

中国城市科学研究系列报告

中国城市水环境与水生态 四十年回顾与展望

中国城市科学研究会

中国城市科学研究会水环境与水生态分会

主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

本书为中国城市科学研究会水环境与水生态分会年度系列报告的第一本。本书通过观察改革开放四十年来中国城市水环境与水生态的发展历程,综合阐述了我国在四十年的历程中,如何用极其有限的水资源完成了对全球最大规模的城市化和工业化进程的支撑。全书共分五章,包括绪论、城市供水——水质与健康、城市排水——水质与循环、城市水环境——水质与生态、中国城市水环境与水生态未来展望。

本书可供从事水环境与水生态领域的专业人员、政府管理部门工作人员及大专院校师生参考使用。

责任编辑:刘婷婷 王 梅

责任校对:

中国城市科学研究系列报告
中国城市水环境与水生态四十年回顾与展望
中国城市科学研究会
中国城市科学研究会水环境与水生态分会 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)
各地新华书店、建筑书店经销
北京佳捷真科技发展有限公司制版
印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张: 字数: 千字

2019 年 月第一版 2019 年 月第一次印刷

定价: .00 元

ISBN 978-7-112- -
(34076)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

《中国城市水环境与水生态四十年回顾与展望》

编写委员会

主 任：曲久辉（中国工程院院士、中国城市科学研究会副理事长、水环境与水生态分会会长）

副主任：余 刚（中国城市科学研究会秘书长、水分会副会长兼秘书长、清华大学环境学院教授）

俞汉青（中国科学技术大学化学与材料科学学院教授）

委 员：（按姓氏笔画为序，以下人员均为水环境与水生态分会会员）

王 森	王志新	王凯军	王洪臣	王颖哲	韦朝海
毕 军	任 仁	任洪强	全新丽	刘书明	刘正洪
刘会娟	刘秋琳	江 瀚	许国栋	李 力	李 涛
李 激	李爱民	李瑞玲	李蓉蓉	余 刚	张 敏
张学洪	张徐祥	陈湘静	武俊良	郑兴灿	柯 兵
俞汉青	徐祖信	高 嵩	席北斗	黄 霞	崔保山
崔福义	曾凡付	谢琤琤	霍明昕		

指 导：仇保兴 张 悦 邵益生 车 武 刘永定 孟庆义
骆建华 秦伯强 曹业始

执 笔：（按章节顺序）

高 嵩 武俊良 陈湘静 全新丽 张 敏 张徐祥

说明：本报告图片除另有说明外均来自网络。

序

我国的城镇化经历了四十年的快速发展，这是人类历史上规模最大的城镇化。在城镇化前半场，我们差不多把相当于两个美国的人口从农村搬到城市，在这样一个巨大的人口移动过程中，我们避免了先行国家和发展中国家四类严重的城市病：避免了先行工业国家，在城市化初期基础设施严重不足，造成了疾病流行这样悲惨的历史；避免了一些发展中国家，将大量人口单向移到城市，但不能提供相应的就业岗位，经济系统脆弱化从而陷入“中等收入陷阱”；避免了现代发达国家，在城镇化过程中造成的城市病蔓延，城市能耗比全球平均能耗高出几倍的情况；也避免了非洲等国的城镇化造成了贫民窟遍地，城市 60%~70% 的人口在贫民窟中居住的现象。

作为城市的“血管”，在过去四十年的城镇化过程中，我们的供排水体系，无疑是中国城镇化进程的一个突出成就。目前，城市供水能力达 2.7 亿立方米/日，30 年来增加了近 10 倍。供水服务覆盖人口不断扩大，城市用水人口达 4.1 亿，其中公共供水服务人口达 3.8 亿，用水普及率 97.2%，公共供水服务普及率 90.6%。城市用水量基本保持稳定，与 2001 年相比，2012 年全

国城市用水人口增长了 65.4%，城市年用水总量的增长仅为 11.5%，基本稳定在 500 亿立方米，人均用水量下降至 172 升/人·天。水质标准大幅提高，指标从 35 项提高到 106 项，指标限值更严格，膜技术、臭氧活性炭等深度处理技术得到广泛应用。城市污水处理能力快速增长，2012 年已达 1.2 亿立方米/日，城市污水处理率从 2001 年的 36.4% 提高到 2012 年的 87.3%。城市污水年处理量达 343 亿立方米，COD 减排量超过 1000 万吨。

从水的方面来看，我国人均水资源量约 2100 立方米，仅为世界平均水平的 28%，在这样一个水资源缺乏的国家，2016 年，我们的农业用水占了 62.4%，工业用水占 21.6%，城镇用水占 13.6%。而根据国际上城镇化的一个规律，城镇化一旦越过中期进入后半场，城镇的用水量会恒定，会慢慢减少，不会再增加，这是由用水价格的弹性及节水器具、水循环利用不断发展带来的。

不过，这样的好消息并不能带给我们足够的安慰，因为我们未来仍存在两个巨大的用水方面的挑战。第一，由于极端气候出现，可能突发性地造成大面积降雨或者大面积旱涝，极端天气的出现使许多旱情超过以往千年的记录。另一个更大的挑战，深入城市核心的化工企业如出现事故将造成大面积、突发性的水体污染，这个时候，下游的城市就必须把供水关掉，大面积的缺水就会突然出现。所以，我们应该有这个阶段更具针对性的措施。从发达国家的发展历史来看，以 2000 年欧盟的水框架指令（WFD）颁布为标志，欧美的水体污染治理与水生态修复行动已经从点源控制系统的完善阶段、面源控制系统的应用（TMDL）阶段过渡到流域综合管理与保护的阶段。这一阶段更加注重一体化地管理水资源、水生态、水环境和水安全等各个要素，如果说

前四十年，我们主要以工业化的线性思维来解决水的问题；那么下一阶段，正确认识水的复杂性，拥抱水的复杂性，将水生态和水环境看作是一个生命共同体来看待，以生态思维来正确认识水环境和水生态，进而指导我们的下一阶段的实践，无疑是非常重要的和紧迫的任务。

中国城市科学研究会于 2017 年成立了水环境与水生态分会，这是城科会最年轻的分会之一，也是下一阶段城科会重点建设的分支机构。成立的第一年，在曲久辉院士领导下将“四十年回顾”作为首个年度报告的主题，是一项非常有勇气，也是非常必要的工作。这份报告，也是行业的一次集体反思与展望，希望通过报告的思考、研究和出版，能够引起全社会的共同讨论，一起关注并参与中国城市水环境和水生态建设。我相信，下一个四十年，中国的水故事一定更加精彩，更加令人期待。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '曲久辉' (Qiu Jiahui), written in a cursive style.

2019 年 3 月 28 日

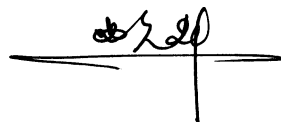
前 言

中国城市科学研究会水环境与水生态分会于 2017 年 11 月成立。在学会成立之初，我及我的同事们就决定编制一份《中国城市水环境与水生态年度报告》，希望能从客观和理性的视角，剖析、总结和研判我国水环境水生态的状况和趋势。基于这样的初衷和情怀，我们以改革开放 40 年作为第一个年度报告的纵览时段和今后系列年度报告的时间起点，编写了这本《中国城市水环境与水生态四十年回顾与展望》，总结过去以更好地关注未来。

城市水环境水生态与人类活动密切相关，在自然主导逐渐转变为人类主导的过程中，水及其环境的服务功能便被牢牢地绑架在人类疯狂追求福祉的战车上，在深刻考验人类良知的同时，也不断启发了当代人变污染为清洁的智慧，这也正是过去 40 年中国城市水环境水生态变化的可标记历程。为此，本报告从矛盾与统一的多维视角，以供水—排水—水环境为主线，分析和总结了城市供水——水质与健康、城市排水——水质与循环、城市水环境——水质与生态的基本层面，客观地表达了编写组及相关同行们对 40 年来我国城市水环境与水生态变化的主体观点：我们

用极其有限的水资源实现了对全球最大规模的城市化和工业化进程的支撑；经历并不断化解了人类史上最为复杂的水问题挑战，建成并良好运行着全球最大规模的水基础设施，拥有并发展了全球最大规模的水务产业，培育了全球最大体量的科技人才队伍，投入了全球最多的科技资源，坚定地发起了水污染防治攻坚战，努力从生态破坏走向生态文明，取得了举世瞩目的伟大成就。然而，我们仍然面临着水环境质量不高、水生态系统受损、水污染形势严峻的现实挑战，诸多历史性、结构性和不可预见性的水环境问题将长期存在，水资源、水环境和水生态问题将长期成为中国城市发展的制约性因素，我们能看到的只是一个短期节点。但展望未来，我们充满信心。在生态文明的引领和复杂挑战的鞭策下，中国全社会的共识将化为城市水环境保护与修复的强大合力，生态优先将由理念将变为普遍认可并持续体验的现实，鱼游之境将不再是我们遥不可及的梦想，城市流水将与我们血脉相通。期待我们描述的不再是一个美丽的图画，而是一个用事实全方位表达的未来。我们必须为此而艰苦奋斗。

虽然我们努力做到全面、客观和准确，但用一个年度报告的形态浓缩 40 年的复杂历程确有难度，报告定多有疏漏。部分参考资料来自互联网，导致部分文献原作者无从查证。我们会汲取此次报告编制的经验和教训，力求在下一年度的报告中少些遗憾和不足。

A stylized handwritten signature in black ink, consisting of a horizontal line with a vertical stroke extending downwards from the center, and a small, abstract mark above the horizontal line.

2019 年 3 月 28 日

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
一、水与城	1
二、水环境与水生态	2
三、国外城市水管理	3
四、我国城市水管理： 40 年（1978~2018）简史	5
第二章 城市供水——水质与健康	13
一、污染与保质博弈	13
二、修标与保质同行	15
三、技改与修标协同	20
四、水质与能力剧增	27
五、挑战与创新同行	30
六、科学高效的饮用水管理机制	31
第三章 城市排水——水质与循环	34
一、污水处理事业高歌前行	35
二、环保倒逼排放标准提升	36
三、科技支撑工艺技术进步	40

四、提标助推工艺升级改造	44
五、均衡投入提升综合水平	46
六、理念引领先进发展方向	49
七、产业发展蓄积深厚力量	53
 第四章 城市水环境——水质与生态	60
一、水体——从清洁到黑臭	60
二、路径——从分治到综合	62
三、调控——从控污到循环	68
四、理念——从环境到生态	70
 第五章 中国城市水环境与水生态未来展望	87
一、健康安全保障是饮用水供给的无终点诉求	89
二、城镇污水处理厂是未来城市的重要资源与能源工厂	90
三、城市河湖水环境治理目标将由水质达标转向水生态安全保障	90
四、新一轮科技革命和产业变革将助推中国城市水环境与水生态 技术创新	91
五、中国未来城市水环境与水生态是安全健康的城市水循环系统	91
 附录一 大事记	93
附录二 首届城市水环境与水生态科普创意大赛概况	105

第一章 绪论

一、水与城

水是自然给予地球的馈赠，正因为有水，地球的生命才有了可供栖息的理想环境。水也同样孕育了人类，人类社会的发展史，同样也是一部人与水关系的发展历史。

自古以来，人类逐水而定居，傍水而建城。伦敦有泰晤士河，巴黎有塞纳河，纽约有哈德逊河，维也纳有多瑙河，布拉格有伏尔塔瓦河，上海有黄浦江。这些城市因河流而诞生，这些河流又因城市而闻名。城市是人类社会发展的伟大产物，也是人类最重要的家园。城市与水的关系也就成为人类生活中最重要的关系之一。

城市作为人类的家园，对于水的功能诉求也会体现出不同的层次，这些诉求大致可分为：**水源功能、环境容量功能和文化经济功能**三种。其中水源功能为城市的基本诉求，水为城市的生活和生产活动提供基本的物质来源；环境容量功能则体现了城市排放与水环境的互动关系，人类的的城市活动必须在符合环境容量功能的前提下进行发展；文化经济功能则体现了人对精神生活的追求，即依靠水来实现更加美好的生活体验。

水圈是地球独有的生态系统，借助于水独特的化学物理性质，地球拥有了一个复杂的生命共同体。这种系统是非线性的，即一部分要素的变化，通常不会造成系统的即刻变化，而显性的

水环境和水生态的问题，通常是某些要素持续累积到一定程度而产生的突变和爆发。

这种非线性变化的生态系统，是我们的城市水管理面临最巨大的挑战，即认知—实践—反馈的周期很长。对于某一类水环境的问题，人们总是在开始时知之甚少，随着结果的显现和经验的积累，逐步了解并优化实践。

二、水环境与水生态

随着城市的兴起，城市水环境的概念也随之产生，城市中的各类水体、水域都可以统称为水环境，这是一个以城市为中心进行阐释的概念；生态则是统一的自然系统，是各种自然要素相互依存而实现循环的自然链条，即只有相互关联并构成统一整体的系统才能称之为生态。从上面的定义可以看出，人类活动与城市水环境的互动（这种行为通常称为城市水管理），形成了城市水生态体系。如图 1-1 所示。

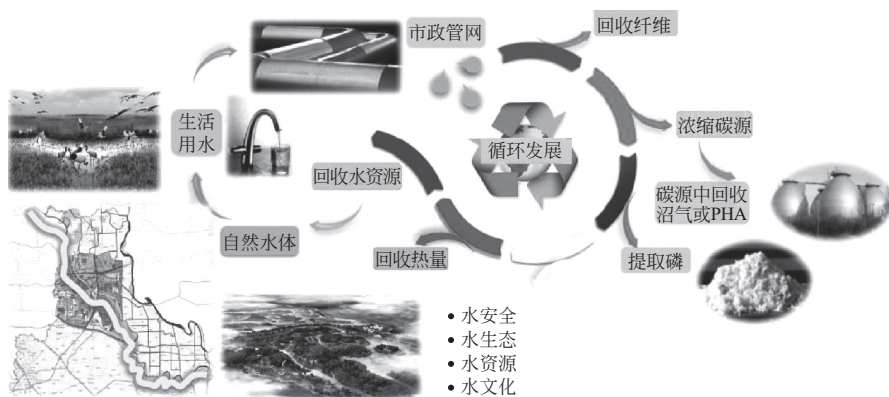


图 1-1 城市水环境与水生态示意图

三、国外城市水管理

人类与水的互动过程，是一个认识—实践—反馈—再认识—再实践的过程，水始终是城市发展的核心制约要素。成功的治水工作，总能反映出人类当时最高等级的智慧，而每一次城市水问题的解决，都能带来城市发展规模和承载空间的巨大变化。

根据城市与水的关系，美国科学家戴维·赛德拉克（David Sedlak）将城市的发展历程大致分为四个阶段：

以管道和排水沟为核心的 1.0 时代。即早期的古罗马沟渠、喷泉和下水道。大约公元前 300 年，罗马城市人口已增长到大约 50 万，居民用水需求猛增。为此，接下来的 500 年里，古罗马的工程师们修建了一套水系统——通过管网将给水系统、输水系统和回水系统形成一个完整的系统，它们的正常运作使得人们可以在人口稠密的城市里生存，这是最早的城市水系统。他们在城内通过管道输送饮用水以及排出污水，这一方法发展至整个欧洲和北美的城市。随着这些城市的持续扩增，大量废物随排水沟排出，一些水媒疾病（如霍乱和伤寒等）肆虐，严重威胁公众的健康。

以供水设施为核心的 2.0 时代。对饮用水进行处理以杀死致病微生物——采用水过滤技术和氯化处理相结合的方法使得日益增长的城市获得安全的饮用水，保护数百万城市居民免受霍乱、伤寒和其他疾病的困扰。水处理技术的巨大进步是在 19 世纪 90 年代到 20 世纪 40 年之间取得的：从 1890 年，当马萨诸塞州的劳伦斯市为抗击伤寒，首先向塞奇威克教授寻求帮助开始；到

1940年，过滤和氯化相结合的处理工艺成为水务部门为用户处理地表水的规范为止。通过这些努力，在美国基本上消除了伤寒和霍乱等水媒疾病。正如海森定理所总结的，一个地区的死亡率的大幅下降，很明显是由于在那里修建了水处理厂。第二次变革彻底改变了城市的水系统。

以污水处理为核心的3.0时代。即污水处理厂的广泛应用。人们意识到城市已经太大，不可能仅仅依靠水体的自净能力来解决污水问题。起初，初级污水处理厂的建立是为了消除由溶解氧的耗损而引发的恶臭。但是，随着人口的增长，城市需要兴建更复杂的污水处理厂，以保护下游的供水和水生态免遭污水的负面影响。经过劳伦斯试验站和曼彻斯特大学等单位的工程师们的努力，利用微生物净化污水的技术被开发出来。但是，在水污染被公认为主要危机之前，人们不愿意在处理污水上花费每人每月多于1美元的投资。最终，多数人认为污水处理应该全国统一来解决，加上一系列配套的法律和联邦政府的拨款，这才扭转了美国水污染的局面。第三次变革是城市污水处理厂的出现，它极大地改善了污水对下游地域造成的污染。

目前正在进行的，以应对气候变化为核心的4.0时代。随着城市的持续扩大，人们意识到污水处理厂还必须去除污水中的营养素、有毒金属和合成有机化合物。人们的注意力也转移到了其他新的挑战，如控制温室气体排放和应对气候变化。

城市人口飙升和气候变化造成了一些城市水资源短缺，而其他城市水资源过量。一些污染物虽然浓度极低也对水系统构成危害。这些迹象表明即将出现第四次变革，即“水4.0”。只是在这个阶段，决策者们对城市水问题的性质知之甚少。在那些水系统显示出最大压力迹象的城市，这些问题已通过不同方式显现出来。有些地方，水肆虐泛滥；而另外一些地方，却长

期干涸；还有的地方，虽然经费不足，但仍在努力维持那些濒于散架的管道和水处理厂。第四次变革仍然在循序渐进的准备过程中，如果我们愿意投入资源、人力，加上政府有意愿把这些变革变成现实，依靠科技，多管齐下，就可以造就更好的城市水系统。

四、我国城市水管理： 40 年（1978 ~ 2018）简史

柏杨在《中国人史纲》的分析认为，有一个强有力的政府兴修水利、革除水患，是中国形成大一统帝国的主要原因。在中国的历史进程中，从不缺少治水的传说和记忆。当中国开启现代化发展之路时，中国的水管理也面临着人类治水历史上最大的挑战。

始于 1978 年的改革开放，中国得以开启了全球有史以来最大规模的城市化与工业化进程，此阶段的中国城市水管理也是全球有史以来规模最大、最为复杂的一次水管理实践。在这 40 年中，中国要利用极其有限的水资源量，支撑数百座城市的现代化改造；要在全球人口最稠密的地区，建设规模最大的供排水系统，有效地防范健康风险；要在有限的时间内，完成城市水环境保护与修复，建设城市水生态，使之能够满足日益增长的城市生活的需求。经过 40 年建设实践，中国取得了举世瞩目的成就。但应该看到，我们也付出了巨大的代价，其中不乏遗憾。时至今日，中国城市水环境普遍已经到达环境容量的极限，城市的水生态需要较大的努力才能恢复到健康状态，道路依然漫长。

(1) 发展历程

回顾中国水环境的发展，可以大致分为开发为主、综合利用和保护修复三个阶段。展望未来，预计到 2050 年，可以实现我国水环境的全面好转。

1949~1978 年：开发为主阶段。在新中国成立以后到改革开放前，中国的水管理主要围绕水利建设展开，大规模的修建水库、围湖造田和退林造田，是这一时期的主要工作。水利建设基本消除了过去常年存在的洪涝灾害阴影，为城市发展做出了极大贡献，但也造成了环境破坏和水土流失，为后续的环境报复埋下了种子。

得益于苏联城市规划系统的有效推广，中国成功地避免了城市人口聚集引发的公共卫生问题。但这段时间忽视了城市污水排放和排水管网的科学规划，这个时期的排水管网基本都是雨污分流，并且普遍按照一年一遇的强度来应对降雨，这为后期频发的“城市看海”留下了隐患。

1978~2010 年：综合利用阶段。由于工业化的发展，生活与工业的用水量都处于快速增长阶段，城市的水质型缺水与水量型缺水开始不同程度地显现。比较典型的案例是“引滦入津”工程，由于用水激增造成了海水倒灌，进而引发了饮用水问题。当时天津市应用大规模调水比较成功地解决了问题，并带动了国内一批类似工程的出现。

得益于 20 世纪 90 年代初的援华贷款项目，中国开始逐步开展污水处理厂的建设工作。作为重点发展的城市基础设施建设项目，借助社会资本的介入拉开了污水处理厂建设的大幕，中国的污水处理事业得到极大发展。在后续的十余年里，地方政府都将

污水处理厂建设以及各类污染物指标的控制作为环境保护的考核目标和主要手段。但伴随污水处理而来的污泥问题和管网配套问题在这一阶段没有得到很好地解决。

1998 年的特大洪水，让人们看到了自然界的力量和环境报复的可怕，是对中国水管理产生重大影响的事件。痛定思痛，管理者开始重新审视水环境管理方面的问题，并认识到人类和水环境同属于一个生态系统，国家开始有计划地退耕还林，退耕还湖。

而污染加剧的情况，实际并没有得到明显的扼制，各类供水危机频发，尤其是太湖蓝藻事件，给社会敲响了警钟，并带动了新一轮的污水处理提标工作。

随着城市规模的扩大，极端气候的出现和长期不受重视的管网建设开始联合发生作用，多个城市启动“看海模式”，甚至在北京都出现了严重的伤亡情况，这促进各城市开始进行调蓄池建设和雨污分流的工作。

2010~2018 年：保护修复阶段。党的十八大以后，生态文明成为新时期社会发展的主导思想，人们终于认识到，做好水环境管理，必须要在水生生态体系中来布局和谋划。浙江的“五水共治”，全国性的黑臭水体治理，海绵城市建设，都是这个时期系统思维的产物。

