

〔文章编号〕 1002-2031(2009)10-0079-06

# 国外城市雨水利用的进展

王思思

〔摘要〕 雨水管理是缓解城市水资源危机、维护水生态系统健康的重要战略和措施。梳理了西方城市雨水管理的发展脉络,对当前西方国家的可持续城市雨水管理,从发展趋势、方案决策、技术手段和保障措施等方面进行了分析。研究发现,可持续、近自然和多功能已成为城市雨水管理的根本目标,在制定技术方案时强调预防优先、源头控制以及工程和非工程管理实践的结合,并通过法规、行政、经济措施保障实施。对我国城市雨水管理具有重要启示作用。

〔关键词〕 雨水管理;可持续;水敏感城市设计;可持续城市排水系统;最佳管理实践;西方

〔中图分类号〕 TU991.11<sup>+</sup>4 〔文献标识码〕 A

## 一 导言

人口和城市规模的快速增长以及不当的水系改造使得城市水系格局和水文过程发生了根本改变,水生态系统服务严重衰退。城市水资源的可持续利用和水生态系统服务的保护与恢复已成为世界性课题<sup>[1]</sup>。长期以来,人们将雨水视为灾害,采取“一排了之”的方法处理城市雨水。随着水危机的加剧以及对城市水系统认识的加深,人们逐渐认识到雨水作为一种特殊自然资源的价值,并将雨水管理视为防洪蓄涝、减轻水污染、缓解水资源短缺、创造人水和谐城市景观的有效途径<sup>[2,3]</sup>。

国际上对城市雨水管理的实践及研究起步较早,全球至少有 40 个国家和地区开展了雨水管理与利用的研究和实践。20 世纪 80 年代初,国际雨水

集流利用系统协会成立,至今已召开了多次国际雨水收集大会<sup>[4]</sup>。美国、德国、英国、澳大利亚、日本和以色列等国长期致力于雨水管理技术的研发,已形成了相对成熟的雨水利用技术,开发了多种水文模型,并建立起了较为完善的保障体系。

随着我国城市化进程的加快和经济的高速发展,水资源的可持续利用问题在许多地区愈显突出。北京、上海等特大城市率先开展了城市雨水利用研究。如“北京市城区雨洪控制与利用技术研究示范”项目,通过引进和消化、吸收德国成熟的雨洪利用技术,结合北京地区特点,开展试验研究和示范工程建设,并取得了一定成果。

尽管我国城市雨水管理的理论与实践取得了一定成果,但总体上起步晚、发展相对滞后。因此,借鉴西方城市雨水管理的经验和教训具有重要意义。本文系统梳理了国外雨水管理思想与技术的发展脉

〔作者简介〕 王思思(1983—),女,汉族,北京市人,北京大学城市与环境学院博士研究生,研究方向为景观生态规划设计。

〔基金项目〕 科技部攻关计划资助项目(2004BA516A18)

〔收稿日期〕 2008-11-16

〔修回日期〕 2009-04-28

络,并重点对 20 世纪 90 年代以来蓬勃发展的可持续城市雨水管理的发展趋势、管理理念、技术手段和保障措施等方面进行了分析,以期对我国城市雨水管理具有借鉴和启示作用。

## 二 国外城市雨水管理发展历程

### 1 水量管理时期

19 世纪初,随着西方国家高速的工业化和城市化的发展,雨水排放成为城市建设需要解决的问题。最初,人们利用沟渠来收集和排放城市中的雨水以及生活污水,后来逐渐过渡到通过雨污合流管道、雨污分流管道来高效地排除及处理城市雨水。总体上,与城市供水和污水处理相比,城市雨水的管理和利用在这一时期没有受到重视。随后,人们注意到雨污分流管道系统会导致河流下游洪水以及河道侵蚀。因此,人们开始考虑用场地滞留的理念来解决雨水排放问题。美国第一个关于雨洪滞留的法案于 20 世纪 70 年代初期颁布。随着计算机技术的发展,通过流域尺度的水文模型和水力学模型来进行不同条件下的模拟和预测分析成为可能。这也使得雨水总体规划在 20 世纪 70 年代末诞生。相对于场地雨水滞留,雨水总体规划采用了区域协调的指导思想,这在当时较为先进。然而在实践中,雨水总体规划由于缺乏相关规章制度和实施的配套协调,难以达到预期的效果<sup>[5]</sup>。

