

城市陆域排水防涝体系构建方法与技术关键探讨

徐连军, 张善发, 朱砂砾, 高原, 李兵

(上海市城市建设设计研究总院, 上海 200125)

摘要: 从城市内涝的概念出发, 分析了城市内涝的定义与控制指标; 提出了城市内涝防治与城市陆域排水防涝体系构建的主要任务; 分析了城市陆域排水防涝系统的构成, 对城市陆域排水防涝系统的规划设计流程与各步骤的设计计算进行了论述与说明, 进而对其中的关键技术环节——内涝灾害控制标准的确定、设计暴雨的推求、已建管网排水标准的提高、设计涝水量的计算、地表超标径流的蓄泄规划、与城市河道系统的衔接、与其他规划的协调进行了分析和探讨。

关键词: 城市内涝; 陆域排水防涝体系; 规划设计

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2013)19-0141-05

Construction and Key Techniques of Urban Drainage and Flood Control System

XU Lian-jun, ZHANG Shan-fa, ZHU Sha-li, GAO Yuan, LI Bing

(Shanghai Urban Construction Design and Research Institute, Shanghai 200125, China)

Abstract: The definition and control indexes of urban waterlogging were analyzed from its basic concept. Main tasks of constructing urban drainage and flood control system were proposed. The system structure was analyzed. The planning/design process and the calculations of each step were discussed and explained. Key techniques were analyzed and discussed, including determination of standards for urban waterlogging damage control, establishment of design rainfall, improvement of standards for drainage of constructed sewer systems, calculation of waterlogging flow rate, storage and discharge planning of excessive surface runoff, convergence with urban river system and coordination with other plans.

Key words: urban waterlogging; urban drainage and flood control system; planning and design

近年来国内部分大城市相继遭遇极端气象降雨而发生城市内涝, 社会各界普遍关注。依据现行规范, 城市内涝是小概率事件, 但也是必然发生的事件。值得思考的问题是内涝的风险程度、接受程度以及如何构建应对城市内涝的排水防涝体系。随着《国务院办公厅关于做好城市排水及暴雨内涝防治设施建设工作的通知(国办发[2013]23号)》的发布, 城市陆域排水防涝体系的构建, 已成为当前迫切需要研究和探讨的重要课题。

1 城市内涝的概念

城市内涝现象发生在雨水径流过程, 具体表现为地表滞流、管道超载、河道径流不畅, 其灾害表现为: 雨水无法及时排除, 致使城市低洼地区产生积水, 造成交通阻断, 影响城市功能的正常发挥, 并造成人民群众生命财产损失。问题的实质是城市雨洪管理的理念、工程设防标准、设施的建设与运行管理水平, 不能应对超标准气象降雨。

从指导工程建设与管理的角度, 应该对城市内

基金项目: 上海市科学技术委员会课题(11dz1201703)

涝灾害进行定量的界定。表1所示为国外发达国家有关城市内涝的控制标准,一般考虑交通出行、财产与人员生命安全因素。

表1 国外发达国家有关城市内涝的控制标准

Tab.1 Urban waterlogging control standards in developed countries

项 目	纽约	伦敦	巴黎	东京	澳大利亚
设计重现期/年	100	30~100	50	100	100
控制标准	根据不同道路等级及车速,最大可允许道路积水深度为8~10 cm	30年一遇要求地面不积水;30年以上要求保证生命财产安全	要求地面不积水	允许道路积水20 cm,允许其他地面积水45~50 cm	积水不超过0.3 m,路面水深 \times 流速 $\leq 0.3 \text{ m}^2/\text{s}$

我国目前尚无统一明确的城市内涝控制标准,上海市关于道路、街坊雨天积水的定义如下:①市政道路,积水深度为路边 $\geq 15 \text{ cm}$ (即与道路侧石齐平)或道路中心有水,积水时间 $\geq 1 \text{ h}$ (雨停后),积水范围 $\geq 50 \text{ m}^2$ 。②街坊,积水深度为路边 $\geq 10 \text{ cm}$,积水时间 $\geq 0.5 \text{ h}$ (雨停后),积水范围 $\geq 100 \text{ m}^2$ 。内涝灾害控制标准应包含积水深度、范围、时间、流速等控制指标。