（2）水管理成就

① 水基础设施建设成就

经过四十余年的持续建设，我国已拥有全球最大规模的水基础设施。

截至 2016 年，全国城市供水能力达到 3 亿吨/天，供水管道 75.7 万公里，污水处理能力 1.82 亿立方米/天，排水管网长度

57.7 万公里。这些成就均达到了全球第一。如图 1-2、图 1-3 所示。

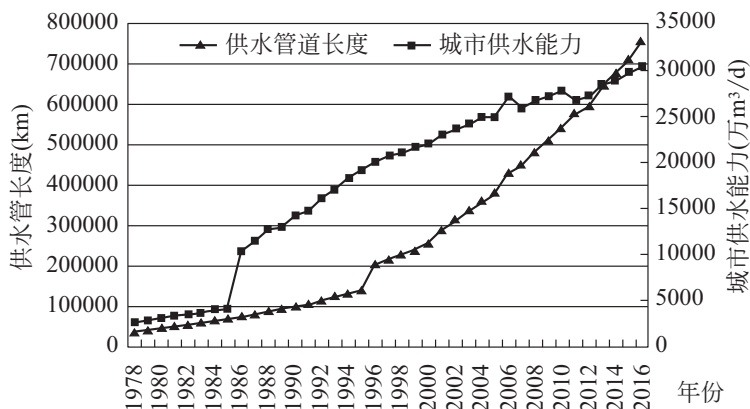


图 1-2 1978~2014 年中国供水能力发展趋势

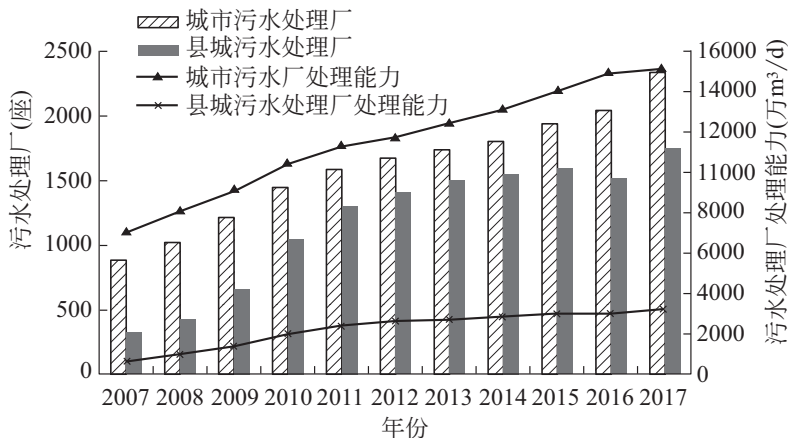


图 1-3 2007~2017 年中国污水处理能力发展趋势

② 水工业发展成就

我国拥有全球最大规模产业基础。

经过 40 年的投入，中国拥有了产业链齐全且规模庞大的水

处理产业，其中北控水务的水务运营规模已跃居全球第一。截至目前，国内前十家水务上市公司的市值总和超过 2000 亿元人民币。如图 1-4 所示。

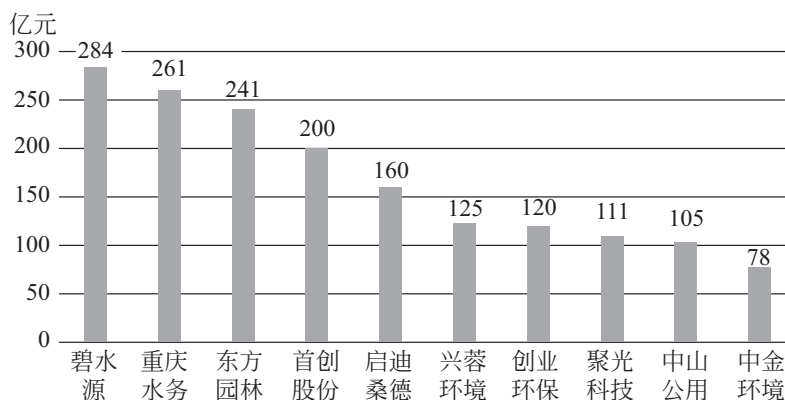


图 1-4 中国水企前十上市公司市值（统计时间为 2018 年 11 月 23 日）

③ 水科技发展成就

我国拥有全球最大规模的科研队伍和科研投入。

国家科技攻关计划是第一个国家科技计划，也是 20 世纪中国最大的科技计划，1982 年开始实施。这项计划是要解决国民经济和社会发展中带有方向性、关键性和综合性的问题，涉及农业、电子信息、能源、交通、材料、资源勘探、环境保护、医疗卫生等领域。从国民经济发展的“六五”计划到“九五”计划期间，国家科技攻关计划先后安排了 534 个科技攻关重点项目，总经费投入 379 亿元人民币，获得专利 2434 项，产生直接经济效益 2033.7 亿元人民币。^①

^① <https://baike.baidu.com/item/%E5%9B%BD%E5%AE%B6%E7%A7%91%E6%8A%80%E6%94%BB%E5%85%B3%E8%AE%A1%E5%88%92/6660626>.

国家高技术研究发展计划（863 计划）是以政府为主导，以一些有限的领域为研究目标的一个基础研究国家性计划。1986 年 3 月，面对世界高技术蓬勃发展、国际竞争日趋激烈的严峻挑战，党中央、国务院启动实施“863 计划”，旨在提高我国自主创新能力，坚持战略性、前沿性和前瞻性，以前沿技术研究发展为重点，统筹部署高技术的集成应用和产业化示范，充分发挥高技术引领未来发展的先导作用。“863 计划”于 1987 年 3 月正式开始组织实施，上万名科学家在各个不同领域，协同合作，各自攻关，很快就取得了丰硕的成果。^①

得益于国家水体污染控制与治理科技重大专项、“863 计划”等重大国家科研计划的持续投入，中国已经拥有超过 8 万人的庞大水科技研发队伍，规模位居全球第一。同时，中国在水科技领域的 SCI 发文量和资金支持金额，也位居全球第一。见表 1-1 和图 1-5。

水环境科学与技术领域 SCI 发文 TOP10 国家/地区统计表

(截至 2017 年)

表 1-1

排序	全部作者发文 国家/地区	发文量	第一作者发文 国家/地区	发文量	通讯作者发文 国家/地区	发文量
1	USA	47233	China	41166	China	40720
2	China	44789	USA	35076	USA	35998
3	Canada	12281	India	8371	Canada	8471
4	UK	10613	Canada	8282	India	8352

① <https://baike.baidu.com/item/%E5%9B%BD%E5%AE%B6%E9%AB%98%E6%8A%80%E6%9C%AF%E7%A0%94%E7%A9%B6%E5%8F%91%E5%B1%95%E8%AE%A1%E5%88%92%E7%BC%88863%E8%AE%A1%E5%88%92%E7%BC%89/9529335?fr=aladdin>.

续表

排序	全部作者发文 国家/地区	发文量	第一作者发文 国家/地区	发文量	通讯作者发文 国家/地区	发文量
5	Germany	10360	Spain	7707	Spain	7824
6	Spain	10242	Germany	6243	Germany	6422
7	India	9569	Australia	6114	Australia	6342
8	Australia	9266	UK	5956	UK	6160
9	France	8137	Italy	5396	Italy	5452
10	Italy	7332	France	4909	France	5126

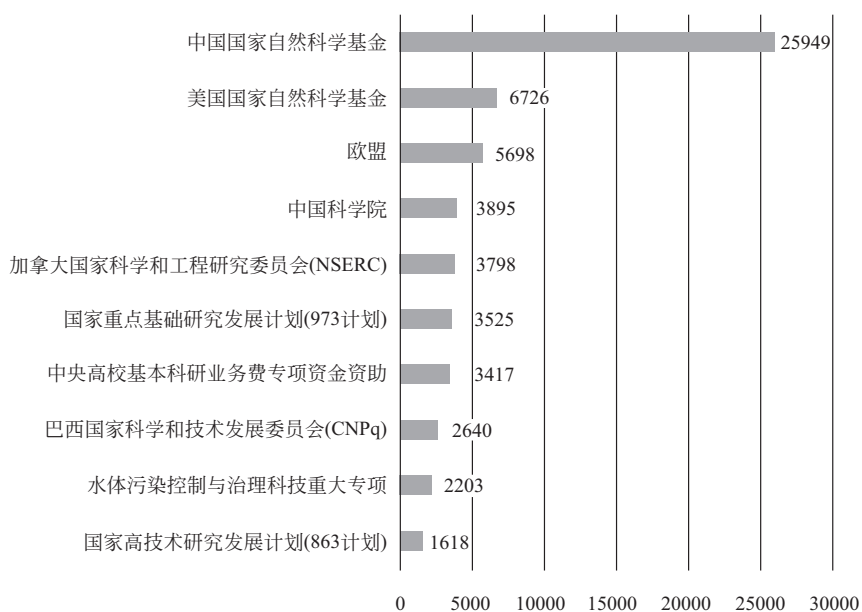


图 1-5 水环境与技术领域 TOP10 基金资助机构

同时也应该看到,中国的水环境改善与水生态建设,依然面临着巨大的压力,要实现 21 世纪中叶环境质量根本好转,还需要持续的投入和创造性的实践,而这也是行业有史以来全球最大

规模和最具挑战性的建设任务。本报告试图从中国 40 年来城市水环境与水生态建设的发展历程中，找到蕴藏在无数复杂事件、关系中的推动力和核心要素，并试图总结和梳理出我们在这些实践中取得的经验与教训，以期更好地面对未来。

第二章 城市供水——水质与健康

改革开放 40 年以来，我国城市供水领域在水质安全保障（保质）与水源微污染的矛盾与统一关系中不断追求与提升饮用水的水质^①。在保质目标的引导下，城市供水事业在护水源、修标准、强净化、建管网等方面快速发展。经过 40 年的努力，我国城市供水行业形成了“从单元到系统”“从常规到深度”“从达标到健康”的发展路径特征，同时也走出了以“从提供安全水到提供健康水”为方向的发展之路。

一、污染与保质博弈

经济的快速发展不可避免地对水环境保护造成了压力。改革开放以来的四十年，可以分为前二十年（1978~1999 年）和后二十年（2000~2018 年）。中国的水环境和水生态的变化趋势总体表现为不对称 U 形。1978~1999 年间，我国地表水质量总体呈现出恶化和污染加重的趋势，有机物污染和湖泊富营养化问题逐渐凸显。得益于中央和地方政府的高度重视以及社会各界的共同努力，2002 年起，我国地表水质量整体向好，达到Ⅰ~Ⅲ类标

^① 李树苑，陈才高，刘海燕等. 微污染水源水厂提升水质技术研究和工程实践 [J]. 中国给水排水，2013，29（20）：61-64.

准的地表水比例逐年增加。如图 2-1 所示。

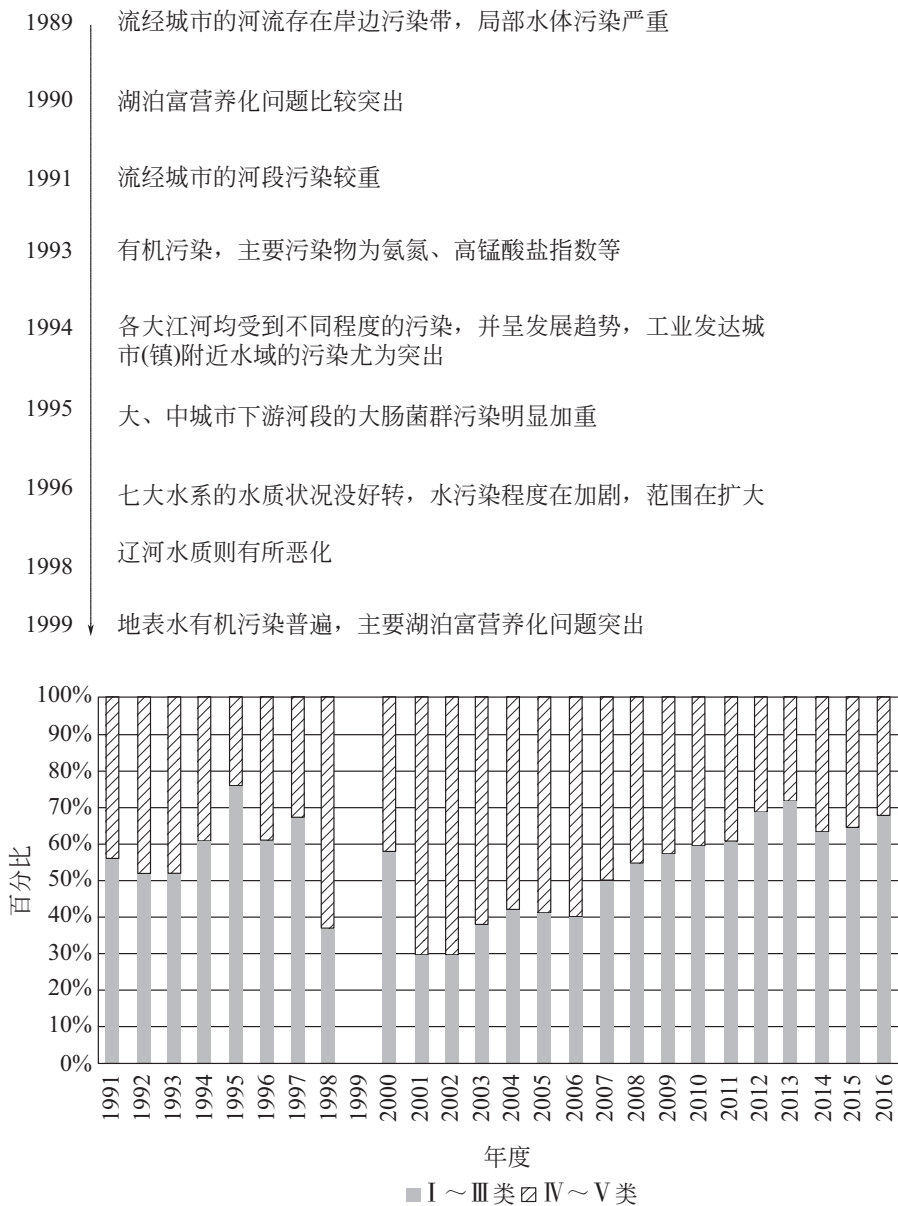


图 2-1 我国地表水水质变化历程

二、修标与保质同行

饮用水安全是影响人体健康和国计民生的重大问题，是国家安全战略的重要组成部分。饮用水水质标准是保障居民饮用水安全和健康的主要抓手。回顾改革开放四十年以来的快速发展，我国的经济建设取得了巨大成就，而水环境形势却不容乐观，城市饮用水水源水质出现不同程度的下降。为了应对饮用水水源地的水质变化，饮用水水质标准不断地被修订和完善，提标升级在全国普遍展开，构筑了国家安全保障的第一道防线。

在保质目标的引导下，我国饮用水标准从无到有，进而不断完善（图 2-2）。从 1955 年《自来水水质暂行标准》在北京、天津、上海、大连等城市试行到 1985 年《生活饮用水卫生标准》发布，饮用水标准完成了从无到有的转变；1985 年到 2006 年，水质指标从 35 项扩展到了 106 项，饮用水标准逐步与国际接轨；2006 年以来，有机物和微生物逐渐得到重视并作为控制重点，饮用水标准的制定既符合我国国情，又与世界水质标准发展趋势一致；进入 2018 年，随着上海地方标准的发布，指标进一步扩展至 111 项，标准体系逐渐向对标全球卓越城市高品质饮用水的目标努力。

我国现行饮用水水质标准体系主要是由《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006 和《地表水环境质量标准》GB 3838—2002、《地下水质量标准》GB/T 14848—93 中关于生活饮用水水源地标准的要求共同构成的。《地表水环境质量标准》和《地下水质量标准》相当于原材料标准（水源标准），而《生

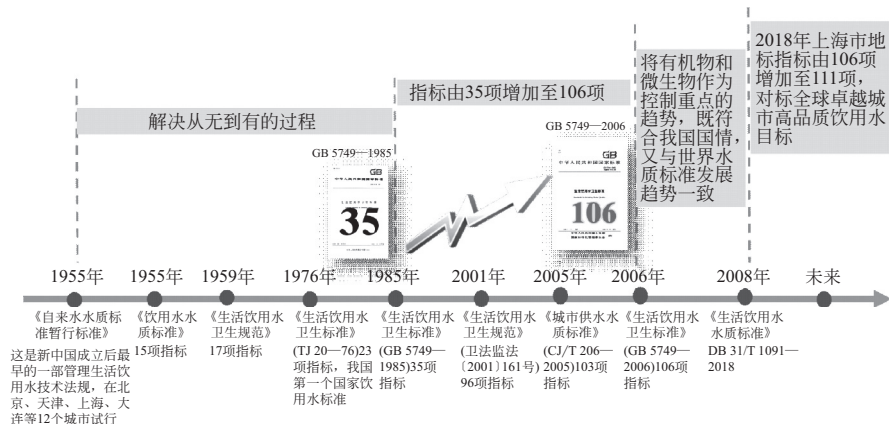


图 2-2 我国饮用水标准发展历程

《生活饮用水卫生标准》则是最终产品质量标准（龙头水标准）^①。原建设部《城市供水水质标准》CJ/T 206—2005 作为行业标准，其基本内容与新国标一致，个别指标严于新国标，可参照执行。

现行 2006 版《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006 中的水质指标共有 106 项，包括水质常规指标 38 项、消毒剂常规指标 4 项及水质非常规指标 64 项。该标准主要针对中国工业化、城市化进程所带来的有机污染物等有害物质，对水质的要求达到了国际中等发达国家的水平^②。它为改进我国居民生活饮用水水质提供了有力保证，为我国生活饮用水水质与国际接轨创造了条件。详见表 2-1 和表 2-2。

① 张晓健.《生活饮用水卫生标准》新国标和净水厂工艺改进 [J]. 供水技术, 2007, 1 (2): 1-4.

② 潘鸣成.我国新旧饮用水水质标准变化与探讨 [J]. 城市道桥与防洪, 2011 (8): 200-203.

《生活饮用水卫生标准》修订前后指标数量及其分类 表 2-1

指标类别		GB 5749—1985	GB 5749—2006
		数量(项)	数量(项)
生物学指标		2	6
饮水消毒剂		1	4
毒理学指标	无机化合物	10	21
	有机化合物	5	53
感官性状和一般理化指标		15	20
放射性指标		2	2
总计		36	106

新、旧国标常规指标限值情况

表 2-2

指标类别	GB 5749—1985	GB 5749—2006
砷	0.05	0.01
镉	0.01	0.005
铅	0.05	0.01
硝酸盐(以氮计)	20	10
浑浊度	3NTU	1NTU
四氯化碳	3.0 $\mu\text{g/L}$	2.0 $\mu\text{g/L}$
总大肠菌群	3个/L	不得检出
总 α 放射性	0.1Bq/L	0.5Bq/L

与 1985 版标准相比, 2006 版标准大幅提高了生活饮用水卫生标准的指标数量, 并将水质指标分为常规检验和非常规检验两类。在 106 项指标中, 42 项指标为常规指标, 这些指标能反映水质基本状况, 检出率高, 属水质监测必检项目; 另外 64 项指标则被列为非常规指标。这提高了水质监测工作的可操作性, 符合我国是发展中国家的国情。按照国家标准委的要求, 水质非常规指标的选择由当地县级以上供水行政主管部门和卫生行政部门

协商确定。

从检测项目看，2006 版标准增加了大量有机污染物的毒理学指标，某些指标限值的修订更加严格，这与国际上水质标准的总体发展趋势相一致。但是，我国饮用水标准的制定及修订起步都比较晚，因此某些指标的确定以及可操作性仍需商榷。对标准中拟增减或修改的项目，应作详细调查，使各项指标更加合理化，更具可行性和可操作性，并避免脱离我国各地的实际情况，盲目追求水质指标的数量和过严的限值^①。

国际上近年来饮用水指标有如下的发展趋势：

（1）对微生物指标重要性的认识越来越深刻

目前饮用水的主要风险还是微生物指标（细菌、病毒、原生动物或其他生物来源），世界卫生组织（WHO）制定的《饮用水水质准则》第3版中明确提出，无论在发展中国家还是发达国家，与饮用水有关的安全问题大多来自于微生物，并将微生物问题列为首位，其后依次是消毒、化学污染物问题、放射性问题和可接受性问题。

在水质指标方面，虽然隐孢子虫、贾第鞭毛虫、军团菌、病毒等指标在 WHO、欧盟（EC）以及许多国家水质标准中还不常见，但在美国、英国等少数发达国家已将其列为重要的控制项目。此外，美国还把浑浊度列入微生物学指标，主要是从控制微生物风险方面来考虑，而不仅仅是考虑水的感官性状。

^① 王剑飞. 我国饮用水卫生标准的变化与发展探讨 [J]. 四川环境, 2014, 33 (6): 49-53.

(2) 对消毒剂及其副产物对人体健康的影响越来越重视

在饮用水的安全供应过程中,消毒无疑是很重要的。美国环保局(USEPA)的《国家饮用水基本规则》中明确规定,饮水必须经过消毒。在饮水处理上,消毒对多种病原体,尤其是细菌,作用显著,但是消毒过程中所产生的副产物会对人体健康产生影响,如加氯消毒会产生有机卤化物的健康风险^①。

从指标数量上看,我国现行标准已经与世界先进标准接轨,与国际标准的差距也已缩小。在世界范围看,世界卫生组织的《饮用水水质准则》、欧盟的《饮用水水质指令》以及美国环保局的《国家饮用水水质标准》是国际上最具权威性、代表性的饮用水水质标准。其他国家或地区的饮用水标准大都是以这三种标准为基础或参考而制定的,我国水质标准的修订也参考了这三部水质标准^②。详见表 2-3。

国内外饮用水卫生标准的比较 (单位:项) 表 2-3

指标分类	我国生活 饮用水卫生 标准(2006)	世界卫生组织 的饮用水 水质准则 (2004)	美国饮用水 水质国家 标准(2004)	欧盟 饮水标准 (1998)	日本饮用水 水质 基准(2004)
感官性状和一般化学指标	9	27	15	11	17
无机物	29	18	17	14	15
农药	20	37	24	2	—

① 王中卫,李哲民.中外饮用水水质标准的微生物指标比较[J].环境监测管理与技术,2012,24(1):70-74.

② 张岚,王丽,鄂学礼.国际饮用水水质标准现状及发展趋势[J].环境与健康杂志,2007,24(6):451-453.