### 2 水质管理时期

进入 20 世纪 80 年代,大量研究表明城市及农耕地雨水径流是导致河湖等自然水体水质下降的重要原因。在美国,国会和环保署开始将注意力转移到雨水的污染治理上来。第一批雨水水质的标准始于 1987 年的《水污染防治法》修正版和 1986 年颁布的《国家城市径流报告》等,这些法案、标准的出台标志着雨水管理的新阶段——“水质管理时期”的到来。由此,人们开始反思那些未经检验的工程技术与设施对水质的负面影响<sup>[5]</sup>。

经过一段时间的摸索和总结,人们提出了一些相对有效的雨水水质模型和标准,美国的环境保护署也开始着手于第二雨水控制规范和标准的制定。这一阶段,与雨水有关的市政基础设施也经历了巨大转变:排水沟渠以浅草沟的形式重新出现在城市中;滨河的狭长地带也被改造成滨水过滤带,同时布满了水处理装置,像一个小型的污水处理厂。与前一时期相比,此时的雨水管理和设计变得相对复杂,

但许多设计仅从经验出发,缺乏通过综合监测手段来验证各种模型和措施的有效性<sup>[5]</sup>。

### 3 可持续管理时期

20 世纪 90 年代以来,随着城市雨水管理研究与实践的不断深入,一些在可持续发展思想指导下的价值标准和指导思想逐渐形成,如通过综合的流域管理,包括河流廊道管理方式、流域内土地利用方式、污水排放许可制度等措施,解决更广泛的雨水管理问题。人们认为通过使用工程性、非工程性以及制度方面的最佳管理实践 (Best Management Practice, 以下简称 BMP),可以创造出多功能、环境友好的、可持续的并且优美的生活环境(图 1)。

时期	1900	1980	1990	2000	2010
水量管理	→				
水质管理		→			
可持续管理				→	

图 1 20 世纪以来西方城市雨水管理发展的三个阶段<sup>[8]</sup>

这一时期涌现出了许多雨水管理的新概念、理论和技术手段,如低影响发展 (low impact development)、绿色基础设施 (green infrastructure)、更优场地设计 (better site design)、保护式发展 (conservation development)、零排放 (zero discharge)、可持续发展 (sustainable development) 和多目标洪泛区管理 (multiobjective floodplain management) 等<sup>[5]</sup>。其中,低影响发展在美国的发展和影响较为广泛。它是雨水管理和可持续发展思想以及精明增长理论相结合的产物,主张在源头采用分散式、小尺度的技术手段来管理雨洪径流,实现了环境保护和经济的双赢效果。英国的可持续城市排水系统 (Sustainable Urban Drainage System, 以下简称 SUDS),其指导思想是尽可能模仿场地开发之前的自然水文过程,处理雨水径流以清除污染物。可持续城市排水系统比传统排水方式更符合可持续发展的理念。它综合考虑了降低洪水风险、改善水质、回灌地下水、提供生物栖息地和满足社区需要等长期的环境和社会影响因素<sup>[6-7]</sup>。诞生于澳大利亚的水敏感城市设计 (Water Sensitive Urban Design, 以下简称 WSUD),将城市整体水文循环和城市的发展和建设过程相结合,旨在将城市发展对水文的负面环境影响减到最小、保护自然水系统、将雨水处理和景观结合、保护水质、减少地表径流和洪峰流量,在增加价值的同时减少开发成本。它强调最佳规划实践 (Best Planning Prac-

tics)和最佳管理实践的结合。应用的尺度从城市分区到街区、地块,包括从战略规划到设计、建设和维持的各个阶段。

### 三 国外城市雨水管理进展

#### 1 方案决策

雨水管理方案的制定是雨水管理的核心和基础,是整个雨水管理工程成功与否的保证。本节以澳大利亚水敏感城市设计的雨水管理计划为例(图2),介绍国外雨水管理方案制定的基本程序和特点。

