

中国城市排水之问

芮孝芳, 蒋成煜

(河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘要:论述城市雨洪的形成、洪涝的基本类型以及城市排水系统的水文学和水力学基础。总结了
中国城市排水存在的主要问题:城市发展快速、粗放;城市建设重地表轻地下;排水系统设计标准偏低
且升级困难;城市建设防汛意识淡薄,灾害预警能力不达标等。提出了若干解决中国城市排水问题
的措施:从整体上规划布局地下排水管网建设;修订暴雨强度公式,提高排水设计标准;实施雨污分
流,整治城市河道;改造不透水下垫面,增加渗透铺装、绿地和湿地面积;建立长效管理体制,加强灾
害预警等。

关键词:城市洪涝;城市排水系统;水文学;水力学;排水设计标准;低影响开发

中图分类号:TU992 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)05-0001-05

Problems of urban drainage in China//RUI Xiaofang, JIANG Chengyu (College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The formation of urban floods, the basic types of urban floods, and the basic hydrologic and hydraulic theories for research of urban drainage systems are discussed. The main problems of urban drainage in China are summarized as follows: urban cities develop with rapid and extensive patterns, people pay attention to construction of buildings on the ground but ignore construction of underground drainage networks, the design criteria of drainage systems are relatively low and are difficult to upgrade, the city's flood prevention consciousness is weak during city construction, and the disaster warning capabilities are substandard. Several ideas and measures to solve these problems are suggested: the underground drainage networks should be constructed with overall planning, the rainstorm intensity formula should be revised to improve the design criteria of drainage systems, rainfall-sewage separation should be implemented and urban rivers should be regulated, surface infiltration should be increased, greenbelts and wetland areas should be protected and expanded, and a long-acting management mechanism to enhance disaster warning should be established.

Key words: urban flood; urban drainage system; hydrology; hydraulics; design criterion of drainage system; low impact development

近年来,中国城市发生特大暴雨的概率似在增加。给人们留下深刻印象的城市特大暴雨有重庆 2007 年“7·16”暴雨、济南 2007 年“7·18”暴雨、广州 2010 年“5·07”暴雨、南京 2011 年“7·18”暴雨、北京 2011 年“6·23”暴雨和 2012 年“7·21”暴雨、天津 2012 年“7·25”暴雨等。在济南 2007 年“7·18”暴雨中,7 月 18 日 17:00 至 19:00 2 h 降雨量达 150 mm,创历史记录,致使南北向 10 余条主干道顿时变成河流,水深最大处达 1 m 多,地势最低的泉城广场积水超过 2 m,泉城广场的银座地下商城积水达 1.7 m。北京市 2012 年 7 月 21 日 10:00 至 7 月 22 日 8:00,22 h 降雨量全市平均达 170 mm,暴

雨中心房山区河北镇 22 h 降雨量高达 460 mm,均为 1950 年以来最大。这场特大暴雨致使部分山区山洪地质灾害暴发,泥石流横行;市区 63 处主要路段严重积水,其中积水超过 30 cm 的路段有 30 处;多处下水道井盖被冲翻,路面塌方 31 处。这两次城市特大暴雨均造成重大损失。城市特大暴雨引发的积水淹水问题、山洪泥石流问题,不仅影响社会的经济发展,而且威胁人民生命财产的安全。能否经受住倾盆大雨的考验,是检验一个城市排水系统是否发达的标准。破解中国城市下水道危机,科学地解决中国城市排水问题已成为中国城市化进程中必须重点解决的问题之一。

1 城市洪涝的形成及分类

诱发洪涝的关键性因子是暴雨。暴雨特征与下垫面条件的共同作用形成了洪涝。图 1(a) 是不同强度的暴雨降至同一流域形成的洪水过程:暴雨强度越大,形成的洪峰流量越大,峰现时间越早,洪水历时越短。图 1(b) 是同样的暴雨降落在面积相同、形状不同的流域上形成的洪水过程^[1]:扇形水系流域形成的洪峰流量最大,峰现时间最早,洪水历时最短;羽毛形水系流域形成的洪峰流量最小,峰现时间最晚,洪水历时最长;混合形水系流域形成的洪峰流量、峰现时间和洪水历时介于扇形和羽毛形之间。图 1(c) 是同样的暴雨降落在面积、形状相同,但坡度不相同的两个流域上形成的洪水过程线,陡坡流域形成的洪水过程线比缓坡流域形成的洪水过程线洪峰流量大,峰现时间早,洪水历时短。

