

城市雨水利用措施的灾害防御作用

张书函 孟莹莹 陈建刚

(北京市水利科学研究所 北京 100048)

摘要 阐述城市降雨灾害及减灾的必要性,指出:城市降雨灾害包括直接的雨涝灾害,以及水土流失、径流污染、地面塌陷等次生及衍生灾害;灾害发生的原因主要包括自然和人为 2 个方面,其中以城市化快速发展、排水设计存在弊端等人为因素为主。雨水利用措施可以起到减轻城市降雨灾害的直接、间接危害,减少干旱缺水灾害的作用。针对目前雨水利用的 3 种基本形式——渗透、调控排放和收集回用,分析了其在灾害防御的不同方面所发挥的作用。认为将雨水利用基本措施进行有机组合可以发挥综合的灾害防御作用,抵御重现期较长的大暴雨。

关键词 雨水利用 防御灾害 渗透 调控排放 收集回用

中图分类号:P426.6 文献标识码:A 文章编号:1006-7647(2010)05-0019-05

Disaster prevention role of urban rainwater utilization//ZHANG Shu-han, MENG Ying-ying, CHEN Jian-gang (*Beijing Hydraulic Research Institute, Beijing 100048, China*)

Abstract :The urban precipitation disaster and the necessity of disaster mitigation were discussed. The urban precipitation disaster included direct surface waterlogging disaster and secondary disasters such as soil and water losses, runoff pollution and land subsidence. The relevant causes mainly included natural and artificial aspects, with the artificial factors of fast development of urbanization and defect in drainage design being dominated. The rainwater utilization might reduce direct and indirect hazards due to urban precipitation and impact of drought and water shortage disasters. The main existing modes for the rainwater utilization were introduced, that is, seepage, regulative release and gathering and recycling, and they played a great role in the disaster prevention. It was put forward that the combination of various modes of rainwater utilization might give their fully play so as to prevent rainstorms with long return period.

Key words :rainwater utilization; disaster prevention; seepage; regulative release; gathering and recycling

1 城市降雨灾害及减灾的必要性

城市降雨灾害中,以高强度暴雨引起的雨涝积滞水灾害表现最为突出,如北京市 2004 年 7 月 10 日的特大暴雨中,局部瞬时降雨强度达到 2.2 mm/min,造成较严重的积滞水灾害,使本来缺水的北京市产生了不必要的损失。雨涝积滞水灾害除了造成人员伤亡、建筑物和物资直接损毁之外,更在于其对水、电、气、交通、通讯等城市命脉系统的影响,如果其中某个环节或几个环节瘫痪,必然会引起社会经济活动一度中断,由此可能产生更大的损失甚至引起社会不稳定,严重损害城市的整体形象^[1]。此外,由于大范围的地表硬化,径流产生时间短、洪峰来临早且洪量较大,降雨径流会携带大量污染物进入排水系统,未经处理部分直接排入受纳水体,造成严重的雨

天排河污染问题;同时,雨水无法及时回补地下水,使得地下水超采而补给不足形成的地下降落漏斗无法得到修补,长此以往,还会带来地面塌陷问题。可见,城市降雨不仅会造成积滞水内涝灾害,还会带来许多其他的次生及衍生灾害,若不加以重视,将严重制约城市的建设和发展。

我国目前正处于经济和城市化高速发展时期,城市暴雨的危害性应引起规划决策者和普通民众的高度重视。能否有效抵御和防治这些灾害,最大限度地减少人员伤亡和灾害损失,已成为保障城市经济社会安全稳定和可持续发展的一个重要主题。

2 城市降雨灾害成因分析

城市降雨灾害的成因错综复杂,可主要从自然和人为 2 个方面进行分析。

2.1 自然因素

我国大部分地区季风气候显著,造成降雨在时空分布上极不均匀,具有雨热同期的特点。城市中易涝、易旱,汛期几个月通常集中了全年 60% ~ 80% 的雨量,加上降水量的年际变化剧烈,造成城市雨涝灾害频繁发生。此外,多数城市暴雨内涝爆发期也是周边水体(河道、湖泊)的汛期,此时,水体功能徘徊于“排洪”和“景观”之间,矛盾突出,加上风险调度的时效性不够,雨中河道水位不能及时降低,高水位顶托排水管网,造成城市排水不畅,加重了雨水排放压力,从而增加了城市暴雨内涝形成的机会。