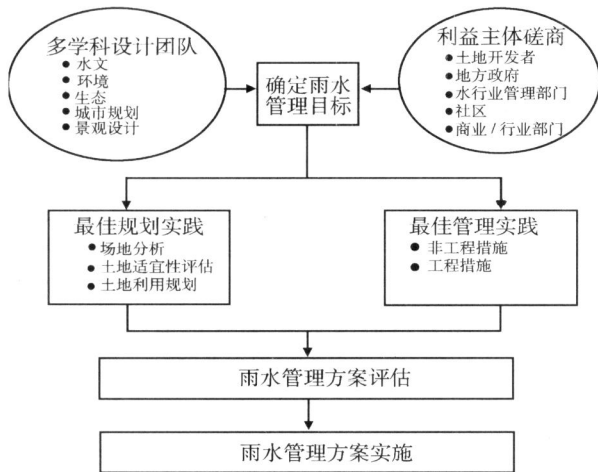


图 2 澳大利亚城市水敏感设计雨水管理方案决策程序

在澳大利亚,人们认为由于城市雨水管理的综合性和复杂性,城市雨水管理计划的制定、决策和实施管理,需要由多学科设计团队(水文和水利工程、环境科学、水文生态和水资源管理、城市规划、景观设计等学科)和相关利益主体(包括地方政府、开发商和市民等)来共同完成。首先,通过对研究区域现状和问题的分析,并结合限制条件、未来发展趋势等因素确定项目总体目标。从城市或场地规划设计以及雨水管理措施两方面对场地进行分析、评价,并制定初步的雨水管理方案。其中城市或场地规划设计包括场地分析、土地承载力评估和土地利用规划。雨水管理措施综合考虑工程措施和非工程措施,将它们组合成一个完整的系统。在选择适宜的雨水管理措施时,可从径流控制、水质改善、处理方法有效性、景观设计、成本因素等方面考虑。在雨水管理的概念方案提出后,应对其进行技术评价和经济评价。

这一环节可消除雨水管理中的不确定性,比较不同雨水管理策略的性能、收益和成本,从而为规划和工程设计人员提供决策依据。城市雨水径流过程模拟软件(MUSIC软件),可以从不同空间和时间尺度来模拟城市雨水管理计划下的雨水径流过程,定量评估雨水管理工程的水量指标和水质指标,以及经济效益。雨水管理计划的施工、维护和监测,也是一个完整的雨水管理项目中必不可少的环节<sup>[9]</sup>。特别是成本效益分析以及各种管理措施的定量监测,将有助于模型、标准和技术手段的改进。

#### 2 技术手段

在北美和欧洲大部分地区,雨水管理的措施和技术手段被称之为最佳管理实践(BMP)。它是指为预防或减少土地开发利用对环境造成的负面影响而采取的一系列措施与方法,通常分成工程性和非工程性两类。工程性最佳管理实践是指运用各种处理技术和设施来控制雨洪过程中出现的污染和洪涝问题;非工程性最佳管理实践是指通过管理、制度或教育等非技术手段来实现雨水管理的目标,主要包括公众教育、街道管理和污染预防等<sup>[7]</sup>。

最佳管理实践在传统上属于土木工程领域,主要起纠正而非预防的作用。经过数十年的理论探索和实践检验,人们逐渐意识到雨水管理措施和手段应事前发挥作用,而非事后补救,因此,合理的规划成为解决问题的关键。最佳管理实践规划的目的使在于使场地在开发建设过程中及其后都能够模拟开发前的水流系统状态,尽可能少地使用大型的、工程性措施。雨水最佳管理实践规划可以分为流域、街区和场地等不同尺度。在流域尺度上主要是与土地利用规划、城市规划相结合,找出流域内无需借助工程技术来处理雨洪径流就能够进行开发的场地,体现源头控制、预防为主的原则。在街区和场地尺度上,根据开发活动和雨水产生、迁移和传输三个阶段的特点,做出雨水最佳管理实践的选择和设计<sup>[10]</sup>。

美国联邦环保署于1999年颁布了第二代雨洪控制规范,为最佳管理实践提供了详尽的技术导则。该规范将最佳管理实践分为六大类:场地建设的雨水径流控制、违法排放的检查和去除、污染预防/家庭管理、施工后雨水管理、公众教育、公众参与。每一大类下面分为若干小类,小类中包含具体措施,每一项措施都制定了相应导则<sup>[11]</sup>。除上述国家层面的技术导则之外,大多数地方政府也制定了各自的雨水管理控制体系和技术手册,以华盛顿、乔治亚州和波特兰市为代表。

英国的可持续城市排水系统 (SUDS) 制定了由预防措施、源头控制、场地控制和区域控制四个等级构成的管理链条。其中预防措施和源头控制处于最高等级, 也就是在规划中尽量先通过预防手段在源头和小范围进行雨水的截流处理。只有当在源头或小范围不能处理时, 才将雨水排放至更高一级的系统中, 采取其他控制处理手段。该条管理链将各项具体措施组成一个有等级次序的一体化方案, 这个方案是其规划的重要基础。可持续城市排水系统的管理策略和技术措施也可以分为工程性和非工程性两类。非工程性措施主要是预防措施, 它包括减小

