

我国污水处理业的发展历程与未来展望

文 / 王洪臣

控制水污染是一个社会可持续发展的基础，而污水处理是控制水污染的主要手段。我国的污水处理始于20世纪20年代，至今已近百年，但直到最近10年才得以高速发展，我国一跃成为污水处理大国，取得了举世瞩目的成就。展望未来，污水处理现状离可持续发展的要求仍相距甚远，需要进一步加大投入力度，提高污水处理总体水平，控制水污染。

我国污水处理业发展历程

按照不同时期的特点，我国污水处理业发展历程大致可分5个历史阶段。

1920—1949年，开始出现污水处理厂

1923年建成的上海北区污水处理厂是中国第一座城市污水处理厂，该厂位于上海市欧阳路681号，占地0.84公顷，日处理能力为3500立方米，尾水排入沙泾港。此后几年，东区污水处理厂和西区污水处理厂相继建成，日处理量分别为1.7万立方米和1.5万立方米，处理后尾水分别排入黄浦江和苏州河。以上三座污水处理厂的处理工艺均采用活性污泥法，离1914年英国发明活性污泥法不到10年。此后多年，不仅再没有建设污水处理厂，而且排水管道建设也很少。到1949年，全国排水管道总长度仅为6034千米，各地主要靠明渠或河道排处雨污水。

1950—1960年，建设综合整治工程及一级污水处理厂

这一时期的主要特点是在脏乱差的老城区建设污水收集管道，截留污水，整治改造城市黑臭河湖，改善城市环境。著名的综合整治工程有北京龙须沟、天津赤龙河和四通河、上海肇家浜、南京秦淮河、武汉黄孝河、广州玉带濠等。另外，这期间还建设或开始建设了一批一级污水处

理厂。如北京高碑店一级污水处理厂，日处理规模40万立方米，包括提升泵站、格栅、旋流沉砂池和初沉池等设施。北京酒仙桥一级污水处理厂还建设了污泥厌氧消化池，将排出的污泥经厌氧消化后进行农田利用。

1961—1978年，利用污水灌溉进行污土地处理

这一时期的主要特点是通过污水灌溉，进行污土地处理。典型的污水灌溉区有北京东南郊污水灌溉区、天津武宝宁污水灌溉区、辽宁沈抚污水灌溉区、山西整明污水灌溉区以及新疆石子污水灌溉区等大型污灌区。1957年，当时的建工部与农业部及卫生等部门把污水灌溉列入了国家科研计划。60年代，有关部门还曾在北京高碑店污水处理厂召开了“亚、非、拉国际污水灌溉研讨会”。鉴于污水灌溉的风险，1972年，国家在石家庄召开的全国污水灌溉会议，提出了“积极慎重”的污灌方针，并制定了污水灌溉暂行水质标准，以应对污水灌溉的风险。这阶段的另一个特点是建设了一批生物氧化塘污水处理工程。一些地区将坑塘洼地或废弃河道进行修整，建成稳定塘等自然净化设施，对城市污水进行初步净化处理。典型的有齐齐哈尔、呼和浩特、长沙、武汉、保定等城市的氧化塘，全国氧化塘污水处理规模达到了173万立方米/日。这期间，排水管道建设也有所进展，全国排水管道总长度达到19600千米。

1979—2000年，开始全面与国际接轨

这一时期，我国污水处理行业开始与国际接轨，并实现快速发展。70年代末，北京高碑店和天津纪庄子两座生产性试验厂先后建成，两地污水处理设计、研究及教学单位的技术人员联合开展大规模科学研究，探索污水处理技术路线，为

我国污水处理面临着许多问题亟须解决，破解这些关键问题也是我国污水处理业未来的发展方向。

城镇污水处理行业是一个高能耗、高物耗行业。

我国停止关于氧化塘、一级强化和二级处理的争论，明确将二级生物处理作为污水处理的技术路线奠定了基础。1984年，经过数年规划建设的天津纪庄子污水处理厂正式投入运营，这是全国第一座大型城市污水处理厂，设计规模24万立方米/日，采用标准活性污泥工艺，运营稳定，环境效益显著。此后，中央政府相继采取了将国际贷款（赠款）向污水处理倾斜、国债资金支持、开征并不断提高污水处理费、以BOT方式进行市场化融资等加速污水处理发展的产业政策，确保了污水处理建设资金的需要。随着北京高碑店、天津东郊、成都三瓦窑、杭州四堡、沈阳北部、郑州王新庄等大型污水处理厂的建成投入运行，我国污水处理行业开始全面与国际接轨。

