

发展“城市中水系统”的若干问题讨论

邬扬善

(北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

摘 要: 通过对中水、再生水、杂用水及城市中水系统的概念, 及城市中水系统建设模式和发展难点的讨论, 提出了“城市中水系统”, 与城市给水系统和排水系统, 应并立为城市的三大水系统。笔者认为, 基于中国的国力和基础设施薄弱情况, 中国在缺水地区, 应打破“一级二级三级”的框框, 跳过“达标排放”阶段, 可直接将城市污水再用作为污水处理厂的建设目标, 并实行“因地制宜, 分散处理, 就近回用”的建设方针; 要从城市规划下手, 从总体上考虑, 合理选择城市水系统; 实施集中和分散相结合, 大、中、小并举, 并且以中、小型为主的原则; 重视源分离技术等新技术的开发, 加快技术创新步伐, 促进城市中水系统更有效地建设和发展; 并对发展城市中水系统的难点与难点的转化及化解提出了看法。

关键词: 非传统水资源; 健康水循环; 我国城市中水系统建设模式及其发展难点; 生活污水源分离技术; 分散处理与就近回用; 水价与节水; 再生水与杂用水

1 对一些重要概念的认识

1.1 关于“非传统水资源”

城市非传统水资源(新水源)包含: 废水、雨水、海水、空中水等。

关于开发非传统水资源的重要意义, 正如中国工程院钱易院士所说的:“非传统水资源开发, ……在特定的条件下, 它们可以在一定程度上替代传统水资源, 或者可以加速并改善天然水资源的循环过程, 使有限的水资源发挥出更大的生产力。污废水的处理、再生和利用, 更是可以收到控制水污染、提供稳定水资源的双赢效果, ……一般情况下, 传统水资源和几种非传统水资源的配合使用, 往往能够缓解水资源紧缺的矛盾, 收到水资源可持续利用的功效。”

1.2 关于“健康水循环”

“健康水循环”概念是当今水业一个值得关注的重要新概念。为了我国水环境的恢复, 中国工程院张杰院士多次发表文章, 曾对“健康水循环”概念和观点作了阐述:

水是在陆地—河海—大气中循环的自然资源, 是人类的共同财富, 只要人们遵守它的循环规律, 维持健康的水循环, 它就能永久地为人类所利用。城市的给水排水系统对于水自然循环至关重要, 是水大自然循环的一个旁路, 是水社会循环的重要组成部分。城市排水系统是水自然循环与社会循环的联结点, 污水处理厂是水循环中水量与水质的平衡点。

现今世界各国都不同程度地提出了健康(健全、良性)水循环的概念, 这是针对人们滥排污水和丢弃废物、滥施农药与化肥而提出的, 是拯救人类生存和永续发展空间的根本性战略。所谓“健康水循环”, 就是上游地区的用水循环不影响下游水域的水体功能, 水的社会循环不损害水自然循环的客观规律, 从而维系或恢复全流域, 乃至全球的良好水环境。

达成水健康循环的社会基础: 一是提高社会对水与人类关系的了解, 培育珍惜水的意识, 养成节制用水的习惯; 二是在国土管理上, 在城市总体规划上要注入循环的概念。在每个流域内, 都要将河流、流域及社会视为一体, 统筹考虑水的循环利用规划; 三是在每个流域内都要确保环境用水量, 规范社会取水量, 保护水流空间, 维持丰富多样的生态系统; 四是每个城镇都要有完备的水循环系统。既要有安全、可靠的供水系统, 又要有污水收集、净化、有效利用与排除系统。污水净化

程度应按利用和所排放水体的功能要求而定。

国内外水环境恢复与再生的实践经验表明，对废水的再生和有效利用的每一点实际进步都是对地球环境、人类进步的贡献，推进污水净化和普及再生水利用是人类与自然兼容协调，创造良好水环境，促进循环型城市发展进程的重要举措。

1.3 建立“城市中水系统”的概念

“城市中水系统”的提法可在国内 20 多篇文章或书中见到，建设部于 1995 年 12 月 08 日发布的《城市中水设施管理暂行办法》提到……各级城市建设行政主管部门负责城市中水设施的规划、建设和归口管理工作……中水规划，作为城市供水发展规划的组成部分，按计划组织建设。但它作为一个“系统”的概念至今未见有明确说法，本文就此作一讨论。作者认为“城市中水系统应是城市一个新的水系统工程，是废水再生利用的系统工程，属于非传统的水系统，它应该包括：以污水、雨水作为水源的收集系统、水质净化系统，以及水量、水质和水压有保证的供应系统，属于这三者的总称”。在美国称为分质供水系统，日本称为中水道。国内也有称“城市第二供水系统”和“城市中水道”的。该系统将排放的废水和雨水变成再生水，使之成为稳定和重要的城市水源组成部分。城市中水系统具有经济、高效、可靠等诸多优点，正在成为缺水地区水回用的一个主导方向。