铺装面积、清扫道路和教育等。工程管理措施根据雨水过程, 分为源头控制、场地控制、区域控制三个等级和尺度。具体技术措施通常分为四大类: 过滤带或过滤沼泽; 可透水地面; 渗透系统; 滞留盆地和池塘。它们都本着对雨水进行就地处理的原则, 利用沉淀、过滤、吸附和生物降解等自然过程, 对地表水提供不同程度的处理。为使可持续城市排水系统得到广泛应用, 英国建造行业研究与信息协会出版了一系列可持续城市排水系统的相关著作, 为使用者提供了简明、完备的技术规范和指导手册。

表 1 工程性和非工程性最佳管理实践在英国的使用情况<sup>[7]</sup>

最佳管理实践		十分常见	常见	少见	十分少见	
工程性	过滤带 草沟			✓		
	过滤管	✓				
	渗透系统	渗水坑		✓		
		渗水沟渠		✓		
		渗水池				✓
	地面储水设施	储水池 罐			✓	
		池湖			✓	
		滞留池塘 - 干塘	✓			
		滞留池塘 - 湿塘	✓			
	道路铺装	人工湿地		✓		
		透水铺装			✓	
		透水利青			✓	
		雨水收集				✓
	雨水管收集罐	✓				
非工程性	街道清洁	✓				
	减少污染物质的使用			✓		
	积雪管理		✓			
	教育			✓		
	日常管理	✓				
	不透水区域的控制		✓			

### 3 法律、行政和经济保障措施

城市雨水管理是一项复杂的系统工程, 不仅需要技术支持, 也需法律、行政、经济等配套措施来保障雨水标准和技术的施行。西方国家较注重雨水管理的配套措施, 许多国家和地区出台了相应的法律法规和政策措施。

美国环保署于 1987 年对《水污染防治法》进行了修订, 并于 1990 年颁布了专门用于非点源污染控制第一代雨水控制规范, 主要针对服务人口超过 10 万人的雨水管道系统的管理和 11 类工业生产区的径流控制, 提出多种工程及非工程技术方案。但环保署并不要求各州都遵循该规定, 各地区可以执行各自的非点源控制计划。环保署于 1999 年 12 月推出了第二代雨水控制规范, 要求所有地区进行雨水

管理工作且规定了各地区雨水管理计划中必须包含的内容<sup>[12]</sup>。在州级层面, 科罗拉多州 (1974 年)、佛罗里达州 (1974 年)、宾夕法尼亚州 (1978 年) 和弗吉尼亚州 (1999 年) 分别制定了雨水管理条例。这些条例规定新开发区的暴雨洪水洪峰流量必须保持在开发前的水平, 所有新开发区 (不包括独户住家) 必须实行强制的“就地”滞洪蓄水。滞洪设施的最低容量均能控制 5 年一遇的暴雨径流。除制定雨水管理条例外, 联邦和各州还采取了一系列经济手段, 如使用总税收、发行义务债券、联邦和州给予补贴、联邦贷款和投资分扣等方式鼓励人们采用新的雨水利用方法<sup>[13-14]</sup>。

德国主要通过联邦水法以及各州的相关法规来引导和规范雨水的可持续利用。联邦水法的政策导

向表现为:优化生态环境,维护生态平衡。这为各州的法规建设确立了基本依据。1986年的水法仅在第一章中提出了预防性的观点,即“每一用户有义务节约用水,以保证水供应的总量平衡”。而到了1996年,其补充条款中则增加了“水的可持续利用”的理念,强调“为了保证水的利用效率,要避免排水量增加”,即“排水量零增长”。在这种背景下,建设规划导则规定:在建设项目的用地规划中,要保障雨水下渗用地,并通过法规进一步落实。各州也在其法规中规定:除了特定情况外,降水不能排放到公共管网中;新建项目的业主必须对雨水进行处置和利用。政府还通过各种经济手段鼓励用户采用雨水可持续利用技术。各城市根据相关管理条例的规定,收取雨水费用(也称管道使用费)。若用户实施了雨水利用技术,国家将不再对用户征收雨水排放费,若无雨水利用措施,政府将征收高额的雨水排放设施费和雨水排放费。这对雨水管理理念的贯彻执行起到了作用<sup>[15]</sup>。