2 城市内涝防治面临的任务

我国目前城市区域防洪系统由河道、蓄洪设施、堤坝和分流通道等组成。城市区域排涝系统主要由排水沟渠、内河、排涝泵站、水闸等组成建设,通过河道水系解决大面积上涝水的排除。城市排水系统由雨水口、地下管网、泵站等组成,用于排放一定重现期降雨过程中形成的城市地表径流。这3个系统是分别建设的,并分别制定相应的标准。在我国规划设计领域,未对“超标降雨”引起的地面漫流、滞留涝水做妥善的安排,这也是造成近年来我国部分城市内涝灾害频发的重要原因。

排水防涝体系建设的目的是防止高重现期雨水在城市区域产生内涝灾害。减少城市内涝灾害的方法有两种主要工程性措施:①提高地下管网系统排水能力,满足高重现期的暴雨标准。②建设专门应对超管网排水标准降雨所产生积滞水的内涝防治工程体系,主要包括有序疏导超标降雨径流的道路及边沟、滞蓄设施、泵站等。就我国城市现实而言,大规模扩大现有的排水系统是很困难的。在这种情况下,参照澳大利亚和美国等发达国家广泛使用的

大/小排水系统构建城市排水防涝体系更加合适。

城市内涝防治首先需确定内涝防治目标与标准,明确城市内涝防治系统的构成,进行设计暴雨计算、暴雨径流计算、排水管网计算、排涝量计算和排涝方式选择,将内涝防治系统的各组成系统进行组合,提出城市内涝防治系统规划和内涝防治工程规划,提出工程规划措施和非工程规划措施。

3 城市排水防涝体系的构成

城市排水防涝体系主要由水系和陆域两部分组成,其中河道水系提供城市排水与涝水的出路,是陆域系统的下游边界条件,其功能是保证大区域、长历时、高重现期暴雨情况下,接纳并排除城市管网和陆域防涝系统排放的雨水。

根据应对暴雨重现期的大小,相应地将城市陆域排水防涝系统分为城市排水系统和城市防涝系统。城市排水系统即我国传统的排水工程设计内容,包括连接所有雨水口、沟渠、洼地和地下管线的管网及泵站系统,主要功能是保证低重现期(一般为1~5年)雨水的及时排除。城市防涝系统是指排除或蓄存超过排水管网能力的高重现期(一般为10~50年)暴雨径流的工程设施。通过两个系统的结合,快速收集和转输暴雨径流至合适的排放水体,保证城市在发生城市内涝防治工程建设标准以下的暴雨事件时不发生内涝灾害。

城市陆域防涝系统主要由道路、边沟、滞蓄区等组成,本身是自然存在的,但如果没有进行合理、有序的规划设计,在暴雨时往往会造成极大的内涝灾害。城市排水防涝体系(见图1)将在传统的雨水口、排水管网、河道水系的基础上,增加低影响开发系统、地块漫流系统、涝水泄流系统、地表滞蓄系统以及地下调蓄池系统、大口径地下管涵系统等,共同应对高重现期降雨事件。