2.2 人为因素

2.2.1 城市化发展

城市化是社会发展的必然产物,20 世纪 80 年代以来,我国城市化水平发展迅速,2010 年全国城市化平均水平可达到 48%,导致城市气候、下垫面条件、洪水水文特性、地下水位均发生了显著的变化,主要表现在:①城市“雨岛效应”明显。北京自 20 世纪 90 年代以来,城区年降水量比郊区多 60 mm,相当于每年多了 1 场暴雨雨量,呈现出清晰的城市雨岛,使得城区内发生降雨灾害的几率显著增加。美国有研究表明,一个完全城市化的流域多年平均洪峰流量比相似的农村流域增大 4.5 倍,50 年一遇洪水的洪峰流量增大 3 倍,100 年一遇洪水出现几率增加 6 倍。②地表硬化率高。该因素使得下垫面的滞水性、渗透性减弱,加之城市道路、边沟以及排水系统的完善,城市集水区天然调蓄能力减小,汇流速度加快,径流系数增大,峰现时间提前且峰形变得尖陡,洪峰流量明显增大,这些都增大了城市的成灾风险。深圳在城市化后,100 年一遇洪水的洪峰流量增加了 10% ~ 20%,峰现历时缩短了 20%。③地下水空洞增大。这是由过度开采地下水而补给不足造成的,容易产生地面塌陷的风险,同时导致防洪排涝设施功能降低。上海是我国地面沉降发生最早、影响最大、带来危害最严重的城市,截至 2007 年沉降面积已达到 1 000 km²,沉降中心最大沉降量达到 2.6 m。

2.2.2 排水理念陈旧、排水设计标准较低^[2-6]

传统的排水理念是将雨水视为“废水”,尽快将其排出,而近年来国外较为流行的观点是视雨水为“资源”并进行“管理”,主要通过多种措施对其进行渗透、存储、调蓄和利用。可见,在排水理念上国内大部分地区与发达国家还存在较大的差距。

城市排水系统设计标准的高低直接决定着排水系统的安全性。以北京市为例,目前主要道路排水标准为 1 年一遇,立交桥区(泵站)为 2 ~ 3 年一遇,

天安门、奥运中心等重要地区为 5 年一遇。与发达国家相比,这种标准是偏低的,而且近几年来北京市 5 年一遇 56 mm/h 的降雨在城区局部已较为频繁,设计排水能力显著不足。此外,随着城市的快速发展,雨水管道等市政建设与城市改造还存在着不同步的现象,很多新建工程未按标准新建排水设施而是接入原有的市政管线,加大了排水负荷,一旦瞬时径流雨水量超过排水系统设计能力就会导致道路排水不畅。事实上,一些城市的排水设施设计不合理使得系统在设计之初即未达到标准,如桥区、路段雨水口设置过少,雨水篦子未在道路的最低点等,以至于并不罕见的降雨却出现了积水和洪水问题。

再者,目前市政部门负责的城市管渠排水与水利部门负责的河道防洪排涝往往标准不一,二者如何衔接存在较大的争议,使得整个城市的排水设计不能达到一个统一的水平。

2.2.3 非工程性措施不完善

目前对于城市规划、维护管理、预警防灾等非工程性措施的重视不够,如热力、地铁等不同系统的无序施工破坏了原有的排水系统,对于已建排水系统和雨水泵站缺乏良好的维护管理,且暴雨预报精度低、预警发布晚,调度方案、应急预案不完善等问题普遍存在,社会保险等商业化措施的介入也处于初级发展阶段。

3 雨水利用措施的危害防御作用

雨水利用力图通过人为干扰城市区域的降雨径流水循环过程,实现雨水排放的生态性,即尽量减少进入排水系统的雨水量,促进雨水的自然消化及资源化利用,这样不仅能够利用雨水资源,达到节约用水的目的,还具有减轻城市雨涝、减少干旱缺水、防止水土流失、控制雨水径流污染以及减缓地下水位下降以防止地面塌陷的作用,是解决城市降雨灾害及次生、衍生灾害的有效措施之一^[7]。以下根据目前主要的几种雨水利用形式^[8],重点对其减轻城市降雨灾害的作用进行分析讨论。