建设城市中水系统，可以为居民创造良好的生活环境、充足的水源，巩固社会安定团结的局面，不但可达成水资源的可持续利用和城市经济的可持续发展，实现城市水的健康循环，还可避免由于水问题带来的工业损失，同时促进水工业技术与产业的发展。

1.4 对“中水”概念的扩展和科学定义

“中水”一词是直接从日本套用过来，当时作为“再生水”的一个代名词，现在看来，并不是很科学。应该说，自然水经过净化，获得了使用功能，而在使用过程中，其物理化学性质发生了变化，丧失了使用功能，成为废水，但废水经过处理加工，去除了某些杂质，水的自然性质有了一定程度的恢复，它的使用功能有了某种程度的再生，称之为“再生水”是科学的。之后，又出现了“杂用水”的叫法。从概念上讲，前者是相对于水的性质而言，后者是相对于水的用途而言，即经过再生，可用于某些方面，称为“城市杂用水”、“市政杂用水”、“生活杂用水”等。再生水和杂用水属于不同的范畴，不能等同。在最近的城市污水再生利用分类国家标准中，找不到“中水”一词，而只在《建筑中水设计规范》中出现，并将其限定为：“各种排水经处理后，达到规定的水质标准，可在生活、市政、环境等范围内杂用的非饮用水”。很明显，这里只将中水限定为市政、生活和环境的杂用水的代名词。

由于含义的模糊性和包容性，“中水”除了作为再生水的代名词，也可作为杂用水的代名词，但是，中水在字面上是相对于上水和下水而言，有相当明确的含义，即在水质上，有居中的概念，因此，可以将其概念进行扩展，增加系统的概念，用作新的城市水系统的命名，即：“城市中水系统”，用其来替代在《污水再生利用工程设计规范》中的“城市污水再生利用系统”，这将会是简单明了。今后，可以将城市污水收集系统、再生水处理系统（厂）以及再生水供水管道系统总称为“城市中水系统”，与城市的给水系统和排水系统并立为城市的三大水系统，以方便城市的规划设计和建设、管理。当然，雨水的收集、处理及储存和回用也是一个较为复杂的问题，不会那么简单，还有汛期和事故应急排放系统，仍是必须保留的。

对于城市中水系统，又可分为大、中、小三种，即城市区域中水、小区中水系统和建筑中水系统。城市区域中水系统，可以为工业、农业、市政、环境和居民生活服务，另外两种主要为小区和

建筑内的杂用服务。

2 中国的城市中水系统建设模式的探讨

2.1 缺水地区可直接将城市污水再用作为污水处理厂的建设项目

中国的城市污水处理设施仍然严重不足，特别是配套排水管网的建设滞后。不能像美国那样，在二级处理普及的基础上增加三级处理的做法，搞大量的集中式的大型污水回用工程。但中国可以打破一级二级三级的框框，采用系统工程的方法，根据回用的需要来设计，以确定较为简洁有效的水质净化新工艺。如，用于绿化的水就不需要除磷脱氮，而用于河道湖泊补水的则必须进行除磷脱氮，这个除磷脱氮可以在二级处理中实现，而不需要放在三级处理中，以简化后续中水处理工艺。也就是说，中国可以不走国外发达国家的老路，即污水处理经历由“排放达标”，到“回收再用”的二个阶段；中国可以跳过“达标排放”这一阶段，直接将城市污水回用作为污水处理厂的建设项目。在缺水地区的污水处理厂建设，应以“污水回用”，而不是“达标排放”为目标。在日本，由于污水处理及管道普及程度比美国相对要低一些，因此，集中回用和分散回用同时存在，并通过立法在城市内建设了独特的集中供水系统“工业水道”，用于供工业回用。近期，日本为了扩大规模降低中水的成本，正在以新建小区为重点，普及中水建设。而一些大城市如东京，则建设了全地区的城市中水系统。但日本的做法，中国也不能全部套用，中国的污水处理和管网普及率要比日本低得多，而且中国的经济实力也比日本差得多，可能要更为重视分散处理和就近回用的路子。另外，在再生工艺方面，可因地制宜采用一些先进工艺，如北方气候较冷，多用些人工处理的方法；而在南方地区，可依据当地条件，因地制宜，多用些生态处理方法，如人工湿地等，以减少投资和降低运行成本。

