

北京城市雨洪智能管理总体设计

张书函¹ 潘安君² 孟庆义¹ 陈建刚¹

(1.北京市水利科学研究所 北京 100048; 2.北京市水务局 北京 100038)

摘要 :在调研分析国内外城市雨洪管理现状的基础上提出城市雨洪智能管理的目标,建立城市雨洪智能管理的系统框架,并分析建成后的效果,提出构建降雨精确预报、基本资料数据库、管网与水系实时监控、雨洪排放与调控模拟以及雨洪管理决策等支撑城市雨洪智能管理的 5 大体系,指出建立雨洪智能管理系统需要研究解决的 4 项关键技术。

关键词 :雨洪管理;智能化;水文模型;风险决策;北京市

中图分类号 :P333.2 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2010)01-0068-04

Integrated design of intelligent management of urban storm water and flood in Beijing//ZHANG Shu-han¹, PAN An-jun², MENG Qing-yi¹, CHEN Jian-gang¹(1. Beijing Hydraulic Research Institute, Beijing 100048, China; 2. Beijing Water Authority, Beijing 100038, China)

Abstract :Based on the analysis of the current situation of the urban storm water and flood management in China and abroad, the goal of intelligent management of urban storm water and flood was put forward. The framework of the intelligent management system for the urban storm water and flood in Beijing was established, and the effectiveness after its completion was analyzed. Five systems for the urban storm water and flood intelligent management system were proposed as follows: accurate rainfall forecast, database of basic data, real-time monitoring of pipe network and water system, simulation of storm water and flood drainage and regulation, and storm water and flood management decision-making. Simultaneously, four key techniques should be studied and solved for the establishment of the urban storm water and flood intelligent management system.

Key words :storm water and flood management; intelligence; hydrological model; risk decision-making; Beijing

水是城市经济发展不可缺少的要素,北京市在严重缺水的同时还面临着汛期河道峰值流量大、积滞水频繁发生的威胁。2004 年 7.10 暴雨使城市交通一度瘫痪,形成 71 处积水点。2005 年、2006 年、2007 年、2008 年仍分别有积水点 43 处、31 处、21 处和 10 处。尽管有关部门积极采取措施治理积滞水点,但几乎每年都会出现新的积滞水点,而且每次出现积水都是被动地解决。像北京市这样的现代化超大城市对积滞水非常敏感,一处积水便可能引发整个城市交通瘫痪,从而造成巨大损失。北京目前有 42 处下凹式立交桥,是防范积滞水的重点区域。近些年北京城区的降雨也呈现出局地强降雨增多的态势,发生局地暴雨和积水的可能性很大。如何主动应对超标降雨和局地强降雨,有效控制和防止城区严重积滞水,如何科学地利用这些雨洪水资源缓解城市缺水,是目前需要研究解决的重要问题。有关分析表明,北京城区发生积滞水的一个重要原因

是对雨水排放系统的实际状况掌握不清、了解不实和管理不善^[1]。城市雨水排放系统包括各类下垫面的产流、汇流、各个小区内的雨水管线、市政公共雨水管线和城市河湖水系。北京城区拥有湖泊 28 个,水面面积 696.69 hm²,蓄水能力 1 837 万 m³^[2],河道 355.8 km,市政雨水管线 2 782 km,其中合流管 795 km,雨水泵站 70 座,其中立交排水泵站 50 余座,还有各类社区的雨水管线约 5 000 km。如果能对这些设施进行科学、合理的管理,将有利于从根本上解决城市的积滞水问题,同时也将实现在保障安全的同时最大限度地利用城市雨水。

1 国内外现状

为解决城市化过程中产生的城市雨洪量增大、峰值增高和缺水问题,早在 20 世纪 60 年代,一些发达国家已开始城市雨水利用的研究和实践^[3]。雨水利用方式已经从单纯的下渗、集蓄利用、滞留调节,