续表

指标分类	我国生活 饮用水卫生 标准(2006)	世界卫生组织 的饮用水 水质准则 (2004)	美国饮用水 水质国家 标准(2004)	欧盟 饮水标准 (1998)	日本饮用水 水质 基准(2004)
有机物	22	38	29	12	50
消毒剂及副 产物	18	6	7	2	—
微生物	6	7	7	5	2
放射性	2	2	4	2	—
合计	106	135	102	48	84

不过应当注意到,我国有些地区的地方标准严于国家标准,更接近国际一流标准。2018年6月23日,全国第一部生活饮用水水质地方标准——《上海市生活饮用水水质标准》DB 31/T 1091—2018正式发布。上海地标在现有国家标准基础上,向国际一流标准看齐,指标新增5项,达到111项,并大幅降低了原有的40项指标的限值,成为我国饮用水水质标准修订的先行者。

三、技改与修标协同

标准先行,标准的完善引领技改的协同发展。20世纪80年代中期开始,我国在原有以水介烈性传染病控制为目标的第一代处理工艺(混凝、沉淀、过滤、消毒)基础上,开展了臭氧-生物活性炭工艺的研究,大面积推广了以微量有机污染物和氯化消毒副产物为目标的第二代工艺。针对水源微污染问题,在常规处理的基础上,增加臭氧/过氧化氢氧化、活性炭吸附或生物活性炭等深度处理措施。利用臭氧破坏有机物的分子结构,降解水中

各种稳定的微量污染物；利用活性炭吸附农药、臭味物质、消毒副产物等各类有机污染物。

对于高浊度及高藻湖库水源水的处理，可以在混凝—沉淀—过滤常规处理的基础上进行工艺强化，采用高效混凝剂如聚氯化铝、聚硫酸铁可以提高对浊度的去除效果；以气浮池替代沉淀池，具有良好的除藻效果。

进入 21 世纪后，以“两虫”等微生物为目标的纳滤膜、电渗析、反渗透等工艺逐渐进入水厂，形成第三代处理工艺。而在标准的进一步引领下，未来的水厂将以高浊度、高藻含量和微污染物净化为控制目标，探索针对不同控制目标的不同膜前预处理工艺的应用。除了工艺本身以外，未来的水厂也将更多地关注少投加甚至零投加化学药剂、节约土地资源、满足健康需求等技改方向。如图 2-3 所示。

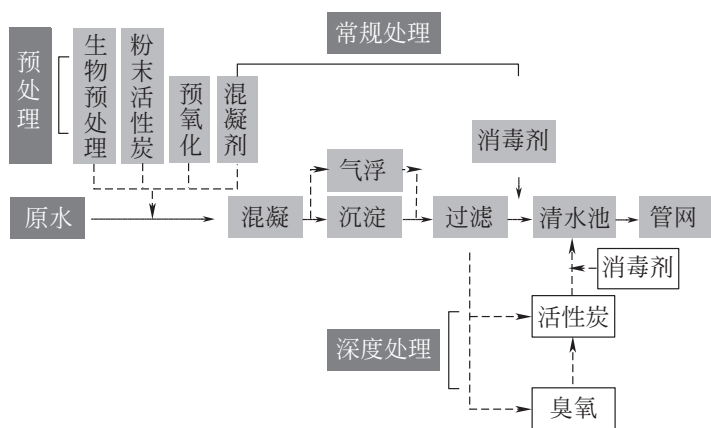


图 2-3 增加预处理和深度处理的受污染水源水饮用水净水工艺

21 世纪随着膜技术的快速发展，膜的性能不断提高，价格不断降低，膜被用于城市供水处理，并呈加速发展的趋势。与传

统的饮用水处理技术相比，膜处理技术大多属于无相变化，过程具备低能耗、低污染、高效率的特点。以膜技术为代表的净水技术将进一步改变传统净水工艺的模式和效率^①。

超滤能去除几乎全部致病微生物，即使不经混凝，也能将水中的浊度降至 0.1NTU 左右，超滤工艺可以取代除浊和杀菌，显著减少了消毒副产物的生成量，从而提高了水的化学安全性。随着膜分离技术的发展，纳滤膜、反渗透等膜分离技术作为深度处理或特殊污染物去除技术也会得到越来越多的应用。以超滤为核心技术的组合工艺，将成为饮用水净化工艺一个新的发展方向。

但是，膜处理技术也有一定的缺点，膜在使用一段时间之后会出现膜污染问题，会导致整个膜系统的处理能力下降。膜表层的污染物质导致膜的阻力不断提升，透水率不断下降，频繁的更换膜组件会导致整个系统的处理性能下降。另一方面，膜处理技术的成本较高，适合大、中、集中式的水处理工程，对于一些小型、分散性的水处理系统并不适用^②。

截至 2013 年，全国已建、在建臭氧-活性炭处理水厂 75 座；超滤膜处理厂 27 座，处理水量 170 万吨/天。图 2-4 所示为城市饮用水厂的一个发展案例。

城市供水是城市的生命线。在过去 40 年尤其是近 20 年的发展历程中，我国城市供水行业经历了多次水源突发事件的考验，给行业带来风险的同时，也促进了饮用水应急处理工艺与供水管理的进步与革新。应急饮用水处理技术与常规技术相比，有其显著的特点。

① 李圭白，杨艳玲. 第三代城市饮用水净化工艺——超滤为核心技术的组合工艺 [J]. 给水排水，2007，33（4）.

② 李圭白，杨艳玲. 第三代城市饮用水净化工艺——超滤为核心技术的组合工艺 [J]. 给水排水，2007，33（4）.

- 1985年投产运行，北京市第一座以地表水为水源的深度处理水厂：臭氧-活性炭处理工艺，回收炭滤池和虹吸滤池冲洗废水的回流复用系统。
- 2008年6月，高密度沉淀池和臭氧-生物活性炭吸附联合深度处理工艺。
- 2014年7月，超滤膜净水工艺正式投入使用，处理浊度较高，有机物含量高的工艺水，日省水总量约为10万吨。



北京第一座深度处理净水厂：北京田村山净水厂

图 2-4 一个城市饮用水厂的发展史

目前常规的城市净水工艺普遍不具备水源突发性污染的处理能力。水源突发污染时，污染物种类、浓度以及变化、持续时间等都超出水厂设计标准，现有的水厂净水工艺难以应对，致使出水的污染物超标，甚至不得不停产，危害很大，已成为城市饮用水安全的重大课题^①。

水源污染和应急供水事件中（表 2-4），影响最大的事件包括太湖蓝藻爆发事件和松花江水污染事件。

近年来中国发生的主要水源污染和应急供水事件 表 2-4

1	松花江硝基苯污染事件
2	牡丹江生物污染事件
3	吉林永吉洪水导致化工品污染事件
4	秦皇岛水库蓝藻水华
5	江苏沭阳水源污染事件

^① 李圭白. 饮用水安全问题及净水技术发展 [J]. 中国工程科学, 2012, 14 (7).

续表

6	无锡市饮用水危机
7	巢湖蓝藻水华
8	福建上杭氧化物泄漏
9	湘江镉污染事件
10	广东北江镉污染事件
11	湖南岳阳砷污染事件
12	广西百色酚污染事件
13	贵州都柳江砷污染事件
14	重庆水源有机污染事件
15	四川泸州电厂柴油泄漏事件
16	四川沧江水源污染事件
17	汶川特大地震灾区应急供水
18	甘肃舟曲泥石流灾害应急供水
19	陕西丹凤氰化物泄漏
20	河南洛宁氰化物泄漏
21	陕西紫阳煤焦油泄漏
22	包头造纸废水污染事件
23	河南巩义柴油泄漏事件

太湖蓝藻爆发事件是河湖系统性问题的集中体现。

太湖是苏州、无锡、常州、嘉兴、湖州 5 座沿湖城市的主要生产和生活水源，亦是上海重要的生活水源地。太湖流域以占全国不到 0.4% 的土地面积，创造了占全国 13% 的国内生产总值和 19% 的财政收入，与此同时，流域内工业和生活点源污水 53 亿吨的年排放量，也使得太湖变成了一个巨大的“泔水桶”^①。

2007 年 5 月底，无锡太湖蓝藻大规模暴发，由于蓝藻大量堆积，厌氧分解过程中产生了大量的 NH_3 、硫醇、硫醚以及硫化氢

^① 张阳，王洁. 基于合作治理的太湖流域水污染治理研究 [C]. 中国湖泊论坛，2011.

等异味物质，引发市区供水危机。太湖治理攻坚战由此拉开大幕。

历经十余年治理，太湖湖体水质由Ⅴ类改善为Ⅳ类，富营养化程度从中度减为轻度，沿湖城市自来水供应主要指标全部满足国家标准，并且是在流域 GDP 翻番、人口增加千万的情况下取得的。

太湖蓝藻事件在一定程度上促进了饮用水处理技术和供水管理体制的变革：

（1）革新饮用水处理技术提升应急处理能力

无锡市自来水厂增加采用臭氧-活性炭工艺进行深度处理，还新建了 15 万吨的膜过滤深度处理设施，用于水污染危机暴发时的应急处理。

（2）整合区域供水能力改革供水体制

目前无锡市行政辖区范围内的自来水供应，已经全部由无锡市自来水总公司统一负责，总供水能力达到 195 万吨。这种同城、同质、同价、同服务的供水服务体系，增加了公共财政投入，提高了城乡供水安全保障能力。

（3）加速了第二水源的建设提高供水安全

为保障无锡市供水安全，开辟长江作为第二水源，在一定程度上实现了供水安全保障的“双保险”^①。

① 杨铭威，石亚东，孙志等. 太湖蓝藻爆发引发无锡供水危机的思考 [J]. 水利经济，2009，27（3）：36-38。

吉化爆炸导致的哈尔滨供水事件属于影响城市供水的突发性偶然事件。

2005 年 11 月，由于中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司双苯厂发生爆炸，约 80 吨苯系物流入松花江，造成松花江水体污染。哈尔滨市因此停止向市区供水 4 天，严重影响市民生活。《地表水环境质量标准》GB 8383—2002 中硝基苯的限值为 0.017 毫克/升，在此次污染事件中，吉林省松原市硝基苯浓度超标约 100 倍。

常规处理工艺对硝基苯基本无去除作用。而硝基苯容易被活性炭吸附，采用活性炭吸附是城市供水应对硝基苯污染的首选应急处理技术。在沿江城市供水企业确定增加粒状活性炭过滤吸附的水厂改造应对方案后，对现有水厂中的砂滤池进行应急改造，沿江自来水厂很快全面恢复城市供水。松花江水污染事件给我国城市供水行业带来如下思考：

（1）城市多水源供水很重要

多水源供水可以提供可靠的水源保障。有条件的地区要将地下水作为战略储备资源加以管理和保护，避免过量开采。

（2）加强供水企业能力建设

应增加各种有毒有害污染物的分析检测项目，研究各种污染物的处理预案，完善水厂设备设施。加强供水企业在技术储备以及人力资源等方面的能力建设，设置相应的供水技术应急预案，提高应对突发事件的能力。

经过近年来的城市应急供水事件，总结经验，汲取教训，国

家于2006年颁布了《城市供水系统应急净水技术指导手册》，对各地完善应急预案、开展应急设施建设、水厂设施改造等方面提供了技术支持^①。

四、水质与能力剧增

40年来不断的科研投入和创新实践，使得我国供水行业从量变到质变，水质与供水能力俱增。2006年以前，我国供水行业主要弥补历史欠账，以保障居民饮用水的基本需求为主；2006年以后，逐渐从关注量向关注质转变，水厂工艺不断完善，管材选择也更加注重对水质的影响。截至2017年，水源水Ⅲ类水达标率超过70%，出厂水达标率超过99%，末端水达标率也已超过96%详见图2-5。



图 2-5 我国供水行业 40 年变迁

^① 张素霞. 松花江污染事故对供水安全影响的启示 [C]. 水厂净化工艺设备应用技术交流研讨会, 2006.

改革开放 40 年以来，随着我国城市化进程的加快，城市供水服务人群数量的快速增加，过去的分散式供水被逐渐淘汰，集中供水取而代之。过去的 40 年是供水基础设施建设（建设水厂和管网）、饮用水处理技术、服务人群数量、饮用水水质提标等方面的发展呈现爆发式增长的阶段。

根据统计，从 1978 年至 2017 年我国城市供水能力由 2500 万立方米/日增加到 3 亿立方米/日，40 年来增加了十几倍，城市供水有力地保障了城市居民生产生活的需要。如图 2-6 所示。

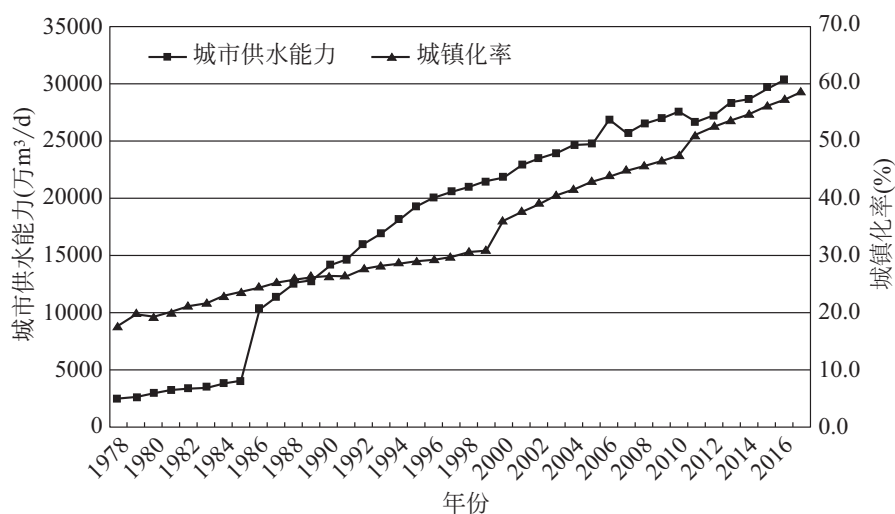


图 2-6 城市供水能力与城镇化率变化图

中国城镇化和供水能力之间形成了相互促进的关系。中国的城镇化率快速提升，城市的快速发展和人民生活水平的提高，导致用水量急剧增加，倒逼城市供水能力显著增长；同时城市集中供水能力的提升又为城市的发展带来了更大的生机。我国城市人均日生活用水量在 1978 年为 120 升左右，到 2017 年增加到 177 升左右。根据国家统计局发布的数据，我国 2003~2017 年人均

年用水量如图 2-7 所示。

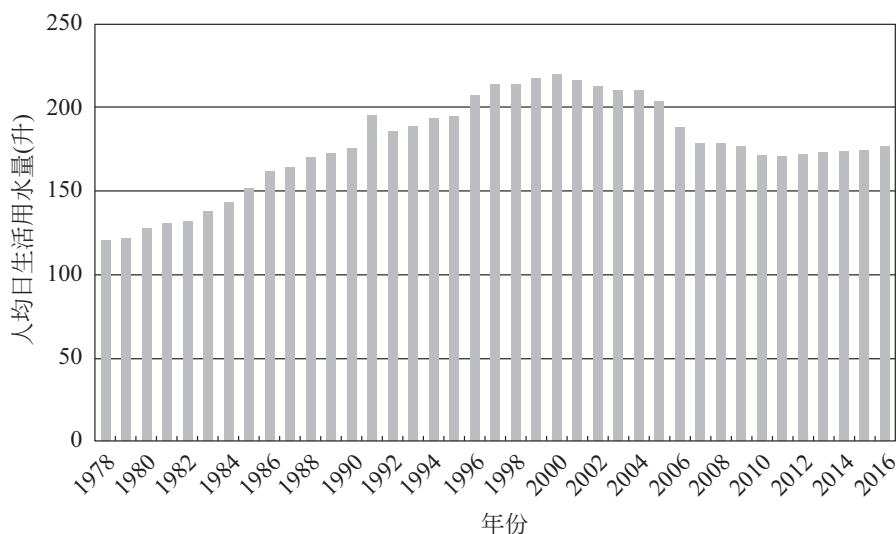


图 2-7 2003~2017 年我国人均年用水量变化情况

城市供水厂也经历了从数量到质量的转变。自 2006 年以来，虽然水厂的数量减少，但水厂的供水能力和产值却在不断增加。截至 2016 年底，我国规模以上水的生产和供应企业数量总计 1754 家，总产值达 11674.71 亿元；销售收入 2141.88 亿元，同比增长了 12.18%。如图 2-8 所示。

我国城市市政管网建设也得到了快速发展，近几年每年新铺设和更新改造的市政管网长度超过 10 万公里，国家统计局数据显示，2016 年我国城市供水管道长度为 75.7 万公里^①。

管网是保障城市健康、安全供水的重要系统。管道的材质是影响供水质量的主要因素。我国供水管道选材也从最早的镀锌钢

① 高立新. 我国城市市政管网现状与发展趋势 [C]. 全国塑料管道生产和应用技术推广交流会, 2010.

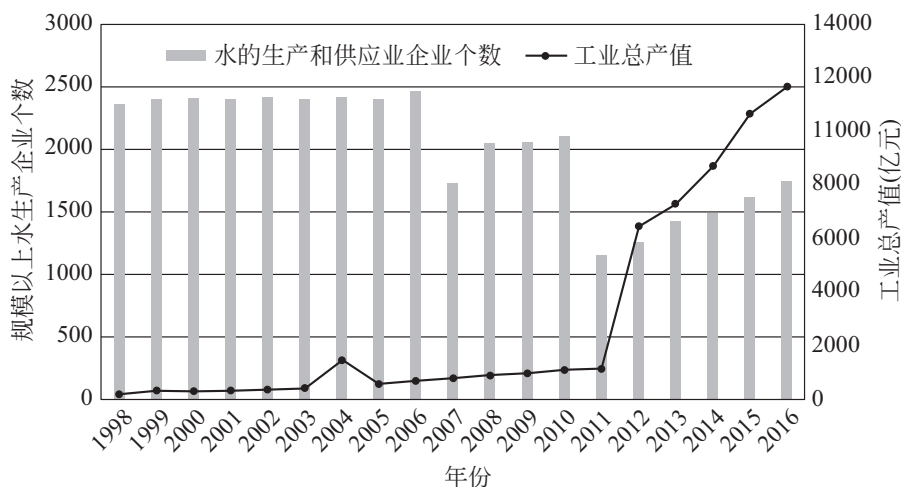


图 2-8 我国规模以上水生产企业个数及其工业产值

管和灰口铸铁管，到后来的聚乙烯管（PE）、硬质聚氯乙烯管（PVC-U）等塑料管道，再到球墨铸铁管等先进管材。未来我国将逐步完成的智慧城市建设将进一步保障供水管网安全运行，减少管网漏损。通过在输水管道上安装传感器，可以发现管网压力、温度的变化，进而探测漏水情况，实现预警、除险，将破管、漏水现象消灭在萌芽状态，保障城市供水管网的安全运行^①。

五、挑战与创新同行

健康安全保障是饮用水供给无终点的诉求。我们将面临地表水源的水质标准完善与精准管理，水源水质改善及生态系统修

^① 高立新. 我国城市市政管网现状与发展趋势 [C]. 全国塑料管道生产和应用技术推广交流会, 2010.

复，水源水质与净化工艺的优化适配，从源头到龙头的全过程水质安全，饮用水的健康安全及民众的心理认同等一系列挑战。我们应该从这些挑战中发现机遇，找到未来供水行业创新的发展方向，例如：制定科学有效的水资源管理条例，实施先进长效的治理与修复措施，创建简单低耗的清洁工艺，打通无药剂或少药剂的绿色过程，形成标准与效应协同的控制系统等。

六、科学高效的饮用水管理机制

目前，我国城市供水系统涉及的水资源管理、水源地保护和水污染防治、城市供水、饮用水卫生监督等分别由水利部、生态环境保护部、住房和城乡建设部、国家卫生健康委员会分别管理，这种多部门分散管理的体制在实践中逐步暴露出各司其职、缺乏总体考量与协调的缺陷^①。

未来必须保证供水管理职能边界的良好衔接，明确饮用水安全的地方行政首长负责制并建立高效的部门协调制度，实现供水全过程的统一管理，这样才能提高饮用水管理的科学性和有效性。

（1）从源头到龙头的全过程水质安全

2015年4月2日国务院印发《水污染防治行动计划》，从水源到水龙头全过程监管饮用水安全。一个完整的城市供水系统，

^① 龚道孝，李志超. 我国饮用水安全监管法规体系构建研究 [J]. 城市发展研究，2015，22（2）：89-95.

包括水源、管道、泵站，还有向千家万户送水的配水管网，各个环节构成供水的全过程，将绿色发展理念贯穿到饮用水“从源头到龙头”的全过程，才能从根本上提升饮用水安全保障能力^①。

（2）形成标准与效应协同的控制系统

现有的基于部分污染物和有限指标的水质安全评价与控制的理论和方法，已不能全面和深刻地回答并解决水质的生态与健康风险问题。水质安全保障的理论、方法和管理必将因需而变，形成标准与效应协同的控制系统。针对水质安全方面，风险管理的基础就是水质标准和水质基准，构建标准和基准体系，标准与效应的核心是生态与健康风险的控制。将来应该在标准和效应协同控制的水质安全保障体系的前提下，在理论、技术、工艺以及工程等方面有所创新和发展^②。

（3）未来自来水厂的技术愿景

对于自来水厂的未来定位问题，要以提供健康安全的饮用水为终极目标，水质标准要具有刚性的约束力、管理的执行力、安全的判断力以及民众的沟通力。卫生达标的标准和没有毒性的标准将成为推动技术发展、促进水厂改变的核心动力。未来饮用水的处理工艺应该追求工艺的简单化、设备的成套化和工艺的整装

① 孙宏亮，李璐，张涛等. 我国饮用水安全保障现状与对策分析 [J]. 环境与可持续发展，2015，40（5）：23-25.

② 曲久辉. 标准与效应协同的水质安全保障策略 [J]. 环境与生活，2017：73.

化,创建简单低耗的清洁工艺、打通无药剂或少药剂的绿色过程^①。

改革开放 40 年以来,我国在经济建设取得重大成就的同时也给城市供水行业带来了巨大的压力和动力。水环境质量经历了严重恶化到整体向好的转变,对高浊度、高藻含量和微污染问题的应对,促使我国城市供水行业发生了深刻变革。在这 40 年中,我国供水行业完成了饮用水标准的制定与升级、饮用水处理技术的研发与革新、供水基础设施的建设与完善,与此同时,供水能力得到迅速、全面的提升。城市供水行业在过去 40 年发生了翻天覆地的变化,创造了史无前例的壮举。为城市居民提供健康、安全的饮用水这一核心目标始终贯穿了供水行业的发展历程,未来供水行业将更加趋于统一协调的科学精细化管理,供水水质必将随着新技术的研发与应用得到进一步的提升,为社会经济的稳定繁荣提供不可或缺的基础条件。

^① 尹诺,陈晶晶.低耗、循环、清洁:曲久辉院士谈下一代水处理厂的技术愿景 [J].水工业市场,2017:18.

