

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.14.005

典型发达国家合流制溢流控制的分析与比较

杨正^{1,2}, 赵杨³, 车伍^{4,5}, 陈灿^{2,3}

(1. 中国地质大学<北京> 水资源与环境学院, 北京 100083; 2. 北京雨人润科生态技术有限公司 城市雨洪管理研究中心, 北京 100044; 3. 北京雨人润科生态技术有限公司, 北京 100044; 4. 北京建筑大学 城市雨水系统与水环境教育部重点实验室, 北京 100044; 5. 北京未来城市设计高精尖创新中心, 北京 100044)

摘要: 选取长期实施合流制溢流控制,并有一定区域代表性的发达国家——美国、日本、德国,梳理其合流制排水系统改造及其溢流控制的发展历程、主要管理政策与技术策略,剖析了美国、日本、德国在合流制溢流控制的长期实践与发展过程中,针对合流制系统问题的认识、施策手段与技术策略选择等方面所呈现出的共性与差异,以期为我国不同区域合流制排水系统特征条件下的CSO控制提供借鉴。

关键词: 溢流污染; 合流制溢流控制; 合流制排水系统

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)14-0029-08

Analysis and Comparison of Combined Sewer Overflow (CSO) Control in Representative Developed Countries

YANG Zheng^{1,2}, ZHAO Yang³, CHE Wu^{4,5}, CHEN Can^{2,3}

(1. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences <Beijing>, Beijing 100083, China; 2. Stormwater Management Research Center, Beijing Yuren Rain-eco Technology Co. Ltd., Beijing 100044, China; 3. Beijing Yuren Rain-eco Technology Co. Ltd., Beijing 100044, China; 4. Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 5. Beijing Advanced Innovation Center for Future Urban Design, Beijing 100044, China)

Abstract: The United States, Japan and Germany were taken as the regionally representative developed countries implementing long-term CSO control. The development history, main policies and strategies of combined sewer system retrofit and overflows control in these countries were summarized and analyzed. The commonness and differences of the understanding of CSO issues, strategies alternatives and technical strategy selection in different countries were discussed, so as to provide reference for CSO control under the characteristics of combined sewer system in different regions of China.

Key words: CSO pollution; CSO control; combined sewer system

从世界范围看,合流制溢流(CSO)控制是国际上许多国家都长期面临的重大问题,有些已经较好地控制了溢流污染带来的影响,有些仍然深受其困扰并还在摸索之中。其中,美国、日本、德国均较早系统性地开展了合流制排水系统改造与溢流控制的

相关工作,并已取得了一定成效,总体上代表了不同区域典型发达国家对CSO问题的认识与控制水平。为此,梳理美国、日本、德国城市合流制溢流控制的主要发展历程与策略,分析这3个国家在长期实践过程中所取得的共性经验与教训,以及策略选择的

差异,对我国不同区域合流制排水系统特征条件下的CSO控制是重要的参照。

1 美国合流制溢流控制的发展历程与策略

美国大量城市合流制管网建设于19世纪后期与20世纪初期^[1]。从20世纪中后期开始,美国各城市在开发建设过程中,合流制排水系统的溢流污染问题逐渐突显。随即,从美国国家层面提出CSO控制的相关要求,各城市根据地方特点长期开展溢流控制相关工作,至今已有50余年。联邦政府和各地政府投入巨额资金,实施大量系统性改造工程,至今已经有效减少了溢流污染的排放总量,大幅降低了溢流污染的危害,但针对大量保留城市合流制系统的区域,仍在持续开展溢流控制的相关工作。

1.1 发展历程

通过梳理美国联邦政府多年来发布的CSO控制相关立法与政策、重要研究报告,以及各地在执行过程中的实际响应与反馈情况,分析美国合流制溢流控制的总体发展历程。

1965年,美国联邦水污染控制法首次在联邦法规层面提出控制合流制溢流污染,并要求各地推进开展CSO控制的相关研究与工程示范。1972年,美国联邦水污染控制法的修正案即清洁水法发布,逐步建立国家污染物排放(NPDES)许可证制度,并将CSO纳入排放许可的点源污染管控要求。但在20世纪70年代,大量美国城市点源污染控制的重点工作在于城市污水处理厂的扩建与二级处理工艺的升级改造,对CSO控制的重视程度仍不足。

