

城市深隧排水系统典型案例分析

刘家宏^{1,2*}, 夏霖¹, 王浩^{1,2}, 邵薇薇¹, 丁相毅¹

1. 中国水利水电科学研究院, 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;

2. 水利部水资源与水生态工程技术研究中心, 北京 100044

* 联系人, E-mail: liujh@iwhr.com

2017-02-17 收稿, 2017-03-08 修回, 2017-03-09 接受, 2017-05-12 网络版发表

国家自然科学基金(51522907, 51279208)、国家重点研发计划(2016YFC0401401)和流域水循环模拟与调控国家重点实验室团队重点课题(2016ZY02)资助

摘要 城市深隧排水系统是一种能够有效缓解城市内涝问题、解决雨洪和溢流污染的重要措施。该系统在国外多个国家已经有了较为成熟的应用, 取得了一些值得借鉴的经验。近几年国内许多城市暴雨内涝事件频发, 也使得对城市深隧排水系统的研究更为重要。通过对城市深隧排水系统原理以及国内外典型工程应用案例的介绍和总结, 可为我国今后在深隧排水系统建设及运行中更好地发挥其减污、防涝综合作用提供技术支撑。目前深隧工程在模拟评价、调度管理以及与其他工程的联合设计等关键技术问题上已取得了一些成果, 但仍面临着管网衔接、施工地质、地下大容量泵站建设、运行管理等一系列技术问题, 这是城市深隧排水系统未来发展的关键所在, 同时也为今后的研究指明了方向和目标。总的看来, 城市深隧排水系统研究在我国具有迫切的现实需求和广阔的应用前景, 需要结合我国各城市特点进行系统规划和建设。

关键词 城市内涝, 溢流污染, 深层隧道, 排水系统, 典型案例

随着全球气候变化、城市化进程的不断推进, 城市排水系统能力不足和排水标准偏低等问题日益凸显, 城市暴雨内涝、溢流污染等事件频繁发生, 不仅对道路交通、居民出行造成困难, 更引发了下水水体黑臭等灾害, 严重威胁着城市的发展和人民的生命财产安全^[1]。为有效解决这一问题, 对城市原有排水系统的改造和完善刻不容缓。但受空间条件、改造费用、施工影响等因素的限制, 对浅层管网改造难度较大且效果不甚明显。

城市深隧排水系统作为一种缓解内涝问题的方式, 在国外已有了多年实践应用的历史, 且延伸出更广泛的用途。我国多个城市也已展开了有关研究和规划, 计划以深隧排水系统来解决城市的内涝问题, 消除溢流污染, 根本改善水质, 增强城市防涝能力。

目前, 城市深隧排水系统在国内的研究处在刚起步阶段, 要通过对国外在深隧排水系统设计、使用等方面取得的经验教训和关键科学问题进行总结, 并结合国内各城市自身特点进行系统讨论。深隧排水效果模拟评价、调度运行等关键问题也需要进行深入的探讨和研究^[2]。

1 城市深隧排水系统工作原理

城市深隧排水系统主要由主隧道、竖井、排水泵组、通风设施、排泥设施5部分组成。其中, 主隧道用于合流污水、初雨和暴雨的调蓄、输送; 竖井作为合流污水或暴雨径流通过浅层管网管进入深隧的进水点; 排水泵组用于转输、放空或排洪; 通风设施用于隧道在充水过程中排气; 排泥设施位于隧道尾端,

引用格式: 刘家宏, 夏霖, 王浩, 等. 城市深隧排水系统典型案例分析. 科学通报, 2017, 62: 3269–3276

Liu J H, Xia L, Wang H, et al. Typical case analysis of deep tunnel drainage system in urban area (in Chinese). Chin Sci Bull, 2017, 62: 3269–3276, doi: 10.1360/N972016-00908

用以清除积泥. 这5大部分相互配合, 各司其职, 使得深隧系统发挥作用. 图1是泰晤士河深隧系统设计示意图.

深隧排水工作原理可分为两大工况. 首先在降雨时, 将多余雨水经由竖井送入到地下的深层隧道, 以此来减轻浅层排水管网的压力, 减少城市路面积水, 防止发生内涝影响交通运输; 其次在降雨停止时, 通过泵站将降雨时隧道内存储的雨污水输送到浅层管网中, 从而进入地面污水处理厂进行雨污水处理.