第三章 城市排水——水质与循环

四十年间，围绕水环境治理和改善，我国污水处理事业始终以控源减排为主要目标，在减排驱动下变革。通过减排量、严排标、促技改、明理念，取得了举世瞩目的巨大成就，蓄积了持续发展的深厚力量。

但这条高速发展的道路并非一帆风顺，争议、争论始终伴随事业的前行，这其中有标准之争，技术之争，泥、水、管的轻重缓急之争，这些争议折射出行业对社会发展、城市管理和对水环境和污水处理的认知、行动、思考，这是一个循环往复、螺旋上升的过程。而在这一过程中，对中国城市污水进行科学的处理这一共识正在加速形成，治理策略不断得到优化，前进方向也日益清晰。

改革开放 40 年来，我国的城市污水处理厂快速经历了从无到有、从少到多、从简陋到规范的发展历程，目前我国已经建立起世界上规模最大的污水处理基础设施，设计处理能力也已晋级世界前列。我国污水处理行业的长足进步，大幅削减了污染物的排放，减轻了对河流湖泊的污染冲击，为河流自净等生态功能的恢复争取了时间和空间，对水环境全面改善发挥了举足轻重的作用。与此同时，对于污水和污水处理系统、城市水环境的理念和认知也在实践中不断得到修正、完善和深化。

一、污水处理事业高歌前行

中国城市污水处理设施的规模化建设开始于 20 世纪 70 年代。改革开放以来，随着城市人口、经济的发展，我国城市污水的质与量发生了显著变化，浓度高、成分复杂（如大量工业废水的排入）的城市污水快速消耗着城市及流域水环境容量。在天津、北京、西安等国内典型的水资源紧缺城市，污染问题的积累快速显现于地表水、地下水和土壤，直接危及城市水源安全和食品安全。

可以说，上述问题的出现是我国城市开始高度重视污水处理的重要原因，围绕水污染物削减、水环境质量改善等命题，中国从此进入城市集中式污水处理设施的密集建设期，速度、规模不断提升。

20 世纪 90 年代初，在国外赠款以及亚行、世行贷款等一系列资金的支持下，国内许多城市相继建成了一批采用国外先进技术和装备的大型污水处理厂，如邯郸东污水处理厂、大连市马栏河污水处理厂、上海桃浦污水处理厂和上海石洞口污水处理厂。

1997 年与 2008 年爆发的两次金融危机，客观上为城市环境基础设施的建设提供了机会，城市污水处理设施也先后迎来了两次建设提速期。国家对城镇污水处理设施建设的投资带动了地方政府和社会资金的投入，城镇污水处理设施建设速度不断加快，全国各地掀起了城市集中式污水处理设施的建设热潮，取得了中国式的建设速度、规模的增长。

特别是“十一五”“十二五”两个规划实施期间，我国的城镇污水处理实现了跨越式发展。截至 2017 年 12 月底，全国城镇

累计建成运行的污水处理厂有 4119 座，污水处理能力达 1.82 亿立方米/天，其中全国设市城市建成污水处理厂共计 2372 座，形成污水处理能力 1.51 亿立方米/天。^①

二、环保倒逼排放标准提升

污水排放标准直接反映水环境治理的阶段性策略，同时它也引领污水处理事业的发展方向。40 年间，针对水环境治理修复的形势和需求，我国城市污水排放标准经历了快速变革：从《污水综合排放标准》GB 8978—88、《城市污水处理厂污水污泥排放标准》CJ 3025—93、《污水综合排放标准》GB 8978—96，发展到如今的《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918—2002；从促进污水处理设施规模化建设和污水处理能力持续性提升的国家标准，到更加契合区域流域环境管理需求的分类指导性行业、地方标准，都在不同历史阶段发挥了积极的作用，有力地推动了我国污水处理事业的发展。如图 3-1 所示。

在世界范围内，用城镇污水处理标准直接服务于水环境管理的目标要求，大致经历了以下四个阶段：不断降低有机污染物浓度—不断降低无机营养物浓度—去除新兴污染物—深度再生。不过，由于水环境领域复杂、复合型问题的集中涌现，以及经济、社会发展阶段的特殊性，我国城镇污水处理设施排放标准的发展也呈现了高度复合的特征，不仅表现为需要提高排放标准和提升响应速度，还需要不断增加控制指标的数量。但在这一过程中，

^① 数据来源：2017 年中国环境保护产业发展报告之城镇污水治理行业。

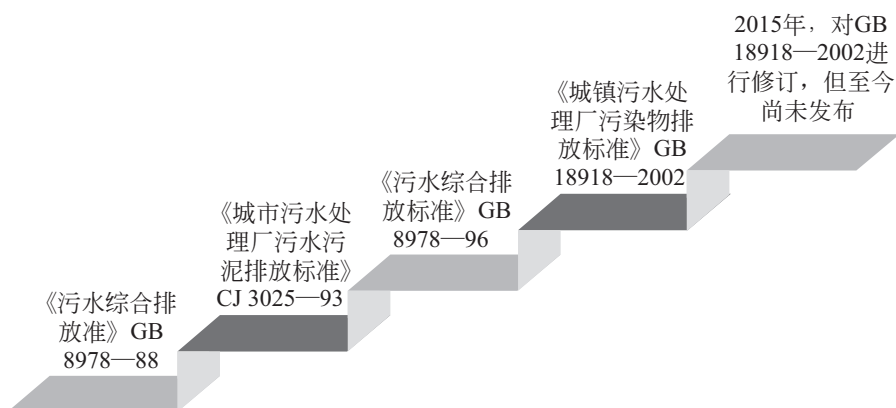


图 3-1 我国污水排放标准提标历程

往往面临着目标的合理设置、技术的可实现性、成本效益等因素之间博弈、平衡的难题，这也是因标准问题而引发各方争议的主要原因。详见表 3-1。

污水处理标准的特点及相互间的递进演替 表 3-1

标准名称	内容	演替
《城市污水处理厂污水污泥排放标准》CJ 3025—93	对 BOD、COD、SS 有要求,对氮、磷及卫生学指标没有要求	基本没有考虑受纳水体的要求,但标准的实施对当时的污水处理设施建设起了积极的推动作用
《污水综合排放标准》GB 8978—96	提出了对氨氮和磷酸盐的要求	促使相当多的污水处理厂进行脱氮除磷,同时也催生出具有我国特色的倒置 A ² /O 工艺
《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918—2002	目前最新的标准	分为四级标准,在实际工作中主要执行一级 B 标准,提出了总氮的要求,对氨氮和磷的要求作了调整,明确提出了卫生学的指标
2015 年 11 月提出对 GB 18918—2002 进行修订	尚未发布	主要修订包括:取消按污水去向分级控制的规定,大幅增加污染物项目,提高部分污染物项目排放控制要求,增加水污染物特别排放限值

第一次较有争议的提标，是指从 2005 年开始实行的国标“一级 B 到一级 A”。当时在业内就曾引发争议，主要集中在其作为再生水水质基本要求的过渡性标准，以及氮磷控制指标设置与考核的科学性、合理性、经济性等方面。但后来太湖流域水污染引发的供水危机事件，使得提标占据优势，该标准从重点领域、地区开始，逐步在全国范围内得到施行。

案例：2005 年和 2006 年，当时的国家环境保护总局先后以发文和公告的形式，明确提出为防止水域发生富营养化，城镇生活污水处理厂出水排入国家和省确定的重点流域及湖泊水库等封闭式半封闭式水域时，应执行标准中的一级 A 标准。2007 年 5 月，太湖流域发生无锡供水危机和因蓝藻爆发而引起的重大水污染事件之后，太湖流域所在各省市开始全面加强水污染的治理工作，环境保护主管部门也要求太湖流域城镇污水处理厂严格执行一级 A 标准，并由此全面推动了该区域城镇污水处理厂一级 A 提标改造和扩建新建工作^①。

国务院于 2015 年 4 月印发了《水污染防治行动计划》，明确提出了要加快现有城镇污水处理设施建设与改造步伐。

第二次国标层面的提标，发生于 2015 年，不过这次提标至今仍未得到落实，因其在核心问题上未能取得行业内普遍共识，这也被认为是该标准修订搁置的直接原因。

与 GB 18918—2002 相比，《城镇污水处理厂污染物排放标准》（2015 征求意见稿）最显著的变化是取消了按污水去向分级控制的规定，所有新建城镇污水处理厂均执行一级 A 标准，而其中的特别排放限值指标除总氮外，其余均与地表Ⅳ类水相同，

^① 太湖流域城镇污水处理厂执行一级 A 标准的问题讨论，《建设科技》总第 127 期

故其又被称为“准Ⅳ类水”标准。

上述征求意见稿考虑了不同区间的环境、经济水平的差异性；同时，增加了 POPs 等新兴污染物控制项目（如多氯联苯、二恶英类、阿特拉津等）；并对污泥无害化处置提出了明确的指标要求，体现了我国环境管理理念上的进步，但其控制指标限值的合理性、科学性、经济性问题再一次引发了广泛深入的争论。

其中，围绕污水处理排放标准与水环境质量标准是否靠拢接轨的争议，至今仍在持续，行业内观点甚至出现了鲜明对抗、对立的局面，但在排放标准本身的提升、探索以及对污水处理事业的引领上，前进的步伐并未就此停止，而且更多基于科学认知的共识也在争议和实践中不断形成。

这主要体现在第三次以地方标准为主的提标实践中。近年来，从地方水环境治理、管理的实际需求出发，北京、天津、云南等地相继开展了地方标准继续提升的探索和实践。其中，北京市地方标准《城镇污水处理厂水污染物排放标准》DB11/890—2012 于 2012 年 7 月 1 日实施，《天津市城镇污水处理厂污染物排放标准》也于 2015 年 10 月 1 日起正式实施，这些标准均将城镇污水处理厂出水标准与地表水环境质量标准、受纳水体水环境功能要求及污水再生回用相关标准紧密衔接了起来。详见图 3-2。

整体来看，我国城镇污水处理厂污染物排放标准日趋严格，不仅核心指标有所增加，同时排放标准限值也越来越严格。但对一些特殊的进水水质（如高悬浮物、低碳氮比、工业废水掺杂等），由于还存在稳定达标的技术可达性、成本经济性、考核科学性和与排污许可等环境管理体系改革协调性等方面的问题，总体上还需要系统的研究和探索，为下一步完善以地方、流域标准为主的排放标准体系提供理论和技术支撑。

城镇污水处理厂污染物排放标准演变

排放标准	考核要求所有样品稳定达标						越 来 越 严 格
	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TP	TN	
滇池(昆明)	20	4	—	1.0	0.05	5	
太湖(江苏)	40	—	—	3/5	0.3	10/12	
北京(2012)	30	6	5	1.5	0.3	10/15	
国标(2002) GB 18918	50	10	10	5	0.5	15	
	60	20	20	8	1.0	20	
国标(1996)	120	30	30	15	1.0		
国标(1988)	120	30	30				

图 3-2 污水处理厂排放标准——国标与地标

在全行业的持续公开的讨论和争论中，一些地方在污水处理排放标准的制订和考核中，已经开始重视和体现“科学评估、分类指导、实事求是”的理念。另一方面，这一理念对目前农村污水污染物排放地方标准的编制和修订，也起到了重要的指导作用。

三、科技支撑工艺技术进步

作为后发国家，我们在污水处理建设初期，并没有选择技术上的“拿来主义”方案，而是在一段时间内希望在国外普遍采用的活性污泥法之外寻求可能的技术路线，不过当时主要还是出于经济性方面的考虑。

在“六五”“七五”期间，人工湿地、氧化塘等自然或生态处理是当时城市污水处理的重点研究方向，成为重要的国家科技

攻关课题。与此同时，在第一代给排水专家的直接带领和参与下，给水排水工程界开始系统地研究活性污泥法工艺。一系列研究比选所得到的结果是，对于城市大型污水集中处理设施，传统活性污泥法在稳定性、经济性上更为合理（图 3-3）。这些研究为城市污水处理行业积累了经验，培养了人才，为日后引进、消化、吸收直至掌握污水生物处理主流工艺技术打下了坚实的基础。

案例：天津纪庄子污水处理厂（图 3-3）是改革开放后第一座城市污水处理厂，该厂于 1984 年 4 月建成并投入运行，采用的是传统活性污泥法处理工艺。



图 3-3 天津纪庄子污水处理厂

从 20 世纪 90 年代开始，供水、污水等行业的基础设施成为我国和欧洲发达国家经济交往的重要领域。贷款和技术及进口设备的绑定，使得国外污水处理新技术、新工艺、新设备被逐步引进，客观上促使我国污水处理工艺一度呈现了百花齐放的态势。这导致城镇污水处理工艺技术和改造方法层出不穷，但在工艺的优劣与适用性判断上，并未形成统一和明确的体系。从总体上

看,我国在污水处理技术工艺上,早期走了一条“引进—消化—吸收”的路线,为我国污水处理行业争取了时间,积累了力量。见表 3-2。

污水处理工艺进步

表 3-2

20 世纪 70 年代	20 世纪 80~90 年代	21 世纪初	2006 至今
普通曝气法活性 污泥处理工艺	A ² /O 工艺	改良 A ² /O	膜(MBR 等)
A/O 工艺	AB 法	回流污泥反硝化 生物除磷工艺	生物滤池
	厌氧酸化—好氧处理		高级氧化
	倒置 A ² /O 工艺		水解酸化
	奥贝尔氧化沟		厌氧氨氧化

数据显示,我国城镇污水处理厂主要采用 A²/O 除磷脱氮及其改良工艺、氧化沟及其改良工艺、SBR 及其改良工艺、A/O 及其改良工艺、生物膜工艺、普通活性污泥工艺这六大类工艺,其数量和能力占有所有城镇污水处理设施的 90%以上。

案例:无锡芦村污水处理厂(图 3-4)在我国首次采用一级 A 标准进行改造,该厂最早使用活性污泥法,后升级改造成 A²/O 工艺,目前该厂还使用了改良 A²/O+国内首个大型 IFAS/MBBR 系统,并设置了初沉发酵池。该厂不仅实现了冬季氨氮的稳定达标,而且在外加碳源的投加下实现了总氮的达标。至今稳定运行。

目前,国际上以活性污泥法为基础的技术创新在不断深入,“一些革命性的工艺创新已经在爆发的前夜”。中国污水处理行业也积极投身到这一进程中,近年来,中国已成为新工艺探索、研究和实践的热点地区。



图 3-4 无锡芦村污水处理厂

当前，污水处理技术的创新方向主要包括以下三个方面：一是活性污泥性状的优化，典型代表是好氧颗粒污泥，具有出水水质较好、显著节省能耗和占地面积的特点；二是对新兴、前沿技术的发现和探索，代表性的技术是厌氧氨氧化，该技术颠覆了传统硝化/反硝化脱氮过程，其显著特点是大幅降低脱氮负荷和处理总能耗，并在污泥产生量上实现革命性突破（90%减量）；三是高效设备与材料的开发，如高效填料的开发，能够为微生物生长提供更好的载体；高效曝气设备的开发与精准曝气的运行，能够提高整体供氧效率。

另外，传统的活性污泥法及 A^2/O 工艺在经济性等方面仍存在不少争议。随着膜技术的开发应用不断取得进步，更为有效的物理分离手段或将成为主流工艺，为极限处理提供解决方案。

四、提标助推工艺升级改造

城镇污水处理排放标准的持续提升、完善，引导我国污水处理工艺技术快速升级，带动了新技术和新工艺的不断叠加与融合。

从二级标准到一级 B 标准，带动二级常规生物处理发展为二级强化处理工艺；从一级 B 标准升级到一级 A 标准，使得二级强化（EBNR）加三级深度处理的工艺流程被普遍采用（图 3-5），针对脱氮除磷的难点，围绕本国污水的特点（低碳氮比、工业废水大量掺杂），我国水处理行业探索发展了一套有效但非常复杂的系统，同时对污水处理工艺的设计和运行管理也提出了更精细化的要求（表 3-3）。

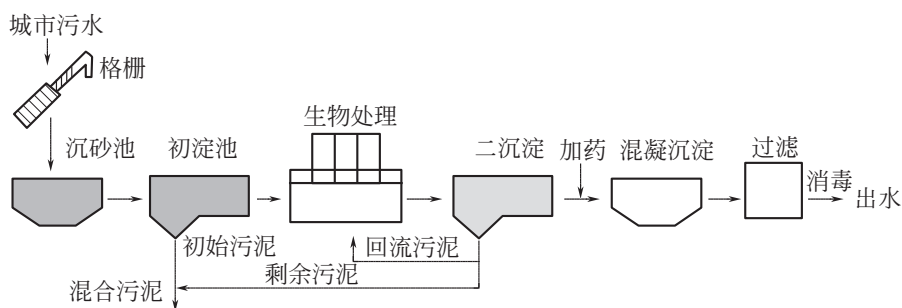


图 3-5 三级深度处理工艺

排放标准修订带动污水处理工艺升级

表 3-3

项目	综合排放 一级标准	城镇污水排放 一级 B 标准	城镇污水排放 一级 A 标准	北京城镇污水 地标 A 标准
SS 指标	沉淀分离	沉淀分离	过滤/膜分离	过滤/膜分离

续表

项目	综合排放 一级标准	城镇污水排放 一级 B 标准	城镇污水排放 一级 A 标准	北京城镇污水 地标 A 标准
COD、BOD 指标	好氧池合理停留时间	好氧池合理停留时间	延长好氧池停留时间	增设高级氧化/吸附
NH ₃ -N 指标	好氧池合理停留时间	延长好氧池停留时间	延长好氧池停留时间	延长好氧池停留时间
TN 指标		设置缺氧段及内回流	延长缺氧段停留时间, 加大内回流量	设置后置反硝化
TP 指标		设置厌氧段	辅助化学除磷	辅助化学除磷

北京、天津、太湖流域、滇池等地方标准相继颁布实施, 主要污染物指标直接与地表水对标, 污水处理工艺开始面临超高排放和稳定达标排放的要求, 催生了膜过滤与反渗透、高标准除磷脱氮、化学高级氧化与脱色等工艺单元技术的工程应用。相应的污水处理厂的工艺可分为图 3-6 所示四种类型, 都是长流程、高耗能、高化学品投入, 更复杂的运行管理, 以及更为昂贵的建设运行费用, 使得稳定达标的技术可行性、经济性等面临很大的挑战, 已经引起了业界的反思与讨论。

针对我国复杂多变的城镇污水水质特点, 结合行业在主流污水处理工艺的设计、工程、运行、管理等方面积累的丰富经验, 在我国当前普遍实施的“提标改造”工作中, 污水处理设备的国产率也获得了大幅度的提升。

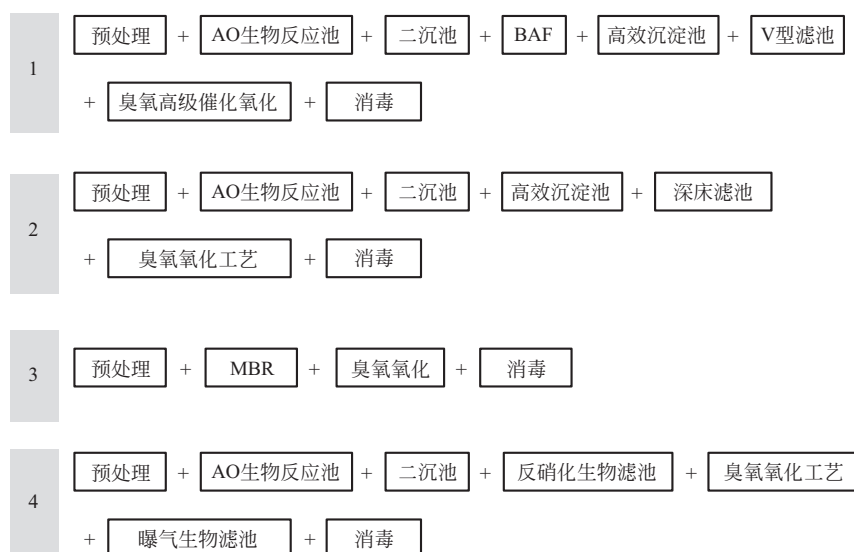


图 3-6 地方标准下污水处理厂工艺流程

五、均衡投入提升综合水平

大规模的城市污水处理设施、不断提升的排放标准，为我国城市水环境治理奠定了坚实的基础，在污染物减排、水环境治理方面起到了核心作用。但城市污水处理系统在污泥处理处置和管网建设维护上的相对滞后，也是不争的事实，这也被公认为近40年来我国污水处理事业发展中的遗憾和隐患，已经引起行业从上至下的关注和重视。

相比污水处理设施建设，我国污水收集运输管网体系建设滞后，建设和管理水平的差距较大。这导致污水处理设施在数量快速增长、标准不断提高的同时，却出现了污染物整体削减效率不升反降的反常现象。同时，面对黑臭水体治理、海绵城市建设等

城市环境综合治理、流域治理等新工作，我国现有的排水体制及管网建设也呈现出与管理目标不相适应的情况。

以含水率 80% 计，2003 年时我国污泥年产量已达到 1280 万吨^①。按照预测，到 2020 年污泥年产量将突破年 6000 万吨大关^②，我国污泥产量巨大且增长迅速。但由于在我国城市污水处理厂建设过程中，曾经长期存在“重水轻泥”的现象，对污泥的规范要求和约束性指标考核不明确，相关技术研发和建设投资均不足。从整体上来看，我国污水处理厂仅完成了污泥的初步减容过程，并未完成污泥的稳定化、无害化处理目标（处置比例相对较低）。

上述局面的形成，虽然存在主观认识上的不足和理念的局限，但在客观上，也是我国在特殊发展阶段城市水环境治理的一种被动选择。从社会经济、技术和研发都相对薄弱的阶段起步的污水处理事业，优先选择了集中力量先进行污水处理设施的建设，率先形成规模化的污染物削减控制能力，其后再从整体推动“提质增效补短板”的进程。

作为我国快速构建起来的污水处理体系中的薄弱环节，在“十五”末期，管网建设、污泥处理处置等问题已经引起了政策层的关注，并在其后通过三个专项规划引导推动污水处理体系的系统建设和完善，厂（提标改造）、网（建设改造）、泥（无害化处置）整体推进的趋势日益清晰。

“十一五”以来，国家在全国城镇污水处理及再生利用设施建设中，不断强化对污水管网建设和污泥处理处置的工作安排。

① 我国污泥处理处置现状分析及展望，<https://wenku.baidu.com/view/bca26624001ca300a6c30c22590102020740f28c.html>.

② 戴晓虎. 我国城镇污泥处理处置现状及思考 [J]. 给水排水, 2012 (48), No. 359: 1-5.