发展为综合考虑景观、生态等多功能、多目标的利用方式,如美国的 BMP(best management practice),LID(low impact design)和澳大利亚的 WSUD(water sensitive urban design)等,美国近些年提出的绿色基础设施(green infrastructure)、可持续基础设施^[4](sustainable infrastructure)等概念也将雨水利用的理念纳入城市规划设计中。目前美国、德国和日本等国家在雨水资源利用方面已形成比较完善的技术措施、管理框架和法律法规。我国从 20 世纪 80 年代开始研究城市雨水利用技术,2000 年前后开始进行示范工程建设,目前已经初步形成了较适用的技术体系,并发布实施建筑物与小区雨水利用的国家标准。实践证明,单纯的建筑物或小区雨水利用只能在小范围内对较低重现期降雨径流有很好的控制和利用效果,对于整个城市的积滞水防控、防洪减灾和雨洪综合利用难以发挥明显作用。因此必须寻求更科学可行的方法。

目前我国城市排水系统的设计方法依然是推理公式法,而国外已经普遍采用模型进行计算。采用模型计算能够更全面地掌握排水系统的状况,有利于对排水系统的管理。目前国外的城市排水模型有几十个,其中著名的有 SWMM,STORM,MOUSE, HYDROSIN, Wallingford 等模型^[5-6],这些模型已经广泛应用于城市雨水排放系统的模拟。国内关于城市雨洪模型的研究起步较晚,目前尚无通用的独立开发的成熟模型,主要引入国外模型进行研究。

雨水排放模型有助于雨水系统的规划设计,但要应对超标准降雨和局地暴雨对城市产生的灾害性影响,需要从暴雨预报、地表产流、管网汇流、河道行洪、调度决策等方面进行系统的综合模拟和管理。美国、德国、英国和日本等国家已经在这方面开展了较多研究和实践^[7-11],目前先进的方法是依据雷达提供高分辨率的数值降雨数据、水文遥测系统提供的降雨量及各河流主要控制站的流量或水位,运用洪水预报模型进行降雨径流及洪水演进计算,采用多模型计算和实时校正技术,通过作业预报系统的专家交互,发布各主要河流控制站的洪水预报方案,为防汛调度及抢险提供及时、可靠的依据。我国从 20 世纪 80 年代起也开始将雷达用于测雨,并取得了很大的进展,但目前与国外相比仍有一些差距^[12-14]。我国对城市雨洪的模拟和管理主要侧重于防汛决策体系的建立,如上海市对城市暴雨积水、台风高潮和全市河网水位实现预测预报、模拟分析和灾害风险评估的防汛风险决策支持系统^[15-16],天津市利用 MIKE 11 建立的防洪决策支持系统^[17]。

总体上,发达国家已经通过预报、信息化、模拟、

风险决策等手段对城市雨洪进行管理,并取得了明显成效,发展中国家城市雨洪管理的理念和技术相对落后,整体上面临着巨大挑战^[18]。目前城市雨洪管理领域的发展趋势主要表现在以下方面:①通过雷达测雨以及各种尺度气候模式的联合应用,逐步提前降雨预报的预见期,提高预报精度,并在此基础上提高降雨产流、洪水预报预警水平。②在遥感遥测、地理信息系统技术支持下获取对城市下垫面更精细、高效的描述,实现对水流运动更精确、真实的数值求解。③在防洪决策过程中,需要综合大量水文、气象、工程、社会经济等方面的信息,通过多模型计算和实时校正技术,以及人机交互等方式,得到洪水预报方案,为决策提供及时、可靠的依据。④在采取各种工程和非工程措施增加城市下垫面的下渗能力和蓄滞洪水能力,应急处理城市局部的洪水淹没积水的同时,通过雨洪模型加强雨洪措施的规划管理、效果评价,制订应急预案和永久解决方案。⑤引入现代化信息传输手段,增加气象、水文、雨洪过程及其人工影响的监测,为模型验证提供数据,为雨洪管理积累资料和经验。

目前北京在城市雨水排放系统的管理方面主要存在以下问题:①管理者众多且分散,难以获取排水流域的全部管线信息。②资料载体落后,缺乏数字化、信息化,雨水管线信息以个人记忆、纸图标记、CAD 图存储为主,很少利用 GIS 进行管理。③雨洪监控系统不健全,缺乏雨水管网的水量检测和水系、河湖的自动化监控与调度设施。④管理手段落后,亟待智能化,目前的管理手段以临时决策、应急管理为主,缺乏整体、综合、系统的管理和超前管理,缺乏对暴雨和城市排水系统的准确模拟和积滞水预报预警。正是这种管理现状使得许多雨水管线的位置、高程、淤堵状况等信息不清,出现问题时只能临时应付、被动解决。因此,北京需要建立智能化的城市雨洪管理体系,加强雨水系统信息化建设,建立城区雨洪排放模拟系统、雨洪自动实时监控系统以及智能化的雨洪调度与应急抢险决策系统。这也是提升城市综合管理水平、保障城市汛期安全和缓解缺水局面的重要手段,是实现生态文明和宜居城市的重要措施。