作为缓解城市内涝的一种先进手段, 深隧排水系统有许多优点. 在对城市建设方面, 深隧工程能够避免路面开挖, 对交通和环境的破坏可降低至最小; 同时, 有效地避免工程与现有的地下公用设施或基础设施产生冲突; 此外, 由于隧道的布设避开了建筑物桩基, 可以采用直线设计, 不会受现有路网影响, 且节约了土地资源. 在对雨水处理方面, 深隧系统可有效提高排水管网的截流倍数, 控制面源污染. 但深隧工

程并不是完美无缺的, 也存在一些不足之处, 如初期工程费用投资较大、需要配建大容量的污水提升泵站、系统运行管理较为复杂, 且污水提升成本较高; 容易产生污泥沉淀淤积, 需要设计深隧清理方案; 清理维护成本较高, 每次使用过后, 需要进行清理维护等.

2 国内外城市深隧排水系统研究及实践

2.1 国外城市深隧排水系统

(i) 芝加哥深隧工程. 美国第三大城市芝加哥位于湿润性大陆季风气候区, 年平均降水量约为 965 mm, 主要集中在夏季. 由于雨季内涝频繁发生, 初雨和溢流污染严重, 对其饮用水源地——密歇根湖造成严重污染. 原有的截污管线截留倍数低, 大暴雨时仍有污水进入河道, 溢流污染发生的概率大约为每年100次, 对河道造成严重污染. 因此, 芝加哥投资建设了一套长176 km、直径2.5~10 m、埋深45~106 m

