <sup>a</sup> | 17         | 83.67 <sup>a</sup> | 20.4 <sup>a</sup>          | 6.35                         |              |              |                     |                                    |                                       | 2005-1-18 | 过滤 |
| 锋尚国际公寓                             | 膜生物反应器   | 次氯酸钠粉剂 | 洗浴排水                 | 膜抽吸泵出水       | 0.2               | 7          | 22.45              | —                          | 0.49                         |              |              |                     |                                    |                                       | 2005-1-18 |    |
| 北京体育大学                             | 一级接触氧化   | 次氯酸钠溶液 | 洗浴排水                 | 石英砂过滤罐后      | 3.9               | 4          | 55.10 <sup>a</sup> | 2.4                        | 0.96                         |              |              |                     |                                    |                                       | 2005-1-18 |    |
| 北京林业大学                             | 一级接触氧化   | 次氯酸钠溶液 | 洗浴排水                 | 二沉池上清液       | 17.4 <sup>b</sup> | 10         | 79.59 <sup>b</sup> | 23.7 <sup>b</sup>          | 4.46                         |              |              |                     |                                    |                                       | 2005-1-18 |    |
| 京都信苑饭店                             | 生物转盘     | 次氯酸钠溶液 | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 生物转盘出水       | 2.3               | 8          | 18.37              | —                          | 1.25                         |              |              |                     |                                    |                                       | 2005-1-18 |    |
| 中华女子学院                             | 一级接触氧化   | 次氯酸钠溶液 | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 二沉池上清液       | 12.6 <sup>b</sup> | 6          | 36.73              | 11.8 <sup>b</sup>          | 2.62                         |              |              |                     |                                    |                                       | 2005-1-18 |    |
| 北京工业大学                             | 混凝-沉淀-过滤 | 次氯酸钠溶液 | 洗浴排水                 | 沉淀池上清液       | 1.2               | 2          | 63.26 <sup>b</sup> | 2.4                        | 0.38                         |              |              |                     |                                    |                                       | 2005-1-18 |    |
| 天津水利<br>科技大厦                       | 膜生物反应器   | 次氯酸钠片剂 | 生活污水                 | 原水           | 94                | —          | 320.8              | 74.8                       | 95.18                        | 95.78        | 7.46         | 400000              | 5333                               | 67000                                 | 2005-3-31 |    |
|                                    |          |        |                      | MBR 池上清液     | 228               | —          | 341.3              | 114.3                      | 11.15                        | 95.52        | 14.39        | 13333               | 7000                               | 3033                                  |           |    |
|                                    |          |        |                      | 中水池          | 6.6 <sup>c</sup>  | —          | 47.80              | 4.1                        | 7.78                         | 64.01        | 4.94         | 333                 | 0                                  | 3133                                  |           |    |
| 蓝堡国际公寓                             | 一级接触氧化   | 次氯酸钠粉剂 | 洗浴排水<br>盥洗排水<br>厨房排水 | 原水           | 18                | —          | 27.30              | 4.1                        | 0.60                         | 5.07         | 3.81         | 0                   | 708                                | 3167                                  | 2005-3-31 |    |
|                                    |          |        |                      | 接触氧化后, 砂滤前   | 6.1               | —          | 13.20              | 0.9                        | 未检出                          | 14.34        | 3.21         | 0                   | 0                                  | 4467                                  |           |    |
|                                    |          |        |                      | 砂滤后, 消毒前     | 4.1               | —          | 10.20              | 0.8                        | 未检出                          | 11.69        | 3.28         | 0                   | 67                                 | 2767                                  |           |    |
|                                    |          |        |                      | 中水池          | 3.6               | —          | 30.70              | 5.5                        | 1.02                         | 0.73         | 0.05         | 0                   | 33                                 | 2867                                  |           |    |
| 北京工业大学                             | 混凝-沉淀-过滤 | 次氯酸钠溶液 | 洗浴排水                 | 原水           | 3.3               | —          | 32.98              | 8.2                        | 3.16                         | 4.49         | 0.15         | 1067                | 0                                  | 33                                    | 2005-4-8  |    |
|                                    |          |        |                      | 预沉后, 砂滤前     | 2.6               | —          | 20.18              | 6.9                        | 0.32                         | 3.85         | 0.2          | 0                   | 0                                  | 0                                     |           |    |
|                                    |          |        |                      | 砂滤后, 消毒前     | 3.6               | —          | 10.86              | 1.0                        | 0.29                         | 4.96         | 0.24         | 100                 | 0                                  | 0                                     |           |    |
|                                    |          |        |                      | 中水池          | 3.8               | —          | 11.64              | 1.6                        | 0.26                         | 3.59         | 0.2          | 0                   | 0                                  | 0                                     |           |    |
| 东方国际文化<br>交流中心                     | 曝气生物滤池   | 次氯酸钠片剂 | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 原水           | 7.9               | —          | 45.40              | 6.2                        | 3.88                         | 9.09         | 0.38         | 4967                | 67                                 | 0                                     | 2005-4-8  |    |
|                                    |          |        |                      | 预沉后, 滤池前     | 0.6               | —          | 36.86              | 4.2                        | 0.99                         | 3.75         | 0.35         | 167                 | 0                                  | 0                                     |           |    |
|                                    |          |        |                      | 滤池后, 消毒前     | 3.9               | —          | 20.18              | 1.6                        | 4.50                         | 4.86         | 0.30         | 4233                | 67                                 | 0                                     |           |    |
|                                    |          |        |                      | 中水池          | 1.0               | —          | 35.70              | 1.8                        | 0.88                         | 2.84         | 0.30         | 0                   | 0                                  | 0                                     |           |    |
| 当代城市家园                             | 一级接触氧化   | 二氧化氯   | 洗浴排水<br>盥洗排水         | 中水池          | 0.9               | —          | 29.49              | 1.8                        | 1.72                         | 4.01         | 0.77         | 600                 | 33                                 | 0                                     | 2005-4-12 |    |
| 怡生园国际<br>会议中心                      | 氧化沟      |        | 生活污水                 | 氧化沟上清液       | 138               | —          | 446.2              |                            | 12.57                        | 38.54        | 5.46         | 141000              | 4333                               | 0                                     | 2005-4-15 |    |
|                                    |          |        |                      | 出水           | 1.5               | —          | 27.94              |                            | 11.29 <sup>a</sup>           | 15.77        | 1.30         | 13300               | 467                                | 0                                     |           |    |
| 生活杂用水水质标准 (CJ/T 48-1999)           |          |        |                      | 厕所便器冲洗, 城市绿化 | ≤10               | ≤30        | ≤50                | ≤10                        | ≤20                          | —            | —            | —                   | —                                  | —                                     |           |    |
| 北京市中水水质标准                          |          |        |                      |              | —                 | ≤40        | ≤50                | ≤10                        | —                            | —            | —            | —                   | —                                  | —                                     |           |    |
| 城市污水再生利用 城市杂用水水质 (GB/T 18920-2002) |          |        |                      | 冲刷           | ≤5                | ≤30        | —                  | ≤10                        | ≤10                          | —            | —            | —                   | —                                  | —                                     |           |    |
| 地表水环境质量标准 (GB 3838-2002)           |          |        |                      | Ⅲ 类          | —                 | —          | ≤20                | ≤4                         | ≤1.0                         | ≤1.0         | ≤0.2(0.05)   | ≤1000               | —                                  | —                                     |           |    |
|                                    |          |        |                      | Ⅳ 类          | —                 | —          | ≤30                | ≤6                         | ≤1.5                         | ≤1.5         | ≤0.3(0.1)    | ≤2000               | —                                  | —                                     |           |    |
|                                    |          |        |                      | Ⅴ 类          | —                 | —          | ≤40                | ≤10                        | ≤2.0                         | ≤2.0         | ≤0.4(0.2)    | ≤4000               | —                                  | —                                     |           |    |

备注：  
a、确定超标的项目；  
b、有可能超标的项目；  
c、介于 CJ/T 48-1999 和 GB/T 18920-2002 之间的项目；  
c、与粪大肠菌类似的用以表征粪便污染程度的非常规指标；  
d、用以表征病毒的非常规指标。