2001—2010年，污水处理业高速发展

进入21世纪以来，国家全面加大了水污染治理力度。陆续将淮河、海河、辽河和太湖、巢湖、滇池（三河三湖），松花江流域、三峡库区及上游（一江一库），以及南水北调水源地及沿线等流域列为国家重点水污染防治地区，这些流域内的污水处理厂得以迅速建设。2008年，国家又将黄河中上游纳入重点防治流域，编制了《黄河中上游流域水污染防治规划》，使重点流域水污染防治规划覆盖的总面积达到全国国土总面积的40%左右。重点流域的各级政府按照综合治理规划，组织实施水污染综合防治，治理重点是全面建设城镇污水处理工程。

另一方面，国家在“十一五”期间开始实施了“节能减排”战略，提出在“十一五”末期将化学需氧量（COD）总排放量在“十五”末的基础上降低10%，并将减排指标层层落实到各省、市、县。为完成国家下达的减排指标，各地纷纷

采取措施，加速建设污水处理厂，全国污水处理步入高速发展状态。到2010年底，全国设市城市和县城共建成2842座城镇污水处理厂，总处理能力为12762.9万立方米/日。全国有1034个县的城关镇建成了污水处理厂，占县城总数的63.2%，16个省（自治区或直辖市）实现了“每个县（市）建有污水处理厂”的目标。2010年，全国污水实际总处理量343.7亿立方米，日均处理量1.01亿立方米，负荷率78.78%。全年COD消减量921万吨，生化需氧量（BOD）消减量395万吨，氨氮消减量70.4万吨，总氮消减量57.6万吨，总磷消减量10.5万吨，产生了巨大的环境效益。“十一五”期间，中国污水处理能力平均以20%以上的速度高速增加，创造了污水处理的世界最快建设速度。表1显示了“十一五”期间污水处理逐年变化状况。

污水处理业未来展望

我国污水处理虽已获得巨大发展，形成了国家污水处理设施总体框架，但仍然面临着许多问题亟须解决，破解这些关键问题也是我国污水处理业未来的发展方向。

污水处理能力将持续快速增长

2010年，美国共有污水处理厂14770座，总处理能力为1.6亿立方米/日，实际处理量为1.29亿立方米/日。目前，中国在建污水处理厂约1200座，设计总处理能力3000万立方米/日。全部建成后，我国总污水处理能力将达到1.5亿立方米/日，接近目前美国的污水处理能力。但是，我国人口基数是美国的5倍，还处在城镇化快速发展过程中，而美国已经完成了城镇化进程。我国“十二五”的城镇化率目标为51.5%，城镇人口将超过农村人口，城镇污水量持续增加，污水处理厂的建设也必将持续高速发展。在新建污水处理设施中，中小城镇和农村的污水处理设施将是建设的重点。保守估计，我国未来至少需要建设20000座小型污水处理设施。

提标改造现有污水处理设施

在我国建成投入运营的2842座污水处理厂中，按一级A标准设计500座，总处理能力为1526万立方米/日，占12%；按一级B标准设计1543座，总处理能力为5674万立方米/日，占44%；按二级

表1 “十一五”期间污水处理逐年变化

年度	污水处理量 (亿立方米)	COD消减量 (万吨)	氨氮消减量 (万吨)	总氮消减量 (万吨)	总磷消减量 (万吨)
2006	163	483	28.9	18.5	4.9
2007	188	526	31.4	20.7	5.6
2008	234	647	42.3	29.3	6.7
2009	281	780	54.9	41.8	8.6
2010	344	921	70.4	57.6	10.5
总计	1210	3358	227.9	167.9	36.3



> 我国污水处理设施的提标改造将是一项持续的长期任务

标准设计637座，总处理能力为4489万立方米/日，占35%。具有脱氮除磷功能的一级A和一级B共2043座，总处理能力为7200万立方米/日，占56%。随着水环境质量要求的不断提高，一大批污水处理厂需要增加脱氮除磷功能，所有按二级标准设计的污水处理厂需要提升到一级A或一级B排放标准；部分按一级B标准设计的污水处理厂需要提升到一级A标准。纵观发达国家，特别是美国的水污染治理历程，持续不断地提高污水处理深度是普遍趋势。2008年，美国50%的污水处理能力达到深度处理，在切萨皮克湾和墨西哥湾等重点流域全面实施超深度处理的提标改造，使出水总氮低于3毫克/升，总磷低于0.01毫克/升。北欧国家85%的污水处理厂已达到深度处理，中欧国家也已有50%的处理厂实现深度处理，一批污水处理厂正在进行超深度提标改造。随着美国许多流域开始执行严格的营养物标准《Numerical W/Q Standards for Nutrients》，研究界正在大力开发基于技术极限的处理技术（LOT），为污水处理超深度提标改造提供技术支撑。