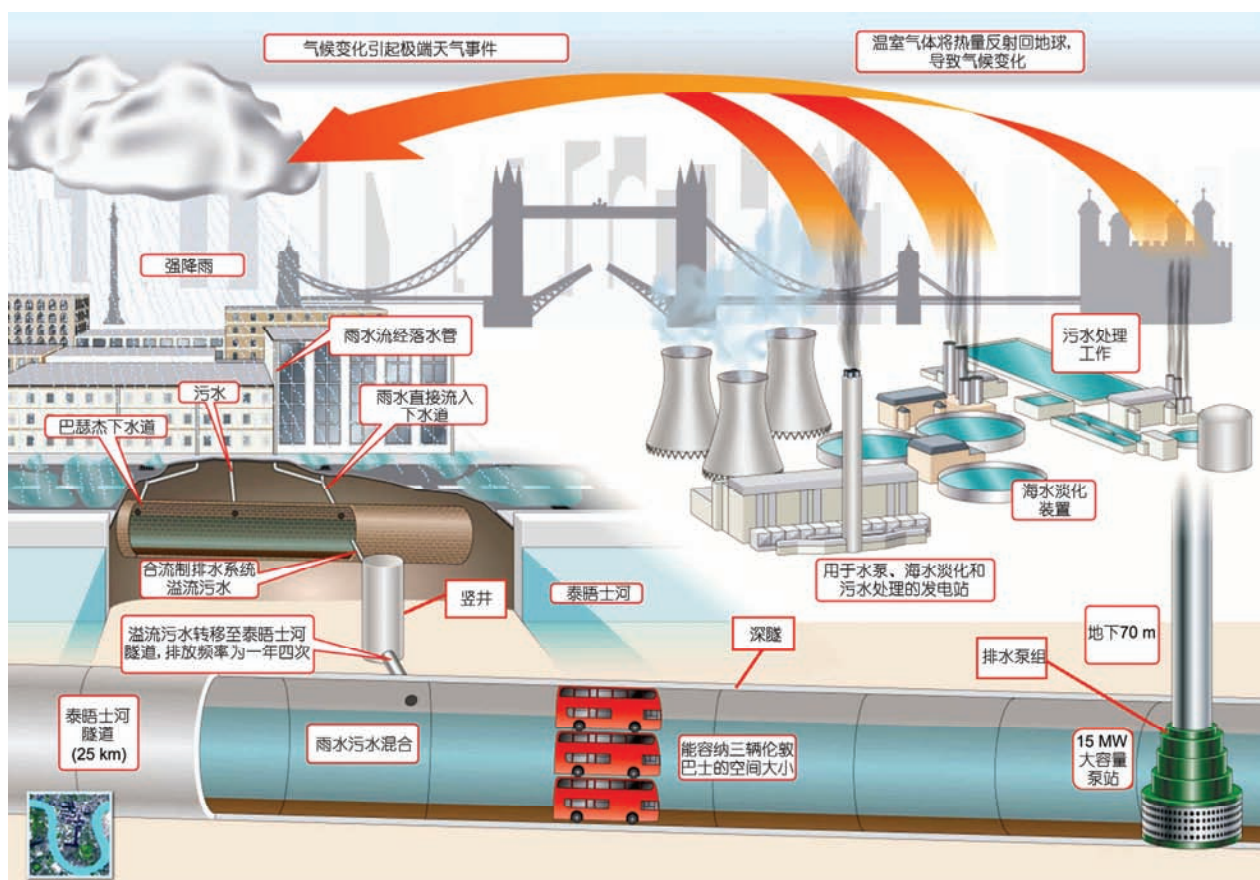


图1 (网络版彩色)泰晤士河的深隧系统设计示意图

Figure 1 (Color online) Diagrammatic sketch of deep tunnel system design in Thames river

的深隧系统,旨在减少因污水溢流对水体造成的污染,同时为雨洪提供出水口以减少城市内涝.芝加哥深隧工程设置竖井264个,直径1.2~7.6 m;排水泵站3座,最大的泵站流量 $378 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,提升扬程107 m;地面连接设施超过600个.通过竖井及深隧收集,减少溢流点405处.收集的雨水通过3座调蓄水库被输送到一个 $450 \times 10^5 \text{ t/d}$ 的超大规模污水处理厂(图2),处理达标后的雨水最终排入自然河流^[3].工程实施后,有效减轻了芝加哥的城市内涝和水体污染,对保护密歇根湖发挥了重要作用.美国芝加哥市是世界上最早、最成功的采用地下深隧技术的城市,芝加哥的成功经验也在美国的其他城市得到推广和应用^[4].

(ii) 伦敦深隧工程. 伦敦是英国的首都,同时也是欧洲最大的城市.伦敦跨泰晤士河下游两岸,面积 1605 km^2 ,属温带海洋性气候,年降水量约594 mm,人口密度为5285人/ km^2 .伦敦的下水道系统始建于150多年前,但由于城市人口和面积的增加,原有的排水系统已不足以支持城市发展需要,甚至导致泰晤士河污染问题严重,溢流频发,2007年伦敦政府确定了伦敦泰晤士深层隧道工程方案^[4,5].

该工程投资36亿英镑,计划2023年建成.深层隧

道长度22 km,两端高度差为20 m,隧道直径7.22 m,调蓄容量 $85 \times 10^5 \text{ km}^3$,隧道埋深35~75 m^[6].工程建成后泰晤士河的溢流次数将由目前每年60次减少到4次(https://en.wikipedia.org/wiki/Thames_Tideway_Scheme),大幅提高污水收集能力,有效减少合流制溢流带来的污染,有效地改善泰晤士河水体环境^[7~9].

(iii) 巴黎深隧工程. 法国巴黎市从1833年开始着手规划市内下水道系统网络,其地下排水系统建于1856年,总长达2347 km.城区下水道均建于地面以下50 m处,纵横交错;管道设计采用多功能设计理念,中间是排水道,两旁是供检修人员通行的通道.城区内6000余个地下蓄水池均统一编号,由专业人员负责维护^[10].巴黎下水道建设创造性地使用了1.5~6 m的大尺寸管道断面设计,因此目前仍能满足排水的需要,旱季污水和雨季洪水均能顺利排放.此外,其还在管道上方预留了安装电力、供水等其他管道的空间,大大提高了地下空间的利用率^[4].

(iv) 新加坡深隧工程. 新加坡地处热带,多年平均降水量为2355 mm,降水充沛,其地势低洼且四面环海,因此经常遭受水淹威胁困扰.新加坡现存的问题主要包括:(1) 污水处理厂小而分散;(2) 污水



图2 (网络版彩色)芝加哥Stickney污水处理厂($450 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$)

Figure 2 (Color online) Stickney sewage treatment plant in Chicago with processing capacity of $4.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$

处理设施距离居民区较近,容易产生臭味污染;(3)城市用地紧张,限制了污水处理设施的扩建,等.针对现有问题,新加坡政府采取措施拟建设一条48 km、直径6 m、埋深20~55 m的污水隧道,以及50 km长的污水连接管,将所有污水收集输送到一座 $80 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 的污水厂处理.工程建成后有助于置换原有分散的污水厂和泵站用地,从而用于城市建设,同步提升周围物业的土地价值.目前新加坡深隧工程已完成一期工程建设,二期工程在2014年签订了建设合同,正在施工之中^[11,12].