消毒对 F-RNA 的致死效果可能并不稳定。从各工艺的处理效果来看，膜生物反应器能承受最高的污染负荷，对除了总氮、总磷外的其他各指标均具有很高的去除率。

进一步的分析发现：（1）蓝堡国际公寓中水池的 COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮均高于砂滤后、消毒前，推测可能是中水池曾经在系统出水水质恶化时受到过污染，而后也没有进行过清洗；（2）东方国际文化交流中心曝气生物滤池出水的浊度、氨氮、总氮均高于砂滤前，推测可能是老化的生物膜进入滤池出水增大了浊度，同时释放出氨氮，致使氨氮和总氮浓度也有所增大。

## 10.2 建筑中水的利用途径

目前建筑中水主要应用于冲厕、绿化、洗车、道路或场地浇洒以及景观水体、循环冷却系统和消防水池等的补水。对本次调研的建筑中水设施的出水用途进行统计，结果如图 16 所示。可以看出，建筑中水设施的出水以冲厕和绿化为主，分别约有 90%和 60%的中水设施将出水作为冲厕和绿化之用；其次是洗车和道路或场地浇洒，分别为 15%和 17%；作为景观、冷却和消防三种补水的比例分别为 8%、4%、4%。除冲厕为各类设施出水广为利用之外，其他几种用途在各类设施的分布略有差异，如大专院校和居住小区中均有较多案例以中水绿化，商业楼宇中有较多案例以中水洗车，大专院校中有较多案例以中水浇洒操场，居住小区中有较多案例以中水补充景观水体，反映出不同功能的建筑及社区对中水利用途径的需求有所不同。

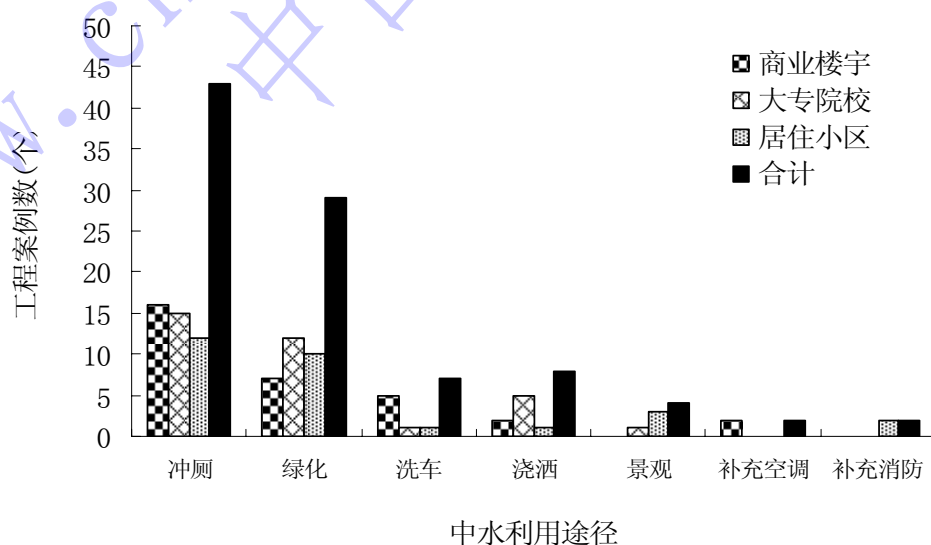


图 16 建筑中水利用途径统计

## 第三部分 总结与建议

京津地区多年来坚持开展建筑中水回用工作，积累了多方面的经验，为我国缺水地区在非传统水资源开发利用方面闯出了一条新路，为节水型社会的创建丰富了内涵。但也要看到，实践中仍然存在不少亟待解决的问题，影响着建筑中水设施的建设管理水平以及效益发挥程度。本部分在对本次调研的结果和已有经验进行充分总结的基础上，对这些问题进行深入剖析，拟提出有针对性的对策建议，以供有关研究者和决策者参考。

### 11. 关于对建筑中水回用的认识和态度

#### 11.1 建筑中水回用是城市污水再生利用的重要途径

目前，我国城市水资源运行模式大都是以“大量开采、大量制造、大量消费、大量污染、大量处理”的工业化城市模式运行。城市供水往往从几十公里甚至几百公里以外引水，而城市污水又被引到城市外几十公里进行工厂化处理后（更多的是没有经过处理）排放掉，形成水资源的开环系统。不少城市的污水处理面临两难境地：一方面污水量增加，城市没有污水处理厂；另外一方面建起了污水处理厂，又因运营费用高昂而用不起。这导致了大量未经净化处理的污水排放到环境当中，不仅浪费了大量宝贵的可再生的污水资源，而且也污染了地表和地下水体，又加剧了城市供水的制水难度和制水成本，污染严重时甚至导致水源地废弃，城市被迫从新的水源地进行高额投入的远距离调水，但新的水源地往往重蹈覆辙，如此形成恶性循环。这在我国不少缺水城市的发展过程中已有非常深刻的教训。

其实，解决水资源供需矛盾的“开源”措施应更多的考虑中水、雨水等非传统水资源的开发利用，尤其是中水回用，将就近可得、水量稳定的城市污水在城市范围内进行回用，在传统的水资源开环系统中建立局部的闭环系统，使有限的水资源得以高效循环利用，以此来满足城市工业的发展和居民生活水平的提高对水资源供给能力的要求，这是解决我国广大缺水地区实现可持续发展的必然出路。

中水回用主要包括集中式和分散式两种模式，其中集中式的中水回用（或“市政中水回用”）需要铺设长距离的污水收集管道系统，以及中水输送管道系

统。如此规模的管网建设所需的投资，往往没有分散式的中水回用（或“建筑中水回用”）更为经济有效。而且从技术上看，长距离管道系统发生损坏的可能性提高，发现损坏位置的难度增大，造成的二次污染可能更加严重，发生故障或战争时期损害后受影响的服务区范围更大。而京津地区开展建筑中水回用的经验表明，建筑中水系统收集单个建筑、单个社区等产生的污水，就地处理并在小范围内实现水资源的循环利用，大大降低了管道系统的成本，在枯水季节仍可保证稳定的供水，而且具有更好的运行灵活性和增长弹性，可适应规划区域的调整和扩大，更符合现代城市对保护环境、节约资源的可持续发展需要。

我国已进入城镇化快速发展的时期，随着新建居住小区在各类城市的大批兴建，正迎来了开展建筑中水回用的有利时机。各级政府尤其是水资源紧缺地区的政府，在城市规划和建设中应将污水处理资源化与再利用落到实处，并应摒弃片面追求处理规模的传统观点，充分认识到建筑中水回用在城市水资源可持续利用与管理中的地位，下大力气加强建筑中水回用工作的开展，使之与市政中水回用互为补充、相辅相成，共同成为城市的第二水源。

## 11.2 建筑中水回用具有技术经济可行性

### 11.2.1 技术可行性分析

十几年来，我国开展建筑中水回用的技术储备已基本完成，自主研发的中水处理技术取得了长足的进步。北京市节水办 1989 年的调查即表明，在 89 套中水设施制造厂家中，国内环保企业占绝大多数。近年来中水设施建设再掀高潮，又有一大批国内环保企业迅速崛起，新建的中水设施大多数都由国内环保企业提供包括设计、施工、设备、调试在内的完整解决方案。随着越来越多的环保企业介入建筑中水市场，中水处理技术呈现出以下发展趋势：（1）技术种类趋向多样化，我国具有自主知识产权的新技术、新工艺不断涌现并得到应用；（2）中水处理技术开始进入的规范化、标准化阶段，系统的安全性、稳定性逐步提高；（3）适用于小型建筑中水工程的中水处理技术趋向集成化、装置化、自动化，建筑中水处理技术的产业化初露端倪。

过去对于建筑中水回用很大的顾虑在于从管理上似乎无法应对众多分散化的污水处理设施的风险控制问题，实际上，随着中水处理技术的日益进步和成熟，尤其是小型化、集成化、自动化的中水处理装置的出现，大大提高了风险管理的可行性和可靠性。正像大量汽车、家用电器、计算机、手机、数码相机