20世纪80年代,合流制溢流污染带来的危害愈发突出,美国环保署(EPA)开展了多项针对合流制溢流污染特征的相关研究,发布系列研究报告,芝加哥、旧金山、明尼阿波利斯等城市也开始实施CSO控制的相关工程。1989年,美国EPA发布国家CSO控制策略,重点提出了6项基本控制措施,包括:①合规、合理的运维管理策略;②最大程度利用管网系统的能力;③评估和提升预处理能力;④最大限度地截流至污水厂处理;⑤严禁旱季溢流;⑥控制CSO中的悬浮物和颗粒物,以此作为各地申请CSO排放许可的基本技术要求。

20世纪90年代开始,美国各城市依据国家CSO控制策略要求,开展CSO控制工作,但在执行过程中却引发了诸多争议。一方面国家层面联邦政府高度关注CSO污染的危害,推进对CSO的控制;

另一方面,由于不同城市合流制系统本身及其改造条件差异较大,各城市具体负责CSO控制的市政职能部门又普遍认为国家层面CSO控制策略的可实施性与指导性仍不足。基于此,美国EPA于1992年又专门组建了咨询委员会(MAG),以协助EPA完善国家层面CSO控制的总体策略,并进一步讨论CSO控制的实施周期与投资等问题。委员会成员不仅包括EPA工作人员,还包括不同城市的管理者,以及相关技术协会的技术人员等。通过反复讨论,1992年,国家CSO控制策略在原6项基本控制措施的基础上又增加了CSO污染问题的现场探查与监测、污染的预防、CSO重点影响区域的划定3项要求。同时,考虑到CSO控制的复杂性和长期性,提出在国家层面建立CSO控制的统一框架,给予各城市一定的灵活性来制定适用于当地最经济有效的控制策略。随即在1994年,EPA在1989年CSO控制策略基础上进一步发布国家层面的CSO控制政策,该政策成为美国CSO控制的一项重要纲领性文件,沿用至今。

2000年,美国国会发布了清洁水法的修正案,即雨季水污染控制法,要求各地合流制排水系统排放许可的申请要遵循CSO控制政策的相关要求。制定9项基本控制措施(取代CSO控制策略中的6项基本措施),并需结合各地具体条件编制CSO长期控制规划(LTCP)。考虑CSO控制系统构建的复杂性,各地编制的CSO长期控制规划的实施期限一般为10~20年,并定期进行评估与优化调整。

进入21世纪后,绿色雨水基础设施受到广泛关注,2007年美国EPA正式发布声明推广绿色基础设施缓解CSO问题,并鼓励将绿色基础设施纳入CSO长期控制规划^[2]，“灰绿结合”逐渐取代传统的灰色基础设施控制理念。

1.2 合流制系统改造与溢流控制策略

1.2.1 “合改分”的决策选择

根据美国环保署2004年提交国会的针对合流制排水系统的研究报告,美国现存合流制排水系统的城市分布在32个州,主要位于美国东北部的五大湖区,以及西部发展较早的部分地区,总服务人口约4 000万人,合流制管网总长约 22.5×10^4 km。通过对污染物总量削减效果、投资金额、建设周期、改造难度与可行性等多方面的综合比较,这些城市大部分没有选择进行大范围的“合改分”工程,而是转向

对合流制溢流污染进行有效控制。

其中,纽约、芝加哥、费城等大型城市合流制排水系统服务范围占排水系统总服务范围的比例均超过60%,旧金山等城市甚至超过90%,这些城市若要实施全面的“合改分”投资巨大,耗时极长,从技术经济最优和可行性的角度,通常选择保留大部分区域的合流制排水系统,通过综合措施控制溢流污染问题,部分区域可结合区域更新改造实现局部的“合改分”。

即便部分城市的合流制区域占比较小,也必须对整体改造效果、难度和可行性进行全面分析。例如,亚特兰大市合流制排水系统服务范围总体占比不足15%,但几乎全部位于城市最高建设密度的中心城区。其在制定CSO长期控制规划时对“合改分”的可行性和预期效果进行了评估分析,如果对80%的合流制区域进行分流改造,且同时需要对雨水径流污染进行控制,与保留合流制系统新建调蓄和处理设施对CSO污染进行控制的方案进行对比,前者的总投资约是后者的2倍^[3]。因此,最终亚特兰大市未选择全面实施“合改分”,而是采用部分区域“合改分”与溢流污染控制相结合的综合方案。