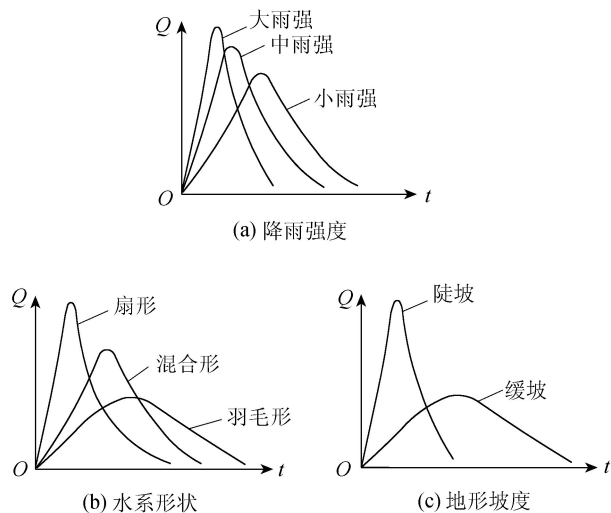


图 1 影响城市洪水的 3 个因素

按照暴雨特性和下垫面条件,城市洪水一般可分为内涝型洪水和山洪型洪水两类。当地面坡度较缓、汇流速度较小时,若排水不及,会出现内涝,这样的洪水称为内涝型洪水;当地面坡度较陡,暴雨强度较大,由于汇流速度快,会产生巨大的冲击力,这样的洪水称为山洪型洪水。山洪一般又分为普通山洪和泥石流山洪^[2]。普通山洪是指流速很大(可达 5~10 m/s),但泥石流含量小于 1.3 t/m³ 的山洪;泥石流山洪是指洪水与泥石流同时发生,泥石流含量超过 1.3 t/m³ 甚至高达 2 t/m³ 的山洪。内涝型洪水多发生在平原城市的低洼地区;山洪型洪水易发生在山区城市的陡峻山区,其中泥石流山洪一般发生在地表覆盖疏松、地质构造比较破碎的陡坡地区。

2 城市排水系统及原理

在城市排水系统(图 2)中,城市地面被建筑物

和道路分割为一个一个集水区或汇水区。集水区是城市流域降雨产汇流的基本单元。每个集水区至少有 1 个受水口。受水口一般位于集水区地面高程的最低处,它既是集水区降雨产流量的汇集点,又同时是出口处。受水口接受的由集水区形成的降雨径流,经竖井流入地下管网。根据受水口位置高程,集水区形成的降雨径流进入其中可以自排,也可以通过水泵机排。一个城市常常布设多个地下管网,这些相对独立的地下管网通过串、并联构成了城市整体或局部的地下管网。一个个地下管网又以多个出水口与城市的排洪河网相连接。按照地下管网出口高程与河网水位的关系,城市降雨径流进入排洪河网也有自排和通过水泵机排两种形式。这样就构成了一个对城市经济社会正常有序运行起重要保障作用的城市排水系统。由此可见,城市的排水系统一般由集水区、受水口、地下管网、排洪河网、泵站等组成。