英国可持续城市排水系统(SUDS)通过与城市规划体系的结合,将其思想和技术写入不同等级的规划政策中,以推动相关理念和技术的应用。目前英国的规划政策中没有强制规定使用可持续城市排水系统,但在国家、地区、地方的各级规划政策中都有相应条文鼓励地方政府、规划者和开发商使用。例如,英格兰、苏格兰、威尔士地区的规划政策推荐“在未来的规划和开发建设中使用可持续城市排水系统理念和技术以减低洪水风险”。在实际规划编制和审批过程中可以采取下述方法:

第一,根据调研和地质、水文分析,在规划中确定不同地区适宜的措施。

第二,编制可持续城市排水系统规划管理和控制导则。

第三,在控制性详细规划中明确具体的要求。

第四,在进行规划审批过程中,要求开发商提交可持续城市排水系统的可行性研究和具体方案。

为进一步推动可持续城市排水系统的发展,英国于2001年成立了由副首相办公室、环保、食品和乡村事务署、交通署、水行业协会、地方政府协会、规划官员协会等相关机构代表组成的全国工作组。工作组的目标是使得相关公共组织和机构就可持续城市排水系统理念达成共识,通过更加综合的方式促进其实施,并解决实践中遇到的关键和基本问题。该工作组于2003年发布了《英格兰及威尔士地区可持续排水系统框架》并于2004年7月发布了有重

要影响的《可持续城市排水系统实践暂行规定》。

## 四 总结

**1** 以可持续、近自然、多功能作为雨水管理的根本原则

纵观西方城市雨水管理的发展历史,可将其划分为水量管理、水质管理和可持续发展三个时期(图1)。随着人们对城市水系统和水文过程的不断深入了解,城市雨水管理的含义和内容逐渐扩展—由最初的排洪蓄滞,逐步发展到对非点源污染的控制和预防、对城市水生态系统的关注,直至综合考虑水资源保护与利用、生物多样性保护、城市美化、环境教育等方面的问题。目前,可持续、近自然、多功能已成为西方城市雨水管理的基本原则。具体来说,不能简单地把雨水管理局限于单一目标的水利工程或环境治理工程,应以可持续发展思想为指导,通过尽可能地遵循和恢复自然水文过程,将雨水利用与城市水系统、乃至城市整体生态系统相协调,并利用雨水创造优美宜人的城市景观和空间。

**2** 技术手段上强调源头控制、预防为主

从雨水管理的技术手段上来说,国外主要在以下几方面有所转变和突破:一是从雨污的末端治理发展为源头控制、预防优先。源头控制比庞大的管道工程和污水治理工程花费低、且与自然水循环协调一致,还能够减少地表径流,成为许多国家城市雨水管理的首选。二是从单一工程手段为主,逐渐过渡到工程化、非工程化措施相结合。目前,非工程最佳管理实践已经在城市雨水管理中发挥着重要作用,其使用范围不断增加。三是加强对雨水管理措施的长期监测和评估。通过对已实施的雨水管理项目和具体技术手段运行、维护和效果进行长期监测与评估,可以及时检验雨水技术手段的有效性,提高设计管理水平,并为制定相关的技术标准以及法律、经济政策提供依据。

**3** 建立完善的法律、行政、经济保障措施

城市雨水管理是一项跨地区、跨部门、跨行业的系统工程,因此需要综合考虑,通过法律、行政和经济等多种手段对城市雨水管理进行统筹规划和管理。建立责权统一、运行有效的城市雨水管理体制,加强城市雨水资源利用的体制保证;制定城市雨水利用和管理的法律法规和条例,规范相关利益主体的行为,调整相关部门的利益冲突;同时,通过各种经济杠杆来调动市场利用雨水的积极性,通过税费、

保险、贷款等多种经济手段的调控,促进雨水利用的推广和实施。

#### 4 结合城市规划落实雨水管理战略和方案

要实现雨水资源的高效利用和城市可持续发展,必须突破以场地尺度雨水利用工程为主的行动策略,应在区域或城市尺度上,将城市水系统作为一个有机整体进行统筹协调,并综合考虑城市自然条件、土地利用、基础设施建设和经济发展水平等因素,系统地解决城市雨水管理问题。城市规划对于统筹人口、经济、资源和生态环境之间的协调发展,优化城市水生态系统具有重要作用。在各级城乡规划编制过程中,应把雨水管理提高到资源节约、环境保护与城市可持续发展的高度加以重视,从规划理念、编制方法、指标体系、控制导则和管理等多方面进行创新,探索雨水管理和规划相结合的途径。