2.2 遵循“集中和分散结合，大、中、小并举，以中、小型为主”的原则

从理论上讲，集中回用能够体现规模效益，分散回用可节约回用输水管线，但究竟是集中还是分散，并不完全取决于成本效益的比较，而能否获得足够的建设资金比理论分析更为重要。在资金不足的情况下，应该从实际出发，多推行分散回用和就近回用。在一些已建成污水处理厂的地方，可以先以处理厂为源头，形成区域性城市集中式中水系统。在未建污水处理厂的地方，可将再生水厂建得小一些，尽可能贴近用水点。实行分散处理就近回用将是中国建设中水设施的一个重要方针。北京一个很大的教训是，高碑店污水处理厂为了规模效益，盲目求大，日处理能力近期定为 100 万吨，远期大到 250 万吨。最近确定该厂的中水回用工程，日输水量近期为 30 万吨，远期可达到 47 万吨。目前的计划是 30 万吨流入高碑店湖，主要供给周边电厂的冷却用水，17 万吨流入北京市水源六厂进行深度处理，形成中水后输送给用户。但由于回用管线建设滞后，近期每日 10 万吨供水能力，只用了 2 万吨。令人担忧的是，除了北京高碑店污水厂外，许多城市污水处理厂普遍建在城市水域的下游，没有考虑日后再生利用的发展需要，这个问题非常严重。许多大型城市污水处理厂规模大，污水收集管网长，造成长距离输送，而处理后的再生水需要重新敷设管网输送至利用地，增加处理成本。所以应重新调整污水处理设施的规模和布局规划。

一般来讲，管网建设投资大，是实施污水回用的一个难点。发展中、小型污水处理回用设施具有投资少，见效快，管网建设费用省等优势。因此，集中和分散相结合，大、中、小并举，并且以中、小型为主的模式，这是北京的经验，对于中国来讲，也是切合实际的。

2.3 重视新技术的开发，加快技术创新步伐，促进城市中水系统更有效地建设和发展

城市中水系统是一个技术含量高、建设投资规模大的系统工程。为尽快提高我国城市中水的技

术水平，我们要加大科学研究投入，借鉴发达国家的先进技术，加强技术创新，加快技术进步，为城市中水系统的发展开创新的路子。

当今，国际上还提出了“生态卫生（排水）系统”的概念（在内容与健康水循环相似，但是针对现有排水系统而言），其中特别值得关注的是源分离技术。就像我们在工业废水治理中采用的办法一样，是在生活污染源排放点，对一些污染物进行分离和回收。人们对生活污水进行分析，结果表明，污水中主要营养物 N、P、K 主要含在尿液中，少量尿液如能单独分离，可用于农业；而冲刷以外的废水（灰水）含有较少比例的营养物质，其体积却为人直接排泄物粪尿体积的 50 ~ 200 倍；人直接排泄的粪尿中包含了废水中绝大部分污染物和营养物质，如能单独处理，可大大节省废水处理费用，并便于回收营养物质。由于水体富营养化的问题日益严重，营养物的处理已成为当前城市污水处理的重要目标，只要营养物达标，有机污染物必然会达标；而营养物的回收，恰恰是从源头解决比从末端来得容易。国外对生活污水的分析结果见表 1。

表 1 国外生活污水水质分析

项目	年负荷 (kg/年·人)	尿液（黄水） 500 (L/人·年)	粪便（褐水） 50 (L/人·年)	其它污水（灰水） 2500 ~ 10000 (L/人·年)
N	4 ~ 5	~ 87%	~ 10%	~ 3%
P	~ 0.75	~ 50%	~ 40%	~ 10%
K	~ 1.80	~ 54%	~ 12%	~ 34%
COD	~ 30	~ 12%	~ 47%	~ 41%

在此基础上，许多国家的科学家提出了许多设想和建议，并得到了政府的支持，列出计划，在实施过程中已取得了一定的成果，这些成果已有了明显的实际应用可能性。如，瑞典近年研究的非混合型马桶，或称分离型厕所，即将尿液单独流入贮罐，贮存半年以后，某些有害物被分解破坏，然后用作农肥，粪便作堆肥处理。该装置已有 3000 余套在应用，这样占 90% 以上的营养物质在源头解决了，就大大地减轻了污水接纳水体的富营养化压力。历史上，我国北方就有采用“坑厕”或“干厕”，南方城市采用木制“马桶”的传统，近年来，浙江金华市在住宅小区、学校、公用和商业建筑，推广使用了 2300 余套生态公共厕所，可将粪便分散，就地进行无害化处理，产生的有机营养液作为绿化肥料，产生的沼气作炊事能源。事实证明，金华市这一做法体现了营养物循环利用的可持续发展方向，并具有技术和经济上的合理性和可行性，值得推广采用。