(v) 日本部分城市深隧工程. 日本的隧道排水系统到现在为止已建成4条深隧,分别为首都圈外围排水深隧(江户川)、东京都环状七号地下深隧(和田弥生干线)、寝室川南部地下深隧以及今井川地下深隧,其长度共计约23.9 km,调蓄量达 $218 \times 10^5 \text{ m}^3$.其中江户川排水深隧工程始建于1992年,总投资约200亿人民币,由地下隧道、5座竖井、调压水槽、排水泵房和中控室组成,最大排洪流量可达 $200 \text{ m}^3/\text{s}$.除此之外还有规划及正在施工中的3条深隧,分别为矢上川地下深隧调节池、鹤见川地下深隧以及东京都古川地下深隧调节池,总长度为11.26 km,调蓄量约 $64 \times 10^5 \text{ m}^3$.

2.2 国内城市深隧排水系统

(i) 广州深隧工程. 广州市地处中国东南部,面积为 7434 km^2 ,年降水量约为1720 mm,人口1350万.随着城市建筑密度加大和人口数量增多,导致雨污分流的难度大且效果不明显.一方面,现有管网截流倍数偏低、截污不彻底,污水处理厂之间也缺乏联合运行调度的基础管网条件;城市面源污染十分严重.另一方面,广州市由于城市扩张和发展,地表硬化率增加使雨水入渗量急速下降,地表径流明显增大;城市热岛效应、雨岛效应进一步加剧了强降雨等极端天气发生的概率;城市内涝日益严重.内涝叠加溢流污染,广州市原有排水系统的瓶颈问题逐渐暴露出来.多年来,城市建设和水务管理等部门通过管网改造,尽力消除水内涝积水点,但鉴于老城区浅层地表基本已经被各种管线覆盖,可利用的空间极其有限,征地拆迁和管线迁移所需要的费用极高,工程实施对中心城区交通影响较大,因此通过浅层管网改造全面提升广州市排涝能力的难度较大.此外,面对截污不够彻底、河涌水质不稳定、老城区雨污分流困难、初雨污染和溢流污染频发等问题,沿用传统的

治水方法也不能根本改善珠江和河涌水质.

针对广州市老城区“截污”和“内涝”两方面的排水问题,在保留并充分发挥现有排水系统和河涌水系作用的基础上,广州市开展了深隧排水系统研究.在考虑了东濠涌流域地理位置、地质条件、流域范围等因素后,在东濠涌南段沿涌西侧道路敷设一条长约1.77 km、内径5.3 m(外径6 m)的深层排水隧道,在隧道末端设置一座提升泵站,建造了东濠涌分支隧道试点工程.该工程能够基本消除初雨和溢流污染,将东濠涌支涌的开闸次数由每年60次减少到3~5次,提高全流域排水标准至10年一遇.通过深隧道排水技术的应用,可达到改善河涌水质,并较大幅度地提高排水、防涝标准,保障城市水安全^[13].

(ii) 北京深隧工程. 北京市是全国政治、文化、科技创新中心城市,面积 16410 km^2 ,气候为典型的北温带半湿润大陆性季风气候,全年降水基本集中在夏季6~8月,7,8月多有大雨.随着北京市城市化发展和局地降水特征演变,北京城市内涝问题日趋严峻.为应对城市内涝问题,北京市采用地下空间滞蓄利用雨洪.在积水点多发、且对城市安全运行要求较高的地区分别建设地下滞蓄水涵,在城区下凹式立交桥区建设地下调蓄池.北京市共计划在中心城清河、坝河、通惠河、凉水河各流域建设主要雨水调蓄工程272处,规划调蓄规模约 $2300 \times 10^5 \text{ m}^3$.为减轻超标降雨给城区“东排”增加的排涝压力,根据中心城河流水系特点及近年积水分布情况,提出在城市西部建设以分流消峰为主的排水廊道(西部深隧)、在城市东部建设以蓄滞为主的调蓄廊道(东部深隧).