## 五 结语

当前世界水资源管理和利用正在经历着一场从认识到行动的根本性变革。雨水管理作为实现水资源可持续利用的战略举措之一,对于缓解城市水资源危机、维护城市水生态系统健康、应对全球气候变化具有重要意义。我国现代雨水管理的理论和实践起步较晚,应在吸纳国外经验和教训的基础上,研究适合我国自然地理条件、市政基础设施和经济发展水平的理论、技术手段和管理模式,以实现我国城市雨水管理的跨越式发展。

**【Abstract】** Urban rainwater management is an important strategy and approach, which solves water shortage and protects the health of water ecosystem. This article reviews the evolution of urban rainwater management in western countries and then sums up the characteristics of sustainable urban rainwater management from the perspectives of trends, schemes, techniques to legal and economic issues. The results demonstrate that the essential objective for urban rainwater management is to establish a sustainable, natural and multifunctional system, which focuses on prevention, source control and integration of structural and non-structural best management practice in choosing techniques. Finally, it points out directions for future research and practice in China.

**【Key words】** rainwater management; sustainability; water sensitive urban design; sustainable urban drainage system; best management practice; west

## 参考文献

- [ 1 ] Nancy B. Grimm, et al. Global Change and the Ecology of Cities [ J ]. Science, 2008( 319 ): 756 - 760
- [ 2 ] 车伍,李俊奇.城市雨水利用技术与管理[M].中国建筑工业出版社,2006:17-18
- [ 3 ] 钱正英,张光斗.中国可持续发展水资源战略研究报告集第1卷:中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[R].中国水利水电出版社,2001:16,177
- [ 4 ] 王波,崔玲.从“资源视角”论城市雨水利用[J].城市问题,2003(3):50-53
- [ 5 ] Thomas N. Debo, Andrew Reese. Municipal Stormwater Management [ M ]. CRC Press, 2002: 1 - 11
- [ 6 ] P. B. Spillet, S. G. Evans, K. Colquhoun. International Perspective on BMPs/SUDS: UK - Sustainable Stormwater Management in The UK [ DB/OL ]. <http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=nom&id=ASCECP000173040792000196000001&iltype=cvip&gifs=Yes> 2008-04-14
- [ 7 ] Daywater Consortium. Report 5.1. Review of the Use of stormwater BMPs in Europe [ DB/OL ]. <http://daywater.enpc.fr/www.daywater.org/REPORT/D5-1.pdf> 2007-09-11
- [ 8 ] Rebekah R. Brown. Impediments to Integrated Urban Stormwater Management: The Need for Institutional Reform [ J ]. Environmental Management, 2005(9): 455 - 468
- [ 9 ] Lybd, S. D., Wong, T. H. F., Chesterfield, C. J. Water sensitive urban design - a stormwater management perspective ( Industry Report No. 02/10, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Melbourne, Australia ) [ DB/OL ]. [http://www.clewater.asn.au/resources/291\\_1.pdf](http://www.clewater.asn.au/resources/291_1.pdf) 2006-05-03
- [ 10 ] 威廉·M·马什著,朱强,黄丽玲,俞孔坚等译.景观规划的环境学途径(第四版)[M].中国建筑工业出版社,2007:246
- [ 11 ] USEPA. National Menu of Best Management Practices for Stormwater Phase 0 [ DB/OL ]. <http://cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/menuofbmps/index.cfm>, 2008-02
- [ 12 ] 郝晓地,戴吉,陈新华.实践中不断完善的美国水环境管理政策[J].中国给水排水,2006(22):1-6
- [ 13 ] 钱易,刘昌明,邵益生.中国可持续发展水资源战略研究报告集第5卷,中国城市水资源可持续开发利用[R].中国水利水电出版社,2002:204-205
- [ 14 ] 张晓鹏,王美荣.城市雨洪利用的研究现状与发展方向[J].北京水务,2006(3):12-14
- [ 15 ] 郑兴,周孝德,计冰昕.德国的雨水管理及其技术措施[J].中国给水排水,2005(2):104-106

(编辑:师爽;责任编辑:赵勇)