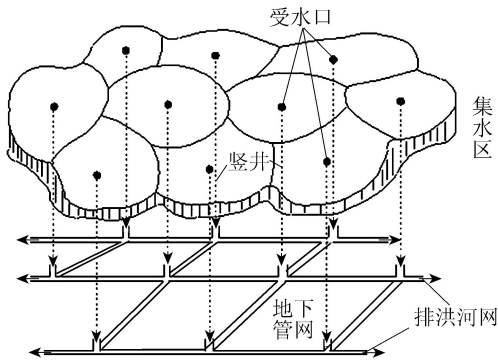


图 2 城市排水系统

作为城市流域降雨产汇流基本单元的集水区,由于其面积一般较小,可以忽略流域汇流作用,因此,一场暴雨形成的受水口的入流量过程即为暴雨过程。受水口的出流量过程需要通过水力计算或模型试验确定^[3]。图 3 是一场暴雨过程中集水区受水口的入流量过程与其出流量过程的对比图。由图 3 可见,一场暴雨形成的受水口入流过程虽然一定,但受水口出流过程将随受水口的形状、大小及有关水力因素如积水深、与地下管网的衔接形式等而变。如果受水口的出流量等于一场暴雨形成的入流过程的峰值,那么这场暴雨所形成的受水口的入流量就能顺利通过受水口进入地下排水管网,地面不产生

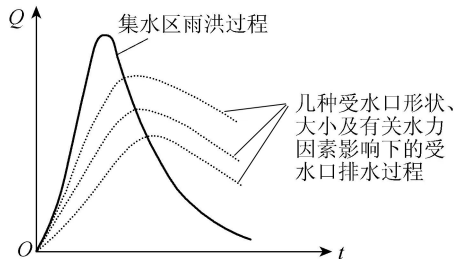


图 3 受水口形状、大小及水力因子对其排水的影响

积水;反之,如果受水口的出流量小于一场暴雨形成的入流过程的峰值,那么这场暴雨就会在地面形成积水。图4表示一场暴雨过程中积水量和积水深的变化过程,由此可以看出最大积水深出现的时间及这场暴雨造成的地面积水时间。暴雨产生的径流经受水口进入地下排水管网后,就成为管网水流,最终通过管网出口排入河道,成为河道水流。

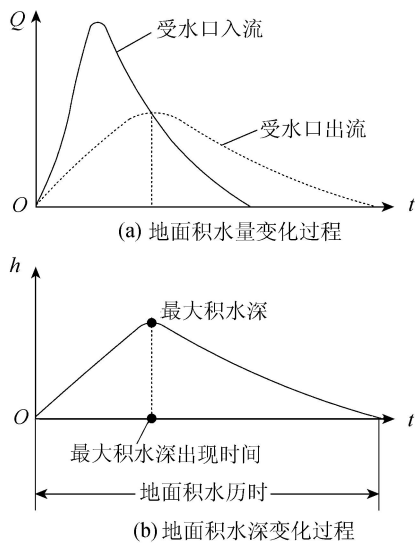


图4 地面积水现象

地下排水管网中水流很复杂,它不仅具有呈空间分布的多个入流点和多个出流点,存在各条管道水流的相互干扰和与河道水位的复杂顶托,而且有时为有压流,有时为无压流,有时有压流和无压流并存。由此可知,城市排水系统中的水流运动主要涉及水文学原理和水力学原理^[1,3]。

受水口出流不仅与集水区的暴雨及其产汇流有关,而且受地下排水管网的影响,地下排水管网又受到河道水位变化的制约。因此,只有它们之间协调畅通,才能保证排水系统的有效运作,充分发挥排水系统的应有功能。

3 城市排水问题分析

城市排水系统为什么不给力?每逢暴雨,为什么许多城市“不堪一击”?笔者认为主要有以下几方面原因。

a. 城市发展快速、粗放。据报道,2000年北京建成面积仅为700 km²,2010年则达到1400 km²,10 a增加了1倍。从全国范围看,照现在的发展速度,中国的城市化率从28%提高到75%预计只需30 a,而英国的城市化率从26%提高到70%用了90 a,法国城市化率从25.5%提高到71.7%、美国城市化率从25.7%提高到75.2%均用了120 a。中国城市化进程快速,这样的跨越式发展,容易滋生“粗