等机电和数码产品可以实现大众化普及一样，建筑中水设施在城市众多建筑和社区内的成功推广和应用也同样可以期待。

### 11.2.2 经济可行性分析

建筑中水设施不同于排水设施和其它市政、环境设施，项目投资本身同时具有直接的经济效益和间接的经济效益以及可以相对定量的环境效益。

#### ① 直接效益

参照表 7、表 8，取建筑中水设施的吨水投资和运行成本分别为 3000 元/(m<sup>3</sup>/d) 和 1.60 元/m<sup>3</sup>，并根据目前北京市房地产开发行业的平均造价和销售水平以及平均水价水平，对建筑中水设施的直接经济效益进行分析，结果如表 10 所示。由表 10 可知，建设中水设施后，每人承担的建设费用为 120 元，开发商因此增加的造价仅占总造价的 3%，中水设施的静态投资回收期为 3.42 年，财务内部收益率为 14.90%，可见，中水设施并未给这些新建项目的建设单位和最终用户增加较大的财务负担，在中水制水成本与自来水价之间维持合理差价的情况下，中水设施具有较好的盈利能力。

影响建筑中水设施直接经济效益的因素主要是建设投资、运行成本及其与自来水价的差价。吨水投资、运行成本和自来水价变化后，中水设施的静态投资回收期和财务内部收益率将随之变动（见表 11 和图 13）。由表 11 和图 13 可知，随着吨水投资、吨水成本的增大，静态回收期有所延长，内部收益率由所下降，但当吨水投资和吨水成本的变化幅度在 20%以内时，静态投资回收期仍保持在 5 年以内，内部收益率基本超过 10%。随着自来水价的变化，静态投资回收期和财务内部收益率均有显著变化，尤其是内部收益率变化尤为剧烈，当自来水价下降 10%即为 3.60 元/m<sup>3</sup>时，静态回收期为 4.11 年，内部收益率降为 9.63%，中水设施已缺乏盈利能力。可见，自来水价是影响建筑中水设施直接经济效益的最重要的因素。

由表 12 可知，目前北京市和天津市的平均综合水价均已超过 4.00 元/m<sup>3</sup>，两地建设建筑中水设施的直接经济效益已有所保证，随着水价的进一步上调，其对中水回用的拉动作用将更为显著。

表 10 建筑中水设施的直接经济效益分析

| 服务人口                   | 人均建筑<br>面积             | 人均中水<br>用量            | 每平米造价                 | 每平米售价                 | 吨水投资                       |
|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| 5000 人                 | 20 m <sup>2</sup> /人   | 40 L/（人•d）            | 2000 元/m <sup>2</sup> | 4000 元/m <sup>2</sup> | 3000 元/（m <sup>3</sup> /d） |
| 总建筑面积                  | 中水设施<br>处理规模           | 主体建筑<br>总造价           | 主体建筑<br>总售价           | 中水设施<br>投资            | 人均中水<br>设施投资               |
| 10 万 m <sup>2</sup>    | 200 m <sup>3</sup> /d  | 2 亿元                  | 4 亿元                  | 600000 万元             | 120 元/人                    |
| 中水设施占<br>主体建筑总<br>造价比例 | 中水设施占<br>主体建筑总<br>售价比例 | 自来水价                  | 吨水成本                  | 静态投资<br>回收期           | 财务内部<br>收益率                |
| 3‰                     | 1.5‰                   | 4.00 元/m <sup>3</sup> | 1.60 元/m <sup>3</sup> | 3.42 年                | 14.90%                     |

备注：1）财务内部收益率的计算期为 10 年，净现金流量的贴现率为 10%；

2）北京市统计局提供的 1995 年～2003 年北京市人均住房使用面积约为 16m<sup>2</sup>，表中取值略高于此值；

3）北京市统计局提供的 1995 年～2003 年商业营业用房的平均每平米造价为 2359 元，表中取值略低于此值；

4）据《建筑中水设计规范》（GB 50336-2002），人均冲厕用水量为 32～40L/（人•d），表中取值为其上限，考虑到一定的绿化、洗车、道路清扫等中水用量。

表 11 建筑中水设施直接经济效益的敏感性分析

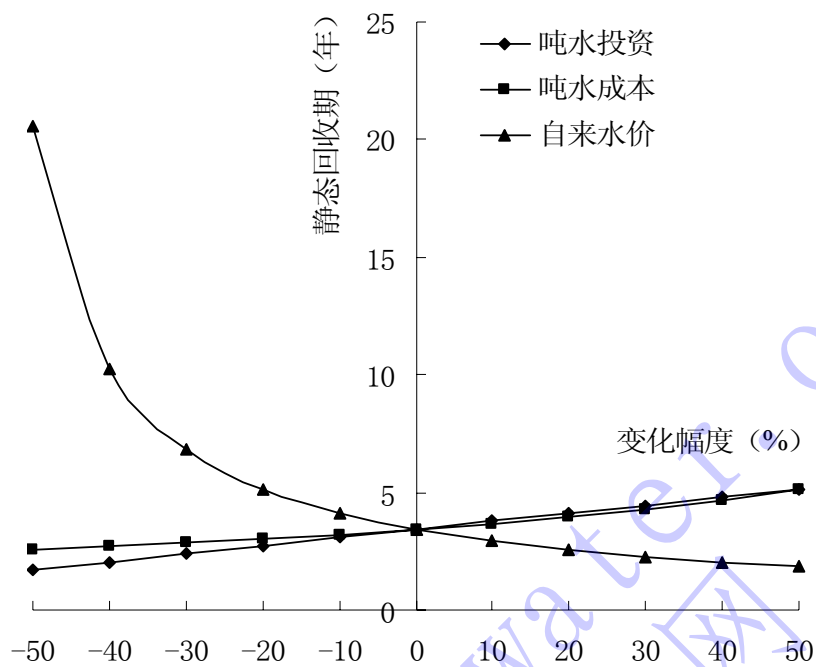
| 变化幅度（%）                     | -50    | -40   | -30   | -20   | -10   | 0     | +10   | +20   | +30   | +40   | +50   |
|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 吨水投资（元/（m <sup>3</sup> /d）） | 1500   | 1800  | 2100  | 2400  | 2700  | 3000  | 3300  | 3600  | 3900  | 4200  | 4500  |
| 静态投资回收期（年）                  | 1.71   | 2.05  | 2.40  | 2.74  | 3.08  | 3.42  | 3.77  | 4.11  | 4.45  | 4.79  | 5.14  |
| 财务内部收益率（%）                  | 43.45  | 34.25 | 27.55 | 22.40 | 18.28 | 14.90 | 12.06 | 9.63  | 7.51  | 5.65  | 3.99  |
| 吨水成本（元/m <sup>3</sup> ）     | 0.80   | 0.96  | 1.12  | 1.28  | 1.44  | 1.60  | 1.76  | 1.92  | 2.08  | 2.24  | 2.40  |
| 静态投资回收期（年）                  | 2.57   | 2.70  | 2.85  | 3.02  | 3.21  | 3.42  | 3.67  | 3.95  | 4.28  | 4.67  | 5.14  |
| 财务内部收益率（%）                  | 24.82  | 22.88 | 20.93 | 18.95 | 16.94 | 14.90 | 12.83 | 10.71 | 8.54  | 6.30  | 3.99  |
| 自来水价（元/m <sup>3</sup> ）     | 2.00   | 2.40  | 2.80  | 3.20  | 3.60  | 4.00  | 4.40  | 4.80  | 5.20  | 5.60  | 6.00  |
| 静态投资回收期（年）                  | 20.55  | 10.27 | 6.85  | 5.14  | 4.11  | 3.42  | 2.94  | 2.57  | 2.28  | 2.05  | 1.87  |
| 财务内部收益率（%）                  | -19.39 | -9.53 | -2.23 | 3.99  | 9.63  | 14.90 | 19.94 | 24.82 | 29.58 | 34.25 | 38.87 |