3.1 渗透性措施

渗透性措施采用能够下渗雨水的绿地、透水性铺面、专用渗透设施等促进雨水入渗、补充地下水,使得地表径流能够分散、就地排放,从而减轻了排水系统的负担。

3.1.1 绿地入渗

在道路系统中调整绿地的高程,将传统的高绿地、低道路的设计改为下凹式绿地,可以使其自身雨水不外排,同时还可接纳周围硬化面的地表径流流入并下渗,充分利用了其下渗及蓄水的能力。在不

同重现期降雨、不同下凹深度、是否接纳径流流入的条件下绿地的径流系数如表 1 所示^[9]。可以看出,对于 5 年一遇降雨,绿地下凹 50 mm 和 100 mm 时都可完全消纳自身产流,下凹 100 mm 时几乎可以完全消纳自身及相同面积不透水表面上产生的径流。而绿地等渗透性措施的设计重现期一般不小于 2 年,理论上下凹式绿地可以完全消纳设计重现期内自身及相同面积不透水表面上产生的径流。对于超标准降雨,下凹式绿地的径流系数也显著小于平绿地,绿地下凹 100 mm 时仍可完全消纳 20 年一遇的自身产流,接纳相同面积不透水表面产生的径流时径流系数也仅为 0.35,而平绿地在 2 种条件下的径流系数分别达到 0.34 和 0.55。进一步分析可知,采用下凹 100 mm 的绿地,可将 2 倍于绿地面积区域内的降雨消纳能力从传统的 2 年一遇提高到 20 年一遇。可见,下凹式绿地具有明显的削减径流量及洪峰流量的作用,从而有效地减少地面积滞水现象,抵御雨涝灾害的发生。

表 1 不同频率降雨条件下不同绿地的径流系数

降雨 频率	绿地与地面等高		绿地比地面 低 50 mm		绿地比地面 低 100 mm	
	$\frac{F_{\text{汇}}}{F_{\text{绿}}}=0^*$	$\frac{F_{\text{汇}}}{F_{\text{绿}}}=1^{**}$	$\frac{F_{\text{汇}}}{F_{\text{绿}}}=0$	$\frac{F_{\text{汇}}}{F_{\text{绿}}}=1$	$\frac{F_{\text{汇}}}{F_{\text{绿}}}=0$	$\frac{F_{\text{汇}}}{F_{\text{绿}}}=1$
	$F_{\text{绿}}$	$F_{\text{绿}}$	$F_{\text{绿}}$	$F_{\text{绿}}$	$F_{\text{绿}}$	$F_{\text{绿}}$
5 年一遇	0.23	0.40	0.00	0.22	0.00	0.03
10 年一遇	0.27	0.47	0.02	0.33	0.00	0.20
20 年一遇	0.34	0.55	0.15	0.45	0.00	0.35

* 绿地仅接纳自身径流; ** 绿地接纳自身及相同面积不透水表面上的径流。 $F_{\text{汇}}$ 表示汇流面积, $F_{\text{绿}}$ 表示绿地面积。

3.1.2 透水性铺面

路面应多使用透水砖、草坪砖、透水沥青、透水混凝土等透水性的铺面材料。JC/T945—2005《透水砖》行业标准要求面层渗透系数至少达到 0.1 mm/s,且找平层和垫层的渗透能力应大于面层,这样即使面层有堵塞、渗透系数削减 50%,渗透系数也有 0.05 mm/s(相当于承受 180 mm/h 的降雨量),足以完全渗透重现期较大的降雨。

北京海淀区 RZ 小区透水地面的路基土渗透系

表 3 不同透水地面比例时小区道路系统降雨产流特征

降雨日期	透水地面 比例/%	雨量/ mm	产流量/ m ³	最大雨强/ (mm·min ⁻¹)	最大流量/ (L·s ⁻¹)	降雨历时/ min	洪峰滞后 时间/min
2001-07-24	17.4	38.24	83.02	1.44	19.40	540	41
2001-08-18	17.4	27.66	63.70	1.40	41.00	120	16
2001-08-19	17.4	24.44	37.90	1.08	9.20	205	28
2001-08-25	17.4	12.48	37.30	1.00	37.30	55	3
2005-06-25	17.4	48.40	37.30	1.40	27.40	412	54
2005-07-23	100	73.50	13.70	0.50	1.55	1 285	210
2005-08-03	100	27.60	0.98	0.54	2.30	335	25
2005-08-05	100	48.00	62.40	1.28	35.20	230	13
2005-08-12A	100	11.80	0.60	0.70	0.21	70	44
2005-08-12B	100	16.00	2.70	1.00	1.54	25	39