放”的现代化城市管理。在城市发展过程中,如不能顾及长远,必然会出现问题。

b. 城市建设重地表轻地下。中国的城市建设力度虽然不断加大,但往往重视地面高楼建设,而忽视地下管网建设;注重城市华丽外表,较少关注城市内在品质。对“下水道是城市的良心”,“一个城市美好不美好,都能在下水道里找到答案”,“没有一流的下水道,就没有一流的城市”等城市发展理念缺乏必要的认识。北京“7·21”暴雨后,国外媒体曾有这样的评论:“中国城市化显然并未把地下排水设施规划排在投资清单的前列”,是否确实如此,值得思考。

c. 排水系统设计标准偏低,升级困难。中国约有70%的城市排水系统最多只能抵御1年一遇的暴雨,即使像北京天安门广场、奥林匹克公园这样重要的城市地标,也只有5年一遇的防洪标准。而发达国家城市的排水系统标准远高于此,纽约的排涝标准是10~15年一遇,巴黎的排水系统至今已运营150余年,仍有强大的排涝功能。中国明代在北京团城内建设的排水系统距今已有600余年,在北京遭遇“7·21”暴雨时仍然运行良好,未发生水浸现象。相比之下,中国城市近年来建设的排水系统的设计标准明显偏低。此外,城市早期兴建的地下排水管网多为合流制,由于排放废污水的侵占,合流制地下排水管网的实际排放雨洪的能力还得打个折扣。虽然近些年来比较强调分流制,但截至目前分流制地下排水管网所占的比重仍较小。

历史上中国没有哪座城市是以下水道为立市之基^[4],而巴黎和伦敦当初之所以成为一个城市,不是因为地面高楼,而是因为下水道,世界上流传着“找到了下水道才算个城市”等立市理念。由于这种立市理念的长期缺失,北京、上海、广州等城市目前已建成的长达3870 km、8100 km和6000 km的地下排水管网几乎都达不到5~10年一遇的设计标准,要对这样庞大的地下排水管网提档升级,其难度可想而知,极需科技与资金的支持。

d. 防汛意识淡薄,对产生的新问题认识不足。城市化必将使原有的地形地貌发生变化,由于不透水面积的增加和汇流条件的改变,同样的降雨,径流量和洪峰流量将增大。填埋河道、垃圾阻塞河道、建设侵占河道等情况时有发生,屡见不鲜,大幅度减小了排洪河道的过水行洪能力。当采用下沉式立交桥方案进行道路设计时,未考虑配备良好的排水系统,甚至桥区最低点的高程比行洪河道的水位还低,例如北京市78座下沉式立交桥桥区的最低点就低于河道水面。不少新建小区未按标准新建排水设备,

而是盲目接入原有的市政管线,从而埋下了隐患。

e. 灾害预警能力不达标,预警信息传达不到位。城市管理与城市建设同样重要,有了一流的下水道,还需要一流的管理作支撑。这种管理包括硬件和软件两个方面,而且软件与硬件同等重要。城市是一个庞大的系统,灾害考验着城市管理者的智慧。在我国城市管理软件建设中,灾害预警传播机制是一个软肋,普遍存在预警信息不灵敏、信息网络不健全、综合减灾应急处置有而不专、多而不实等问题。

4 若干建议措施

4.1 做好城市排水系统的整体规划布局

由受水口、地下管网、排水河网和泵站组成的城市排水系统是一个复杂的系统。根据城市地形地貌、水系分布等特点,处理好排水管网与受水口、排水河网、泵站之间的关系,各片区管网之间的关系,以及排水工程与其他市政工程之间的关系,构建合理、优化的城市排水系统,以获得高效的排水效率,同时节省投资,改善环境。在过去相当长时间里,许多城市的排水系统往往缺乏统一规划,顾此失彼,头痛医头,脚痛医脚。对于那些未按现代立市理念进行整体规划的城市排水系统,需及时补上规划这一课。