北京西部深隧系统解决的是城市南部凉水河水系内涝问题,其作用为消减洪峰、降低河道水位,具体解决北京西客站暗涵过流能力小的“瓶颈卡口”问题、丰草河流域建成区面积增大导致的入河流量增加问题,以及莲花河、玉泉营等立交桥积水问题.北京东部深隧系统解决的是清河、坝河、通惠河、凉水河4大排水体系东部的内涝问题,能够有效增加雨洪滞蓄、控制下泄量和加强流域间的联合调蓄,具体针对的是局地暴雨和降雨在南北流域分布不均问题、十里河等立交桥积水问题,以及由于中心城排涝标准提高至50年一遇使沿途流量增加,导致的温榆河和北运河出口流量限制问题.

总的来说,北京市中心城的防洪排涝工程呈现为“两纵四横、一环双网、多点两廊”的总体格局,其

中“两廊”指的就是上述两条埋深于地下30~50 m的排水隧道,能有效地改善北京城市内涝和初期径流污染等问题。

(iii) 武汉深隧工程。武汉市地处长江中下游平原,总面积8594 km²,梅雨季节雨量集中,降水充沛,多年平均降水量1260 mm。由于长江和汉江在此交汇,武汉市的地下水位较高,使得下渗比较困难。汛期时境内河流、湖泊水位上涨,水不易由城市管网排出,致使武汉市汛期内涝频发。

为减轻城市内涝压力,武汉市通过开发规划地下空间,规划在地下45 m以下修建深隧通道,同时修建两个污水提升泵站和15个竖井,调蓄容量102×10⁵ m³,覆盖面积达119.6 km²。通过深隧工程,将降雨时超标溢流的水量储存在管道中,避开内涝的高峰期。待降雨停止后再提上来输送到浅层管网,进入地面污水处理厂处理后排到城市下游,从而减轻城市内涝和水污染的压力。

(iv) 深圳深隧工程。截至2015年底深圳市共建成运行集中式污水处理厂31座,污水处理能力达到479.5×10⁵ m³/d;建成排水管渠11634 km,比2007年增加了近一倍。然而由于标准较低,内涝依然十分严重。深圳前海湾地区由于水污染问题严重,加之汛期时地面各类垃圾混着雨水流入河道,纳污能力不堪重负。随着前海自贸区的发展,入住的企业越来越多,未来水环境压力还将增加。同时前海地质复杂、工程繁多,排水系统的边界条件也随之发生了较大变化。为有效决前海湾问题,深圳市正在规划建设前海-南山排水深隧系统工程,隧道长度约4.1 km,设计流量110 m³/s,隧道直径约6.2 m(外径约6.9 m),还设置关口渠、郑宝坑渠、桂庙渠及3号渠竖井共4座,污水提升泵站一座。既解决了地质条件复杂多变带来的工程建设问题,也为前海水质达标提供了有力保障。

(v) 香港深隧工程。香港经济社会发展迅速,为迎合城市排水需要,香港采取了许多措施,其中就包括香港荔枝角雨水排放隧道项目。该项目是在西九龙腹地拦截地表径流,并通过不同埋深的隧道将截取的径流直排入维多利亚港湾,以此缓解市区排水系统的负荷。工程内容包括一条长度2.5 km、内径4.9 m的分支隧道,一条长度1.2 km、内径4.9 m的主隧道,6个进水竖井,静水池,出水口。该工程可抵御50年一遇的超强降雨,有效减低了香港维多利亚湾

区的内涝风险。

3 城市深隧排水系统的关键问题

3.1 深隧排水系统效果模拟评价技术

深隧排水系统的应用多是为了解决城市排水系统能力不足问题,缓解日益严重的城市内涝。在城市内涝突出、溢流污染严重等背景条件下,深隧排水工程的使用能否有效地解决相应问题,也就成为了关注的焦点所在,这同时决定着深隧排水系统是否要建、如何去建等关键问题。通过科学研究准确合理地评估深隧排水系统的工程效果是深隧规划的首要问题,因此亟需研发建立深隧排水系统模拟评价技术。