值得注意的是,也有极少数城市由于其具备特定的改造条件,几乎全面实现了“合改分”。美国明尼苏达州的明尼阿波利斯市就是美国极少数通过长期全面推进“合改分”来解决合流制溢流问题的成功案例。该市合流制区域面积约15 km²,约占城市总面积的10%,面积较小。19世纪50年代—60年代,在联邦政府发布的《示范城市与大城市发展法案》的影响下,明尼阿波利斯城市管理部门大规模推进“城市重建”工程,占市中心面积约40%、跨越25个街区的区域内约200座建筑被夷为平地,对近600英里(1英里≈1.6 km)的城市街道全部进行重建,其间同步实施排水系统的改造与新建,是其决策全面实施“合改分”的重要基础条件。1986年,该市实施CSO控制项目,通过技术经济分析得出,若沿用并改造原有合流制截流干管,同时升级污水厂达到CSO控制要求,其总投资要远高于雨污分流改造。随即加快推进“合改分”,至1996年,通过10年实现了95%的合流制区域基本完成改造,剩余的5%位于城市中心城区,至2007年基本全部完成改造,虽仍剩余8个沿河溢流排口,但近10年均未再发生溢流事件,改造总历时近50年^[4]。

1.2.2 合流制溢流控制策略

CSO长期控制规划需要首先明确当地CSO具体控制目标。CSO控制政策提出长期控制规划中CSO控制目标可以通过“推定法”与“实证法”确定^[5],推定法即综合水环境保护要求与技术经济分析等,提出可实现的CSO控制水平,常以CSO总量控制或频次控制为目标;实证法则需要进一步明确与水体水质控制指标的关系,例如针对受损水体,需制定最大日负荷总量(TMDL)计划,明确合流制溢流污染负荷需达到的削减要求。

在确定CSO控制总体目标后,根据不同类型措施的溢流污染控制效果、实施可行性、投资金额,综合确定具体的溢流控制策略,涉及管网、污水厂、CSO分散处理设施、CSO调蓄设施与源头减排等各子系统控制标准的综合衔接与系统决策。美国EPA在2001年提交国会的研究报告中,对全国439个地区CSO长期控制规划进行统计,分析了不同类型技术措施的应用占比,结果如表1所示。

表1 439个地区CSO排放许可中控制措施应用情况统计(EPA,2001年)

Tab.1 Statistics of CSO control measures in 439 communities' CSO permits (EPA, 2001)

控制措施	应用地区的数量/个	在439个地区中的占比/%
雨污分流	222	51
管道修复	73	17
调蓄设施	71	16
消毒	71	16
一级强化处理	69	16
大管径调蓄管道/隧道	66	15
污水处理厂提升改造	64	15
溢流口改造	63	14
泵站能力提升	53	12
就地处理设施	31	7
注: 控制措施分为3类:①管网系统优化,占45%;②调蓄类,占25%;③处理类,占30%。		

由表1可以看出,管网系统的分流改造(包括完全分流和不完全分流)是应用最为广泛的技术措施,需要指出,这里的分流改造并非整个城市范围的全面“合改分”,而是作为技术措施的一种,大部分城市均在适宜区域进行了局部改造,以尽可能减少雨水径流入流对合流制管网系统的影响。

此外,对管网系统的优化是应用最多的设施类别。在“9项基本控制措施”中便要求城市合流制区

域首先应充分利用管网与污水处理厂的控制能力。1994年,美国EPA发布针对合流制区域污水处理厂的“混合”政策,即在达到一定排放标准要求的前提下,允许暴雨时,超过污水厂二级处理能力但未超过一级处理能力的雨污水,只经过一级处理单元处理后与二级处理单元出水混合,经消毒处理后排放。考虑到大量城市污水处理厂位于郊区,有较为充足的空间条件可以建设雨季来水的调蓄设施及一级强化处理设施,基于此,部分城市选择尽可能发挥管网的截流能力与污水处理厂的综合处理能力,由此形成的“大截流系统”在美国合流制溢流控制中具有一定的代表性。以西雅图市 West Point 污水处理厂服务的合流制区域为例,污水厂一级处理单元最大处理能力匹配的截流倍数约为4,二级处理单元最大处理能力匹配的截流倍数约为2^[6]。