备注：1）财务内部收益率的计算期为 10 年，净现金流量的贴现率为 10%；

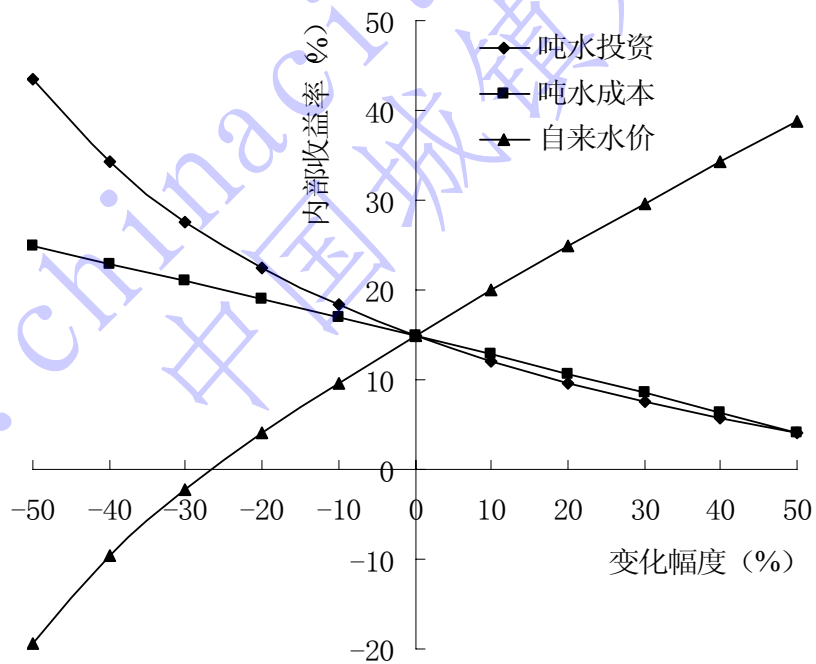
2）吨水投资变动时，吨水成本和自来水价分别定为 1.60 元/m<sup>3</sup>和 4.00 元/m<sup>3</sup>；

3）吨水成本变动时，吨水投资和自来水价分别定为 3000 元/（m<sup>3</sup>/d）和 4.00 元/m<sup>3</sup>；

4）自来水价变动时，吨水投资和吨水成本分别定为 3000 元/（m<sup>3</sup>/d）和 1.60 元/m<sup>3</sup>。



(a) 建筑中水设施静态投资回收期的敏感性分析



(b) 建筑中水设施财务内部收益率的敏感性分析

图 13 建筑中水设施直接经济效益的敏感性分析



**表 12 北京市和天津市的现行水价**

| 用水分类       |          | 北京市   |       |       | 天津市   |       |       |
|------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            |          | 自来水价格 | 污水处理费 | 综合水价  | 自来水价格 | 污水处理费 | 综合水价  |
| 居民生活       |          | 2.80  | 0.90  | 3.70  | 2.30  | 0.60  | 2.90  |
| 行政事业单位     |          | 3.90  | 1.50  | 5.40  | 3.40  | 1.00  | 4.40  |
| 工商业、金融及建筑业 |          | 4.10  | 1.50  | 5.60  | 3.60  | 1.00  | 4.60  |
| 经营服务业      |          | 4.60  | 1.50  | 6.10  | 4.60  | 1.00  | 5.60  |
| 特种行业       | 纯净水生产、洗车 | 40.00 | 1.50  | 41.50 | 17.00 | 1.00  | 18.00 |
|            | 洗浴       | 60.00 | 1.50  | 61.50 |       |       |       |

备注：北京市建筑业用水执行经营服务业用水价格；

## ② 间接效益

以  $1 \text{ m}^3$  水为单位进行计算，取建筑中水设施的平均制水成本为  $1.60 \text{ 元/m}^3$ ，则建筑中水设施的全部间接效益包括以下四个部分：

### 1) 节省城市引水、净水的边际费用

取自来水平均水价为  $4.00 \text{ 元/m}^3$  (不包括排污费)，其节省的费用应是  $4.00 - 1.60 = 2.40 \text{ 元/m}^3$ 。随着自来水价格的进一步升高，节省的费用将日益显著。

### 2) 节水可增加的财政收入

即目前由于缺水造成国家财政收入的损失。据了解，目前全国 660 多个城市日平均缺水  $1600 \text{ 万 m}^3$ ，造成国家财政收入年减少 2000 亿元，相当于每缺水  $1 \text{ m}^3$  要损失 34.25 元。

### 3) 消除污染而减少的社会损失

据分析为消除污染每投入 1 元可减少环境损失是 3 元，即投入产出比为 1:3。由于建筑中水设施并未包括污泥处理，可减少的环境资源损失应低于 3 元。设其投入产出比为 1:1.5，即中水每  $\text{m}^3$  的投入是 1.60 元，可减少污染损失是  $1.60 \times 1.5 = 2.40 \text{ 元}$ 。

#### 4) 节省城市排水设施的建设和运行费

城市排水设施的建设费依据北京市规划局的估计,日处理 100 万  $\text{m}^3$  的规模需投资为 18 亿元。以日处理每  $\text{m}^3$  计为 1800 元,如设计年限以 30 年计,合到每  $\text{m}^3$  水为 0.16 元;城市污水处理设施活性污泥法的运行费为 0.25 元/ $\text{m}^3$ ,两项合计为 0.41 元/ $\text{m}^3$ ;管网运行费用大致为处理设施的 1/3,加上管网的费用大致为 0.49 元/ $\text{m}^3$ 。

综上,投入 1.60 元/ $\text{m}^3$ ,产出  $2.40+34.25+2.40+0.49=39.54$  元/ $\text{m}^3$ 。投入产出比为 1: 24 (如果不计入节水可增加的财政收入为 1: 3.3)。取本次调研的建筑中水设施平均运行成本为 3.28 元/ $\text{m}^3$ ,投入产出比为 1: 12 (如果不计入节水可增加的财政收入约为 1: 1.9)。由此可见,无论从直接效益还是从间接效益来看,建筑中水回用均具有较好的经济可行性。

## 12. 关于建筑中水设施的建设和管理体制

目前建筑中水设施在建设和管理方面普遍存在责、权、利不明的现象,由此导致建筑中水设施建设、管理积极性低,缺乏长效的发展动力。

### 12.1 加强立法工作,创建中水回用的法治环境

目前在中水回用方面仍然缺乏足够的立法保障。天津市为再生水利用颁布地方性法规的经验值得各地借鉴,今后应考虑在全面总结经验教训的基础上,明确将中水回用纳入城市总体规划和国民经济及社会发展计划,对中水设施的建设范围、标准进行明确规定,杜绝逃避建设中水设施的问题出现,在市政杂用、景观水体等方面强制使用中水,对中水经营企业应当保证的中水水质、水压提出明确要求,鼓励以多种投资方式建设、经营中水设施,推进城市中水回用的产业化,等等。

### 12.2 实施水务一体化管理

节水和中水回用工作在很大程度上依赖于各级政府、各相关部门的共同关心和有效参与。北京市水务局组建后,以现代水务、城市水务、资源水务、循环水务等新观念统筹全市的防汛、抗旱、供水、节水、排水、水资源管理、水环境保护以及水利工程建设等工作,在水务一体化管理方面做了大量有益的尝试。今后,各地应加快推进“一龙管水、多龙治水”的水务一体化管理改革,



以避免过去在政府管理方面存在的“缺位、错位、越位”现象，摆脱制约城市可持续性水资源管理的各种体制性障碍，使包括建筑中水回用在内的城市水务工作进入良性轨道。

### 12.3 推动投资及运营体制向多元化和企业化转变

调研发现，目前居住小区的中水设施普遍存在“建而不用、用而不善”的问题：（1）房地产开发商对建筑中水工程的投资意愿较差，在迫于政策压力的情况下才考虑建设中水设施，其动机只是为了让地产项目能顺利开工、竣工并出售，至于中水处理技术选择的合理与否、后期运行成本的高低、水质是否达标等问题并不十分关注，同时也没有相应的技术力量为其把关（绝大多数开发商聘请的给排水工程并不熟悉污水处理技术，国内有关污水处理的专业顾问咨询机构又很少）；（2）开发商在中水设备招标时往往片面压低价格，相应地降低了设备质量，或者并不采用正规招投标的方式，直接指定有关系的、但技术水平不够的中水公司供应设备，这些都给中水设施的后期稳定运行埋下了隐患；