2.4 从城市规划下手，从总体上考虑，选择合适的城市水系统

目前，德国正在实施的 AKWA2100 研究项目是对城市水系统合理选择的方案研究。该项目拟定了三种系统可选方案：

第一方案：延续性方案。即在现有城市供水和排水系统的基础上，通过更新用水设施和器具以及推广高效用水设备和扩大回用处理的污水来达到减少用水的目的。这种方案和我国目前的总体思路相似。预计人均用水可降至 100 L/d 左右。

第二方案：源分离与集中回用方案。该方案特点是，厕所排出的尿液已被单独分离，并被专用车收集用于制造含氮肥料；其它污水与粉碎的厨房有机废物均排入下水道一并处理，处理后的水通过另一条并行的管道分别供给居民冲刷、消防用水和工业用水。由于 N、P 等营养物在源头被分离了，污水脱氮除磷处理难度降低，在处理时的碳源不足可能不再成为问题，对水体富营养化问题的解决要容易得多了。雨水则直接用于非饮用目的用水或渗流补给地下水；同时也通过更新采用高效

用水器具来降低人均用水量。人均用水可能降至 90 L/d 左右（其中非饮用水 30）。

第三方案：完全分散循环水系统。独立式或组团式居民建筑均由就地独立的高效水处理系统提供供水和排水服务，以就近的水体、地下或雨水作为水源，设立不同用水水质的供水系统和回用供水系统。预计人均用水可降低至 70 L/d 左右。

该项目的研究结果将作为城市规划建设决策的依据。目前对中等密度人口区域完全分散式生态卫生（排水）系统与传统集中式排水系统的研究表明，可节省一半以上的能源和材料。

这三种方案可为我国提供很好地借鉴。对于我国的污水集中处理和管网建设普及率较低的情况，应该改变目前的与第一方案相似的思路，直接采用二、三种方案，或在新建小区中大力采用第三方案，以实施我国城市的健康水循环。

3 发展城市中水系统的难点及其化解与转化

3.1 难点的化解

当前业内人士普遍认为，我国城市污水资源化过程中面临的难点是：① 污水处理率低，管网不配套，污水再生利用缺乏必要的条件。近年来，虽然我国城市污水处理设施建设速度加快，但设施建设仍然滞后于城市发展的需要，特别是一些污水再生利用设施建成后，由于难以落实配套管网建设资金，造成设施闲置，难以发挥投资效益。② 水价形成机制不合理，污水再生利用缺乏必要的市场环境。目前，水价调整仍以补偿供水运营成本、减少财政补贴为目的，没有体现水作为稀缺资源的价值。水价形成没有充分起到对水资源供需关系的调控作用，城市供水价格、污水处理及再生利用收费之间尚未形成合理的比价关系，也就未能形成有效的污水再生利用激励机制。尤其是污水处理收费标准不高，收费率低，还不足以补偿水设施的投资和运营成本，更谈不上落实污水再生利用设施的建设和运营资金。③ 人们对水资源的忧患意识淡薄，对污水再生利用的认识不足，污水再生利用缺乏相应的鼓励和扶持政策。一些地区没有把节水和污水再生利用摆在重要位置，特别是一些水资源目前比较丰富的地区，没有充分重视节水问题。

由上可知，建设城市中水系统确实还存在着很多难点，这些分析也是正确的。但是，应该说情况也是在变化的，如水价问题，现在比以前要好多了，就像北京市多年前的水价，一吨水的价格只能买一根冰棍。现在就不同了，居民水价已到了每吨 2.9 元，机关院校为 4.4 元。由于普及了学生用水 IC 卡，在高科技和经济杠杆作用下，过去的用水大户——高等院校取得了明显的节水效果。当然，水价的改革并没有到位。另外，水资源的忧患意识虽然还较为淡薄，但比以前提高了。以北京人均生活用水量为例，1996 年是 268 L/d，1998 年 201 L/d，1999 年 190 L/d，2000 年 160 L/d，正在不断下降。水价改革还带来了节水意识的增强，也反映在自来水公司的售水量上。据北京市自来水集团公司提供的数据显示：1999 年售水 6.8 亿吨，2000 年售水 6.5 亿吨，2001 年售水 5.87 亿吨，2002 年预计售水 5.26 亿吨，自来水公司的售水量在逐年下降。自来水集团公司 1999 年以前一直处于亏损状态，1999 年亏损 1300 多万，当年政府财政补贴 7700 多万。2000 年，自来水集团公司摘掉了亏损的帽子，在没有政府财政补贴的情况下，获得义务利润 18 万元，实现利润 400 多万元；2001 年获得义务利润 6120 万元，实现利润 5502 万元，自来水公司的日子是好过了。但现在最困难的还是污水处理，北京市民现在为每吨水交的排水费是 6 毛钱。以北京市高碑店污水处理厂为例，对每吨污水处理的核定价格是在 0.75 元，而企业每吨实际的处理费用是在 1.2 元。污水处理厂主要靠财政补贴在维持运转。因此，排水收费也是急需调整的。