《“十三五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》明确提出要实现城镇污水处理设施建设由“规模增长”向“提质增效”转变，由“重水轻泥”向“泥水并重”转变，由“污水处理”向“再生利用”转变，全面提升我国城镇污水处理设施的保障能力和服务水平。“十三五”规划的目标是，到2020年年底，实现城镇污水处理设施全覆盖，城市污泥无害化处置率达到90%。

在管网建设方面，2017年7月，住建部修订颁布《城镇污水处理工作考核暂行办法》，突出了污染物收集效能，避免盲目追求污水处理厂的“提标”，而是应该将目光放在提升管网质量、提高污水处理厂进水污染物浓度、降低管网漏损等工作上来。2018年6月16日，中共中央、国务院《关于全面加强生态环境保护，坚决打好污染防治攻坚战的意见》提出：实施城镇污水处理“提质增效”三年行动，加快补齐城镇污水收集和处理设施短板，尽快实现污水管网全覆盖、全收集、全处理。

在污泥处理处置方面，从政策、标准、技术规范、考核、监管、收费等各方面，力度也在不断加大。2002年颁布的《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918—2002规定了污泥稳定化处理的控制指标，2007年以后，国家对污泥处理处置的监管力度进一步加大，环境保护总局于2008年初发布了《城市污水处理厂污水污泥处理处置最佳可行技术导则》（征求意见稿）。住建部也加快了我国污泥处理处置标准体系的建设，历时近4年，共发布9项相关行业标准。从2009年起，多个部委围绕污泥处理处置形成了技术规程、技术政策、最佳可行技术指南等，切实促进了我国污泥处理处置事业的持续健康发展。

当前，在排水体制改革、管网建设管理、污泥处理处置等方面，各地展开积极的探索，但也面临较大的“补课”难度。特

别是在建成的大型、特大型城市中，污泥处理处置项目选址、管网更新改造的难度和成本等问题都对城市建设和管理提出了较大的挑战。

六、理念引领先进发展方向

在 40 年发展历程中，我们对污水和污水处理的认知和理念也在经历着深刻变化，并成为影响我国污水处理事业长远发展非常重要的力量。当前，污水处理的目标已经从达标排放转向污水再生利用与水生态构建，力争实现再生水水生态融合、生态需水补给、水体生态修复和水环境生态美化等需求；在对新兴污染物控制上，也面临新的挑战；同时，行业发展还面临着环境友好、低碳发展、污水资源开发等新的要求。

城镇生活污水本身具有的资源属性，曾在早期延缓了我国污水集中处理设施的建设步伐。20 世纪 70 年代，污水用于灌溉（水与营养元素的利用）曾被视为一种经济简便的污水处理方式。而近年来，随着人们认识的进一步提升，污水的资源属性成了我国在先进理念下提高城镇污水处理厂综合处理能力的直接动力，并由此开展了独立的探索。

目前，在世界范围内，对于污水资源属性的开发利用，共有三种模式：一是严格限定水的回用途径（如工业、市政杂用、园林绿化等），制定相关标准，这是目前北京等中国城市所采取的模式。二是通过膜技术实现高标准极限处理后，通过回灌等自然过滤方式，与自然水源进行混合，再次供水，洛杉矶、墨尔本、新加坡等国外城市采用了这种模式。而对于已经解决了水环境问题的欧洲国家，比如荷兰、德国等，水环境容量和水资源都

不缺乏，他们感兴趣的是污水中氮磷等资源回收及能源回收，并且已经展开了系统实践，污水处理设施被定位为资源、能源工厂，写入了国家水战略。

在我国，城市再生水利用被写入“十五”纲要，标志着城市再生水利用在国内的全面开展。国家层面上对再生水从“鼓励、激励使用”上升到了“强制使用”。“十一五”期间，国家制定了《全国城镇污水处理及再生利用设施建设“十一五”规划》以及《节水型社会建设“十一五”规划》。在《“十二五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》以及2012年《国务院关于实行最严格水管理制度的意见》中，再生水被纳入水资源统一配置之中，成为城市水资源的重要组成部分。

污水处理工艺的不断升级也为城市再生水利用创造了条件。近年来，反渗透膜、超滤膜等技术和产品的研究与应用，使得规模化、质量高、品质稳定的再生水生产成为现实。

北京作为我国一座极度缺水的城市，在污水再生利用方面不仅历史悠久，还有着目前国内最前沿的实践。当前，北京市已经将市区污水处理厂统一重新定位为再生水厂，其功能已经从污染削减转变为水资源工厂，污水再生利用深度融入城市水资源管理、水环境治理和水生态修复格局中。北京也因此污水排放标准提升、工艺改造、新技术应用、基础设施建设等方面，继续扮演着引领者的角色。

案例：升级改造后的北京高碑店再生水厂（图3-7）日处理规模可达100万吨，一举成为国内规模最大的再生水厂。该水厂于2013年开工建设，2016年7月投入试运行。

从污水处理厂到再生水厂，改变的不仅仅是名称，污水净化的工艺、设施建设、运行管理等方面，都发生了质的飞跃。与此同时，污水处理设施和周边环境的深度融合，也为国内水务产业



图 3-7 北京高碑店再生水厂

的发展树立了新标杆。

案例：在 2018IWA 世界水大会上获得全球项目创新奖金奖的北京槐房再生水厂（图 3-8），为亚洲唯一金奖，由北京排水集团承担设计建设，该项目设施全地下建设，地上建设人工湿地保护区，采取 MBR 工艺对污水进行处理，同时利用“热水解+消化+板框脱水”处理工艺实现污泥的无害化处理，是国内污水处理领域工艺和工程绿色创新的一个典范。

对污水资源、能源属性认识的不断深化，为世界污水处理行业提出了新的研究命题且指出了发展方向。而对于水环境形势依然严峻、以污染物削减为首要任务的中国而言，污水处理何时、怎样踏入新的方向，或许仍然需要时间给出答案。不过，行业的努力探索已经展开。

2014 年，曲久辉、王凯军、王洪臣、余刚、柯兵、俞汉青



图 3-8 北京槐房再生水厂

六位国内环境领域专家宣布成立中国污水处理概念厂委员会(以下简称专委会)^①,提出追求水质永续、能源自给、资源回收、环境友好等方面的污水处理目标,并积极调动全行业力量探索打造低碳、资源回收、环境友好型的污水处理系统。在此之前的四年时间里,专委会发动了当今世界规模最大的有关污水处理创新理念完善、前沿技术凝练、工程方案设计等复杂的研究工作,期望打破国外水处理界不同领域单一技术逐个攻破的传统模式,寻求技术链的整体突破。

2018年4月14日,首座中国污水处理概念厂在江苏宜兴正

^① 曲久辉,王凯军,王洪臣,余刚,柯兵,俞汉青.建设面向未来的中国污水处理概念厂.中国环境报产业周刊,2014年1月7日(10).

式动工。宜兴概念厂在处理设施方面探索实现的目标主要集中在水质、节能、生态功能等：实现水质永续，在未来 20 年里，在主要水质指标上不用频繁提标；追求健康水质、安全排放，最大限度地降低环境毒性带来的风险；实现有机物强分离并进行能量回收；优化景观、融入社区，承担多种生态功能。

案例：中国首座污水处理概念厂（图 3-9），于 2014 年 4 月 14 日在江苏宜兴破土动工。

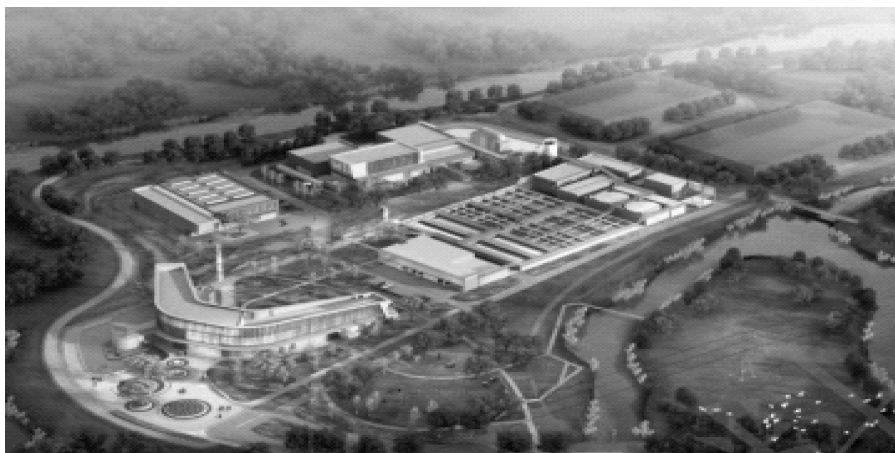


图 3-9 中国首座污水处理概念厂

七、产业发展蓄积深厚力量

污水处理领域是我国基础设施重点投资的一个领域，也是基础设施建设中需要投入资金最多的领域之一。中国对相关投融资机制的探索和实践，为快速建立和推进污水处理设施建设，构建了可持续的投入机制，也因此孕育了一个产业链齐备、企业主体

活跃的庞大市场。

20 世纪 90 年代以来,国家相关部门相继发布了一系列涉及公用事业改革的政策,放开了市场准入,允许社会资本、多元化投资主体进入污水处理行业,开始了我国污水处理行业的市场化探索。一批跨国水务巨头凭借其品牌、资本等优势通过直接投资、控股或参股等多种方式陆续大规模进入中国污水处理市场。

随后国家建设部等部门于 2002 年颁发《关于推进城市污水、垃圾处理产业化发展的意见》,于 2004 年颁发《市政公用事业特许经营管理办法》,确立了以特许经营制度为核心的中国城市水业市场化改革方案,使我国污水处理行业市场化进程步入快速发展阶段。一批大型国有上市企业凭借其雄厚的资本实力、丰富的社会资源等优势迅速发展壮大,在全国范围内积极开拓、抢占市场,业务规模已大幅领先于同行业大多数企业,成为跨国水务企业强有力的竞争对手。

近年来,随着国家进一步鼓励和引导民间资本进入市政公用事业领域,一批优秀的民营企业凭借着市场化的经营管理机制和技术创新等优势迅速崛起,成为具有良好发展潜力的行业新生力量。当前,大型国有上市企业、优秀民营企业构成了我国污水处理行业主要的市场化竞争主体,在运营规模、产值等方面都开始跻身世界前列。详见表 3-4。

我国城市污水处理行业的市场化改革进程大事记 表 3-4

时间	事件	改革与变化
1994 年	《关于以 BOT 方式吸收外商投资有关问题的通知》	外商可以以合作、合资或独资方式建立 BOT(建设—运营—移交)项目公司,以外资为代表的水务企业开始进入中国污水处理市场,BOT 污水处理运营模式逐渐兴起

续表

时间	事件	改革与变化
2002 年 9 月	《关于印发推进城市污水、垃圾处理产业化发展意见的通知》(计投资[2002]1591号)	改革价格机制和管理体制,鼓励各类所有制经济积极参与投资和经营
2002 年 12 月	《关于加快市政公用行业市场化进程的意见》	鼓励社会资金、外国资本采取独资、合资、合作等多种形式,参与市政公用设施的建设,形成多元化的投资结构
2003 年	《关于完善社会主义市场经济体制若干问题的决定》	明确提出允许非公有资本进入基础设施公用事业及其他行业和领域,被称为中国城市水业市场化元年
2004 年 3 月	《市政公用事业特许经营管理办法》	明确城市供水、污水处理可依法实施特许经营,推动了水务行业经营管理体制以及行业内企业经营模式的转变
2004 年 7 月	《关于投资体制改革的决定》	允许社会资本进入法律法规未禁入的基础设施、公用事业及其他行业和领域,打破了我国水务行业国有独资垄断经营的局面,形成了投资和经营主体的多元化
2005 年	《关于鼓励支持和引导个体、私营非公有制经济发展的若干意见》	支持非公有资本参与城镇供水、污水、垃圾处理等市政公用事业和基础设施的投资、建设与运营
2006 年 3 月	《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》	提出大力发展环保产业,建立社会化多元化环保投融资机制,运用经济手段加快污染治理市场化进程
2010 年 5 月	《国务院关于鼓励和引导民间投资健康发展若干意见》(国发[2010]13号)	鼓励民间资本参与市政公用事业建设,支持民间资本进入城市供水、污水和垃圾处理、等领域;鼓励民间资本积极参与市政公用企事业单位的改组改制,具备条件的市政公用事业项目可以采取市场化的经营方式,向民间资本转让产权或经营权

续表

时间	事件	改革与变化
2017 年	《关于政府参与的污水、垃圾处理项目全面实施 PPP 模式的通知》	要求政府参与的新建污水项目全面实施 PPP(公共-私营-合作机制)模式,肯定了 PPP 模式对推动我国污水处理事业发挥的巨大作用,大力支持社会资本投资污水处理项目,在污水处理领域开展政府和社会资本合作

目前,我国城镇污水处理行业已经形成由政府、企业共同参与的多元化体制发展模式。各地政府通过市场竞标的方式,选择具有专业技术、管理经验和规模优势的污水处理企业负责当地污水处理项目的建设和运营。这不仅改变了当前我国城市污水处理设施建设的投入方式,有效解决了建设资金的缺口问题,也带来了商业模式的质变。从早期的设计、建设和运营的分离模式到当前的统筹考虑模式,显著提高了建设效率、控制并节约了成本、也增加了项目运作的透明度。

相关资本市场和金融方式创新也逐步得到发展,从以企业为主体的项目融资[如 BOT(建设—运营—移交)、TOT(移交—运营—移交)等]和政策性融资(如政府开发专项基金、政策性银行信贷等)并重迅速转变为前者独大的局面。此外,包含投融资、建设、运营等业务在内的水环境综合服务企业,也因此得到持续开拓市场的机会,水环境治理事业中的产业中间力量快速崛起。

如果说,是市场化改革打开了污水处理等环境基础设施建设领域的大门,那么,真正吸引社会资本积极投入、并支撑起污水处理投融资体系的,则是我国在“污染者付费”理念引领下的污水处理价格和收费制度的建立和完善。

1997 年,淮河流域四省开始试行城市污水处理收费制度,我国的污水处理收费制度从此开始建立并向全国推广,城市污水处理厂的建设和运营也因此得到了可持续的资金支撑。近年来,随着我国污水处理体系的全面发展,原有的定价和收费机制也面临较大的挑战,国家重点加快了污水处理收费调整和改革的步伐。2018 年 7 月,国务院《关于创新和完善促进绿色发展价格机制的意见》出台,要求逐步实现城镇污水处理费基本覆盖服务费用。详见表 3-5 和图 3-10。

我国污水处理收费改革进展

表 3-5

时间	事件	改革与变化
1999 年	《关于加大污水处理费的征收力度建立城市污水排放和集中处理良性运行机制的通知》(计价格[1999]1192 号)	提出要在供水价格上加收污水处理费,以补偿城市排污和污水处理成本;污水处理费应按照补偿排污管网和污水处理设施的运行维护成本,并合理盈利的原则核定
2005 年	全国水价改革与节水工作电视电话会议	重点流域地区的污水处理费原则上应调整到 0.80 元/吨以上
2009 年 1 月 ~ 2010 年 6 月	全国 669 座城市中超过 1/3 上调水价,平均调幅达 0.3 元/立方米,部分城市达 0.5 ~ 0.8 元/立方米	
2013 年	《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》	完善主要由市场决定价格的机制,推进水价等领域的改革
2015 年 1 月	《关于制定和调整污水处理收费标准等有关问题的通知》(发改价格[2015]119 号)	污水处理收费标准应按照“污染付费、公平负担、补偿成本、合理盈利”的原则

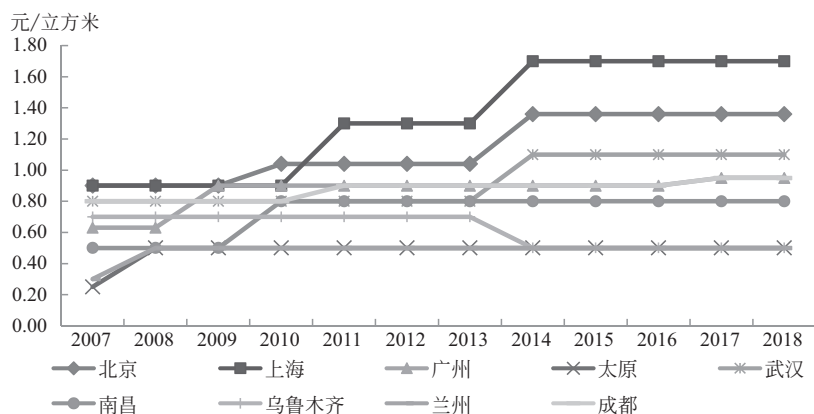


图 3-10 2007~2018 年主要城市污水处理费（一级阶梯）变化趋势

(来源：中国水网)

历经 40 年，我国城市污水处理系统已构建了发展格局、打下了坚实基础，走向了提质增效、全面协调发展的新阶段；投入建设的重点将从地上设施建设走向地下管网优化，从污水处理延展到污泥处理处置，从粗放式管理转变为科学精细化管理；污水处理目标将从削减污染发展为对水资源的再生利用以及对水环境和水生态的补给与修复；污染物削减也已经从末端治理走向源头减排、全过程控制。污水处理的理念和功能已开始深度融入城市水资源、水环境、水生态的建设和发展之中。

在世界范围内，城市污水及其处理系统与水环境、城市之间的关系，正在发生着显著的变化，深刻影响着污水处理体系建设发展的理念、策略和路径。自工业社会以来建立的现代城市污水处理体系还将走向怎样的未来，是全球共同的行业命题。与此同时，我国在城市化进程、环境与生态保护等方面的特殊问题和需求，使我们具备了对污水处理系统功能、定位、技术等展开独立

探索的压力与动力。对污水中能源、资源的开发利用，如何在“物质—能量循环”理念上更好地服务城市水资源战略并促进生态资产升值，进而为循环经济、低碳社会和可持续发展贡献行业力量，是我国城市污水处理行业无法回避的挑战，更是极具希望的未来发展方向。

第四章 城市水环境——水质与生态

中国城市水环境围绕“水质与生态”这个主题，在过去 40 年里，先后承受了粗放式管理带来的任性之果、黑臭之殇，在治理之惑中不断求实，期望生态之合，重回鱼游之境。总体而言，我国的城市水环境生态修复是在污染胁迫下积极应对，历经曲折，从蒙昧到觉醒，如今渐入理性之门。

一、水体——从清洁到黑臭

正如长江、黄河孕育了中华民族，河流、湖泊、水库、近岸海域等城市水系是人类社会赖以生存和发展的重要场所。随着人类社会经济的不断发展，它们也是遭受干扰和破坏最严重的领域。改革开放 40 年来，我国经历了快速城市化、工业化的发展历程，许多城市河湖从水体清澈、水质优良、生态完整的母亲河，逐步蜕变为水体浑浊、水质污染、生态恶化的“下水道”，很多河流水体出现黑臭、自净功能丧失（图 4-1、图 4-2）。根据全国城市黑臭水体整治监管平台发布的数据^①，我国城市黑臭河流总数多达 2100 余条，污染现状不容小觑，黑臭水体治理刻不容缓。

① <http://www.hcstzz.com>.



图 4-1 美好的过去



图 4-2 残酷的现实

残酷的现实警醒我们不能再向水环境进行疯狂的索取，只有通过不断提升标准、进行综合治理、启动海绵城市建设、开展黑臭水体治理、采用再生水补给和雨污分流等措施进行河湖生态系统修复，才能逐步回归生态健康，做到自然与人之间的和谐统一。

在此历程中，对城市水环境的认识和行动的重点发生了深刻的变化，经历了从蒙昧到自觉的提升：认识上从关注水环境单纯的实用价值到关注更多功能价值，从关注水厂水质到关注水环境，从关注工程水到关注生态水，从关注局部到关注系统；行动上从分步治理到综合治理，从控制污染到循环利用，从保护环境到修复生态。这些理念和行动上的改变，影响着我们当下的选择，并影响未来城市的可持续发展。

二、路径——从分治到综合

在改革开放 40 年城市化发展历程中，我们对于城市水环境功能的认识随着城市水环境的持续变迁而不断发生变化，从以人为核心利用城市水系统发展到以人、地和谐为主旨地平衡城市水生态系统。城市水环境的功能也从提供饮用水源、承载航道运输、排涝泄洪和污水受纳等功能，向倡导人与自然和谐的生态净化、景观生态方向发展。

在城市发展初期阶段，城市河湖环境系统所具有的供水、航运、排水等功能已被充分认识和利用。随着人类技术的进步，虽然城市内部河流、湖泊的实用性、可改造性被逐步发掘出来，但是长期以来城市河湖环境系统所具有的十分重要的环境景观和生态效应却一直被忽视（图 4-3）。



图 4-3 城市与河流

城市水系统不仅提供了维持城市居民生产和生活的基础产品，还具有维持整个城市生态系统结构完整和城市生态环境健康的功能，对大气调节、水资源供给、废弃物处理、生物多样性保护和生态平衡等都具有不可忽视的作用和价值^①。

40 年来，随着城市建设的发展，我国越来越多的城市外河流成为“城中河”，相应地，河流湖泊的功能价值也发生了变化，从普通的使用价值，提升到景观价值等。优化径河两岸空间布局、利用两岸滨水资源，从而达到保护河流的重要性愈加突显。

将水岸协同管理，对径河水岸进行保护控制及有序利用，发掘径河的水韵魅力，重塑两岸滨水景观，不仅可以改善城市环境，激发城市活力，提高人民生活质量，而且还能提升土地资源利用价值，促进经济、文化和旅游业的发展^②。

① 操家顺. 城市水环境系统治理的创新思路与应用. 江南论坛, 2017 (10): 7-9.

② 赵晓兰. 简析北京城市河道治理的发展历程及成就. 城市建设理论研究, 2014 (10).