绿色基础设施近年来被广泛关注,其在减少合流制系统雨水径流入流的同时,又发挥了对雨水径流的净化、下渗回补地下水等多重效益,同时与新建管网系统相比,可部分减少工程实施成本。2007年,美国EPA发布声明,推广结合绿色雨水基础设施控制CSO。多个城市在其CSO长期控制规划的修编中,也相应补充了结合绿色基础设施的实施方案。费城在2009年重新编制了CSO长期控制规划,更名为“绿城清水”计划,重点推进绿色基础设施控制CSO污染,绿色设施投资占比超过65%^[7];芝加哥于1972年开始实施深隧与调蓄水库计划(TARP),预计于2029年全部完工,届时实现溢流频次削减超过90%^[8]。2014年,芝加哥市政府发布绿色雨水管理战略,推广绿色雨水基础设施,预期通过绿色基础设施结合深隧与调蓄水库,可基本完全消除芝加哥市408个溢流口的雨季溢流。

表2 日本有合流制排水系统的城市数量及区域面积统计(1999年)

Tab.2 Statistics of the number and area of cities with combined sewer system in 1999

城市人口规模/万人	>100	50~100	30~50	10~30	5~10	<5
有合流制排水系统的城市数量/座	11	9	36	79	34	26
城市总面积/km ²	2 670	670	1 690	2 700	1 460	2 470
合流制区域面积/km ²	1 270	100	370	460	70	20
合流制区域面积比例/%	47.6	14.9	21.9	17.0	4.8	0.8

2.1 发展历程

1982年,日本国土交通省发布《合流制溢流对策暂定指南》,首次对合流制溢流控制的目标和技术措施提出了相应要求,基本与美国同期开始重视对合流制系统溢流的控制。该指南重点针对旱季污

1.3 小结

综上所述,美国在逐步认识合理推进合流制溢流控制的过程中,主要体现的特点和经验包括:①EPA始终作为主管的责任部门,持续推动国家层面针对CSO控制的立法、政策和相关管理要求,明确CSO作为重要点源污染进行管控,为制定区别于城市污水与雨水径流污染的控制要求,开辟了可行性通道;②从CSO国家策略中比较宽泛的控制要求到后期更综合的控制政策的制定,既有国家层面总体的统一控制框架,又强调了各地条件的巨大差异,各地具体采取“因地制宜”与“经济高效”的对策;③绝大部分城市仍然保留并沿用了合流制系统,未全面推行“合改分”,重点控制溢流污染,局部区域的分流改造作为综合技术措施的一部分纳入总体方案时予以考虑;④强调合流制溢流控制的长期性与复杂性,以“9项基本控制措施”与“长期控制规划”为主要手段,并建立分期实施与优化调整机制,避免走弯路和付出额外的代价;⑤技术策略上“大截流系统”在美国部分城市有一定代表性。近年来,多个城市推广绿色雨水基础设施与CSO控制相结合,通过“灰绿结合”实现总体方案在技术经济上的优化。

2 日本合流制溢流控制的发展历程与策略

日本的城市合流制排水系统大多建于20世纪60年代以前,在70年代后期大规模城市化过程中,新建城市基本采用分流制系统。日本下水道协会1999年的统计资料显示,日本有合流制排水系统的城市共195座,涉及城市类型分布详见表2。其中,人口超过100万人的城市有11座,例如,东京与大阪均保留有大范围的合流制区域(占比均超过80%)。从20世纪80年代开始,日本推进对合流制溢流的控制,至今也经历了近40年的发展。

水直排与降雨强度平均低于2 mm/h条件下的降雨溢流进行控制,要求全年旱季污水直排和低强度降雨下溢流产生的污染负荷削减95%(以BOD₅计)。技术措施侧重于完善管网系统,提高干管截流能力,兼顾溢流口、泵站、处理厂的雨季临时处理。

2000年9月,由于东京台场海滨公园合流制溢流排口周边出现大量白色油脂污染物,对东京湾造成严重的水质污染,引起社会的广泛关注。以该事件作为关键节点,后续进一步加强对合流制溢流污染的控制。2001年,日本国土交通省专门成立针对合流制溢流控制对策的研究委员会,由高校学者、地方政府官员、国土交通省工作人员等共同组成。2002年3月,该委员会发布针对日本合流制排水系统的总体研究报告,日本开始进一步制定和完善对合流制溢流控制的相关政策及要求^[9]。

2003年9月,日本国土交通省对《下水道法》进行修订,正式将合流制问题纳入法规体系,要求对合流制排水系统进行改善,并要求各城市编制针对合流制系统改善的对策计划。考虑到大、中、小城市面临的改造范围和实施难度不同,对大城市和中小城市进行了分类要求,中小城市在10年内完成改善,大城市在20年内完成^[9]。