数为 0.000 228 mm/s,透水砖及其垫层整体的平均孔隙率为 11.0%,渗透系数为 0.5 mm/s,平均蓄水量大于 35 mm。计算不同重现期、不同历时所产径流的理论径流系数如表 2 所示。可见,该透水地面在北京市 2 年一遇 60 min、5 年一遇 30 min、10 年一遇 20 min、20 年一遇 15 min 降雨水平下基本不产流。

表 2 不同重现期、不同降雨历时条件下
RZ 小区透水性地面的径流系数

降雨 历时/ min	$n =$ 1 a	$n =$ 2 a	$n =$ 5 a	$n =$ 10 a	$n =$ 20 a	$n =$ 50 a	$n =$ 100 a
5	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0.01	0.10
15	0	0	0	0	0.07	0.20	0.27
20	0	0	0	0.07	0.18	0.29	0.36
30	0	0	0.08	0.20	0.30	0.39	0.45
40	0	0	0.16	0.27	0.36	0.44	0.50
60	0	0.03	0.23	0.33	0.41	0.49	0.54
120	0	0.10	0.28	0.38	0.45	0.53	0.57

注:n表示重现期。

实际中,该小区 2001 年初将总面积为 5 067 m²的硬化地面的 17.4% 改为透水地面,2004—2005 年逐步将其余地面全部改为透水地面。该小区不同透水铺装比例情况下道路雨水系统的降雨径流特征参数统计结果见表 3。表 3 中 2005 年 8 月 12 日 A 场降雨与 2001 年 8 月 25 日降雨的雨量、历时和最大强度差别不大,前期影响雨量也相似,但是产流过程和产流量却差别很大:后者的产流系数接近 0.38,前者的却不到 0.01;后者的径流高峰流量接近 37.3 L/s,前者的却只有 0.21 L/s。对表 3 进行综合分析可以发现,当透水面积比例从 17.4% 增加到 100% 时,小区道路系统的洪峰滞后时间平均延长 20 min,径流系数平均从 0.23 减小到 0.05。

渗透性措施不仅能够防止积滞水灾害、减轻河道行洪压力及排水系统负担,同时入渗的雨水还补充了地下水,抑制了地下水漏斗区的扩大,有效地防止地面沉降及地裂缝等地质灾害的发生。渗透性措施未与排水系统相连接,可减缓径流流速,使径流对

于地表的冲刷程度减小,防止了水土流失。此外,该措施促进了地面上下水分和热量的流通,可以缓解城市“热岛效应”及“雨岛效应”。

3.2 调控排放措施

利用天然的洼地、池塘或人工修建的景观水体、调蓄池等作为调蓄设施将区域内的雨洪暂时滞留,并利用流量控制井、溢流堰等设施,使其以一定的控制流量排放到下游,可以削减地面径流量,减轻排水系统的压力,并减少雨季污水处理厂的负荷,是解决暴雨内涝的一条有效途径。同时水量在短暂存储时也有部分沉降作用发生,使得调控排放时的污染负荷减轻。天然洼地、池塘的雨水下渗后可以补充地下水,人工调蓄设施若满足下层地质构造透水性良好的条件,可将蓄积的雨水缓慢渗入地下。可见,调控排放措施也可以起到防御雨涝、水土流失、雨天排河污染、地面塌陷等灾害的作用。

目前,将下沉式广场、停车场、运动场、露天庭院等公共服务设施作为降雨时的调蓄设施的做法在发达国家较为流行,它在积水退去后仍可以发挥服务功能。美国 Denver 市中心的 Skyline 下沉式广场可容纳数英寸深的雨水,该广场还专门设置雨天穿行广场的架空通道;日本的东京、大阪等城市利用当地的棒球场和田径场汇集截留雨水,汇集的雨水经过处理可用于冲洗厕所和绿化灌溉。欧美、日本及我国台湾均将该措施列为城市泄洪分流的重要对策加以推广。在国内,通常修建人工调蓄池进行雨水的调控排放。对于设计重现期内的降雨,当汇集的降雨径流小于流量控制设施限定的过流量时,汇集的流量全部排入市政管道;当汇集流量大于限定的过流量时,则以限定过流量外排,同时在管道和滞蓄系统内产生积水。这样调控排放系统的下泄流量被控制在限定的较小范围之内,从而削减了洪峰流量,延迟了峰现时间,同时减小了对下游排水系统的冲击,提高了排水的安全性。对于超标准降雨,在雨水以限定过流量排入市政管道的同时,超过系统滞蓄能力的雨水也会通过溢流堰溢流进入市政管道,与没有调控措施的雨水排放相比较,可在一定程度上起到控制径流速度、削减峰值流量、延迟峰现时间的作用。北京通州某小区对屋顶 2.4 万 m^3 的排水采用调控排放的方式,通过建设容积为 120 m^3 的调蓄池和流量控制井,可使 1 年一遇设计降雨的最大出流量从 483.3 L/s 削减到 157 L/s ,减小 67.5%。