根据改革开放以来的经济建设、社会发展、水资源利用、水环境变化的趋势分析，城市河湖污染治理的演变过程和特点可总结如下（图 4-4）：

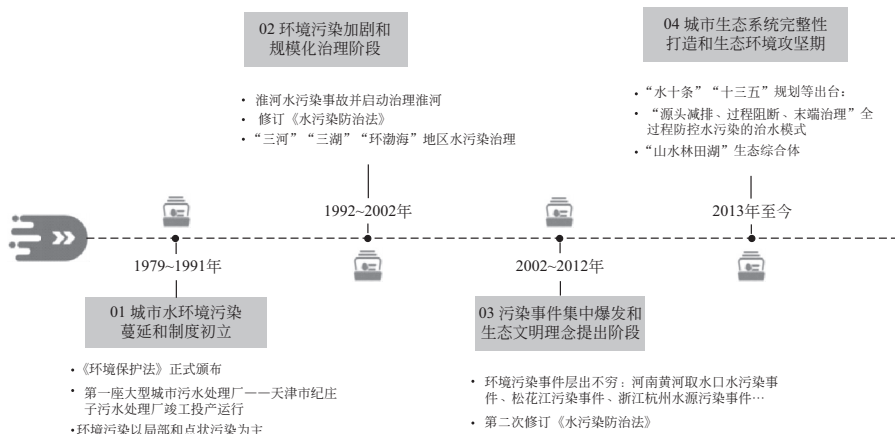


图 4-4 城市水环境治理过程

（1）第一阶段（1979~1991 年）：污染蔓延与分散治理

1978 年，中国开始实行改革开放政策，经济发展由此驶上高速增长的轨道。同年，《环境保护法》正式颁布，初步确立了中国特色的环境保护道路。1983 年确定环境保护作为中国的一项基本国策，从而摒弃了“先污染后治理”的老路。水污染防治的基本法制框架确立，治污工作开始有法可依，水处理市场也随之启动。这一阶段环境污染大都是以局部和点状污染为主，污染治理也是局部、分散的。对城市河湖系统的关注主要是解决城市的防洪排涝问题，各级政府、组织在通过市区的河道上兴建了许多防洪排涝工程，以减少日益严峻的洪涝灾害。

（2）第二阶段（1992~2002 年）：污染加剧与综合治理

1992 年是转折性的一年，中国经济自此开始进入 20 年的飞速发展期。这一年，中国掀起了新一轮的大规模经济建设热潮，加之 20 世纪 80 年代乡镇企业的无序发展，环境状况日益恶化，污水肆虐江河湖泊，氮磷富营养化也导致蓝藻大面积爆发。此阶段是环境保护压力最大的时期。

1996 年第一次修订的《水污染防治法》实现了水污染防治工作的战略转移：从单纯点源治理向面源和流域、区域综合整治发展；从侧重污染的末端治理逐步向源头和工业生产全过程控制发展；从浓度控制向浓度和总量控制相结合发展；从分散的点源治理向集中控制与分散治理相结合转变。

（3）第三阶段（2002~2012 年）：污染爆发与生态修复

2002~2012 年 10 年间，重化工行业迎来了“黄金十年”，大批钢铁、水泥、化工、煤电项目纷纷上马，这些项目的共同特点就是“三高”——高污染、高排放、高耗能，致使能源资源全面紧张，污染物排放居高不下，各种环境污染事件层出不穷。为了控制与治理污染，“十五”国家重大科技专项“水污染控制技术与治理工程”作为国家设立的 12 个重大科技专项之一，将城市水环境作为一个整体提出了城市水环境质量改善新理念，并选择武汉、苏州等 11 个典型城市，开展了城市水环境质量改善技术研究和综合示范，形成了适合不同城市特色的城市水环境质量

改善技术与管理方案^①。2008 年第二次修订的《水污染防治法》，重点突出了“强化地方政府水污染防治的责任、完善水污染防治的管理制度体系、拓展水污染防治工作的范围、突出饮用水水源保护、强化环保部门的执法权限和对环境违法行为的处罚力度”等内容。由此人们开始关注可持续发展的生态理念，“宜居城市”成为城市发展的新方向。此阶段，城市水环境建设重心由对水污染的治理和洪涝灾害的防治为主逐渐转向城市河湖生态修复为主。

（4）第四阶段（2013 年至今）：系统控源与统筹管理

2013 年党中央提出水生态文明建设以来，中国加大了保护水生态的宣传力度，出台了一系列保障生态文明建设的文件，特别强调了人类各种活动都要考虑对生态环境的影响。党的十八大报告将生态文明建设提到前所未有的战略高度，人们开始在生态环境约束下开展工作。

2015 年国务院发布了《关于印发水污染防治行动计划的通知》（即“水十条”），吹响了气、水、土“三大战役”的号角，也对黑臭水体治理提出了具体而明确的要求。

“水十条”以改善水环境质量为核心，指明了“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的 16 字原则。在此期间，污染物的总量控制成为落实原则的基本方法，业界采取了系统控源，全面控制污染物排放，以改善水环境质量为核心，统筹水资源管理、水污染治理和水生态保护等多种环境保护和整治措施。这标志着以改善环境质量和环境治理效果

① <http://www.cqvip.com/read/read.aspx?id=22043861>.

为核心的环保时代已经到来。

2016年8月,国家发改委印发了“国家‘十三五’重点流域水环境综合治理建设规划”。规划中,探究“十三五”治理思路,划定重要河流、重要湖库、重大调水工程沿线、近岸海域、城市黑臭水体五大重点治理方向,并计划建立重点流域水环境综合治理项目滚动储备库。

2018年5月,党中央、国务院组织召开全国生态环境保护大会,提出要加大力度推进生态文明建设、解决生态环境问题,坚决打好污染防治攻坚战,推动我国生态文明建设迈上新台阶。这一阶段在生态环境治理方面效果显著,环境污染治理全力推进,地表水水质状况总体改善,生态系统严重退化势头得到初步遏制,城乡人居环境逐步改善。主要污染物减排落实到位。

各阶段政策如表4-1所示。

认知提升助推政策出台

表 4-1

年份	法律法规
1979 年	《环境保护法》正式颁布,初步确立了中国特色的环境保护道路
1983 年	环境保护为中国的一项基本国策
1994 年	淮河治污,零点行动
1996 年	《水污染防治法》第一次修订,从单纯点源治理向面源和流域、区域综合整治发展
2008 年	《水污染防治法》第二次修订,突出了强化地方政府水污染防治的责任
2013 年	出台了一系列保障生态文明建设的文件,强调了人类各种活动都要考虑对生态环境的影响
2015 年	国务院发布了《关于印发水污染防治行动计划的通知》(即“水十条”)

续表

年份	法律法规
2016 年 8 月	国家发改委印发“国家十三五重点流域水环境综合治理建设规划”，划定城市黑臭水体治理方向
2016 年 12 月	中办、国办印发“关于全面推行河长制的意见”
2018 年	党中央、国务院召开全国生态环境保护大会，提出加大力度推进生态文明建设、解决生态环境问题

三、调控——从控污到循环

总体而言，传统的水环境治理是单纯地采取污水处理或者河道整治的“末端治理”模式。“末端治理”是一种短期的治标不治本的模式，“十二五”期间，虽然超额完成了各项环保目标，但各个流域、城市河道水环境整体无明显改善。“水十条”、“十三五”规划出台后，我国在水环境保护的理念上已经从传统的以“末端治理”为主的思路，转变为“源头减排、过程阻断、末端治理”全过程防控水污染的治水模式，城市水环境治理项目也逐渐延伸到以管网、污水处理厂、河道、岸线景观等组成流域环境单元的“系统模式”。

在该“系统模式”思维下，城市水环境管理被赋予新鲜的血液，比如按海绵城市理念将“山水林田湖”作为生命共同体和完整系统（图 4-5、图 4-6），实现保障水安全、治理水环境、涵养水资源、改善水生态的目的。另一方面，环境治理技术也发生较大转变，治理范围从局部水环境治理到城市流域综合治理方向转变；治理重点从点源治理到城市面源污染治理转变；治理思路注重因地制宜，因河施策；技术措施方面也向标本兼治思路转变。采用

绿色与灰色相结合、工程与非工程措施相结合，“综合治理、统筹兼顾、生态建设”，将物质文明、精神文明和生态文明进行协同建设，使得城市水环境保护与治理的生态观得以体现（图 4-7）。



图 4-5 山水林田湖生命共同体



图 4-6 山水林田湖规划

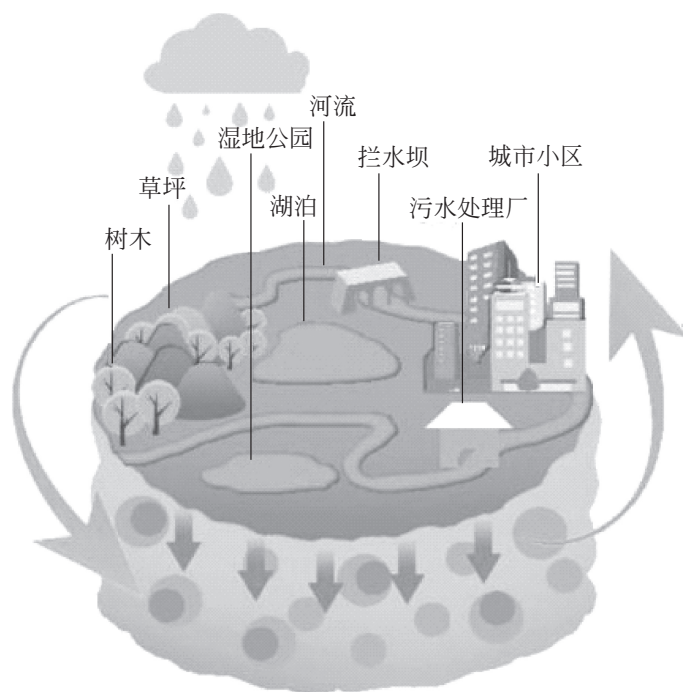


图 4-7 城市水环境良性循环系统

四、理念——从环境到生态

(1) 理念指引行动改变：标准提升

我国城市河湖水环境治理相关的重要标准包括《地表水环境质量标准》，以及不同行业、类型的污水排放标准，本节探讨地表水环境质量标准的修订情况。

《地表水环境质量标准》GB 3838—2002（以下简称《标

准》), 1983 年首次发布, 1988 年第一次修订, 1999 年第二次修订, 2002 年第三次修订。现行标准自 2002 年 6 月 1 日起实施。我国历次地表水标准中指标的项目、数目如表 4-2 所示。

《地表水环境质量标准》修订历程 **表 4-2**

指标项目	指标数目			
	GB 3838—83	GB 3838—88	GHZB 1—99	GB 3838—2002
总项目	20	30	75	109
基本项目	20	30	31	24
湖泊水库特定项目	无	无	4	无
水源地项目	无	无	40	85
重金属类	6	10	10	20

《标准》强调综合性, 依据地表水水域环境功能和保护目标, 按功能高低依次划分为五类, 包括自然保护区、饮用水源地、渔业、工业和农业等地表水水域, 分别赋予 I ~ V 类水质标准, 水质标准限值逐级降低。依据这个标准, 可以对全国所有河流水系、城市水体进行分级、分类评价, 反映我国水环境整体的质量状况, 还可以考核地方政府环境保护工作方面的成绩和不足, 有利于落实水环境质量目标责任制。该标准现已成为我国水环境监督管理的核心与标尺, 在我国的水环境保护执法和管理工作中发挥着不可替代的作用^①。

自现行《标准》实施以来, 我国主要水系干流水环境质量得到显著改善。根据中国环境质量公报发布的数据, 2002 年, 满足Ⅲ类水质的断面比例为 29.1%, 劣 V 类水质断面比例为

^① 王菲菲, 李琴, 王先良等. 我国《地表水环境质量标准》历次修订概要及启示. 环境与可持续发展, 2014 (1); 28-31.

40.9%；2017年全国地表水国控断面中满足Ⅲ类水质的断面比例达到67.9%，劣Ⅴ类水质断面减少到8.3%^①。

然而，以水功能区划分进行污染防治只是一种污染控制阶段的管理方式，它割裂了陆水相互关系以及“水资源、水环境和水生态”系统特征。“水十条”明确提出“研究建立流域水生态环境功能分区管理体系”。构建全国水生态功能分区方案，是将我国水环境管理推进到流域生态保护与恢复阶段、建立我国水环境精细化管理体系的基础。我国正处在从传统的水质管理向水生态管理转变的关键阶段，水生态功能区是实施流域水生态系统管理的基本单元。这也是《地表水环境质量标准》修订的方向。

从发达国家环境立法和实施情况来看，环境质量标准处于环境法律法规中的核心地位，一切污染控制的具体规定和措施都服务于这个核心，并由它引出。我国在环境管理过程中也逐渐认识到这方面的问题，采取了一些管理措施和手段，比如城市环境管理和综合整治定量考核、区域限批、重点流域规划考核中的水质达标要求、跨界断面水质评价和考核等。

（2）理念指引行动改变：黑臭水体治理

城市河流黑臭是当今中国最突出的环境问题之一。南方多于北方，城市发展越快的地区往往水体黑臭越严重。

产生城市黑臭水体问题主要有四大原因：

- 点源污染：排放口直排污废水、合流制管道雨季溢流、分流制雨水管道初期雨水或旱流水、非常规水源补水等；

^① 国务院发展研究中心，GWSP，世界银行. 中国水治理研究. 2018，第2页。

- 面源污染：降水所携带的污染负荷、城乡接合部地区分散式畜禽养殖废水的污染等；
- 内源污染：底泥污染、生物体污染、漂浮物、悬浮物、岸边垃圾、未清理的水生植物、水华藻类等；
- 其他污染：城镇污水厂尾水超标、工业企业事故排放、秋季落叶等。

城市黑臭水体整治工作系统性强，涉及工作面广。“水十条”提出的城市黑臭水体整治目标是：2017 年年底前，地级及以上城市实现河面无大面积漂浮物，河岸无垃圾，无违法排污口，直辖市、省会城市、计划单列市建成区基本消除黑臭水体；2020 年年底前，地级以上城市建成区黑臭水体均控制在 10% 以内；到 2030 年，全国城市建成区黑臭水体总体得到消除^①。

经过几年的探索，我国各地因地制宜地形成了各具特色的黑臭水体治理和管理措施。治理措施可以总结为“源头减排、过程控污、系统治理”。源头减排即进行截污纳管、清污分流，提高污水的收集率和处理效能，减少排入河道的污染物；过程控污即在黑臭河道治理过程中避免药剂不当使用造成的二次污染；系统治理包括河道改造、清淤疏浚、引水补水、充氧曝气、恢复生态多样性、科学配种植物及重塑生态河岸等。黑臭水体的综合治理技术措施如图 4-8 所示。

管理措施中最值得称道的是河长制，河长制即由中国各级党政主要负责人担任“河长”，负责组织领导相应河湖的管理和保护工作。

2003 年，浙江省长兴县在全国率先实行河长制。2016 年 12

^① 中华人民共和国国务院，《水污染防治行动计划》（国发〔2015〕17 号），2015 年 4 月 2 日。

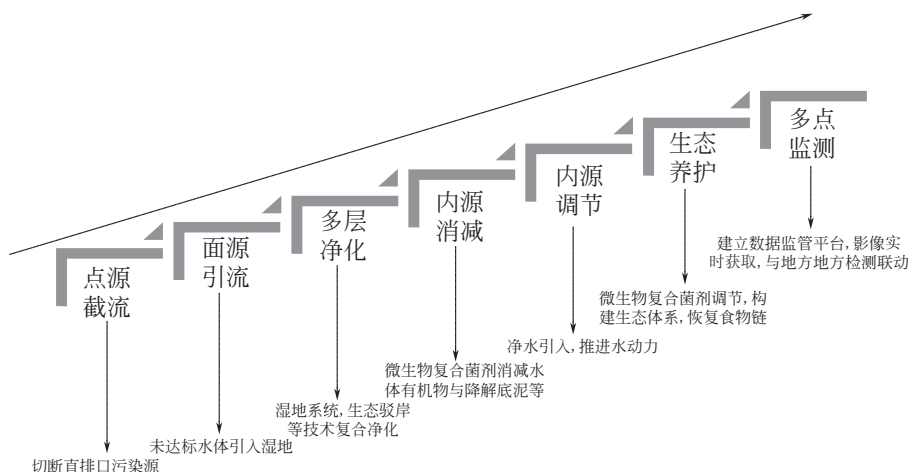


图 4-8 城市黑臭水体治理综合措施

月，中国中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于全面推行河长制的意见》，并发出通知，要求各地区各部门结合实际认真贯彻落实。2017 年元旦，习近平总书记在新年贺词中发出“每条河流要有‘河长’了”的号令。截至 2018 年 6 月底，全国 31 个省（自治区、直辖市）已全面建立河长制，共明确了省、市、县、乡四级河长 30 多万名。2018 年 10 月，全国首个《河长制工作规范地方标准》和《湖长制工作规范地方标准》在浙江绍兴发布^①。

河长制的实施，一方面明确地方政府河流治理的任务及职责，另一方面，在部分程度上打破了由于区域、行政职能所带来的条块分割，有效地推动了水环境综合治理项目的尽快落地^②。

^① 中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于全面推行河长制的意见》（厅字〔2016〕42 号），2016 年 12 月 11 日。

^② 我国将全面建立四级河长体系，国务院新闻办公室新闻发布会，人民网，2016 年 12 月 13 日。

城市河流黑臭水体治理是一项长期的系统性工程，与城市规划不合理、基础设施不匹配、监督管理不完善等诸多因素密切相关。一项需要系统谋划的工程匆忙开展，常常缺乏能够对症下药的关键技术和因地制宜的治理分析。此外，政府诉求和参与各方的利益不相统一，有不少城市河流黑臭治理项目工程投资浪费，水质改善并不明显。“反复治理，治理反复”是当下我国黑臭水体治理的顽疾。

我国城市水环境治理面临的共性问题包括：如何在规定的时限内完成黑臭河道治理，如何在所担任河长的河段或流域完成达标治理任务，如何避免投资和行动的现时和延时性失败，并保证治理效果的稳定持久，用什么方案、什么模式、什么技术、什么标准、什么政策和机制？久久为功还是立竿见影？治标还是治本？等等。

运动式治理解决不了长久性的水质与生态健康问题，正确的策略应该是系统规划，步步为营；应急的措施解决不了水环境质量持续改善的本质问题，正确的方式应该是最佳技术，集成运用；灰色的水循环模式解决不了未来城市水环境问题，正确的方式应该是构建绿色城市水系统。

案例：奎河变迁

徐州奎河，原是明万历年间地方官员为了避免水患而挖掘的一条泄洪河流，因其绕奎山而过，遂命名为奎河。奎河起源于石狗湖（现在的徐州云龙湖），全长近 80 公里，在徐州境内长度有 25.75 公里，向南流入安徽，汇入淮河。它不仅起着泄洪作用，还有农田浇灌、水上运输功能。20 世纪六七十年代，奎河水流清澈，鱼虾成群，人们可以在河边戏水玩耍。

随着城市的发展，人口及工厂不断增加，奎河逐渐发展成了沿岸容污纳垢的河流；另一方面，云龙湖作为徐州八景之一得以

大力开发，开发过程中截断了外排之水，导致奎河成了无源之水，彻底沦落为城市下水道。因奎河污染严重，不但给徐州市民，还给流经的下游安徽地区人民的生活带来了严重影响。20世纪90年代末，徐州当地政府开始对奎河进行治理：在奎河周边建成一座具有16万吨/天处理能力的污水处理厂，每天有3万吨中水用于回冲；通过控源截污，两岸工业废水的排放量也从65%降到10%以下；同时在奎河河底铺设了生态防护网，这些防护网由竹子沙石及8厘米厚的透气网等组成，将河底的淤泥和水阻隔开来，以达到淤泥不上翻的目的。这些措施的实施，奎河在整治后的一段时间内逐步恢复了原貌：河水变清了，鱼虾可见了，人们也能在河边休闲散步。

可惜好景不长，由于沿岸排污管并没有完全截止，中水作为回冲水的水量也不够，奎河又开始恢复了脏臭的面目。2005年，徐州当地政府开始实施给奎河加盖的工程。

2010年左右，当地政府加大了奎河沿岸的截污力度，并“引黄济奎”，引入黄河的清流冲入奎河。这样，在污水处理厂、控源截污、综合治理、引水入奎等系统模式治理、修复下，奎河终于起死回生。

（3）理念指引行动改变：雨水管理与排水防涝

我们对现代城市排水系统的集体反思，开始于新世纪以来城市内涝的频发时期，在北京2012年“7·21”等严重内涝事件后逐步深入、开展，并对其后的政策、实践产生了深远影响。

住房和城乡建设部在2010年对国内部分城市进行了内涝情况调研，结果显示：2008~2010年，在全国351个设市城市中，有213个城市发生过内涝；内涝次数超过3次以上的城市数目约

占 39%；内涝发生时，最大积水深度超过 50 厘米的城市占 74.6%，部分城市最大积水深度超过 1.5 米；有 57 个城市的最大积水时间超过 12 小时。

我国排水管网设计标准严重偏低和排水系统的质量和管理落后，以及对排水系统建设和维护的投入严重不足是我国城市内涝频发的主要原因。

1975 年我国的排水标准规定为 0.33~2 年一遇；1987 年改为 0.5~3 年一遇；1997 年修订时首次将城市排水分为一般地区和重要地区，标准为一般地区 0.5~3 年，重要地区 2~5 年；2006 年修订为一般地区 0.5~3 年，重要地区 3~5 年；2011 年版《室外排水系统设计规范》GB 50014—2011 中要求，一般地区排水重现期为 1~3 年，重要地区 3~5 年。在修编之前，教科书、规范标准、专项规划等长期停留在低标准上，大部分城市修建的管道都是按 0.5 年设计。

在美国，10 年是居住区最常用的雨水管渠设计重现期；10~100 年的重现期用于商业区和具有重要价值的地区，上下浮动根据地块商业价值确定。欧盟则推荐采用住宅区两年一遇、城市中心/工业区/商业区 10 年一遇的设计规范。

在传统的城市排涝工程设计思路下，雨水排水管网可以应对解决常遇降雨（一般为 2~5 年一遇）的排除问题。而针对超标降雨（超市政排水系统标准），比如几十、上百年甚至五百年一遇的暴雨，涉及地表通道、地下大型排放设施、地面的安全泛洪区域和储蓄设施等，这些在我国长期没有责任主体、缺乏标准体系，更未能形成相应的工程体系。城市中面积越来越大的硬化地面和越来越小的城区水面也减弱了城市滞蓄雨洪的能力；城市不透水面积增加，径流系数加大，导致地表径流增加，汇集速度加快，这些都影响城市防洪排涝安全。由于我国长期以来在城市雨

洪控制领域发展滞后、积累的问题突出，2012年北京“7·21”暴雨事件作为我国城市雨水管理领域一个极其重要的催化剂，迅速促进国家密集出台了各项政策、标准、规范，在数年内就从“科学防治内涝灾害”过渡到现代雨洪管理，海绵城市建设的理念被提出并成为国家战略，得到快速推进。

2013年，是我国城市排水防涝相关政策空前密集发布的一年，防治城市内涝灾害进入了总体规划引领，科学制定排水、除涝和防洪的治理标准和目标的阶段。

在短短半年时间内，国务院办公厅先后发布“国办发〔2013〕23号”“国发〔2013〕36号”等政策性文件，表明政策层对做好城市排水防涝工作重要性的充分重视，并开始高度关注城市基础设施建设问题。其中，《关于做好城市排水防涝设施建设工作的通知》（国办发〔2013〕23号），为科学防治城市内涝灾害提出了从规划做起的基本要求，指出力争用5年时间完成排水管网的雨污分流改造，用10年左右的时间，建成较为完善的城市排水防涝工程体系。

2013年6月，住房和城乡建设部发出了《关于印发城市排水（雨水）防涝综合规划编制大纲的通知》（建城〔2013〕98号），要求用一年时间摸清城市雨水口分布、雨水管渠设计标准等排水设施现状，构建现状排水能力和城市内涝风险评估的水力模型，完成城市排水防涝系统规划和体制机制建设等重要工作，这标志着全国城市排水防涝综合规划编制工作全面展开。

2014年1月1日颁布的《城镇排水与污水处理条例》则为科学防治城市内涝灾害奠定了法律依据，从法律层面确定了解决城市内涝的责任主体，强调在城镇规划阶段就要将城镇内涝防治问题考虑在内。