4.2 修订暴雨强度公式,提高排水设计标准

我国在过去相当长时间内,采用年多个样法来选取城市短历时暴雨频率计算的样本。根据GB 50014—2006《室外排水设计规范》,年多个样法是这样从总体中抽取样本的:“每年每个历时选择6~8个最大值,然后不论年次,将每个历时子样按大小次序排列,再从中选择资料年的3~4倍的最大值作为统计的基础资料。”然而,该方法存在以下不足:①以次作为重现期不明确,以年作为重现期不合适。原因分析如下:地球绕太阳一周为1年,1年既是气象变化的一个轮回,也是水文循环的一个轮回^[1]。如果在地球上某地设置水文站连续观测降雨强度的变化历时,通过1年的观测可以获得降雨强度的年内变化过程,从中可以摘取不同历时的最大值。由于诸多不确定因子的存在,这种降雨强度年内变化过程逐年各异,不同历时的最大值逐年也不相同。如果这种不确定性是随机不确定性,那么降雨强度年内变化过程就是一个随机过程,从中摘取的不同历时的最大值所构成的序列就是一个随机序列。随机过程和随机序列均为随机现象。由于年多个样法不是1年取1个样,对这样的样本以次作为重现期不明确,以年作为重现期更不合适。②难以保证所选样本有较好的独立性和随机性。由概率论和数理统计知识可知,随机现象的规律性可用其

分布函数来描述。但如果不能掌握随机现象的总体,而只能已知总体中的一部分,那么怎样来推断其分布函数呢?数理统计学就是为这种需求发展起来的一门学科。根据从总体中抽取的样本的分布特性来推断总体的分布特征就是数理统计学的基本任务^[5]。为实现这一基本任务,数理统计学要求从总体中抽取样本时满足随机性、独立性。年多个样法难以保证由此取得的样本有较好的独立性和随机性。

GB 50014—2006《室外排水设计规范》^[6] 2011年修订版明确指出:“有条件的地区可用30年以上的雨量系列”研制城市暴雨强度公式,“暴雨样本选择方法可采用年最大值法”。笔者认为,这是对原规范的一项重要修正,因为采用年最大值抽样,不仅样本的独立性、随机性较好,较年多个样法更符合数理统计方法的理论基础。而且,由工程实践可知,对于某一年,只要按这年的最大暴雨强度设计排水管网,那么这一年就不会发生城市内涝;对于某两年,只要按这两年的最大暴雨强度设计排水管网,那么这两年就不会发生城市内涝;以此类推。因此,年最大值选择法以年作为重现期符合工程实际。

4.3 实施雨污分流,整治城市河道

广义的城市排水包括排泄雨水径流和排泄废污水两种情况。所谓合流制就是排泄雨水径流和排泄废污水合用一套排水系统。合流制排水系统不仅不利于城市水环境乃至整个大环境的保护,而且客观上降低了排水系统排泄雨水径流的能力。尽快全面实施雨污分流,不仅能明显改善城市环境,而且可以提高现状排水管网系统排泄雨水的标准,提高其设计重现期。南京市实施的雨污分流工程已说明了这一点。

整治城市排水河道也十分重要。由于种种原因,城市河道消失严重,堵塞严重,侵占严重。城市河道是城市排水系统十分重要的组成部分,是城市雨水径流之归宿。因此,保持城市河流水流畅通,时刻处于吐故纳新之中,不仅能改善水环境,而且必然有利于提高排水管网系统的排水能力。

4.4 改造不透水下垫面,增加渗透铺装、绿地和湿地面积

在传统的概念中,城市化进程加快意味着不透水面积的快速增加,这不可避免要大幅度增加原有排水管网的排水压力。如何在城市发展进程中尽可能少增加不透水面积,以及如何改造原有的不透水面积,不仅是城市建设的新理念,而且是解决城市排水问题的重要措施之一。有计划地对城市人行道、机动车道、停车场、运动场、市民广场等实行渗透铺装改造,适当增加绿地和湿地面积,不仅有利于减少

城市不透水面积,发挥临时蓄滞洪作用,而且对改善城市环境十分有利,可谓一举多得。

对于一般城市,绿地和湿地的增加是有一定限度的,但渗透铺装改造却有很大潜力。渗透铺装是指采用透水性较好的材料铺设路面,使雨水能较快下渗到土壤中,以减少地面径流,增加土壤水分涵养。国内外实践表明,这是一种减少城市地面径流、调控城市排水的“低影响开发”^[6-9]。研究表明,不同的渗透铺装,其地面径流削减率是不同的,美国北卡罗来纳州东部 KISTON 公共服务区停车场的试验结果表明,对于相同的降雨强度,沥青路面的地面径流削减率只有 34.7%,而现浇透水混凝土路面的地面径流削减率可达 99.9%,混凝土格子砖路面的地面径流削减率为 98.2%,连锁混凝土路面砖路面的地面径流削减率为 99.3%。南京市目前使用的径流系数一般为 0.65,如果通过改造不透水下垫面,增加绿地和湿地面积,使径流系数减小到 0.50,那么目前运行中的排水管网即使不扩大,排水标准的设计重现期也会有明显的提高。增加渗透铺装、绿地和湿地面积,还有利于城市雨水资源的利用,可谓一举两得。