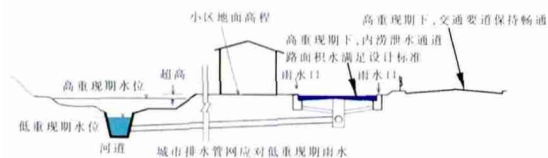


图1 城市陆域排水防涝体系概念

Fig.1 Schematic diagram of urban drainage and flood control system

4 城市陆域排水防涝系统规划设计

陆域排水防涝系统规划设计流程如图2所示。

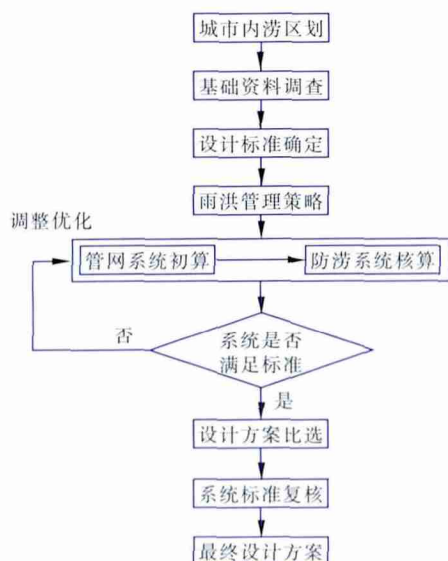


图2 规划设计流程

Fig. 2 Flow chart of planning and design

4.1 城市内涝区划

根据城市水系、排水系统规划、地形与城市竖向规划、区域土地开发利用等情况,结合内涝风险分析,进行城市内涝区划。

4.2 基础资料调查

调查区域的水文气象条件、暴雨强度公式、暴雨雨型、区域外围的边界条件、总体规划情况、已建排水防涝设施、规划建设项目情况、现状地表径流系统的出路与路径等。

4.3 设计标准确定

城市内涝标准的确定应根据当地社会经济发展水平,充分考虑当地的自然环境和排水条件,在城市排水管网设计标准和城市防洪设计标准之间取值。

一般城市排水管网设计重现期为1~3年一遇,重点地区为3~5年一遇,设计降雨历时一般不超过2 h。城市防涝系统汇流时间一般不会超过24 h。城市内涝防治标准设计重现期一般城市应为20~30年一遇,重要城市内涝防治标准应为30~50年一遇。两系统的设计重现期在实际设计过程中可根据情况调整,选择的总体目标应保证能够应对高重现期设计降雨事件的峰值流量,确保地表径流的深度、速度等在可接受的标准范围之内。

4.4 雨洪管理策略确定

根据区域规划建设情况,确定径流洪峰控制与径流污染控制总体策略。考虑雨水利用、源头控制、

就地调蓄等措施的应用方式,并兼顾径流污染控制策略对排水防涝系统的影响。

4.5 排水管网规划设计

进行排水管网子集水区的划分。根据确定的排水管网设计重现期进行管网水力计算,可沿用推理公式法通过短历时暴雨强度公式进行峰值流量计算,但应注意推理公式法的适用条件,对于集水面积 $>200 \text{ hm}^2$ 的管段,建议用计算机水力模型校核。

如考虑采用源头削减等低影响开发措施,在产、汇流计算中应考虑其影响。对于已建管网达不到设计标准要求且改扩建比较困难的,可采用“蓄排协同”的理念,在适当位置设置调蓄设施。

4.6 防涝系统规划设计

在初步确定的城市排水管网规划设计方案基础上,进行防涝系统的规划设计,以保证在设计高重现期下地表径流的状态满足设计标准。城市陆域防涝规划的首要任务是根据城市径流计算和城市内涝风险评估的结果,确定包括排水去向、容纳水体和超过排水管网设计能力的涝水排放通道,并对内涝风险区提出应对措施。规划设计流程见图3。

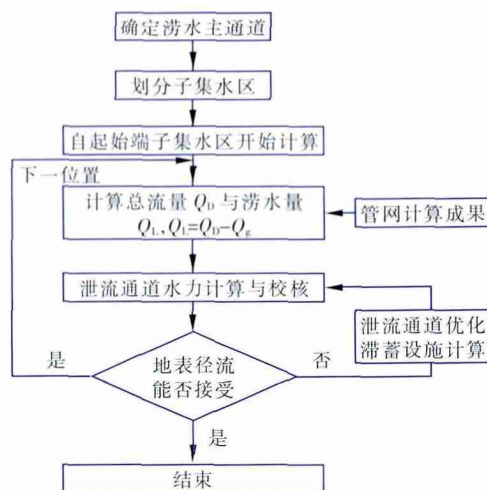


图3 防涝系统规划设计流程

Fig. 3 Flow chart of planning and design of waterlogging prevention system

① 根据地形、竖向规划、道路走向、坡度、水系走向、地面构筑物、道路功能等级等情况,规划超标雨水地表径流主通道,包括出路、路径、走向等。

② 划分防涝系统子集水区,确定子集水区面积、径流系数、集水时间等参数。

③ 确定各子集水区通过排水管网可排放的设

计流量 Q_g 。

④ 设计涝水计算,即设计高重现期超过排水管网排水能力的水量。对于各子集水区或雨水口、管道而言,涝水流量 Q_L 即为设计重现期下径流量 Q_D 与通过管网排放流量 Q_g 的差值: $Q_L = Q_D - Q_g$ 。