2 城市雨洪智能管理总体架构

2.1 城市雨洪智能管理的目标

北京城市雨洪智能管理的总体目标应是以 GIS 和网络为载体,以先进的预报、模拟、监测、控制等技术为手段,动态、实时掌握城区雨洪状况,及时采取科学的应对措施,减少和避免城市暴雨灾害,安全有

效地利用城市内降雨径流,提高城市综合管理水平,促进生态文明和宜居城市建设。具体包括5个方面:①构建城区降雨精确预报体系,提前准确地预报降雨的范围、强度、中心区位置、发生时间及过程。②构建全面统一的城市雨洪排放数据库信息管理体系,实现所有雨水管线、水系、湖泊和泵站、闸坝等设施的数字化、信息化、网络化管理。③构建城区雨洪排放设施的自动远程监控体系,实现城区雨水系统水情工情的实时、连续、动态监控。④构建城区降雨产汇流和雨洪排放、行洪调控的精准模拟体系,实现对雨洪产生、排放与综合调控过程的超前、动态、实时掌握。⑤构建雨洪智能管理决策体系,通过超前管理、预警管理、实时管理相结合实现城区雨洪安全、通畅下泄与综合利用。

2.2 系统框架

北京城市雨洪智能管理系统的基本框架如图1所示。首先要建立城市雨洪管理的数据和信息源系统,包括天上、地面、地下、河湖的相关数据和信息。天上的数据信息需要通过降雨精确预报体系提供,主要包括基于卫星、雷达数据进行的实时精确天气预报信息,特别是提前2~3h预报降雨发生的范围、中心区位置、强度、过程等。地面、地下和河湖的数据信息主要包括由基础数据库提供的下垫面、雨水管网、河湖水系、关键地下构筑物等的基本数据,以及由自动监控系统提供的实时降雨信息、地面积水信息、雨水管网与河湖的水位流量、泵站及河道闸坝的水情工况信息等。

天上、地面、地下、河湖的数据将根据需要形成一个工作数据库,传递到市水务局和市防汛抗旱指挥部办公室(市防办)的计算机内,利用模型库内的各种模型进行分析和模拟。这些模型应包括城市地表产汇流模型、管网与河道水力模型、地表与地下构筑物积水模型、风险分析模型、效果评估模型、决策支持模型及其相互耦合的模型。计算和模拟的结果将由决策层进行决策,进行城市积滞水预报和预警,及时采取应急抢险措施,最大限度地避免灾害发生,制定切实可行的管网与城市河湖调度管理方案并指挥进行调度,在确保安全的前提下最大限度地调蓄利用雨洪。利用该系统可对城市排水系统的行洪能力进行校核,对不同暴雨情况下的安全性进行诊断,通过模拟和仿真,制定根治城市积滞水的方案。通过制定系统维护与管理制度的、技术标准和政策法规,保障城市智能雨洪管理系统的正常持续运行。系统将 与市政府、市水务局、市防办和市规划、市政、交通等部门相连接,并与8个区政府和相关部门连接,根据不同的权限提供不同的服务。

2.3 系统应用

城市雨洪智能管理系统建成后将首先由水管理部门用于对汛期城市雨洪的管理,寻找城区整个雨水系统的最佳调度点,做到安全行洪、适当下泄、高效利用城市雨洪。可根据各管网或河流汇水流域内的地形、地质特点等,通过模拟选择最佳的将不同汇流区雨水管网或河道相互沟通的方案,并设置堰、闸、坝等调控设施。当某个较小区域发生局地强降