2008年,日本政府对各城市合流制系统改善的推进情况进行了阶段评估,由于合流制系统改善面临的条件较复杂,整体实施进度并未达到预期。结合阶段性工作成果及暴露的问题,日本国土交通省于2008年发布《合流制排水系统紧急改善计划编制指南》,作为全国的重要指导性文件,进一步明确重点工作目标与技术策略,加大新技术的应用,以帮助有合流制排水系统的城市在规定期限内完成改善要求。

2013年,以《下水道法》修订10年为期进行回顾,全日本有170个中小城市、21个大都市开展合流制改造工作,总体改善率达到65.9%。2017年,日本国土交通省更新了评估数据,总体改善率达到78.9%。

2.2 合流制系统“改善”的目标与策略

2.2.1 “改善”目标

日本在2003年《下水道法》的修订版中提出了全国范围内比较明确的合流制排水系统改善目标,包括3部分:①合流制排水系统全年外排总污染负荷应等于或小于相同区域假设的分流制系统的外排污染负荷。具体评价要求为各排放口(包括所有溢流排放口和污水处理厂排口)全年外排的污染物(以BOD₅计)平均浓度不超过40 mg/L,如图1所示。②所有排放口的合流制溢流次数减半。③所有溢流构筑物需要有控制固体颗粒物的相应措施。

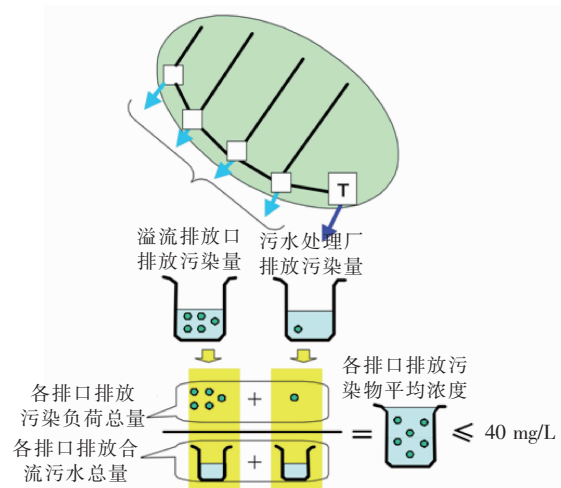


图1 日本合流制排水系统改善目标计算示意

Fig.1 Schematic diagram of calculation method for improvement targets in Japanese combined sewer system

2.2.2 “改善”策略与实施情况

① 总体策略

在《合流制排水系统紧急改善计划编制指南》中,将改善技术措施主要分为“减流类”(源头渗透设施、完全或部分雨污分流改造等)、“送流类”(管网收集与截流能力提升、污水厂处理能力提升与工艺改造、溢流排放口就地处理等)、“贮流类”(调蓄池、隧道等),在城市合流制系统改善计划编制过程中,需要基于具体城市条件,对不同技术策略的适用性、优缺点及综合效益进行分析,从流域整体分析不同措施的控制效率,并进行系统决策。具体如图2所示。

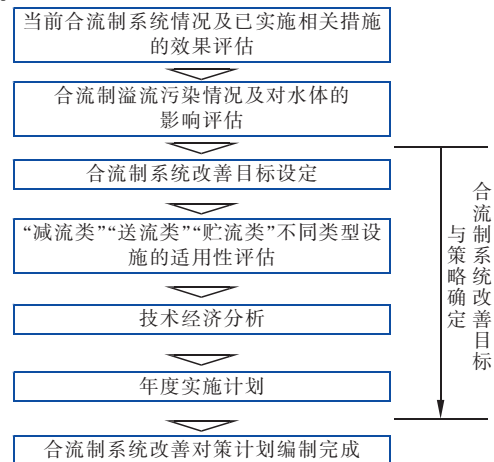


图2 日本合流制系统改善计划编制流程

Fig.2 Procedure of combined sewer system improvement plan in Japan

受台风等极端天气的影响,日本对城市排水防涝的要求较高,同时大量城市合流制区域空间极为密集,地面空间紧张,部分城市采用了大规模的深层调蓄隧道或修建大管径截流干管的方式,兼顾区域排水防涝与合流制溢流控制。东京预计至2020年达到 $150 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的调蓄容积,大阪、京都、仙台等城市也都采用了大管径调蓄干管的方式控制合流制溢流。