⑤ 防涝系统水力设计与校核。根据计算得到的峰值流量,进行涝水泄流通道的计算,包括水深、宽度、流速等指标,根据涝水过程线可确定积水时间。判断这些指标是否满足设计标准要求,当地表径流不能满足设计标准时,可考虑以下措施:提高排水管网的设计标准;调整泄流通道的走向,增加泄流通道的(如道路)坡度、加大过水断面宽度;提高地块标高或建防汛挡墙;开辟第二泄流通道的;新建地面或地下滞蓄设施。

⑥ 雨水滞蓄设施规划设计。超标准降雨滞蓄设施可为地上式(如低势绿地、低势广场、低势体育场、低势水体等),也可利用地下空间设置(如地下调蓄池、地下调蓄管涵等)。将超过内涝灾害标准的涝水及时引排至滞蓄设施,根据上游涝水过程线与滞蓄设施允许出流过程线,可计算所需调蓄体积。

4.7 设计方案比选及标准复核

根据以上流程,可规划设计多组方案,经技术经济比较选取最优的方案。方案确定后需进行设计标准复核,分析设计工况下排水管网系统水力高程线是否满足设计标准,涝水泄流通道的计算水面线、水深、流速等是否满足控制标准。

最终设计成果应包括:排水管网的平面布置图与水力计算成果;涝水泄水通道(如道路)的平面布置、坡度、断面、高程等,往往需要与道路规划设计相协调;涝水排放管道或渠道水力设计成果;滞蓄设施的布局、平面布置、设计参数等。

4.8 非工程措施

科学合理的非工程措施能够更好地发挥排水防涝系统的效益,主要包括风险评估、信息化建设、运行管理、预警预报、日常维护、应急预案等内容,需处理好规划设计、工程建设、运行管理的关系。

5 关键技术环节

5.1 内涝灾害控制标准的确定

应根据本地降雨规律和暴雨内涝风险等级,合理确定城市排水防涝设施建设标准。高重现期设计暴雨工况下,应保证骨干道路与公交网络基本维持运行,保证街道和人行道不会发生危险,且所有城市

区域的建筑在公众可接受的标准下免受内涝影响。

对于涝水排泄的主要通道——道路,应根据其等级、重要性,制定有关积水范围、深度、积水时间、路面径流流速等控制标准,指导工程设计。

5.2 设计暴雨的推求

设计暴雨是排水管网设计流量、排涝系统涝水计算以及滞蓄设施计算的基础,应结合气象、水文资料,对现有暴雨强度公式进行评价和修订,对降雨量资料进行统计分析,研制不同历时的雨型。

为适应区域防涝的需求,需编制适用于长历时、高重现期的设计雨型。如澳大利亚暴雨强度公式其历时取5 min~72 h,重现期为1~100年。根据计算的不同需求,区域防涝降雨历时可取6~24 h,重现期取10~50年。根据雨量公式可推求芝加哥雨型作为设计雨型,或者结合编制雨量公式的采样过程,收集降雨过程资料和雨峰位置,根据常用重现期部分的降雨资料,采用统计分析方法确定设计降雨过程。资料缺乏的地区也可参照当地水利部门资料,选择典型暴雨进行同频率放大或同倍比放大。

5.3 已建管网排水标准的提高

我国目前大多数城市排水设计重现期在1年左右,要进一步提高其排水标准,难度很大,必须因地制宜,制定经济可行的技术方案。

“蓄排协同”提高雨水系统防汛标准实质是应用“调蓄与排放”相结合的理念,通过设置于地表或地下的调蓄设施,应对短时的高标准气象降雨,间接提升管网的排水标准,通过蓄、排结合提高雨水系统防汛标准,是一种对已建区环境影响较小、技术经济性较好的技术措施。美国、澳大利亚、日本等国的实践表明,地表或浅层就地源头调蓄是一种比较经济、可行的方法。大型地下调蓄设施多用于系统性、区域性的排水标准提高。

5.4 设计涝水量的计算

① 推理公式法

涝水峰值流量可根据涝水径流的汇流时间,通过推理公式法推求。由上游转输涝水及本段新产生涝水计算本段涝水总流量,根据涝水泄流通道的断面形式选择相应的水力计算公式,计算其水深、水面宽度、流速与流行时间。从而可自上至下根据汇流面积、汇流时间与暴雨强度逐段计算出泄流通道的流量及水力参数。