2015年版《城市排水工程规划规范》，首次把低影响开发理

念纳入城市排水规划中，将雨水系统独立出来；在总则和雨水系统中增加了低影响开发、总量控制、防涝用地、合流制系统改造等内容。

2016 修订的《建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范》GB 50400—2016 规定了必须进行雨水收集利用、雨水入渗、雨水储存与回用，对雨水的调蓄和水质处理也提出了一些要求，删除了屋面雨水收集系统的内容，增加雨水入渗优先采用低影响开发设施，建筑屋面使用“断接”技术。

2017 年 7 月 1 日生效的《城镇内涝防治技术规范》GB 51222—2017，提出“源头减排、排水管渠、排涝除险”三段论的理念和应急管理，共同构建内涝防治系统。首次从国家标准的高度明确提出了用低影响开发源头控制系统，排水管渠系统和超标雨水控制系统综合解决城市内涝问题的技术路线和要求。

上述一系列政策为我国开展科学防治城市内涝灾害快速构建了新的框架。

案例：北京在 2012 年发生“7·21”暴雨后，先后采取了一系列城市内涝综合治理措施：进行重点地区雨水管网的改造，排水能力显著提高；完成中小河道的治理，实现城区河湖连通；改造城市排水泵站，排涝能力显著增强，能够应对的洪涝灾害强度从“两年一遇”提高到“十年一遇”；建设城市蓄水空间，有效调蓄城市暴雨形成的洪水；组建多部门联动的城市应急管理指挥中心，增强管理能力和减灾救灾能力。经过这些措施后，北京市的内涝整治工作取得了明显的成效。2016 年 7 月北京发生了降雨量不亚于 2012 年“7·21”的暴雨，但并未产生明显的城市洪涝和不利影响，这也是对内涝整治工作成效的一次很好的检验。

2016 年，《北京市中心城排水防涝规划》正式获得市政府批

复。全市将规划 73 处蓄洪蓄滞区，兼滨河公园和洪涝的“缓冲带”；防洪排涝河道 273 条；在中心城区结合公园绿地建设绿色生态调蓄区 71 处，结合广场体育场等建设调蓄水池 23 处，利用河湖调蓄 5 处。在“西蓄、东排、南北分洪”防洪排水格局基础上，构建“两纵四横、一环双网”的总体格局，形成由建设小区、市政道路等源头雨水控制与利用系统、雨水管道、雨水泵站、排水河道、蓄洪蓄滞区、防涝设施等组成的排水防涝工程体系。图 4-9 所示为北京市左安门桥泵站，北京市投资 120 亿元升级防汛排水能力。



图 4-9 北京市左安门桥泵站

（4）理念指引行动改变：海绵城市建设

海绵城市建设是在系统总结我国现代雨洪管理领域长期研

究和实践经验的基础上，结合我国城市水环境系统的实际问题而提出的以城市现代雨洪管理为核心的理念、技术和管理体系。

近年来，低影响开发和绿色雨水基础设施作为发展迅速的新型雨水管理理念，在我国得到了越来越多的重视和日益广泛的应用。强调分散式源头管理的低影响开发技术在我国已作为国家“十二五”重大水专项课题展开了研究，并在一些城市开展了示范工程和推广应用。2014年10月住房和城乡建设部组织编制印发的《海绵城市建设技术指南》正式开启了我国各地海绵城市建设的行动。

海绵城市的理念建设、发展战略既是来自于对古人智慧的研究总结，也是对城市发展产生的遗憾进行反思的结果，还是作为后发国家对先进经验的吸取总结。在中国，这一进程通过国家战略带动，开始了顶层设计、地方试点和科研支撑之间互相作用、促进的进程（图4-10）。

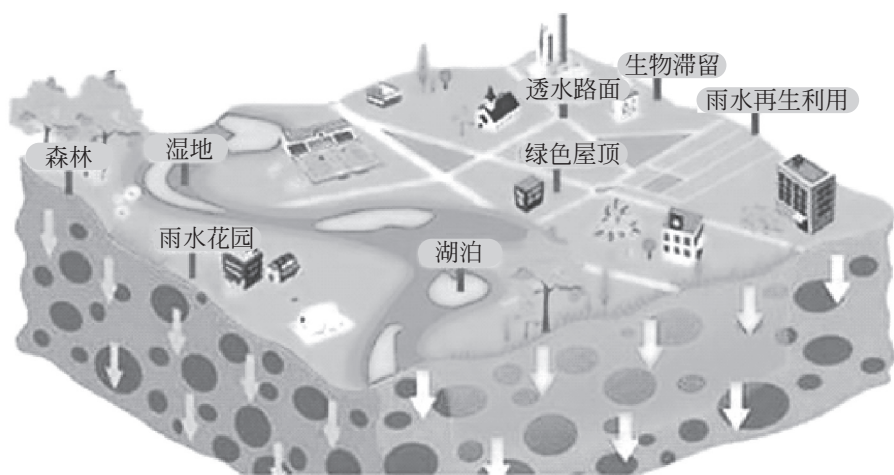


图4-10 海绵城市示意图

值得注意的是,与发达国家以绿色基础设施和低影响开发为主相比,我国海绵城市建设有着更为丰富的内容,在排水防涝的目标之外,还依据不同城市发展实际需求,兼顾实现径流排放总量控制、污染控制、良性的水循环以及生态系统修复等其他多重目标。

当前,我国城市在发展过程中,往往面对的是内涝、黑臭水体、水资源、饮用水安全等多重问题,传统做法是分而治之。而以海绵城市建设为起点,我国开始以城市为尺度,探索实施将雨洪管理纳入水资源、水环境和水生态的综合治理,成为城市发展的新战略(表4-3)。

海绵城市重要推动政策颁布时间表

表 4-3

时间	政策内容
2013 年 12 月	习近平总书记在中央城镇化工作会议上提出“建设自然积存、自然渗透、自然净化的海绵城市”
2013 年 12 月 31 日	《关于开展中央财政支持海绵城市建设试点工作的通知》(财建〔2014〕838 号)发布,正式拉开海绵城市试点建设大幕
2014 年 10 月	《海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建》发布
2015 年 1 月 20 日	住建部、财政部与水利部联合发布《海绵城市建设试点城市实施方案》(财办建〔2015〕4 号),把综合规划的编制作为申报海绵城市建设试点的前提条件之一
2015 年 4 月 2 日	16 个海绵城市试点名单公布,海绵城市建设试点工作迅速全面铺开
2015 年 7 月 10 日	住建部办公厅发布《海绵城市建设绩效评价与考核办法(试行)》,明确提出城市内涝防治作为海绵城市建设水安全控制目标的重要考核内容
2015 年 9 月 11 日	住建部专门成立了“海绵城市建设技术指导委员会”

续表

时间	政策内容
2015 年 4 月	国务院发布《水污染防治行动计划》,提出“到 2020 年,全国水环境质量得到阶段性改善,污染严重水体较大幅度减少,饮用水安全保障水平持续提升,地下水超采得到严格控制,地下水污染加剧趋势得到初步遏制”
2015 年 10 月 11 日	《推进海绵城市建设的指导意见》(国办发〔2015〕75 号)发布,正式提出“小雨不积水、大雨不内涝、水体不黑臭、热岛有缓解,通过海绵城市建设逐步完善城市内涝防治工程体系”;明确了径流总量控制的核心理念和指标,要求到 2020 年,城市建成区 20%以上面积要达到 70%的年径流总量控制率,到 2030 年,这一目标要求扩大到城市建成区面积的 80%
2015 年	在当年印发的《关于深入推进新型城镇化建设的若干意见》和《中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》中,海绵城市建设也被列为未来城市建设的重要内容
2016 年 3 月	住建部部署了海绵城市建设相关标准(1+10)的编制及修编工作,第一批包括《城市排水工程规划规范》《室外排水设计规范》和《建筑与小区雨水利用工程技术规范》3 部主要的给水排水专业的标准,及其他与海绵城市建设密切相关的公园、绿地、道路、水系、用地竖向、居住区等 7 部跨专业的标准
2016 年	第二批试点海绵城市(14 个)公布
2017 年	“统筹城市地上地下建设,再开工建设城市地下综合管廊 2000 公里以上,启动消除城区重点易涝区段三年行动,推进海绵城市建设,使城市既有‘面子’,更有‘里子’。”被写进了《政府工作报告》
截至 2017 年 4 月	海绵城市建设试点项目已建设面积 420 平方公里,完成投资约 544 亿元

(5) 理念指引行动改变：积极应对合流制溢流污染问题

在我国一些地区，雨水形成的径流污染与合流制溢流污染已

经成为城市水环境迫切需要解决的重大问题，尤其像北京、上海这些靠加强点源污染控制对城市水环境的改善已不具备更大潜力的城市，雨水导致的面源污染成为治理的重点和难点。

合流制溢流污染也称 CSO，主要指排水体制为合流制的管网系统，晴天时其污水通过截流管进入市政管网系统，但雨天时溢流排放，同时将晴天沉积于管道系统的污染物一并带起，裹挟排入下游水体中，造成污染。

这一现象不仅存在于城市老城区的合流制排水系统，对于新建城区普遍实施的分流制，也因为管网的建设、运营和维护中不规范、不细致等问题，导致大量的雨污混接，其产生的后果类似于 CSO 污染。

从 20 世纪 50 年代开始，我国一些城市就确立了新建城区采用分流制的规划设计原则，对新建排水系统，一般采用分流制。近年来，随着城市的发展，经济条件和城市水环境整治力度大幅提高，许多城市投入大量资金对老城区原有合流制系统进行雨污分流改造。比如，北京在城区和道路建设过程中将部分合流制管道改为分流制；上海部分城区一直在开展雨污分流改造工作；昆明近几年开始大规模实施主城区庭院和市政排水管网的雨污分流改造工程；广州、南京、苏州、无锡、沈阳等城市也都采取了“合改分”的思路，期望以此来减少合流制系统对水体的污染。

合流制完全改为分流制，实施难度大、代价高，并且施工周期长。同时，城市在进行雨污分流工作中工程量大，涉及千家万户，不仅有室外工程，还有室内工程，加之一些随意乱接私搭的行为，更会增加施工改造的难度。

一些城市经过多年的实践探索，已经开始逐步转变策略，尝试在原有合流制系统的基础上采取适当的控制措施以减少 CSO 污染。其中，截流式合流制是城市排水系统向分流制改造的过渡

期，即保留城区原有合流管道，沿城区水体敷设截流干管，对合流污水实施截流，而建设调蓄池对溢流混合污水进行适当处理。此外，也可增设地下人工水库，待暴雨过后再抽送入截流干管进污水处理厂处理后排放。

不过，“合改分”、扩大截流管道、设置调蓄池等措施，都是依靠传统雨洪管理理念和灰色基础设施，从而在不同程度上存在着实施难度大、影响面广、持续时间长等弊端，在实践中还有高昂的建设、运行维护费用及较低的控制效率问题。

面对我国城市自然和社会条件存在巨大的区域性差异，以及城市水环境和老城区合流制系统存在的种种问题，究竟应该采取怎样的改造策略和技术路线？是继续坚持整齐划一的彻底“合改分”策略，还是根据各城市的具体条件，因地制宜地制定“多路径”相结合的综合对策，在原有合流制的基础上完善其管道系统并同时采取各种 CSO 污染控制措施？对此，我国城市当前尚缺乏一个清晰、科学的全局性战略思路，工程界和学术界也存在很多的疑惑与争论，这也是我国城市管理和决策者亟须解决的问题。

我国城市水环境 40 年来不断变迁，许多城市水体从清洁变成黑臭，治理行动也经历了从分治到综合、从控污到循环、从环境到生态的变化。关注水安全、水生态、水资源、水文化，已成为城市水环境治理的主旋律。

随着“水十条”的发布和《水污染防治法》的修订和实施，全国各地的水环境综合解决方案纷纷出台，目前全国共完成治理的河道已占全部黑臭水体总量的 83.1%。但是，“完成治理”中有一部分仅是阶段性初步治理，尚不能确定能否长效保持，生态系统是否可以重构、黑臭会否复发等问题尚不明确。

我们同时也应该认识到，我国水环境治理的目标必然是将生

态破坏的现状扭转为生态文明的建设。因此，必须保持水生态系统的完整性，从恢复水生态功能、控制水生态风险、保障水生态安全三方面进行着手，力争早日恢复水清岸绿、鱼翔浅底的美好水环境。

展望未来，我们将在挑战鞭策下跨越，社会共识化为城市水环境保护与水生态修复的强大合力，生态优先由理念变为普遍认可并持续体验的现实，鱼游之境将不再是我们遥不可及的梦想，城市流水将与我们的血脉相通。

第五章 中国城市水环境与 水生态未来展望

过去的40年，风雨兼程，中国走完了发达国家上百年才完成的城镇化目标，实现了全球最大规模的城市化与工业化进程。我们筚路蓝缕艰苦奋斗，用极其有限的水资源，完成了对城市化和工业化进程的支撑，创造了人类和城市史无前例的壮举。中国城市水环境保护沿着“资源开发—综合利用—保护修复—生态健康”的发展路径，就此铺开康庄大道。我们携手并肩，经过不懈努力，已建成全球最大规模的水基础设施，发展了全球最大规模的水务产业，拥有了全球最多的科技人才队伍和科研投入。城市供水行业通过“护水源、修标准、强净化、建管网、美生态”的高投入，在保质引导下快速发展；城镇污水行业通过“减排量、严排标、促技改、明理念”，在奋力减排的驱动下高歌前行；城市水环境生态修复在承受着粗放式发展带来的“任性之果、黑臭之殇、治理之惑”中不断求实，经历了从蒙昧到觉醒，渐入理性之门。

40年的辉煌，毋庸置疑，但遗憾与隐患也不容忽视。由于政策和技术等诸方面尚存不足，我们的城市水环境保护存在着诸如重调水轻治理、重地上轻地下、重景观轻排放、重水线轻泥线、重建设轻运行、重末端轻源头、重规模轻质量等问题，使得我们不论在城市区域层面还是在环境行业层面的整体投资与技术效率不高。从顶层设计到具体实践的可持续发

展理念缺位，导致行业的低效、粗放和混乱，与经济、社会发展的需求相比，已经呈现出明显的不适应，未来挑战依然严峻。

党的十九大提出到 2035 年“生态环境根本好转、美丽中国目标基本实现”，且到 21 世纪中叶，把我国建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国，物质文明、政治文明、精神文明、社会文明、生态文明将全面提升的奋斗目标。随着我国人口不断增长和社会经济快速发展，同时受制于资源空间分布不均、制度体制和管理政策不完善，我国水资源、水环境、水生态等方面都面临着巨大挑战，部分地区水问题已经显著影响了社会经济发展和民众生活，严重阻碍了国家生态文明建设和可持续发展战略的实施，水生态环境已为我国 2035 年“生态环境根本好转，美丽中国目标基本实现”以及 21 世纪中叶“建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国”战略目标实现的突出短板。

未来的 30 年，也是最具挑战的 30 年，中国将处于后工业化换挡期、结构调整阵痛期以及新型城镇化、社会转型等叠加阶段，这也将是社会经济发展与城市水环境与水生态保护矛盾博弈的胶着期。中国城市水环境形势将更加复杂和难以预期，一定会呈现出资源消耗涨幅收窄、水环境与生态问题多型叠加、生态环境承载力严重超载、生态环境质量缓慢改善、污染治理主体承受力下降、公众生态环境诉求高涨、生态环境保护急剧变革等多方面特征，我们的城市水环境与水生态保护将面临多重压力，承受更艰巨的任务。

中国城市水环境与生态保护亟须在立足国情和自身需要的基础上，进行一次面向未来的系统梳理和探索，寻找到再出发的方向。纵观城市水系统的建设历程、面临的巨大挑战、生态文明建设

设的重大需求，中国城市水环境与水生态保护将迎来难得的发展机遇。在新一轮科技革命和产业变革背景下，饮用水净化工艺将实现物理分离与转化等绿色低碳处理，形成标准与效应协同的控制系统；城市污水处理厂将发展为资源、能源工厂，在生态安全保障下实现再生水与水生态的有机融合；城市排水系统将成为污水截流、径流减量、资源储存与再生利用的多功能集合体；城市水环境修复将实现生态保护与污染控制统筹协调、水健康循环。总之，水处理厂已成为城市水循环系统中的重要组成部分，水资源短缺以及水处理技术革新将推动水源界限的拓展，生活污水和工业废水将成为城市的重要水源，最终形成水与污水间的稳态平衡和健康循环。

一、健康安全保障是饮用水供给的无终点诉求

未来的饮用水质标准将由效应与风险阈值指标逐渐取代现今的化学数值指标，饮用水厂将可控制更多的健康风险和解决新的安全问题。在水质标准方面，将结合城市化建设发展以及水环境与水生态变化的新情况新问题，制定科学的、针对性强的水处理可持续发展标准。在净化工艺方面，将实现风险污染物检测与水质综合毒性综合评价，指标与效应协同约束的饮用水安全净化，化学-微生物协同调控的饮用水安全输配，以膜材料为代表的物理分离与转化等绿色、经济的水处理技术将取代传统的化学处理工艺。

二、城镇污水处理厂是未来城市的重要资源与能源工厂

随着人们对污水认知理念的变化，污水排放标准将向以满足流域水生态安全和再生回用目标的区域化、多样化方向发展，驱使污水处理由大中型工程项目朝小城镇方向改进和移植，注重与水生态修复工程相融合，并强化微量有毒物质的去除，实现水质的生态安全目标。污水处理工艺将面临持续变革，污水碳浓缩分离及高效能源化、污水磷回收及高效利用、新型低能耗氮生物转化、景观人工湿地等技术将不断获得开发与应用，厌氧氨氧化、厌氧产能等低耗厌氧技术将成为污水处理厂的生物处理主流工艺，未来的污水处理厂将建成能源自给、元素回收、尾水再生的可持续性资源再生工厂，兼具环保、休闲和宣教功能的景观式生态花园。

三、城市河湖水环境治理目标将由水质达标转向水生态安全保障

城市河湖水环境治理将通过“生态修复”与“环境治理”并举，以保障流域水生态生物完整性、物理完整性和化学完整性为首要目标。城市河湖水环境治理将兼用工程和非工程措施，融合水环境承载力评价、内外源污染负荷削减、多元融资模式与激励机制等技术手段，在策略上由运动式治理向系统规划转变，在方式上由应急措施向技术优化集成转变，在模式上由灰色

水循环向绿色水循环转变，形成特色鲜明的系统化解决方案，实现流域可持续的水质安全与生态健康。

四、新一轮科技革命和产业变革将助推中国城市水环境与水生态技术持续创新

中国水环境与水生态保护将由“工程建设”为主向“建设与管理并重”转变，海量环境信息感知、大数据高速传输、数据深度挖掘与机器自主学习等信息技术将融合应用于水环境与水生态监控、预警、管理、决策等，实现城市水系统的智慧管理。迅猛发展的新生物、新材料技术的复合渗透，将推动污染物高效降解转化、低耗分离浓缩等水处理技术的革新，以及水处理工艺、技术、设备的集成应用。中国水环境与水生态保护也将由单项技术手段发展为综合、系统防治策略。

五、中国未来城市水环境与水生态是安全健康的城市水循环系统

可以预见，通过未来持续的政策支持、技术创新和工程实践，我们的城市水环境与水生态将建成集“饮用水健康风险防控-城镇污水能源化与资源化-工业废水资源高值利用-水环境生态安全保障-水环境智慧管理”等功能于一体的，涵盖“给水-排水-再生水-河湖水-地下水”的安全健康、低耗可持续城市水循环系统，实现人群健康与水生态安全的有效保障。

历经四十年发展，中国水行业从认知到实践，从理论到方

法，从意识到行为，均发生了翻天覆地的变化。我们的治水理念也从环境上升到生态，我们在水环境领域的最大进步是从生态破坏走向生态文明。四十年来，我们完成了诸多壮举，破解了诸多难题，为世界水行业发展贡献了“中国力量”。但是，由于我国仍处于经济社会发展的高速期，依然将在较长时间内面对水资源短缺、水环境污染、水空间萎缩、水生态破坏等问题。面对复杂并充满不确定性的未来，我们必须意识到，城市流水与我们血脉相通，我们只有深入共识生态优先的理念，全社会共同为城市水环境保护与修复形成强大合力，鱼游之境才是我们不再遥不可及的梦想。

未来已来，让我们戮力同心，共同开创中国城市水环境与水生态更加灿烂美好的未来！

附录一 大事记

说明：本“大事记”初稿是由南京大学张徐祥老师团队根据政策、技术、事件等内容进行分类写成的，后来在无锡会议上按照专家组的意见修改为以时间为顺序进行记录，即成本版本的原型。张悦、骆建华、毕军、曹业始、俞汉青、王凯军等专家都对本版本提出了修改意见，最终版本是在考虑了上述各位专家、领导的意见后完善而成的。

1. 1976 年 12 月 26 日，国家基本建设委员会和卫生部联合发布了我国《生活饮用水卫生标准》TJ 20—76，共有 23 项指标。

2. 1981 年，中国恢复在世界银行成员国地位后，世行开始给中国贷款，在城建环保领域，实施了城市环境治理、污水处理和农村供水项目，为建设资源节约型和环境友好型社会发挥了积极作用。

3. 1983 年 8 月 2 日，国家环境保护局发布了我国《地表水环境质量标准》GB 3838—83，1988 年第一次修订，1999 年第二次修订，2002 年第三次修订。

4. 1984 年 5 月 11 日，第六届全国人民代表大会常务委员会第五次会议审议通过了我国首部水污染国家法律《中华人民共和国水污染防治法》。

5. 1985 年 8 月 16 日，国家卫生部对《生活饮用水卫生标准》GB 5749—85 进行了首次修订，指标增加至 35 项。

6. 1985 年，北京市第一座以地表水为水源的深度处理水厂

田村山净水厂建成通水，该厂采用臭氧-活性炭处理工艺。

7. 1986 年 4 月 30 日，我国第一座大型城市污水处理厂天津纪庄子污水处理厂建成通水，日处理能力 26 万吨，开创了我国城市市政污水规模化集中处理的先河。

8. 1988 年 10 月 5 日，国家环境保护局发布我国首个国家级城市污水处理厂污染物排放标准《污水综合排放标准》GB 8978—88，其核心指标是 COD、BOD₅ 和 SS。

9. 1989 年 11 月底，广州大坦沙污水处理厂全面建成投产，设计日处理能力 15 万吨，是当时世界上规模最大 A²/O 工艺污水厂。

10. 1989 年 12 月 26 日，第七届全国人民代表大会常委会第十一次会议审议通过《中华人民共和国环境保护法》，确定环境保护是我国的基本国策之一。

11. 1993 年底，北京高碑店污水处理厂一期工程建成通水，日处理规模 50 万吨，二期工程日处理规模 50 万吨，于 1999 年完成。

12. 1994 年 3 月 25 日，国务院常务会议通过《中国 21 世纪议程》，确定实施可持续发展战略。

13. 1994 年 7 月，淮河上游因突降暴雨而采取开闸泄洪的方式，将积蓄于上游一个冬春的 2 亿立方米水排放，洪水携带底泥中的各种污染物排入淮河，导致淮河水质恶化严重，百万淮河民众饮水告急。