深隧排水系统效果模拟评价多以城市水文过程模型为辅助工具。城市水文过程模拟模型的应用主要集中在城市产汇流与暴雨内涝过程方面,通过将整个城市的水循环看作一个系统,运用水文学耦合水动力学的方法来描述这一系统中的有关水文过程和水循环通量。目前应用较广泛的城市水文模型包括SWMM模型、Infoworks ICM和Mike Urban模型等。利用城市水文模型可进行城市暴雨径流预报、污水排放的环境效应分析、城市雨水污水排水设计、城市管网的水流过程以及城市水循环和伴生过程模拟,并据此来评价分析深隧排水系统在不同降水情景下的排水防涝及污染物削减效果,以便更好地对工程方案进行优化。这种模拟评价技术刚刚起步,目前在武汉城市深隧排水系统规划中发挥了一些作用^[14]。在规划城市排水深隧时,利用城市水文模型对深隧防涝与控污功效进行评价和分析,对工程的设计和运行具有较大的参考价值。

3.2 深隧调度运行及清淤技术

深隧排水系统的设置一般配有主隧道、竖井、排水泵组、通风设施、排泥设施5个部分。深隧调度运行过程中的水力调控是系统安全、高效运行的首要问题。深隧在启用过程中一般处于带压运行状态,且在频繁调度过程中处于非恒定过渡过程的时程较长,其水力学问题较为突出;因此需要进行不同运行工况的水动力学仿真和防水锤设计,确保各管段的极限压力位于深隧可承受的安全压力阈值区间。城市深隧排水系统运行的关键问题是:不同标准降水情景下的深隧起用边界条件及运行调度技术,以及深

隧防淤积设计及清淤方案的选择. 由于城市的发展, 排水系统的边界条件在不断发生变化, 对深隧系统的使用也会产生一定影响, 在深隧工程使用上是一个不可忽视的问题, 要谨慎处理不同标准降水情景下的深隧起用边界条件. 在降雨停止时, 隧道内存储的雨污水还需要经由泵站输送到浅层管网, 进入地面污水处理厂处理, 因此需要及时根据实时情况进行调试, 做到灵活调度. 除此之外, 深隧排水系统的管道尺寸较大, 埋深也较深, 为保证其正常运行, 隧道沉积物的清理也是一个重要问题, 它直接关系到隧道的正常运行和效益发挥. 为了尽量减少清淤工作量, 需要对隧道进行防淤设计, 包括流速、坡降等水动力学参数设计.

3.3 深隧与郊区地表调蓄工程及超大型污水处理厂的联合优化设计

为了充分发挥深隧的蓄滞、排涝和水资源综合利用功能, 需要配建大容量的泵站、大型调节池以及超大规模的污水处理厂等配套设施. 这些配套设施需要统一规划、同时设计、同时施工、同时投入运用. 应充分利用城市郊区的调蓄工程和土地资源, 建设超大型污水处理厂, 优化城市污水处理系统布局. 这种联合优化设计, 由深隧管道将污水收集后集中输送至郊区污水处理厂, 避免了城市污水处理厂分散而占用城市土地资源的问题, 从而能够更好地进行城市建设.

3.4 城市深隧排水系统建设面临的技术问题

目前城市深隧排水系统建设面临着不少技术问题: 一是管网衔接问题, 深隧管道布设在地下深层, 需要考虑如何与地下浅层原有排水管网衔接; 二是工程地质问题, 地下深隧工程往往要在岩层交界面上施工, 未来成都深隧建设就需解决在沉积层和基岩层交界面施工的难题; 三是地下大容量泵站建设的关键技术, 深隧排水系统运行要求地下泵站启动快、马力足, 由于泵站容量较大, 采用电网供电易使电网负荷过大而瘫痪, 因此需要选择内燃机, 这就面临着内燃机改造技术方面的问题; 四是运行管理问题, 深隧管道深埋地下, 使用频率较低但保障程度要求较高, 这就对深隧管理调度系统提出很高的要求. 如何找出妥善应对上述4方面问题的解决办法是城市深隧排水系统未来发展和建设不可忽视的关键难题.

4 结论与展望

城市深隧排水系统是应对城市雨洪问题的一项有效措施, 是一个系统工程, 有优点也有缺点. 对于已建成使用的各个深隧排水系统, 目前既有共识也有分歧. 基本达成共识的是: 深隧排水系统具有强大的抽排作用, 能够很好地解决城市排水、溢流污染、内涝等问题. 分歧之处在于其建设运行成本的不同认识: 一派观点认为其建设投资大、运行费用高、使用频率低、调蓄容量小, 弊大于利; 另一派观点则认为深隧建设可以避免大规模征地拆迁, 总体建设费用比建设浅层排水系统更低, 运行时可大大减轻城市内涝, 减灾效益巨大, 经济上利大于弊. 因此, 深隧排水系统建设需要根据各个城市的具体情况进行全面深入的分析、比较, 确定是否要建, 建设多大规模, 充分考虑如何更好地提高深隧系统使用效率和投资效率等问题.