② 涝水总量计算

当瞬时降雨强度 $i \leq i_m$ 时,各集水区的瞬时涝水量 Q_L 为零;当 $i > i_m$ 时 $Q_L = \psi A (i - i_m)$ 。式中 ψ 为径流系数; A 为积水区面积; i_m 为该集水区管网排水能力对应的设计暴雨强度。

根据暴雨强度过程线,将超过管网排水能力的涝水量进行积分,可计算整个降雨过程中各集水区总的涝水量,将各集水区涝水量汇总求和即为降雨过程中该内涝分区总的涝水量(见图4)。

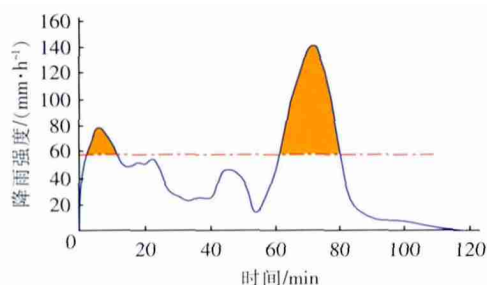


图4 降雨强度过程线与超标雨量示意

Fig.4 Rainfall intensity process line and excessive rainfall quantity

③ 设计涝水过程线推算

设计涝水过程线可根据设计暴雨雨型,采用时间面积法推求。将地表径流系统按照汇流到末端出口的时间划分为 n 个等流时段,根据暴雨过程线将每个时刻汇流到末端出口的涝水叠加,可计算每一时刻汇流后的系统流量,从而得到设计涝水过程线。

5.5 地表超标径流的蓄泄规划

根据地形地势、灾害程度、水系布局与涝水总量,平衡地表径流系统“泄”与“蓄”的相对关系。应注意雨水口的设计与布置,保证设计标准下的雨水及时排入管网系统。新开发地区应尽量保留利用原有地表泄水通道。道路设计尽量减少下凹点的出现,适当加大道路纵坡,提高涝水排泄能力。建议抬高车行道外边线侧石高度至30 cm(现状约15 cm),并提倡人非共板,以确保人非交通不受过大影响。道路绿化带设计成“下凹式”,并取消周边侧石,增加道路绿化带蓄水下渗能力。有条件的地方可在路旁设置植草边沟,作为涝水通道。地表径流不满足内涝控制标准时,沿程及低凹处设置滞蓄设施,滞流与临时调蓄超标雨水。

5.6 与城市河道系统的衔接

河道系统需保证高重现期、长历时降雨排水防涝系统下泄水量的接纳与排除。河道排涝问题,除

了涝水排除时间外,更关注河道最高水位,与短历时暴雨强度有一定关系,但由于河湖水体的调蓄能力,主要还与一定历时内的雨水量有关。

河道设计应采用陆域排水防涝设施的水力计算成果作为上游边界条件。当河道调蓄能力较小时,河道设计就应尽可能与上游排水防涝系统的排水标准相一致。在河道有一定调蓄能力情况下,河道排水能力可小于上游排水防涝系统最大排水流量,但应满足一定标准某种历时(如24 h)暴雨所形成涝水的要求,并使河道水位控制在允许的标高下。

5.7 与其他规划的协调

城市陆域排水防涝规划需与防洪规划、水资源规划、面源污染治理规划、竖向设计、景观园林规划等协调,协调“疏排、滞蓄、渗留”能力,处理好防汛排水与雨水资源利用、水土保持的关系;协调“排放、截留、调蓄、处理”能力,处理好防汛与生态环境保护的关系。

6 结语

构建一套完善的城市陆域排水防涝体系,可引进和吸收国外的先进技术和经验,但更重要的是因地制宜,与我国传统的规划设计方法相衔接,针对关键的技术问题开展技术攻关,制订相关的技术导则,开发相应的软件工具,将有助于短期内提高城市应对内涝灾害的能力。

参考文献:

- [1] 张晓昕,王强,付征,等. 国外城市内涝控制标准调研与借鉴[J]. 北京规划建设 2012 (5): 70-73.



作者简介:徐连军(1976-),男,山东五莲人,工学博士,高级工程师,主要研究方向为城市雨洪管理、给排水工程规划设计等。

E-mail: sdxlj@citiz.net

收稿日期:2013-05-31