由于合流制系统改造涉及对居民生活、交通与城市环境等多重影响,需要较长的建设周期。为快速提高合流制溢流污染控制效率,日本很多城市在其合流制排水系统改善策略中加强了对溢流排口就地处理创新技术的应用,以及合流制区域污水处理厂雨季处理能力的匹配与工艺改造。2001年,日本国土交通省便发起了合流制溢流污染控制的技术创新项目(SPIRIT 21),主要分为4大类,即颗粒物去除、高速过滤、混凝/分离、监测与消毒,在随后3年内主要研发了24项技术,并在多座城市进行了示范应用。大阪等城市对合流制区域污水处理厂传统活性污泥工艺进行改造,发展出“雨天活性污泥工艺(3W技术)”,即雨季2倍旱季流量的污水通过一级处理后进入活性污泥法二级处理后段,合流污水中COD等污染物经活性污泥吸附,在二沉池中沉淀并回流至二级处理单元反应池净化。与传统工艺相比,雨天活性污泥法大大减少了雨季污染物的排放,SS平均减少了73%, BOD_5 减少了71%^[10]。

② 实施情况

日本制定了全国范围较为统一、明确的合流制系统控制目标与策略,但由于大城市与中小城市面临的改造规模、城市实施难度、经济代价不同,京都、东京、大阪等城市还面临特殊的建筑与街区遗产保护问题,因此实际建设过程中,即便给予了大城市更长的改造时间,但总体推进情况仍然不容乐观。

根据2013年合流制改善率统计数据,在投入大量资金并实施重大工程措施后,大阪市、京都市、东京都合流制改善率分别为51.2%、40%、65.4%,仙台市、名古屋市、广岛市等区域性中心城市改善率只有30%左右,也间接反映了各城市在不同的排水系统特征、经济水平、实施空间等条件下,合流制系统综合改造面临的难度差异较大。

2.3 小结

日本由国土交通省长期负责国家层面合流制溢

流控制的研究、总体策略的制定,以及各城市合流制系统改善情况的跟踪与评估。通过修订《下水道法》将合流制系统纳入国家法定管理要求,提出明确的控制目标,并通过要求各城市制定针对合流制系统改善的专项长期计划,落实相关控制要求,在过程中不断修正和调整。日本在对合流制溢流问题的长期研究、纳入法律进行管控、编制长期规划/计划等方面与美国合流制溢流控制有很多共通之处。

此外,由于日本国土面积较小,各城市发展水平、气候条件、排水系统差异相比美国较小。其次,城市管理普遍更高,雨水径流污染负荷较低。第三,日本人口密度极高,城市用地空间更为紧张。在充分吸收美国合流制溢流控制经验的基础上,日本基于自身特征对合流制溢流控制策略进行了调整:①日本针对各城市合流制溢流控制提出了更为具体且一致的控制要求;②更为普遍地建设大管径截流与调蓄干管或深隧,综合发挥截流、调蓄、调节、排放的综合功能;③在技术策略中重视对溢流口的改造与就地处理技术的创新,以及对污水处理厂等“末端”处理设施雨季运行工艺的改进。

3 德国合流制溢流控制的发展历程与策略

3.1 发展历程

德国现有合流制排水系统多分布于南部城市,且形成了德国特有的“合流制赤道线”^[11]。据2016年的统计数据,德国合流制管网长度占全境管网总长(含合流制管道、分流制雨水及污水管道)的53.5%,而1990年左右该比例约为71.2%,合流制管网占比下降的主要原因并非大范围实施了“合改分”,而是增加的所有新建区域均采用了分流制排水体制,原有城市的合流制区域仍基本保留,并对溢流污染进行综合控制^[12]。德国多座城市在其排水总体规划中提出利用50年实现全面“合改分”,但实际实施难度较大,进展缓慢。例如,北威州首府杜塞尔多夫市在过去20年完成的“合改分”区域占比不足5%。

德国于20世纪70年代开始大量建设CSO调蓄池进行合流制溢流控制,据1987年的统计资料,当时德国已有8000座CSO调蓄池投入运行。1992年,德国污水协会发布合流制系统控制设施的设计标准(ATV-128e),规定了不同类型调蓄设施的设计方法与参数。如今,德国已成为世界上雨水与合流制调蓄设施分布最为密集的国家之一,据2016年