基于国际经验，我国《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918）中最严格的一级A标准仍不能满足水环境质量改善的需求，尤其是太湖、巢湖和滇池等敏感水域。目前，巢湖流域的王小郢污水处理厂正在进行提标改造，设计出水

总氮为5毫克/升，基本达到超深度水平。在北方缺水地区，基于水资源可持续循环利用的需要，现有污水处理设施也亟须提标改造。北京正在将现有处理厂出水全面提升到地表水环境质量的Ⅲ类水质，基本恢复其使用功能，纳入水资源统一调度。我国污水处理设施的提标改造将是一项持续的长期任务。

提效改造现有污水处理设施

城镇污水处理行业是一个高能耗行业。美国城镇污水处理行业年总电耗超过200亿千瓦时，达到全社会总电耗的3%，占城市总电耗的15%以上。我国虽然污水处理率较低，处理等级也不高，但2011年总电耗也已达100亿千瓦时。另外，城镇污水处理还是一个高物耗行业，美国污水处理年消耗聚丙烯酰胺等化学药剂高达5万吨，我国也已超过3万吨。高能耗物耗除增大了处理成本外，还使污水处理成为一个不可忽视的碳排放源。2007年，美国排放温室气体71.5亿吨碳当量，污水处理能耗物耗导致的间接碳排放和处理过程产生的甲烷、一氧化二氮等直接碳排放总计1.02亿吨，占到全社会总排放量的1.42%。因此，通过提效改造降低能耗物耗，实现低碳污水处理，已经非常必要。

美国污水收集与处理的单位电耗平均为每立方米0.32千瓦时，污水处理平均为每立方米0.28千瓦时，其余为污水收集电耗。我国污水处理单

我国《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918）中最严格的一级A标准仍不能满足水环境质量改善的需求，尤其是太湖、巢湖和滇池等敏感水域。

随着城镇化水平的提高，污水处理量持续增加，“十二五”将突破3000万吨。



> 到1949年，全国排水管道总长度仅为6034千米，各地主要靠明渠或河道排处雨污水

位电耗为每立方米0.26千瓦时，略低于美国单位电耗。但是，我国污水处理厂进水污染物平均浓度仅为美国的60%，处理深度相差较大，污泥绝大部分没有处理处置，因此我国去除单位污染物的能耗将远高于美国，能效很低。按照发达国家的实践，采用现在的高效工艺设备及控制系统对原有处理设施进行提效改造，可使污水处理单位能耗和物耗分别降低10%~30%。如按20%计算，全国污水处理设施通过提效改造可实现年节电15亿~20亿千瓦时，节约聚丙烯酰胺等化学药品6000吨，可大大降低运营成本并减少间接碳排放。

加速建设污泥处理处置与利用设施

随着我国污水处理率的不断提高，污泥产量也急剧增加。2010年，全国处理污水量344亿立方米，产生污泥约2000万吨。随着城镇化水平的提高，污水处理量持续增加，“十二五”将突破3000万吨。目前，全国只对不到10%的污泥进行了卫生填埋、土地利用、焚烧或建材利用等方面的处理处置，其余大部分未进行规范化的处理处置。污泥含有病原体、重金属和持久性有机物等有毒有害物质，未经有效处理处置，极易对地下水、土壤等造成二次污染，直接威胁环境安全和公众健康，使污水处理设施的环境效益大大降低。因此，加速污泥处理处置与利用设施的建设势在必行。

关于污泥处理处置的技术路线，目前虽有争论，但经厌氧消化或好氧发酵后进行规范化土地利用已经成为主流方向，这也与国际经验一致。例如，北美地区虽然土地资源充足，但卫生填埋总体较少，污泥处理处置的技术路线一直是农用为主，且为污泥农用做了大量安全性评价工作。目前，美国16000座污水处理厂年产710万吨污泥（干重）中约60%经厌氧消化或好氧发酵处理成生物固体用做农田肥料，另外有17%填埋，20%焚烧，3%用于矿山恢复的覆盖。欧美国家目前比较明确地将土地利用作为污泥处置的主要方式和鼓励方向。土地利用主要包括三个方面：一是作为农作物、牧场草地肥料的农用；二是作为林地、园林绿化肥料的林用；三是作为沙荒地、盐碱地、废弃矿区改良基质的土壤改良。由于运输距离、操作难度等客观因素，污泥农用量又远高于林用和土壤改良。另外，欧美普遍采用厌氧消化和好氧发酵技术对污泥进行稳定化和无害化处理，50%以上的污泥都经过了厌氧消化处理，美国还另外建设了700多套好氧发酵处理设施。污泥的厌氧消化或好氧发酵为污泥的土地利用尤其是农用提供了较好的基础。HB

（作者系中国人民大学环境学院副院长、教授、博士生导师）