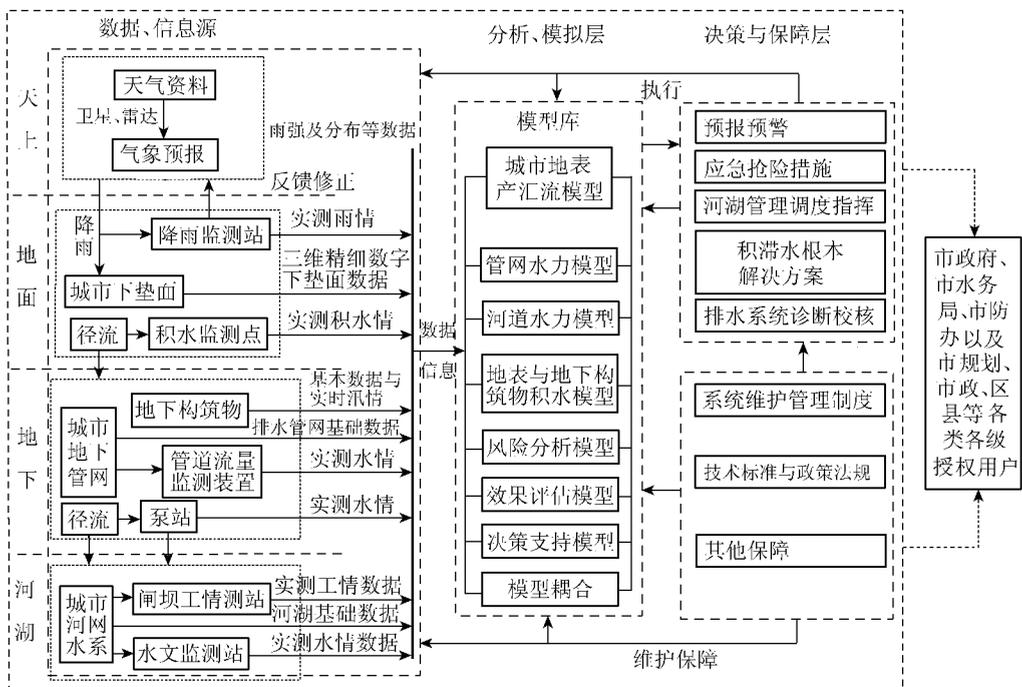


图1 北京市雨洪智能管理系统基本框架示意图

雨时,通过调度这些调控设施,将降雨中心区管道内或河道内雨水及时引到周围弱降雨或无降雨的区域,从而减少或避免积水。该系统同时可为交管部门及时提供信息,依据实时水情及时进行交通疏导,保障交通整体通畅。也可将部分水情信息公布于网上,方便市民根据情况选择通畅的出行线路。规划部门也可用该系统对城市排水体系进行优化,更合理地调整和安排城市布局。另外系统的信息可与其他部门共享,节约管理成本。

建立城市雨洪智能管理系统将大幅度提升对雨水及河湖系统的管理水平,实现智能化实时、立体和超前管理城市雨洪,将提出针对性更强、更加切实可行的、能从根本上解决城市积水问题的方案和措施,保障城市安全度汛,提升城市雨水资源的综合利用水平和利用效率,为城市规划、城市建设和其他方面的管理提供技术支撑。

3 雨洪智能管理系统的核心技术

3.1 城区降雨过程精细化预报技术

融合地面气象站观测、雷达测雨、中尺度天气模式模拟结果等,探索利用目前密集覆盖城区的微波网络预报和监测降雨的技术^[19],捕捉发生暴雨的征兆,提前2~3h准确预报城区降雨的雨强、范围、中心区位置、历时和重点影响范围等。

3.2 基于网络的模拟数据库构建与快速更新技术

利用卫星遥感、航拍和GPS等手段,动态获取城区下垫面信息和对中心城区不同形式下垫面(包括建筑物、构筑物、水系、立交桥、绿地、地下管线等)精细刻画与快速录入数据库的技术,从而及时准确地反映出城市微地形、各种下垫面分布及其质地、坡度、坡向、标高等特性的变化,研究快速获取地下管线位置、高程、管径、材质、淤堵状况等信息的探测与监测技术。

3.3 多比尺城区降雨产汇流与调控过程耦合模拟技术

3.3.1 城区下垫面多比尺产汇流模拟技术

研发可按1:10000级、1:2000级、1:500级等不同精度模拟城区地表降雨产汇流过程的计算模型,包括用于计算屋面、绿地、透水铺装地面、不透水铺装地面、机动车道等各类型地表净雨产生量和过程的地表净雨计算模块,以及用于模拟各类地表雨水径流的形成和汇集到雨水口过程的地表汇流模块。