的数据,德国不同类型雨水调蓄设施共 54 069 个,调蓄容积共计 $6\,078.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,人均 0.738 m^3 。

3.2 合流制溢流典型控制策略

德国合流制区域的污水排放需要依据相关要求申请排放许可,要求合流制排水系统排入水体的污染物负荷(即污水厂尾水与溢流排放雨污水年均污染负荷的总和)不大于相同区域假定分流制排水系统排入水体的年均污染物负荷(以 COD 计)。德国城市在其排水总体规划中需要提出合流制区域的系统控制策略与实施计划,且一般情况下,在规划实施的中期,需对其实施情况进行评估并对相关内容进行更新修订。

德国根据对污水处理厂污染处理效率及水力效能的长期分析,严格控制合流制区域截流干管的最大流量及污水厂处理量,尽量通过上游(特别是源头)的雨水收集及处理设施对雨水进行分散控制,减少进入合流制系统的雨水量,同时,部分分散溢流排口主要通过设置格栅、过流净化池(如调蓄池内悬空安装水力颗粒分离器等设备)或生物滤池等就地处理设施,对雨季溢流的雨污水进行处理后排放,重点去除大的颗粒物与漂浮物。

3.3 小结

德国大部分城市保留了其合流制排水系统,从 20 世纪 70 年代开始建设大量不同类型的雨水调蓄设施,在保障污水处理效能的情况下,对雨水及溢流污水的分散调蓄以及过流净化处理,成为德国合流制溢流控制的重要技术策略。

4 结语

对比美国、日本、德国对城市合流制排水系统溢流控制的发展历程和主要策略,其在对合流制系统特征的认识和总体治理思路上有一定的共性。但实施过程中,由于既存基础系统完善程度、维护管理水平、城市间发展水平和改造条件及自然条件差异等原因,不同国家在目标设定、技术手段侧重上也呈现出一定的差异。

① 充分认识合流制溢流控制的艰巨性

鉴于合流制溢流控制的复杂性,美国从 20 世纪 60 年代至今,经历了 50 余年的长期发展,至今仍在开展大量相关工作。即便日本国土面积小,合流制区域总体面积比例相对更低,也经历了近 40 年的时间,通过大量投资和系统性的重要工程建设,才比较有效地控制了合流制溢流污染。

② 专项研究和政策引导的重要性

合流制溢流控制势必面临对城市空间、建设投资、城市正常秩序以及城市居民日常生活的复杂影响。美国、日本、德国在其溢流控制发展过程中,也都曾经历国家与城市政府、各职能部门之间对溢流控制的广泛讨论和意见反复。最终,上述国家都对合流制系统问题开展了大量专项的系统性研究,并通过多职能部门、多利益相关方的广泛深度研讨,就普遍达成的共识以政策法规、专项规划、规范标准等多种途径予以落实,逐步构建较为完善的控制体系。

③ 以污染负荷削减作为总体控制目标

从上述国家目标分析,CSO 控制均围绕削减合流制系统外排污染负荷作为基本目标和总体原则。其中,日本与德国国土面积较小,城市发展水平和自然条件相似度高,在国家层面都提出了比较具体的合流制系统外排污染负荷的控制要求;美国由于国土面积大,城市差异明显,在国家层面提出了基于技术的“9 项基本控制措施”,并要求各城市在 CSO 长期控制规划中根据具体的水环境保护要求与可实现的溢流控制水平等,综合提出近远期控制目标。

④ “合改分”作为手段之一而非目标

美国、日本、德国有合流制排水系统的城市大部分选择保留原有的合流制系统,并对溢流污染进行控制,对局部“合改分”改造条件相对较好的区域,结合城市更新改造进行局部分流,这往往是作为区域溢流控制系统方案中的一项技术措施,并需与其他措施进行统筹考虑。只有极少数合流制区域,由于城市大规模重建或合流制区域较小等原因,在对改造投资、污染负荷削减情况等系统评估后,选择全面推行“合改分”,但通常也经历了较长的实施周期,改造后也需要对雨水径流污染进行单独控制。

⑤ 强调中长期规划,与适时的评估与调整

由于合流制溢流控制的工程建设系统性强、实施条件复杂、涉及巨额投资,需要对中长期的各方面影响进行系统评估与预期成效的综合分析才能做出决断。因此,基于各城市的具体条件,编制合流制溢流控制的长期规划,并持续跟踪评估其实施效果,不断补充新的技术方法,适时更新和调整合流制溢流控制的技术策略。