14. 1995 年 1 月 16 日，国家对外贸易经济合作部发布《关于以 BOT 方式吸收外商投资有关问题的通知》（〔1994〕外经贸法函字第 89 号），鼓励外商以合作、合资或独资方式建立 BOT（建设—运营—移交）水务项目公司，以外资为代表的水务企业开始进入中国污水处理市场。

15. 1995 年 8 月，国务院颁布我国第一个流域污染治理法规——《淮河流域水污染防治暂行条例》。

16. 1996 年 5 月 15 日，第八届全国人民代表大会常务委员会第十九次会议通过了《中华人民共和国水污染防治法》第一次修订，首次提出水污染防治设施必须与主体工程三同时，实现了水污染防治工作的战略转移：从单纯点源治理向面源和流域、区域综合整治发展；从侧重污染的末端治理逐步向源头和工业生产全过程控制发展；从浓度控制向浓度和总量控制相结合发展。

17. 1997 年 12 月 31 日，淮河流域四省 1139 家企业按时完成污染治理。这就是轰动全国的“淮河治污零点行动”。

18. 1998 年年初发生了淮河治理的零点行动为起点，年底的太湖流域的治理，三河三湖的治理，力气很大，涉及范围很广，但由于产业结构没有彻底转型，污染也随之反弹。

19. 1998 年夏，长江、嫩江、松花江等发生全流域型的特大洪水，警示长江等流域的生态环境已危机四伏，随时可给我国带来新的巨大灾难。此后国家首次对工程院开展重大战略决策咨询，开展了可持续水资源战略研究，这个课题影响深远。

20. 1998 年 8 月 13 日，中国发行国债，拉动内需，开展了“三河三湖”等重点流域的水环境治理和近 1000 项城市供水、污水和垃圾处理工程。

21. 1998 年 9 月 23 日，国家计划委员会和建设部印发《城市供水价格管理办法》（计价格〔1998〕1810 号），供水行业从政府公共服务转变为成本核算、市场化的行业。

22. 1998 年 11 月 3 日，成都市府南河综合整治工程获得 1998 年度联合国“人居奖”。

23. 2001 年 6 月 7 日，国家卫生部要求自 2001 年 9 月 1 日实施《生活饮用水卫生规范》（卫法监发〔2001〕161 号），该规

范实质是对《生活饮用水卫生标准》GB 5749—85 的修订，饮用水水质指标增加至 96 项。

24. 2001 年 2 月 8 日，我国发布水利行业标准《雨水集蓄利用工程技术规范》SL 267—2001，首次对新建、改建、扩建工程中雨水利用工程设计与建设提出规范要求。

25. 2002 年 2 月 20 日，杭州西湖的综合保护工程正式启动，是我国当代城市湖泊环境治理、生态修复和文化建设的典范工程。

26. 2002 年 9 月，国家计委（国家发改委前身）、建设部（住建部前身）、国家环境保护总局（环保部前身）联合发布《关于推进城市污水、垃圾处理产业化发展的意见》，要求改革管理体制，逐步实行城市污水、垃圾处理设施的特许经营，加快城市污水、垃圾处理产业化进程。污水和垃圾处理领域市场化改革的序幕就此拉开。

27. 2002 年 12 月 24 日，国家环境保护总局、国家质量监督检验检疫总局联合发布《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918—2002，将城镇污水处理厂的排放一级标准分为 A 标准和 B 标准，主要控制有机物、氮磷和悬浮固体。

28. 2002 年 10 月 28 日，第九届全国人民代表大会常委会第三十次会议审议通过了《中华人民共和国环境影响评价法》。2016 年 7 月 2 日，第十二届全国人民代表大会常委会第二十一次会议通过了对该法的修订。

29. 2003 年初，建设部发布《关于加快市政公用行业市场化进程的意见的通知》。PPP 模式在市政公用行业得到深入推广，发展至今，该行业成为 PPP 应用最为成熟的领域。

30. 2003 年 10 月，浙江省长兴县将各类“长”的成功经验延伸到河道管护上，在全国率先实行“河长制”。

31. 2003 年 9 月，中国共产党十六届三中全会明确提出了对公用事业进行开放，允许社会资本进入公共行业，要求在垄断行业放宽市场准入，引入竞争机制。国家计委、财政部、建设部、国家环保总局《关于推进城市污水、垃圾处理产业化发展的意见》（计投资〔2002〕1591 号），建设部《关于加快市政公用行业市场化进程的意见》（建城〔2002〕272 号）等，明确了城市污水处理行业改革的方向，加速统一了地方政府和公众对城市污水处理行业改革方向的认识。

32. 2004 年 2 月底和 3 月初，四川化工股份有限公司第二化肥厂将大量高浓度氨氮废水排入沱江支流岷河，导致沱江江水变黄变臭，氨氮超标竟达 50 倍之多，50 万公斤网箱鱼死亡，直接经济损失 3 亿元左右。

33. 2004 年 5 月 1 日，建设部发布的《市政公用事业特许经营管理办法》开始实施，明确提出以市场化为主线，全面推进包括城市污水和垃圾处理的市政公用事业改革。

34. 2005 年 8 月 1 日，国家水利部确定桂林市为全国第一个水生态系统保护和修复试点，工程建设计划投资 100.11 亿元。

35. 2005 年 9 月 10 日，国家建设部发布“关于加强市政公用事业监管的意见”（建城〔2005〕154 号），进一步明确“推进市政公用事业市场化”和“加强市政公用事业监管”。

36. 2005 年 11 月，中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司双苯厂发生爆炸，约 80 吨苯系物流入松花江，造成松花江水体污染，哈尔滨市因此停止向市区供水 4 天，严重影响市民生活。

37. 2006 年 1 月 18 日，国家建设部发布《室外排水设计规范》GB 50014—2006，明确了雨水排水管道的设计标准，首次为防治城市内涝灾害制定了技术标准。

38. 2006年8月22日,建设部副部长仇保兴在国务院新闻办公室的新闻发布会上透露,年底全国所有城镇都将开征污水处理费,原则上每吨污水收费0.8元。

39. 2006年9月8日,因上游3家化工厂的工业污水排放,湖南省岳阳县城饮用水源地新墙河发生水污染事件,饮用水砷超标10倍左右,8万居民的饮用水安全受到威胁和影响。

40. 2006年10月25日,国家建设部发布《建筑与小区雨水利用工程技术规范》GB 50400—2006,首次通过国家标准明确了城市雨水综合利用的技术规范。

41. 2006年12月29日卫生部和国家标准化委员会共同发布了《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006。于2007年7月1日正式开始实施。将生活饮用水指标从35项增加到106项。为改进居民生活饮用水水质提供了有力保证,为居民生活饮用水水质与国际接轨创造了条件。

42. 2007年5月,太湖流域发生无锡供水危机和蓝藻爆发重大水污染事件,太湖流域所在省市全面加强水污染的治理工作,环境保护主管部门要求太湖城镇流域污水处理厂严格执行一级A标准,由此全面推动了太湖流域城镇污水处理厂一级A提标改造和扩建新建工作。2007年7月1日,国家新修订的《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006也开始实施,检验项目由原来的35项大幅增加到106项,拉开我国饮用水重点控制有机物和病原微生物的序幕。

43. 2007年开始,排污权有偿使用与交易进入试点探索深化期,环保部与财政部先后批复了浙江、江苏、天津、河北、内蒙古、湖北等11个国家排污权有偿使用与交易试点,取得了积极的成效,推行排污权有偿使用与交易政策的效用、面临的一系列关键问题基本已经摸清,为我国下一步深入推进排污权有偿使用

与交易积累了经验，明确了方向。

44. 2008 年 2 月 28 日，第十届全国人民代表大会常务委员会第三十二次会议审议通过了《中华人民共和国水污染防治法》第二次修订，强化可持续发展的生态理念，“宜居城市”成为城市发展的新方向。

45. 2008 年，北京奥运会主体育场“鸟巢”建成比较完善的雨水回收与利用系统，“鸟巢”的雨水采用分散收集、集中处理的形式，获取再生水，从而减少对自来水的消耗。2008 年 9 月，上海白龙港污水处理厂升级改造全部建成投产，日处理规模达 200 万吨，是亚洲最大的污水处理厂，也是世界最大的污水处理厂之一。

46. 2010 年 7 月 16 日，在辽宁省大连市新港港区发生了漏油事故，事故导致一条输油管爆炸并引发大火和原油泄漏。约 1500 吨原油泄漏，流入黄海，至少行程了 430 平方公里的油面。大连市启动红色应急预案，胡锦涛、温家宝作出批示。

47. 2011 年中央 1 号文件明确要求实行最严格水资源管理制度，确立水资源开发利用控制、用水效率控制和水功能区限制纳污“三条红线”，从制度上推动经济社会发展与水资源水环境承载能力相适应。

48. 2012 年 1 月 12 日，国务院以国发〔2012〕3 号印发《关于实行最严格水资源管理制度的意见》。这是继 2011 年中央 1 号文件和中央水利工作会议明确要求实行最严格水资源管理制度以来，国务院对实行该制度做出的全面部署和具体安排，是指导我国水资源工作十分重要的纲领性文件。

49. 2012 年 5 月，北京发布地方标准《城镇污水处理厂水污染物排放标准》DB 11/890—2012，对于北京地区城镇污水处理厂的出水水质提出了更严格的要求，大幅提高了污水厂处理出水

稳定达标的难度。

50. 2012年7月21日,北京及其周边地区遭遇61年来最强暴雨及洪涝灾害,由于排水管网设计标准严重偏低,对排水系统建设和维护的投入严重不足,导致全市内涝,受灾人口190万人,其中79人遇难,直接经济损失约116亿元。

51. 2012年11月,中国共产党第十八次代表大会从新的历史起点出发,做出“大力推进生态文明建设”的战略决策,从十个方面绘出生态文明建设的宏伟蓝图。

52. 2013年1月4日,国家水利部印发《关于加快推进水生态文明建设的意见》,明确提出水生态系统保护与修复遵循的指导思想、基本原则和目标。

53. 2013年4月1日,国务院办公厅发布《关于做好城市排水防涝设施建设工作的通知》(国办发〔2013〕23号),要求各地编制完成城市排水防涝设施建设规划,力争用5年时间完成排水管网的雨污分流改造,用10年左右的时间,建成较为完善的城市排水防涝工程体系。9月,发布《关于加强城市基础设施建设的意见》(国发〔2013〕36号),要求加强城市供水、排水防涝和防洪设施建设,鼓励推行“低影响开发建设模式”。

54. 2013年10月2日,国务院发布《城镇排水与污水处理条例》(中华人民共和国国务院令 第641号),把污水处理纳入法制轨道,明确了主要部委的相关职责。

55. 2013年11月,浙江省委十三届四次全会提出“治污水、防洪水、排涝水、保饮水、抓节水”为内容的“五水共治”系统治水目标和思路。

56. 2013年12月12日,习近平总书记在中央城镇化工作会议上提出“建设自然积存、自然渗透、自然净化的海绵城市”。同年12月31日,《关于开展中央财政支持海绵城市建设试点工

作的通知》（财建〔2014〕838号）发布，正式拉开海绵城市试点建设大幕。

57. 2014年1月，曲久辉、王凯军、王洪臣、余刚、柯兵、俞汉青等专家在《中国环境报》发表署名文章，联合发起“建设中国城市污水处理概念厂事业”，希望以此融通各方智慧和共识、启迪创新和创造，引领中国污水处理事业的升级发展。

58. 2014年4月，由于上游雨水较大，春耕农作物大量施肥，生活污水及农田中的氨氮污染物冲入汉江中，造成武汉市汉江水质污染，水中氨氮含量严重超标，武汉2个水厂因取水口水质因受污染而紧急停产，影响武汉30万居民的日常用水，造成严重的社会影响。

59. 2014年4月10日，兰州石化管道泄漏，导致兰州自来水苯超标，兰州市饮用水停止供应5天。

60. 2014年12月27日，北京郭公庄水厂（一期工程）正式通水，日供水能力50万吨，全部使用南水北调水源，采用了臭氧-活性炭、紫外线消毒等国际先进的深度水处理技术，紫外线消毒工艺在国内规模最大。

61. 2014年12月，贵阳南明河水环境综合整治项目被财政部评选为全国PPP新建项目首批示范，成为国内城市河道黑臭治理模式创新的典范。

62. 2015年3月，国家住房城乡建设部、财政部、水利部公布，重庆等16个城市和地区成为海绵城市首批建设城市，共设置各类项目3159个，总投资865亿元，拉开了我国海绵城市建设的序幕。

63. 2015年4月2日，国务院发布《水污染防治行动计划》（“水十条”），明确在污水处理、工业废水、全面控制污染物排放等多方面进行强力监管并启动严格问责制，铁腕治污进入

“新常态”。

64. 2015年10月，中国共产党十八届五中全会决定，将推进生态文明建设首度被写入国家五年规划。

65. 2015年11月，环境保护部发布《城镇污水处理厂污染物排放标准》修订征求意见稿（2015版），提出所有新建城镇污水处理厂均执行一级A标准，尚未发布。

66. 2016年7月，基于北京地方标准的高碑店污水处理厂升级改造工程完工并试运行，升级改造后的北京市高碑店污水处理厂出水水质达地表Ⅳ类，成为国内规模最大的再生水厂。

67. 2016年10月28日，北京第一座全地下再生水厂——槐房再生水厂建成投产，采用“MBR+臭氧紫外线”污水处理、“污泥沼气+光伏发电+热泵”污泥资源化技术，实现污水再生回用至湿地公园、消化污泥生产有机营养土。

68. 2016年12月25日，第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十五次会议表决通过了《中华人民共和国环境保护税法》，于2018年1月1日起正式施行。

69. 2016年12月11日，中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于全面推行河长制的意见》，并要求各地区各部门结合实际认真贯彻落实。

70. 2016年12月31日，国家发展改革委、住房城乡建设部印发《“十三五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》（发改环资〔2016〕2849号），提出实现城镇污水处理设施建设由“规模增长”向“提质增效”转变，由“重水轻泥”向“泥水并重”转变，由“污水处理”向“再生利用”转变。

71. 2017年6月27日，第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议通过了《中华人民共和国水污染防治法》第三次修订，提出了落实生态文明建设理念，强化了地方政府

责任。

72. 2017 年 7 月 18 日，国家财政部等联合发布《关于政府参与的污水、垃圾处理项目全面实施 PPP 模式的通知》（财建〔2017〕455 号），要求政府参与的新建污水项目全面实施 PPP（公共—私营—合作机制）模式，大力支持社会资本投资污水处理项目。

73. 2017 年 7 月 21 日，国家生态环境部等联合印发《长江经济带生态环境保护规划》，要求以“保护一江清水”为主线，规定了“确立水资源利用上线”等六个方面的重点任务。

74. 2017 年 8 月 29 日，中央全面深化改革领导小组第三十八次会议审议通过《生态环境损害赔偿制度改革方案》，于 2018 年 1 月 1 日起在全国试行生态环境损害赔偿制度。

75. 2017 年 10 月 18~24 日，中国共产党第十九次全国代表大会为水污染治理与水生态保护提出新要求：系统推进水污染防治、水生态保护和水资源管理，加强地下水污染综合防治，严格保护水质安全和饮用水水源。

76. 2017 年 3 月 15 日，洛阳洛河水系综合整治示范段项目顺利通过整体工程竣工验收，这是我国贯彻“水安全、水生态、水资源、水文化”融合发展理念的城市流域生态环境综合整治工程的典范。

77. 2018 年 3 月 11 日，第十三届全国人民代表大会第一次会议通过的宪法修正案，将宪法第八十九条“国务院行使下列职权”中第六项“（六）领导和管理经济工作和城乡建设”修改为“（六）领导和管理经济工作和城乡建设、生态文明建设”。

78. 2018 年 4 月 14 日，我国首座污水处理概念厂在江苏宜兴正式动工，将从水质、节能、生态功能等方面探索实现污水处理概念厂建设目标。

79. 2018年6月16日,《中共中央国务院关于全面加强生态环境保护,坚决打好污染防治攻坚战的意见》提出:打好城市黑臭水体治理攻坚战。

80. 2018年6月23日,全国第一部生活饮用水水质地方标准——《上海市生活饮用水水质标准》DB 31/T 1091—2018正式发布。上海地标在现有国家标准基础上,向国际一流标准看齐,指标新增5项,达到111项,并大幅提升原有40项指标限值。

附录二 首届城市水环境与水生态 科普创意大赛概况

科技是国家强盛之基，创新是民族进步之魂。早在 2016 年，习近平总书记就在“科技三会”上指出，科技创新、科学普及是实现创新发展的两翼，要把科学普及放在与科技创新同等重要的位置。没有全民科学素质普遍提高，就难以建立起宏大的高素质创新大军，难以实现科技成果快速转化。“十三五”规划也明确写道：到 2020 年要将我国公民具备科学素质的比例提升到 10% 以上。

中国城市科学研究会水环境与水生态分会（以下简称“水分会”）作为中国城市科学研究会专门从事水环境与水生态领域的学术团体，成立伊始，我们就明确，要围绕“改善城市水环境，建立城市水生态系统良性循环”的使命，把科普当成重要的工作内容，改变大众虽能意识到“水是生命之源”，但只有在一些污染事件造成水危机等极端情况下才能真正体会“水是人类生存发展最重要的物质基础”这一现象，争取在推动社会了解水、关心水，爱护我们的水环境和水生态方面有所创新，有所突破。

基于此，水分会于 2019 年 1 月 25 日面向全国高校在校学生发起主办了“首届城市水环境与水生态科普创意大赛”。我们希望通过大赛推出一系列科普文章、科普画集、科普视频或动画等各种形式的科普作品，发掘一批水环境与水生态领域科普工作的

优秀力量，普及水环境与水生态知识，提升全民保护水环境、开发水生态的科学意识，在全社会营造关于水理念、水知识与水行动的科学氛围，推动水共识形成，为保护绿水青山、建设“美丽中国”添砖加瓦。

在两个月的征集时间内，我们收到了来自清华大学、同济大学、南京大学、浙江大学、哈尔滨工业大学等 60 多所高校的学生作品 600 余件，其中平面设计类 300 余件、科普文章类 200 余篇、视频类近 100 个。这些作品内容丰富，形式新颖，充分展示了高校学子们在水环境治理、水资源节约、水生态修复保护等方面理念知识的科普创意。

经过严格的资格审查及初评指导，62 件作品进入了复赛。经复评专家组审议，24 份作品脱颖而出进入 5 月 11 日在南京举办的决赛。中国工程院院士、中国城市科学研究会副理事长、水分会会长曲久辉，南京大学副校长王志林，中国城市科学研究会秘书长、水分会副会长兼秘书长、清华大学环境学院教授余刚等嘉宾参加活动。决赛现场，我们不仅邀请到来自清华大学、同济大学、南京大学等知名院校的专家进行专业评审，来自新华网等专业媒体代表参与创意点评，同时还邀请了社区代表、中小学生代表等 20 位大众评审现场考察和评价作品的普及应用性。最终，参与现场决赛的 23 支队伍分获一、二、三等奖及单项奖。

世界正在经历一个加速城市化的过程，城市发展和水环境、水生态的关系，也因此成为人和水关系中最重要、也是目前挑战最大的领域。近几十年来，中国政府高度重视水污染治理、水资源保护，进行了力度空前的投入，取得了显著成效。无论是进展中的各项水污染攻坚战，还是消灭城市黑臭水体行动，海绵城市构建，长江大保护战略的出台实施等，都是在努力探索构建城市与流域区域水环境、水生态更为平衡、和谐、

可持续的关系。在这一由政府主导的治理修复进程中，不仅需要围绕污水排放的末端，建立先进完善的收集处理系统，更要溯流而上，从源头减少污染物的产生和排放，加强水资源循环利用；不仅需要政策和监管的建立健全，还要有长效的投入机制，更需要全社会生产生活涉水行为切实的进步和变革。

大学生作为科普的年轻力量，把深奥的、不为大众熟知的知识和道理，用朴素和形象的描述展示给大众，充分体现了大学生对环保事业、对水这一生命之源的热爱。这是一种神奇的力量，它必将激励我们所有人，为保护好水，为生命之水更清洁而努力。

再次向各位参与及支持本次大赛的学生、专家、社会力量以及会务组致谢。此项工作我们也将持续进行，直到实现“碧水蓝天遍中华”的宏伟目标。

此届水环境与水生态科普创意大赛的优秀作品将单独成册出版。

以下是首届城市水环境与水生态科普创意大赛获奖名单：

一等奖获奖名单

类别	作者	高校	作品名
科普文章类	程明今	南京大学	秦淮水,金陵味——南京菜的水足迹
平面设计类	王乐怡	南京大学	污泥兄弟净水机
视频类	李彤	东南大学	富营养化之歌

二等奖获奖名单

类别	作者	高校	作品名
科普文章类	刘祥祥	哈尔滨工业大学	5分钟带你了解“海绵城市”
	米艺华	中国矿业大学	生活污水处理——水哥奇遇记

续表

类别	作者	高校	作品名
平面设计类	修丽雪	天津大学	保护水体环境 谨防富营养化
	翟浩然	中国矿业大学	让水更清,让天更蓝
视频类	吴艳霞	南京工业大学	走近金陵水
	王俊童	同济大学	了不起的海绵城市

三等奖获奖名单

类别	作者	高校	作品名
科普文章类	朱丽萍	同济大学	污水洗澡记
	闫楠	扬州大学	尚善——一滴泪珠的奇幻漂流
	裘东升	浙江大学	杭州水环境的拯救法宝
平面设计类	余笙平	哈尔滨工业大学	城市水循环流畅科普等作品集
	郝子傲	中国矿业大学	变小的老杀手——“水中的 PM2.5”
	熊翌灵	北京师范大学	水足迹科普海报集
视频类	王雪凝	南京大学	水中的“离子买卖”
	牛思齐	哈尔滨工业大学	水宝旅行记
	沈桐羽	大连理工大学	净水之道,且听我说

单项奖获奖名单

类别	作者	高校	作品名
科普文章类	束寅慧	中国矿业大学	一条小河的自述
	郭慧宁	大连理工大学	探访故乡的客人
平面设计类	印天成	南京工业大学	保护水环境,从你我做起,从现在做起!
视频类	王玉芹	南京理工大学	涸辙之鱼,和则知鱼
	李海昕	同济大学	水处理科普小课堂