由上可见，水价调整和节水意识的提高的难点正在逐步化解。至于处理设施和管网普及不足问

题,要想很快地改变决不是件容易的事,相反地,如果我们把它看成一个有利条件,则情况就不一样了。正因为管网和处理厂的普及率低,便于采用新的城市中水系统,我们可以不去求大,而踏踏实实地发展中小型中水设施。建一些中、小型的城市中水系统。尽量少建高碑店这样的大型污水处理厂,而且目前规模已到 100 万吨,千万别再扩大了。也不要再走先达标排放,后深度处理的二步走的路子。我们应将污水处理工艺直接改为污水再生工艺,把污水管网直接改成再生水源的收集管道系统。在一些新建小区内建一套污水收集系统,二套供水系统,即一套给水系统,一套中水系统。另外,还必须有一套应急排水系统,以解决汛期和事故排水问题。如果我们改变思路,以中、小型中水为主,重点放在中、小型中水系统的建设上,这样我们在资金、管网建设的压力就会减轻,甚至得到一定程度的化解。事实上,北京也考虑到中水用户的分布、回用距离、地形地势情况等因素,拟在全北京分散各污水处理厂内建 11 座分散的城市中水厂,预计总中水供水能力达 $65.65 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。北京市推行的中水建设管理办法要求建筑小区和建筑物配套建独立的中水设施,以实现分散处理,就近回用的方针。至今已有 200 多项中水设施建成并投入运行,日处理中水达 4 万 m^3 。

化解难点的措施之二是在我国加快开发从生活污水的源头分离污染物的技术。它不仅可减轻污水处理中脱氮除磷的难度,也使营养物有效地回到土壤中,改善土壤的生态环境,同时也能减少城市污水处理中污泥产生,部分地化解在城市污水处理厂普遍存在的污泥因受到重金属污染而难以利用的矛盾。

3.2 难点的转化

难点转化之一,水质管理难度增大。分散小型中水设施的管理水平和水质保证率不如集中大型中水设施高,尤其要注意的,中水水质的达标率要靠监督部门的严格管理来保证,这就增加了中水行政主管部门的管理难度。同时应实行小型中水设施的运行管理的专业化和社会化以及自动化,提高管理水平。

难点转化之二,安全管理难度加大。由于中水设施的分散,误接、误用、误饮情况的发生几率会增加。目前在个别小区和学校均有发生,使传染性疾病的风险增加,这同样增加了中水行政主管部门的管理难度和卫生防疫部门的工作量。

难点转化之三,分散型中水设施的运行成本高,其水价高于大型中水设施,增加了用户的负担,增加了水价制定的难度。必须按中水规模大小制定合理的价格,以保证中小型中水设施的正常运行,同时也使用户能承受。同时应实现小型中水设施运行管理的专业化和社会化,以降低运行成本。

难点转化之四,源分离技术措施的实施缺乏技术基础。源分离技术在工业废水治理上用得较多,但生活污水的营养物源分离技术虽有古老的历史和近期有一些进展,但尚缺少大规模普及的设施、设备和技术,需增加投入,加强技术创新和技术开发力度。

参考文献

- [1] 钱易. 要重视非传统水资源的开发. 中国环境报, 2004, 05, 28.
- [2] 刘红. 北京市中水利用管理工作的回顾与展望. 北京市中水技术与管理研讨会论文集, 北京, 2003.
- [3] 王军, 刘京. 北京市城区污水处理再生水回用规划设想. 北京市中水技术与管理研讨会论文集, 北京, 2003.
- [4] 宋序彤. 生态卫生(排水)系统国内外发展比较. 给水排水, 2003, 29(10): 61-66.
- [5] 陈吉宁, 李文彬, 曾思育. 中国城市污水再生利用发展战略研究. 北京市中水技术与管理研讨会论文集, 2003
- [6] 王洪臣, 甘一萍, 周军, 应启锋, 王佳伟. 城市污水再生利用现状. 北京市中水技术与管理研讨会论文集, 2003.