⑥ 因地制宜的技术策略选择

美国、日本、德国均未在国家层面对各地合流制溢流控制的具体方案和技术措施选择进行统一的规

定,强调各城市需结合实际条件因地制宜制定系统策略。不同地区由于气候条件、空间条件、基础设施建设与管理情况等方面的差异,会造成对合流制溢流控制技术策略选择上的差异。美国的城市分布总体较为稀疏,城市中心城区建设密度较高,外围郊区空间较大,合流制区域多位于城市密集的中心城区,而污水处理厂通常位于郊区,具备通过大截流与提高末端集中处理能力的方式尽可能对合流制溢流污染进行控制的条件;而德国与日本的城市密度与人口密度均高于美国,一定程度限制了大型集中污水处理厂的建设,德国总体更注重分散调蓄设施的应用,日本相对更重视对溢流排放处理技术的研发与应用,具体需要根据城市综合条件制定系统策略。

参考文献:

- [1] Tibbetts J. Combined sewer systems: Down, dirty, and out of date [J]. Environ Health Perspect, 2005, 113 (7): A464 – A467.
- [2] 程熙,车伍,唐磊,等. 美国合流制溢流控制规划及其发展历程剖析[J]. 中国给水排水,2017,33(6):7 – 12.
Cheng Xi, Che Wu, Tang Lei, *et al.* Briefing of the overflow control plan and its development of the combined sewer system in the United States [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(6): 7 – 12 (in Chinese).
- [3] Clean Water Atlanta. Why won't the city separate all the sewers? [EB/OL]. <http://www.cleanwateratlanta.org/FAQ/>, 2020 – 03 – 10.
- [4] Minneapolis Public Works. The history of stormwater and wastewater in Minneapolis [EB/OL]. http://www.minneapolismn.gov/publicworks/stormwater/overview/stormwater_overview_construction-history, 2019 – 02 – 25.
- [5] 贾楠,王文亮,车伍,等. 美国合流制溢流控制标准分析及对我国的启示[J]. 中国给水排水,2019,35(7): 121 – 127.
Jia Nan, Wang Wenliang, Che Wu, *et al.* Analysis of combined sewer overflow control standards of the United States and its enlightenment to China [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(7): 121 – 127 (in Chinese).
- [6] Department of Natural Resources and Parks, Wastewater Treatment Division, King County. West point treatment process [EB/OL]. https://www.kingcounty.gov/~media/depts/dnrp/wtd/system/Process/1801_west-point-treatment-process.ashx?la=en. 2019 – 12 – 09.
- [7] 赵泽坤,车伍,赵杨,等. 美国合流制溢流污染控制灰绿设施结合的经验[J]. 中国给水排水,2018,34(20):36 – 41.
Zhao Zekun, Che Wu, Zhao Yang, *et al.* Experiences of combination of gray – green infrastructure for combined sewer overflow control in the United States [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(20): 36 – 41 (in Chinese).
- [8] Metropolitan Water Reclamation District of Greater Chicago. Tunnel and reservoir plan [EB/OL]. <https://legacy.mwrd.org/irj/portal/anonymouse/tarp>, 2020 – 03 – 15.
- [9] Nobuyuki H, Hiroyuki S T H, *et al.* CSO control policy and countermeasures in Japan [A]. The Proceedings of 4th IWA – ASPIRE Conference & Exhibition [C]. Tokyo: RCEES, 2011.
- [10] 唐磊. 合流制改造及溢流污染控制技术与策略研究 [D]. 北京:北京建筑大学,2010.
Tang Lei. Research on Technology and Strategy of Combined Sewer System Retrofit and Overflow Pollution Control [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2010 (in Chinese).
- [11] Hansjorg B, Joachim D. Im Spiegel der Statistik: Abwasserkanalisation und Regenwasserbehandlung in Deutschland [J]. Korrespondenz Abwasser Abfall, 2016, 63(3): 176 – 186.
- [12] Christian B, Christian F, Friedrich H, *et al.* Zustand der Kanalisation in Deutschland: Ergebnisse der DWA – Umfrage 2015 [R]. Hennef: DWA, 2016.



作者简介:杨正(1990 –),男,山东潍坊人,在读博士,北京雨人润科生态技术有限责任公司城市雨洪管理研究中心主要负责人,主要研究方向为城市雨洪管理。

E – mail: yangzheng203@163.com

收稿日期:2020 – 06 – 02