城市深隧排水系统目前在国内外都有了一些应用案例, 这些工程按其功能作用大致可分为3类: 第1类为排水并减少溢流污染, 如伦敦、新加坡和巴黎深隧工程; 第2类为防治城市内涝, 如日本部分城市 and 香港深隧工程; 第3类为减污和防涝功能兼而有之, 如芝加哥深隧工程. 充分发挥深隧的排水、减污、防涝等综合作用是我国进行深隧排水系统建设的目标, 国内广州、深圳、武汉、成都等深隧系统规划和设计都遵循了这一理念.

在对深隧排水工程不断地研究实践中, 城市深隧排水系统的关键问题也受到了广泛关注. 主要包括: (1) 采用SWMM, Infoworks, Mike Urban等城市水文模型, 对不同降水情景下深隧的排水防涝和污染物削减效果进行模拟评价; (2) 不同标准降水情景下的深隧起用边界条件的确定及深隧运行调度技术、深隧防淤积设计及清淤方案选择等; (3) 利用城市郊区的调蓄工程和土地资源, 建设超大型污水处理厂, 以达到深隧与郊区地表调蓄工程及超大型污水处理厂的联合优化设计; (4) 城市深隧排水系统建设面临的管网衔接、工程地质、地下大容量泵站建设及运行管理等技术问题.

综上所述, 深隧排水系统在解决城市内涝和溢流污染等方面能够发挥重要作用, 且工程效果显著. 国外的实践经验可以借鉴, 但并不能完全照搬, 如何更好地结合我国各城市自身特点, 使城市深隧排水系统发挥最大的功效, 需要进一步深入研究探讨.

参考文献

- 1 Liu J H, Wang H, Gao X R, et al. Review on urban hydrology (in Chinese). Chin Sci Bull, 2014, 36: 3581–3590 [刘家宏, 王浩, 高学睿, 等. 城市水文学研究综述. 科学通报, 2014, 36: 3581–3590]
- 2 Lu Z Y, Che W, Tang L, et al. Application of stormwater tunnel to control of urban flooding and combined sewer overflow (in Chinese). China Water Wastewater, 2013, 29: 35–40 [鲁朝阳, 车伍, 唐磊, 等. 隧道在城市洪涝及合流制溢流控制中的应用. 中国给水排水, 2013, 29: 35–40]
- 3 Ding L Q, Wang H, Li N, et al. Evolution of deep stormwater storage tunnel projects in the united states and its reference value to China (in Chinese). China Water Wastewater, 2016, 10: 35–41 [丁留谦, 王虹, 李娜, 等. 美国城市雨污蓄滞深隧的历史沿革及其借鉴意义. 中国给水排水, 2016, 10: 35–41]
- 4 Men X, Li D, Zhang J. Construction status and inspirations of deep tunnel drainage system both at home and abroad (in Chinese). Hebei J Ind Sci Tech, 2015, 32: 438–442 [门绚, 李冬, 张杰. 国内外深隧排水系统建设状况及其启示. 河北工业科技, 2015, 32: 438–442]
- 5 Tauschinger A, Watson P, Willetts G. Channel tunnel rail link: Contract 320-Thames tunnel (in Chinese). Tunnel, 2003, 11: 12–14 [Tauschinger A, Watson P, Willetts G. 海底隧道铁路链: 320 合同段——泰晤士河隧道. 隧道, 2003, 11: 12–14]
- 6 Mccann B. Poised for planning: The Thames Tideway tunnel. Water, 2010, 21: 56–58
- 7 Kochan B. Getting UK's first super sewer consented. Planning, 2015
- 8 Newman T, Bellhouse M, Corcoran J, et al. TBM performance through the engineering geology of the Lee tunnel. Geotech Eng, 2016, 169: 299–313
- 9 Myles D. Deal of the month: Thames Tideway tunnel. Int Financial Law Rev, 2015, 34: 39
- 10 Wang G, Zhou Z Y. Application and key technology overview of the city deep tunnel for drainage and water storage (in Chinese). Spec Struct, 2016, 33: 74–79 [王刚, 周质炎. 城市超深排(蓄)水隧道应用及关键技术综述. 特种结构, 2016, 33: 74–79]
- 11 Flanagan R, Schmidt B, Tee T B. Major sewer tunnel construction beneath Metro tunnels in Singapore. In: Proceedings of Geo-Engineering for Underground Facilities. ASCE, 1999
- 12 Shani W. Sewer tunnels in Singapore prove tough testing ground (in Chinese). Tunnel, 2004, 1: 30–31 [Shani W. 新加坡污水隧洞证明是棘手的试验地层. 隧道, 2004, 1: 30–31]
- 13 Lin W J, Zhao J F, Wu H Y. Analysis on the effect of Donghaochong deep tunnel for reducing the initial rainfall pollution (in Chinese). Pearl River, 2014, 35: 72–75 [林文杰, 赵俊凤, 吴慧英. 东濠涌深隧工程对初雨污染的减排效果初探. 人民珠江, 2014, 35: 72–75]
- 14 Yu Z E. Environmental impact and environmental effect on reducing waterlogging risk and controlling overflow pollution analysis of deep tunnel engineering in Wuhan city (in Chinese). Dissertation for Master Degree. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2015 [喻卓尔. 武汉市深隧工程环境影响评价及其防涝与控污功效分析. 硕士学位论文. 武汉: 武汉理工大学, 2015]