5 结 语

本文简述了城市雨洪的特点,分析了中国城市排水系统存在的主要问题,提出了一些提高城市排水能力的建议措施。提高城市的排水能力是一项系统工程,需要提高对城市排水系统重要性的认识,注重城市整体规划布局及排水管网的整体优化,在城

市扩张的背景下要充分考虑规划的前瞻性。建议修订暴雨强度公式,提高排水设计标准;实施雨污分流,整治城市河道;改造不透水下垫面,增加渗透铺装、绿地和湿地面积;建立长效管理体制,加强灾害预警。

参考文献:

[1] 芮孝芳. 水文学原理[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2004.

[2] 左东启,江景波,严恺,等. 大辞海:建筑水利卷[M]. 上海:上海辞书出版社,2011.

[3] 许萌椿,薛朝阳,胡德保,等. 水力学:工程流体力学[M]. 南京:河海大学出版社,2009.

[4] 破解下水道危机[N]. 大众数字报,2010-07-06(4).

[5] 丛树铮. 水科学技术中的概率统计方法[M]. 北京:科学出版社,2010.

[6] GB50014—2006 室外排水设计规范[S].

[7] BRUEN M, YANG J. Combined hydraulic and black-box models for flood forecasting in urban drainage systems[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2006, 11(6): 589-596.

[8] CLARY J, QUIGLEY M, PORESKY A, et al. Integration of low-impact development into the international stormwater BMP database[J]. J Irrig, ASCE, 2011, 137(3): 190-198.

[9] 孙艳伟,魏晓妹, POMEROY C A. 低影响发展的雨洪资源调控措施研究现状及展望[J]. 水科学进展, 2011, 22(2): 287-293. (SUN Yanwei, WEI Xiaomei, POMEROY C A. Review of current research and future directions of low impact development practices for storm water[J]. Advances in Water Science, 2011, 22(2): 287-293. (in Chinese))

(收稿日期:2013-05-15 编辑:骆超)

· 简讯 ·

2013 城市防洪国际论坛将于 2013 年 10 月在上海举办

为了建立城市防汛排涝应急管理措施,加强城市雨洪控制利用和科学管理,提高对气候变化和突发灾害的应对能力,由中国工程院土木、水利与建筑工程学部及中国土木工程学会、中国水利学会、中国土木工程学会市政工程分会、中国土木工程学会水工业分会共同主办的 2013 城市防洪国际论坛将于 2013 年 10 月在上海举办。主办者希望通过该活动交流经验,分享国内外城市雨洪管理的先进技术和低影响开发(LID)的理念,从城市防洪的工程与非工程两个方面共同探索城市防洪排涝的发展方向,期待在未来最大限度地减轻城市洪涝灾害的损失,开发利用水资源,共同构建人水和谐绿色未来城市。

会议主题为全面提高城市防洪排涝能力,内容包括:①当前我国城市防洪排涝面临的形势和挑战及可能的对策;②全球气候变暖对城市防洪的影响及发展要求;③国内外城市洪水灾害管理经验;④城市防洪排涝工程体系规划与管理;⑤城市雨洪控制利用系统规划与管理;⑥科学制定城市防洪排涝标准;⑦城市防洪排涝工作预警预报系统和应急联动系统;⑧城市防洪排涝风险管理、投资机制;⑨基于物联网控制的 urban 管网监控研究;⑩新方法、新技术及新材料在防洪工程中的应用。

论坛欢迎各界人士踊跃投稿,录用论文将在《中国市政工程》正式出版。

详情可登录 <http://www.cqtmjz.cn/learn/show-441.html> 查询。

(本刊编辑部供稿)