（3）中水设施建成后由物业管理公司接管，但多数物业公司也缺乏专业的运营管理力量，往往导致设施闲置，即使运行，也容易出现水质不稳定、用户不放心的局面。

为了解决目前建筑中水设施在投资、建设、管理等方面存在的责任和利益主体不统一、相互脱节的问题，单纯依靠宣传教育和行政干预均不能奏效，改革旧的建设和管理体制势在必行。我们建议在建筑中水设施的建设和运营中应尽快引入多元化投资和企业化运营的市场化模式：对于目前已建的建筑中水设施，今后可鼓励业主单位委托专业的中水公司进行托管运营；对于新建项目，应鼓励业主单位将小区或楼宇的中水业务整体外包于中水公司，甚至由中水公司部分或全部参与中水设施的投资，拓展建筑中水设施的融资渠道（如表 13 所示），并使中水公司在主体工程勘察阶段就介入，设施建成后也由其负责运行管理，向用户提供水质可靠、水量稳定的中水，同时收取相应的管理费用或中水费用。这样不但可以提高建筑中水设施的建设和管理水平，保障建筑中水的水质安全，也有利于降低建筑中水的制水成本，提高建筑中水设施的经济效益，从根本上确保建筑中水设施能够建好、用好、管好。

政府节约用水行政主管部门也应考虑为建筑中水市场建立适当的准入制度，认证一批具有较高设计、施工、管理水平和较好信誉的专营中水业务的企业，颁发相应的资质证书，由侧重对建筑中水设施建设的过程控制转变为侧重

目标管理和行业监管，在实现预期目标、降低管理成本的同时，又培育起一个新兴产业。

表 13 建筑中水设施投资和管理的市场化模式

| 建设和管理模式 |                                                                                          | 收费方式                                                                                                | 收费标准                                  |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 建管分离模式  | 由开发商或事业单位全额出资建设中水设施，中水设施的业主单位为开发商（商业楼宇）、事业单位（机关院校）或业主委员会（居住小区），由业主单位授权委托中水公司负责设计、施工和运行管理 | 商业楼宇和机关学校：在中水供水总管和自来水补水管上装设总水表，由业主单位统一向中水公司支付管理费用                                                   | 收费标准略高于中水的实际制水成本（不包括折旧费）              |
|         |                                                                                          | 居住小区：在中水供水总管和自来水补水管上装设总水表，在每户装入户中水表，物业公司绿化、洗车等取水点也相应装设水表，由中水公司负责上门抄表、收费，或采用卡式水表                     |                                       |
| 共同出资模式  | 由开发商或事业单位出资建设中水管网，并授权中水公司经营中水业务，由中水公司负责中水处理站的投资、建设和运营（设施管理、计量、收费）                        | 商业楼宇、机关大院和部分大专院校：在中水供水总管和自来水补水管上装设总水表，由业主单位统一向中水公司支付中水费用                                            | 收费标准应高于中水的实际制水成本（包括折旧费），并与自来水价格形成比价关系 |
|         |                                                                                          | 居住小区和部分大专院校：在中水供水总管和自来水补水管上装设总水表，在居民楼和学生公寓装入户中水表，物业公司或学校的绿化、洗车等取水点也相应装设水表，由中水公司负责上门抄表、收费，或采用卡式水表    |                                       |
| 单独出资模式  | 由事业单位授权委托中水公司经营中水业务，由中水公司全额出资建设中水设施（包括中水管网和处理站），并负责中水处理站的建设和运营（设施管理、计量、收费）               | 机关大院：在中水供水总管和自来水补水管上装设总水表，由业主单位统一向中水公司支付中水费用                                                        | 收费标准应高于中水的实际制水成本（包括折旧费），并与自来水价格形成比价关系 |
|         |                                                                                          | 大专院校：在中水供水总管和自来水补水管上装设总水表，由学校统一向中水公司支付中水费用；或者在学生公寓装设入户中水表，学校绿化、洗车等取水点也相应装设水表，由中水公司负责上门抄表、收费，或采用卡式水表 |                                       |

12.3.1 对建筑中水明确定价，保证合理的投资回报和运营收益

在市场经济条件下，价格是调节和引导人们消费行为的有力手段。水价作为价格杠杆，对于推广中水回用有着非常关键的作用，只有当中水水价与自来水水价达到适当的比价时，公众才会优先考虑使用中水，才能引导合理的用水消费；另一方面，中水水价也应激励中水设施投资者的投资兴趣，两个方面相结合才能有效地促进中水的推广应用。

北京市于 2004 年 8 月 1 日起再次调整了水价，北京发改委颁布的《关于调整水价的通知》（京发改[2004]1517 号）中写道：“中水价格每立方米 1.00 元，暂不征收污水处理费。”实际上，该通知混淆了“市政中水”和“建筑中水”的概念，该通知所指“中水”应该是“市政中水”，即由北京市排水集团中水公司



或北京市自来水集团中水公司通过管道或车辆向用户提供的中水，该中水的原水是北京市排水集团下属污水处理厂的二级处理出水，其厂内制水成本（包括折旧费）应略低于 1.00 元/吨，但如果计入管网折旧和配送成本，1.00 元/吨的价格也保证不了投资的回报。而“建筑中水”的原水是楼宇和小区的优质杂排水、杂排水或生活污水，即便是污染物浓度较低的优质杂排水，其不包括折旧费在内的制水成本也接近甚至高于 1.00 元/吨，本次调研的结果表明，建筑中水的平均制水成本（不包括折旧费）已达到 3.28 元/吨。

该通知对市政中水的推广使用以及商业楼宇和大专院校的建筑中水回用起到了适当的促进作用，但对居住小区的建筑中水回用却造成了一定的负面影响。调研中发现，不少居住小区的业主以该通知为依据，认定“中水”的法定价格就应该是“1.00 元/吨”，有的物业公司不太了解详细的情况，明知中水的实际制水成本高于此值也不得不按此标准征收中水费；有的物业公司虽然按中水的实际制水成本向业主征收中水费，但由于没有政府相关文件作为依据，始终有所顾虑。对于那些中水处理站尚未投入使用的小区，暂以自来水补充中水池以满足冲厕等使用要求，物业公司对中水的实际制水成本并不熟悉，不过在水费征收时仍然面临困难，虽然有的业主知道中水管道中供应的实际上是自来水，但仍坚持按照 1.00 元/吨的“中水价格”付费，认为以自来水代中水是因为物业管理不善导致中水处理站不能正常运转造成的。

目前北京市现行水价政策并不利于居住小区中水设施的运行，因此，政府价格行政主管部门应尽快对建筑中水明确定价，使建筑中水的价格既适当低于自来水价格，维持建筑中水与自来水之间合理的比价关系，又能够使建筑中水设施的投资者或运营者有合理的赢利空间。如果明文要求建筑中水与市政中水均统一执行目前的水价标准，则应考虑对建筑中水设施给予适当的运转补偿费，运转补偿费可来源于水资源费或中水发展基金；如果打算明文为建筑中水出台高于目前中水价格的收费标准，但又考虑到不同的建筑中水设施制水成本参差不齐，也可出台建筑中水的指导性价格，比如为居民生活用自来水综合价格的 50%~70%，具体则由中水设施的运营单位和用户直接协商决定。

### 12.3.2 建立中水交易制度，扩大建筑中水的使用范围

从技术角度讲，建筑和小区的全部污水均可进行收集、处理并获得达到相应水质标准的中水，但如果中水回用只限定在单个建筑或单个小区的范围内，由于中水不能作为饮用水或与人体直接接触用水的替代水源，因此中水处理设

施的处理规模只能根据建筑和小区内中水的实际用量来确定。一般的，建筑中水设施的处理规模只相当于自来水供水总量的  $1/4 \sim 1/2$ 。这在一定程度上使得建筑中水设施的规模普遍偏小，受原水水质水量和中水用量波动的影响较大，即便在中水价格具有较好吸引力的情况下，由于规模的限制，也可能使得建筑中水设施建设和运营单位的积极性不高。