3.3.2 雨水管网水流及其调控模拟技术

研发用于计算城市各级雨水管网内水流形态、水位流量和管线上各种构筑物对水流影响过程的模

拟软件。主要包括:用于计算非满管、满管流以及顶托、逆流等情况下的不同形式断面管网系统内水流流速、流量、水位等要素的管网水流计算模块,以及用于计算串联或并联与管网上的蓄水池、不同形式溢流堰、不同开度控制阀门等设施的流量、水位过程的管道调控设施计算模块。

3.3.3 地表积滞水模拟和地下构筑物积水风险分析技术

计算管道雨水从雨水口、检查井等出口溢出后在附近地面汇集、积滞、消退的过程,对地下商场、地铁等重要地下建筑物发生积水的风险进行分析。

3.3.4 城区河湖水系水流调控技术

建立能适应现状复杂多变的河道断面形式的河湖水力学计算模型,计算各种来水和出流条件下(包括河道的渗漏)的河道水流流量、水位。开发河道水工建筑物计算模型,计算河道上各类闸、坝、堰等水工建筑物的水流状态。耦合形成通过调节河湖水工建筑物工况参数来控制河道水位、流量的计算模型。

3.4 基于风险决策的城区雨洪智能管理技术

研发不同雨洪积滞水状况、不同管道与河道调度方案的成灾影响分析模型,建立城区雨水管网与河湖水系的风险调控模型和城区雨洪管理决策支持模型,建立模拟结果后处理与立体动态演示系统和对系统效果进行评价的指标和方法体系,集成完整的城区智能雨洪管理与决策系统。

4 结语

北京市构建城市雨洪智能管理系统是减少和避免城市暴雨灾害、安全有效利用城市内降雨径流、提高城市综合管理水平、促进生态文明和宜居城市建设的最有效的措施。北京城市雨洪智能管理系统需要构建降雨精确预报、基本资料数据库、管网与水系实时监控、雨洪排放与调控模拟、雨洪管理决策等5大体系,系统的基本框架应包括相互关联、相互耦合的决策与保障、分析与模拟、数据与信息源等3个层次。可借助系统将城区管网、水系相互关联,形成网络,依据智能化的模拟结果对位于网络节点的调控设施进行调度,从而减少和避免城区暴雨积水,最大限度地利用雨洪。建立城市雨洪智能管理系统还需要研究城区降雨精细化预报、基于网络的模拟数据库构建与快速更新、多比尺城区降雨产汇流与调控过程耦合模拟、基于风险决策的城区雨洪智能管理等4项关键技术。

(下转第90页)

[45] 黄高宝, 秦舒浩. 耕作措施对绿洲灌区冬小麦田蒸散特征的影响[J]. 自然资源学报, 2007, 22(5):793-799.

[46] 李彩霞, 陈晓飞, 王铁良, 等. 控制性交替灌溉情况下土壤蒸发的预测研究[J]. 节水灌溉, 2007(3):29-31.

[47] 刘浩, 孙景生, 段爱旺, 等. 日光温室白菜行间土壤蒸发变化规律试验研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1):207-211.

[48] 刘丽霞, 王辉, 孙栋元, 等. 绿洲农田防护林系统土壤蒸发特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(10):162-166.

[49] 宋炳煜. 草原区不同植物群落蒸发蒸腾的研究[J]. 植物生态学报, 1995, 19(4):319-328.

[50] 宋克超, 康尔泗, 金博文, 等. 两种小型蒸渗仪在黑河流域山区植被带的应用研究[J]. 冰川冻土, 2004, 26(5):617-623.

[51] 张志山, 王新平, 李新荣, 等. 沙漠人工植被区土壤蒸发测定[J]. 中国沙漠, 2005, 25(2):243-248.

[52] 王晓燕, 陈洪松, 王克林. 红壤坡地不同土地利用方式土壤蒸发和植被蒸腾规律研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12):41-45.

[53] 张卫强, 贺康宁, 周毅, 等. 黄土半干旱区刺槐林地土壤蒸发特性研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6):396-399, 403.

[54] 鲁绍伟, 杨新兵, 聂森, 等. 华北土石山区土壤水分蒸发特性[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(24):7532-7533, 7539.