Summary for “城市深隧排水系统典型案例分析”

Typical case analysis of deep tunnel drainage system in urban area

LIU JiaHong^{1,2*}, XIA Lin¹, WANG Hao^{1,2}, SHAO WeiWei¹ & DING XiangYi¹¹ State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;² Engineering and Technology Research Center for Water Resources and Hydroecology of the Ministry of Water Resources, Beijing 100044, China

* Corresponding author, E-mail: liujh@iwhr.com

Urban rainstorm-waterlogging events were becoming more common and more difficult to control in the past decade. With the inadequate capacity of urban drainage system and the low standards of drainage planning, it is urgent to reform and improve the original drainage system. However, due to the constraints of space conditions, construction costs, environment interference and some other factors, it is not easy to transform the original drainage system and the effect is not obvious. Urban deep tunnel drainage system is an important method to alleviate urban waterlogging, as well as the initial runoff pollution and overflow pollution. The research on urban deep tunnel drainage system is necessary and important, especially in rapid urbanizing countries like China. The preliminary planning and studies have been done in several cities in China with the aim of solving urban waterlogging problem by urban deep tunnel drainage system. This kind of system has already been applied maturely in many developed countries/cities, such as Singapore, Chicago, London and so on. These applications can provide many experiences and lessons for Chinese engineers and researchers. By introducing the work principle of urban deep tunnel drainage system and analyzing its design and uses at home and abroad, this review provides technical support of deep tunnel system to reduce pollution and waterlogging. From the typical cases investigated in this paper, they confirmed that the urban deep tunnel drainage system could play a multiple role in urban waterlogging control and reducing overflow pollution. For example, in London, Paris, Singapore, they are used for drainage and the pollution control of overflow; in Tokyo and Hongkong, they are used for urban waterlogging control; in Chicago they are used both for waterlogging control and overflow pollution control. Although the experience of foreign countries and cities can be used for a reference to the system's development in China, it cannot be completely copied. Besides, this review paper also points out the direction and main goals for the future research on urban deep tunnel drainage system. There are four key problems analyzed on its development, which are involved in both technical problems and management approaches. Some achievements have been made in urban hydrological simulation and evaluation technology, but this kind of technology has just started and has not been widely used. Scheduling management and joint design with other projects like sewage treatment plant are other two important parts that are directly related to the normal operation and efficiency of the tunnel. And it still faces many of unavoidable technical problems such as geological problems, operation management problem, etc. The review has summarized the key issues for researchers to understand the principles, development status and key problems of urban deep tunnel drainage system. It has certain reference value not only to the planning/design of urban drainage system, but also to the construction of the Sponge city. In the serious situation of the urban waterlogging as well as the initial runoff pollution and overflow pollution, it can be conducted that the research of urban deep tunnel drainage system has urgent practical needs and broad application prospects in China. Moreover, how to combine the characteristics of each city and find property solutions to the key problems still need further study.

urban waterlogging, overflow pollution, deep tunnel, drainage system, typical cases

doi: 10.1360/N972016-00908