今后在提高单体建筑和单个小区建筑中水设施的建设和管理水平的同时，应鼓励这些已建中水设施充分利用现有的处理能力，甚至通过适当的改造扩大处理能力，向周边的小区或者市政绿化部门、洗车场等用水单位提供达标中水；或者鼓励新建的建筑群组或小区群之间联合使用同一个中水处理站，扩大建筑中水的使用范围，提高中水设施的运转效率，从而有利于集中管理和降低成本。

这就需要建立中水的交易制度，允许中水供需双方议定中水价格，并应通过行政手段，保证交易的顺利实施，使中水的买卖双方都会产生交易的需求和相应的效益保证。比如，政府节约用水行政主管部门可在对某建筑中水设施周边情况进行详细调查的基础上，适当压缩潜在的中水用户的自来水用水指标，并严厉执行超计划用水累进加价的原则，这样就可以促成这些用水单位向临近中水设施购买中水的行为。

### 13. 制定配套的经济鼓励和处罚政策

完整的水价体系应使每一位用水者承担从取水、引水、自来水处理、自来水输送、污水收集、污水处理或再生利用的全部费用。尽管北京市、天津市等地近年一再调高自来水价格，但总体来说，目前的自来水价格仍然没有包括水土等生态环境的涵养保持成本、水源地的建设维护成本、取水成本、销售成本等，因而并不是自来水生产过程中所发生的全部成本，尤其是水资源价值体现不够。由 11.2.2 节可知，目前中水回用的价值不仅在于中水制水成本和自来水现行价格的差额上，而是对水资源不足的一种补充，同时在城市范围内扩大了供水能力，节省了取水、引水、自来水处理、自来水输送等其他费用，中水回用具有被忽视的间接经济效益和环境效益。

考虑到各方面因素，水价上调的趋势虽然已经形成，但价格调整的速度和幅度都可能受到公众听证制度的限制。因此在相当一段时间内建筑中水设施只可能维持微利运行，政府有关部门应考虑出台一些必要的经济鼓励政策，以激发建筑中水设施投资者和运营者的积极性，推动建筑中水回用事业的发展。这



些可行的经济鼓励政策包括:

(1) 对中水公司采取特殊的税收优惠政策。对国内不能生产的相关污水处理设备应免征进口设备关税和进口环节税;对固定资产调节税等应实行减免税优惠;应免征或减征营业税、增值税和城市维护建设税;要设立较长的特许期和宽限期,在宽限期内免征或减征所得税。

(2) 适当放宽对中水公司的贷款条件。对从事建筑中水回用的企业给予低息、无息、优先贷款、延长信贷周期、实行税前还贷等政策支持。建立中水产业投融资公司,优先向中水公司提供贷款资金。建立为投资者提供服务的中水产业信贷担保机构,通过制定环保风险定级标准,银行据此决定信贷投向,建立信贷环保风险防范机制,或允许地方政府出面为融资项目担保。

(3) 对建筑中水设施的规模超过规定要求、积极增加中水用量的业主单位也应采取一定的奖励措施,比如在核定实际中水用量的基础上,给予一定的运转补贴费,或者出面协调将其节省的自来水用水指标有偿转让给其他用水单位。

此外,政府有关部门也应对应建而未建中水设施的单位,按应建中水设施的规模进行罚款;对逾期未完成建筑中水设施建设、未按时启用建筑中水设施或未按时完成调试的单位,按逾期时间的长短进行罚款;对应该使用中水替代自来水的市政、园林、工业企业等用水单位,按自来水的用量进行罚款。可将上述罚款纳入中水发展基金,并作为投入使用的建筑中水设施的运转补偿费或补贴费。

## 14. 关于建筑中水工程的规划及设计

### 14.1 将建筑中水回用纳入城市水资源综合规划

中水回用,尤其是建筑中水回用,目前我国不少缺水城市中仍然尚未被纳入城市水资源的综合规划,今后应在转变观念的基础上,统筹安排城市供水、排水、污水处理和中水设施的建设与发展,把中水回用纳入城镇规划以及水资源合理分配与开发利用计划,水资源综合利用规划也应充分考虑到中水回用的潜力。

目前北京市、天津市已将市政中水回用纳入城市总体规划,北京市将在原有和新建的大型城市污水处理厂的基础上配套建设近 10 个大型市政中水厂,天津市则计划建设 6 个大型市政中水厂。在积极推广市政中水回用的同时,今后

两地也应注重建筑中水回用工作的同步开展，在中心城区以外、市政管网无法配套的新建居住区做好建筑中水设施的规划和建设。

作为一种分散式污水处理资源化与再利用模式，建筑中水设施的建设面临过于分散所造成的经济效益不显著、难以规范和提高运行管理水平风险。目前，建筑中水工程虽然大批上马，但部分工程已暴露出这方面的问题，致使设施运转率尤其是满负荷运转率偏低，结果造成了不必要的投资浪费。因此，对于拟建的单体建筑或区域性建筑等配有建筑中水设施的项目，政府有关部门应全局考虑统筹规划，避免重复建设，提高设施的利用率，降低投资成本。比如，北京市的 CBD、金融街、中关村西区等区域性的综合建筑群，以及清河、望京、回龙观、天通苑等集中居住区，应由北京市和所在区的规划及节水管理部门统一协调各业主单位、地产商、物业公司，合理布局建筑中水设施，统一管理和利用，形成规模效益，这样既节省了工程的投资费用，又便于设施的集中管理，提高设施的运行效率。

## 14.2 新建项目的中水工程必须与主体工程同时设计

由 4.2 节可知，承担主体工程设计任务的建筑设计院所因为缺乏污水处理工艺工程师作为主体专业人员，一般难以独立承担中水工程的设计任务；另一方面，专业的中水公司虽然聘有污水处理工艺工程师，但由于这些公司规模一般较小，很少聘有建筑、结构、暖通、电气、自控等专业的工程师，而这些专业人员恰恰是一般规模的建筑设计院所应必备的设计人员。因此，考虑到工程勘察设计企业和中水专营企业的这些实际情况，今后一方面应要求主体工程的建设单位在主体工程勘察设计招投标时同步进行中水工程设计招投标，另一方面要求中水公司尽量扩充设计力量，并加强与主体工程设计单位的协调配合，同时，主体工程设计单位也有义务配合中水公司对建筑中水工程进行合理规划。

此外，国家有关部门在关于民用建筑工程设计文件质量特性和质量评定实施细则中也应加强对中水工程设计质量的要求，使中水工程的设计进度与主体工程设计进度相一致，各阶段的设计深度也应符合国家有关建筑工程设计文件编制深度的规定。



## 14.3 重视水量平衡，提高中水设施的利用率

### 14.3.1 合理确定处理规模

准确进行建筑中水设施的水量平衡计算是合理确定中水设施处理规模的前提，由此可以避免因设计规模过大而造成的设备运行效率偏低、中水制水成本偏高，或者因设计规模偏小而造成的大量补充自来水，两种情况都降低了中水系统的效益。实际中的处理规模往往是在建筑物的总用水量乘以相应的回用比例得出的。这就跟实际的酒店、公寓的入住率和写字楼的出租率有关系。入住率和出租率不高，使用水量相应减少，建筑中水设施的处理规模就达不到设计要求。

2001年北京市“关于加强中水设施建设管理的通告”对需要设置建筑中水设施的建筑和小区规模全部有了量化要求，但并未对建筑中水设施的规模进行限定，这样就可能出现建筑面积相同而建筑中水设施规模差异很大的现象。因此，政府有关部门今后应组织科研力量，对不同地区的各类用水单元进行详细的水量平衡测算和研究，出台水量平衡设计导则，在此基础上规范建筑中水设施的设计规模。

### 14.3.2 准确设计调节构筑物容积，优化调节能力

建筑中水工程的建设有着自己的特殊性。原水水源的收集也有别于其他水源，小时流量变化大，有集中来水和完全断流的情况，例如，宾馆饭店洗浴和盥洗排水主要集中在晚上几个小时排放；公寓洗浴和盥洗排水则主要集中在早上和晚上的几个小时排放；写字楼洗浴和盥洗排水主要集中在早上和中午的几个小时排放。因此，用时变化系数或一个简单的百分比来设计调节池的容积存在一定的困难，应根据调查资料或类似建筑排水资料拟订原水逐时变化曲线进行计算。