[55] PACO T A, FERREIRA M I, CONCEICAO N. Peach orchard evapotranspiration in a sandy soil: comparison between eddy covariance measurements and estimates by FAO 56 approach [J]. Agricultural Water Management, 2006, 85:305-313.

[56] ZHANG Zhi-shan, LIU Li-chao, LI Xin-rong, et al. Evaporation properties of a revegetated area of the Tengger desert, North China [J]. Journal of Arid Environments, 2008, 72:964-973.

[57] MORAN M S, SCOTT R L, KEEFER T O, et al. Partitioning evapotranspiration in semiarid grassland and shrub land ecosystems using time series of soil surface temperature [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149:59-72.

[58] NEWSON T A, FAHEY M. Measurement of evaporation from saline tailings storage [J]. Engineering Geology, 2003, 70:217-233.

(收稿日期 2009-05-11 编辑:方宇彤)

(上接第 71 页)

参考文献:

[1] 北京市水利科学研究所, 北京市人民政府防汛抗旱指挥部办公室. 北京城市道路积水排除与城市河湖联合调度研究[R]. 北京: 北京市水利科学研究所, 2007.

[2] 北京市水务局. 水务数据[R]. 北京: 北京市水利科学研究所, 2005.

[3] 北京市水利科学研究所. 国外雨洪利用调查研究[R]. 北京: 北京市水利科学研究所, 1992.

[4] 于立, 单锦炎. 西欧国家可持续性城市排水系统的应用[J]. 国外城市规划, 2004, 19(3):51-56.

[5] 周玉文, 赵洪宾. 排水管网理论与计算[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.

[6] TEMPRANO J, ARANGO O, CAGIAO J, et al. Stormwater quality calibration by SWMM: a case study in northern Spain [J]. Water SA, 2006, 32(1):55-63.

[7] FUNAYAMA Y, SHINKAWA M, TAKAGI K, et al. Stormwater control using storage and networking techniques [M]. Portland: Global Solutions for Urban Drainage, American Society of Civil Engineers, 2002:1-6.

[8] NIE Lin-mei, SCHILLING W, KILLINGTVEIT A, et al. GIS based urban drainage analysis and their preliminary applications in urban stormwater management [M]. Portland: Global Solutions for Urban Drainage, American Society of Civil Engineers, 2002:7-13.

[9] MARK O, PARKINSON J. The future of urban stormwater management: an integrated approach, Water2 [M]. London: IWA Publishing, 2005:30-32.

[10] 魏林宏, 郝振纯, 邱绍伟. 雷达测雨在水文学中的应用——影响预报精度的因素分析[J]. 水利水电技术, 2004, 35(5):1-3.

[11] 3ZM-GRIMEX-Ground water simulation [EB/OL]. [2009-05-20]. http://www.mpecc.de/mpecc_community_grimex.html.

[12] 郑媛媛, 谢亦峰, 吴林林, 等. 多普勒雷达定量估测降水的三种方法比较试验[J]. 热带气象学报, 2004, 20(2):192-197.

[13] 尹忠海, 张沛源. 利用卡尔曼滤波校准方法估算区域降水量[J]. 应用气象学报, 2005, 16(2):213-219.

[14] 刘勇明, 孔银华, 王和平. 雷达测量降水及其在水文气象中的应用[J]. 山西气象, 2006(2):43-45.

[15] 刘俊, 陆剑峰, 方正杰, 等. 上海市杨浦区防汛决策支持系统研究[J]. 城市道桥与防洪, 2004(3):1-4.

[16] 郑晓阳, 胡传廉. 上海市防汛决策支持系统设计[J]. 水利水电科技进展, 2003, 23(1):25-27.

[17] 天津市城市防洪决策支持系统通过专家鉴定 [EB/OL]. [2009-05-20]. <http://www.mwr.gov.cn/xxh/20060515/72312.asp>.

[18] 乔纳森·帕金森, 奥尔·马克. 发展中国家城市雨洪管理 [M]. 周玉文, 赵树旗, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.

[19] Regional precipitation observation by cellular network microwave attenuation and application to water resources management [EB/OL]. [2009-05-20]. <http://www.imk-ifu.kit.edu/1179.php>.

(收稿日期 2009-05-20 编辑:方宇彤)