准确设计建筑中水设施调节构筑物的同时，还需根据建筑中水设施原水水量和用水水量的变化规律，调整原水水泵的流量及水位控制，挖掘设施的潜力，优化中水系统的设计，改善建筑中水设施的运行。

### 14.3.3 通过模块化设计实现设备分期投产

由于实际中经常存在主体工程分期建设、分期投入使用的现象，因此在中

水工程设计时如果对处理系统进行模块化设计，使处理设备分期分批安装，这样可以最大限度地降低设备闲置率，提高中水工程的经济效益。同时可以解决商业楼宇水量波动大的问题，根据来水情况控制模块的启闭，优化工艺的运行。

## 14.4 规范中水处理技术，推广高效、可靠、经济、适用工艺

### 14.4.1 优选并规范中水处理技术

建筑中水设施的处理工艺应根据中水原水的水质、水量、中水利用途径、现场条件以及运行管理要求等因素，进行技术经济比较后确定。当中水作为城市杂用水进行回用时，若以优质杂排水、杂排水或城市污水处理厂二级处理出水作为原水，“混凝—沉淀（或气浮）—过滤（砂滤、活性炭过滤或二者组合）”、“混凝—微滤（或超滤）”等物化工艺或者生物接触氧化法与上述物化工艺的组合物化工艺已日臻成熟；若以生活污水为水源，新兴的膜-生物反应器工艺和曝气生物滤池工艺具有较好的应用前景。当中水作为景观环境用水进行回用时，在对前述原水的处理工艺之后再组合人工湿地或土地渗滤系统，便可经济有效地达到进一步脱氮除磷、去除病原微生物的效果。

随着水处理技术的不断成熟进步，以及中水工程实践的深入开展，国家有关部门应组织相关技术和工程专家，全面评估各类中水处理技术，结合我国国情，并借鉴国外经验，优选出一批高效、可靠、经济、适用的中水处理工艺，编制各类技术的设计导则，以实现中水处理工艺的规范化、定型化。

### 14.4.2 鼓励开发小型化、集成化、自动化的中水处理装置

根据北京市节水办 1989 年的调查结果表明，当时建成的 89 套建筑中水设施的总设计日处理水量为  $16713\text{m}^3$ ，有近 72% 的设施设计水量在  $60\sim 200\text{m}^3/\text{d}$ ，而实际回用水量在这个范围所占比例也是最高达 51%。这些中小规模的中水处理设施不可能配置很多的技术和管理人员，因此，根据市场需要，开发小型化、集成化、自动化的中水处理装置，是推广建筑中水回用的一个可行方向。提高建筑中水处理装置的自动化程度，在系统中安装自动监测系统，实时、在线监测水质变化，这样一旦水质达不到要求，自动控制系统将立即得到反馈，调节工艺，从而保证出水水质的稳定。目前颇具发展潜力的膜处理、臭氧消毒和紫外线消毒技术都比较适用于小型化装置，但需要进一步提高稳定性、安全性，并降低成本。



## 14.5 防止建筑中水处理站自身的二次污染问题

中水回用是一个变“废”为“宝”的过程，但同时也可能是一个产生二次污染的过程。例如，格栅间、调节池可能散发臭气（生化反应池中好氧污泥活性变差时也可能因为厌氧反应而散发臭气），污水处理再生过程中一般要产生剩余活性污泥、化学污泥、反冲洗废水等，处理站内机电设备（尤其是鼓风机）运转时将产生噪声和振动，这些如果处理或处置不当，可能严重污染周边环境。因此，一方面应科学合理的确定建筑中水处理站的选址，另一方面，在建筑中水处理站设计时，应加强建筑、给排水、暖通等专业的配合，对污水处理过程中产生的臭气采取有效的除臭措施，保证站内良好的通风条件，对机电设备采取必要的降噪和减振措施，对采用药剂可能产生的危害采取有效的防护措施，等等。此外，对任何一种中水处理技术都需要进行全面的技术评估，既考察其处理效果、技术经济性等指标，又评价技术各环节的产物和副产物对生态环境的影响或潜在影响，确保技术本身是环境友好的。

## 15. 关于建筑中水工程的施工及验收

### 15.1 新建项目的中水工程土建部分必须与主体工程同时施工

目前新建项目的建设单位主要采取两种方式进行中水工程的发包工作：一种方式是中水工程的土建部分和主体工程同步建设，只将中水工程的勘察设计和设备供应发包给中水公司；另一种方式是将中水工程以交钥匙模式发包给中水公司，只为中水处理站留有建设用地。由于中水工程发包工作大多滞后于主体工程勘察设计和设备供应发包工作，这样就在实际当中造成以下问题：若建设单位采用第一种方式发包，由于主体工程设计单位缺乏对中水处理的了解，预留的中水工程建设用地或代为设计的中水设施土建构筑物往往导致无法使用某些处理工艺，制约了中水工程承包单位的深化设计和施工条件；若建设单位采用第二种发包方式，由于中水工程承包单位往往缺乏土建部分的设计和施工力量，往往导致土建部分的转包和分包，出现施工单位的二次进场，既增加了土建工程的造价，也增大了施工现场的管理难度。

因此，今后应明确要求新建项目的建设单位将中水工程勘察设计的发包工作与主体工程同步进行，如此可以保证中水工程和主体工程的同步设计和同步施工，在此基础上，进一步要求建设单位在进行工程建设招投标时，应将中水



工程的土建部分与主体工程统一发包给中标的建筑施工企业，这样既使得中水公司不再勉为其难，确保了中水工程土建施工质量，又为建设单位节省了投资。

## 15.2 对关键设备进行严格的质量认证

调研中发现，不少建筑中水设施投产不久后便处于停运状态，这与设备频繁出现故障、增加物业管理人员的工作强度、增大设备维修成本有较大关系。以曝气设备为例，这类设备是保证好氧生化处理工艺正常运行的最关键的设备，但目前国产曝气设备的质量参差不齐，不少产品存在着质量不稳定、效率低、耗电高、噪音大、故障率高等问题。

早些年由于建筑中水处理工艺尚不成熟，设备选型五花八门，尤其是专用设备，大多为非标设备，这些都给设备质量的把关造成较大的困难。今后随着中水处理技术的日益成熟和规范化、标准化，应逐渐加强关键设备的质量认证工作，使其关键参数的标称值与实际值相符，避免因设备质量不过关而影响到中水设施的后期稳定运行。

## 15.3 合理确定中水工程的验收时间

由 4.3 节可知，新建项目的中水工程很难实现和主体工程同时投入使用，但现实的情况是，建设单位为了应付政府建设行政主管部门的竣工验收，在没有原水、无法进行工艺调试的情况下仍然要求中水工程承包单位将中水处理设备安装到现场，这种流于形式的工程验收造成如下后果：在中水设施等待通水运行之前，由于中水工程尚未完成移交，管理责任不清，中水设施经常得不到妥善的保管，设备容易遭到盗窃或损坏，给中水工程承包单位带来很大不便甚至经济损失，也造成了不必要的纠纷。

因此，建议今后在建筑中水设施的设备安装施工及工程验收方面应和主体工程区别对待，除中水变频供水设备应在主体工程竣工验收之前同步完成安装施工和调试外，其他中水处理的相关设备可待新建项目达到一定的入住率或使用率、原水水量能够满足中水设施正常运行之时，再进行安装施工，以使得这些设备安装之后马上就可以进行工艺调试，出水稳定并达标后即可完成中水工程的最终验收工作，这样既缩短了中水工程承包单位的回款周期，减轻其经济压力，又避免了设备的闲置和浪费。

## 15.4 出台建筑中水工程施工及验收规范

目前，建筑中水工程在施工及验收的很多细节方面仍然处于无章可依的状态。例如，中水供水管道到底依何标准设定涂色和标志？中水处理站内的管道材质和连接方式有何要求？又如，验收时应对那些施工图纸和文件进行备案？向何机构备案？等等。建议政府有关部门应尽快出台有关建筑中水工程的施工及验收规范，使建筑中水工程的施工有章可依，并纳入规范的验收程序。

## 16. 关于建筑中水设施的运行监管

建筑中水设施的运行监管是目前实践中最薄弱的环节，也是影响建筑中水回用工作能否真正有效开展起来的核心问题之一。调研中发现不少中水设施建了不用，甚至有的项目当初还作为节水的样板工程，但后来却长期处于停运状态。许多经验教训表明，单靠政府在建设到投入运行过程中进行逐项的行政审批和验收，并不能从根本上解决已建的中水设施都能投入使用，都能发挥应有的效益。如第 12 章所述，借鉴国际经验，尽快建立企业化的运营管理体制，鼓励专业的中水公司承担中水设施的管理，提高中水管理的规范化、专业化水平，是保证建筑中水设施安全、高效并经济运行的可靠途径。在管理体制得到变革之后，政府有关部门的工作重点将转变为市场监管。

### 16.1 建立和完善对建筑中水设施的运营监管政策

在建筑中水回用领域，政府必须在市场监管方面发挥主导作用，政府的职能主要是建立和维护一个公开、透明、平等竞争的市场环境，在平衡各方经济利益和社会公共利益的前提下，保证建筑中水回用工作的有效开展。运营监管是市场监管的重要内容，关系到政府、企业和公众三者之间复杂的责权利关系的理顺，是包括中水在内的整个水务市场监管体系中的难点，也是关键。建筑中水市场的运营监管主要包括以下三个方面：

(1) **市场准入监管**。通过特许经营的协议或授权来管理。政府应放松市场准入监管，拆除由行政性命令而造成的行业壁垒、地区分割等妨碍市场公平竞争的准入政策，在能够保证中水设施出水满足质量管制标准的前提下，不为中水处理技术和设备的供给方以及设施建设单位设置市场准入条件，通过竞争推动从业企业提高生产效率，降低生产成本。



(2) **服务与水质监管**。通过科学检测、投诉受理和公共监督来实现。服务监管应涵盖管网泄露的修复速度、对消费者投诉的反应速度以及对危机的应对和处理能力等内容；水质监管应涵盖对中水水质及处理的要求、对中水水质监测的要求、对处理设施的可靠性的要求、对中水储存的要求等内容。要建立完备的法律框架体系保障服务与水质监管的实施工作。明确中水公司保证中水安全性和服务可靠性的法律责任；明确规定中水公司必须承担基本的水质监控责任。规定用于质量控制的必要投资。制定罚则。规定质量监管部门和被管制部门的职责；规定消费者的权益。建立实时监测制度与信息公开机制、公众意见反馈机制。

(3) **成本与价格监管（经济监管）**。建立同业绩效平台来进行成本比较，通过价格形成机制来实现。为保证中水设施收益维持在一个较为稳定的水平，要采用基于绩效的激励性价格管制模式。将中水公司的绩效水平与基准情景或其他企业相比较，并且给予效率高的企业以更多的回报，以此激励企业改善经营管理，提高生产效率。

## 16.2 设立具有健全职能的监管机构

应明确要求政府的质量监督行政主管部门对中水水质以及服务质量的监管责任，并授权资质合格的第三方对中水水质进行监测，授权消费者权益部门接受用户投诉，授权行业协会对企业进行综合评估。为确保水质监测数据的客观性和公正性，要逐步将政府水质监管、行业水质检测与供水企业水质检测分开。要定期发布水质公报，提高水质监测数据的社会公信力。

应建立物价部门对企业的定期审价制度。对列入定价目录的建筑中水行业的商品和服务价格，定期进行全面审查。审查的内容包括中水公司总体经营状况、企业制造成本、期间费用情况、工资水平和劳动生产率水平等。通过审价，了解和掌握中水公司经营状况，促进企业降低成本，提高效率，为了解企业投资和财务状况、制定价格调整战略提供重要依据。

要保证监管机构的透明性、责任性、可信性，特别是专业性、独立性。专业性要求监管机构工作人员一般由行业技术、经济和法律方面的专家构成。独立性要求合理配置政策部门与监管机构之间的权力，这有利于排除政治因素的干扰，明确监管机构的责任和目标，为监管机构提供明确的激励。



## 17. 关于建筑中水回用的公众参与及社会监督

### 17.1 加大节水宣传力度，消除公众顾虑

中水在概念上模糊了“清洁水”和“污水”的界限，中水设施在时间跨度上缩短了污水排放经自净作用再进入供水系统的时间，在空间跨度上缩短了原水取水点和污水排放点的距离。而这些变化对于受传统观念影响的公众在心理上造成一定程度的冲击。

调研发现，社会各阶层对建筑中水的认识和态度参差不齐。较多的公众对中水持理解和支持态度，但普遍对所在社区的中水情况知情不够，无法做到监督，对中水的使用存在安全方面的担忧和顾虑。还有一些公众对中水尚不了解，或者虽有了解，但认为可有可无。

所以，今后应加大宣传力度，提高人们对中水的了解和认识，改变人们的传统观念。树立“污水也是一种资源”的新观念，转变公众对中水回用这一新生事物的看法，使公众意识到水危机的严重性和中水回用的重要性，从而增强节水意识，自觉支持中水产业的开展。要通过各种宣传形式向公众和中水使用单位普及有关中水的科学知识，帮助人们克服中水回用的心理障碍和对使用中水的不信任感。

### 17.2 发展中介组织，做好社会监督

可成立中水水消费者协会，负责受理和调解在再生水使用过程中由于水质、水量等原因而对中水消费者利益造成损害的纠纷。普通的各级消费者协会（全国、地方）缺乏自然垄断性产业的专业知识，因而往往难以有效地维护消费者利益。中水消费者协会可以定期调查消费者对中水使用的满意程度和其他要求，可以定期举办中水知识讲座、宣传节水常识，可与行业协会合作以会议等形式共同探讨中水使用过程中遇到的一些问题，同时还可定期公布中水行业的价格变化和行业经营发展状况信息。

## 参考文献

- [1] 中国人民解放军总后勤部基建营房部. 建筑中水设计规范. 北京: 中国计划出版社. 2003 年 5 月第一版
- [2] 城市污水再生利用系列标准实施指南编委会. 城市污水再生利用系列标准实施指南. 北京: 经济科学出版社. 2003 年 12 月第一版
- [3] 北京市城市节约用水办公室. 中水工程实例及评析. 北京: 中国建筑工业出版社. 2003 年 5 月第一版
- [4] 北京市城市节约用水办公室. 节水新技术与示范工程实例. 北京: 中国建筑工业出版社. 2004 年 2 月第一版
- [5] 金兆丰, 徐竟成. 城市污水回用技术手册. 北京: 化学工业出版社. 2004 年 1 月第 1 版
- [6] 姜湘山. 建筑小区中水工程. 北京: 机械工业出版社. 2003 年 9 月第 1 版
- [7] P. 伦斯, G. 泽曼, G. 莱廷格[编]. 王晓昌, 彭党聪, 黄廷林[译]. 分散式污水处理和再利用——概念、系统和实施. 北京: 化学工业出版社. 2004 年 5 月第 1 版
- [8] 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. 给水排水. 29 (11). 63—66
- [9] 郭扬善, 屈燕. 北京市中水设施的成本效益分析. 给水排水. 22 (4). 31—33

## 致 谢

感谢各建筑中水设施运行管理单位对本次调研的积极配合，感谢北京市和天津市节水管理部门的支持，同时感谢清华大学环境科学与工程系胡洪营教授、施汉昌教授、黄霞教授给予指导并惠赠有关数据，感谢清华大学环境模拟与污染控制国家重点联合实验室为本次调研提供了水质监测服务。

本次调研由水利部水利水电规划设计总院和北京汇佳汉青中水科技有限公司共同研究和制定调研方案，并由北京汇佳汉青中水科技有限公司具体负责调研的实施工作，在此过程中得到了两个单位有关领导的关心和指导，调研人员在历时半年的时间内大量走访设施现场，克服了诸多困难，使得调研工作得以有效推进，在此一并表示由衷的谢意。