屋顶绿化是一种特殊的调控排放方式。城市中屋面面积占整个城市硬化表面的 30% 左右,对屋面进行绿化可以补偿建筑占据的自然植被面积。而且植物的茎叶对雨水进行截流,种植基质也有吸水作

用,可把大量的降水储存起来。有研究表明该措施可以降低 50% 的径流量。另外,绿化屋面排水层同时又可作为蓄水层,多余的水蓄在卵石层内,当种植土干燥时,可返吸入土中。现在常用的塑料蓄排水盘可在凹处蓄积一部分雨水,在排水的同时还有 50% 的蓄水功能(蓄水能力大于 10 L/m^2),具有保持土壤湿润的作用,同时还保证了植物生长所需的水分,并使根系快速向下生长,牢固地扎根于土壤中。绿化屋面通过其蓄积雨水的能力可以控制暴雨雨水流量的 70% ~ 100%,径流系数可减小到非绿化屋面的 30%,大幅度减少了屋面排水,降低了对排水系统的压力,减轻了城市的雨涝灾害程度。同时,还可以设置排水管将出水引入蓄水池中以待回用。

3.3 收集回用措施

雨水收集回用措施中收集设施的容积一般可接纳重现期内降雨产生的径流,这样杜绝了设计降雨条件下积滞水的发生,如遇超标准降雨,则超过收集设施容积的水量溢流进入排水管道,此时的收集设施即相当于以上调控排放措施。这 2 种形式都减少了地表的径流量,减弱了径流流动对地表的冲刷程度,减缓了雨涝积水和水土流失灾害的发生,同时也减少了雨水径流携带污染物的总量,减轻了雨天排江污染灾害的程度。若收集雨水后用于地下水回灌,还可发挥补给地下水、防止地面沉降塌陷灾害的作用。北京 TX 小区将 $10\,297 \text{ m}^2$ 屋面、 $2\,851 \text{ m}^2$ 不透水地面、 $2\,811 \text{ m}^2$ 透水地面的雨水收集进入 500 m^3 的雨水综合池,经沉淀、过滤后用于回灌地下和补充景观用水。2004—2008 年的监测结果显示,在监测期内系统没有发生溢流外排,全部雨水得到了利用。北京顺义区 2006 年雨水收集利用工程的蓄水能力已达到 $6\,733 \text{ 万 m}^3$,主要用于绿化美化、卫生和环境用水,减少了地下水的使用量,且年回补地下水量达到 1.4 亿 m^3 。这些设计良好的收集利用措施,大幅度削减了径流外排量,减轻了下游管网的排水压力,起到显著的灾害防御作用。

此外,在确保防洪安全的前提下,合理调控洪水,暂时将洪水蓄存,在干旱时再抽取利用,可提高水资源的抗旱效率,缓解城市的干旱缺水灾害,对于类似于北京这样具有干湿分明的降雨分布特点的城市是非常重要的。

3.4 综合雨水利用措施

将以上雨水利用措施进行有机组合,如“屋面绿化 + 下凹式绿地”、“屋面绿化 + 透水性铺面 + 调控排放”等形式,可以发挥综合的灾害防御效果,抵御重现期较长的大暴雨。

以面积为 10 hm^2 的小区为例,其地面类型和不

采取雨水利用措施的估算径流系数如表 4 所示 ,设计以下几种方式对其雨水进行利用。方案 A :小区内人行道、绿地面积不变 ,将平绿地改成下凹100 mm 的下凹式绿地 ,不考虑客水进入绿地 ;人行道改为透水性铺面。方案 B :在方案 A 的基础上考虑下凹式绿地接纳相同面积不透水地面的雨水 ,即接纳混凝土道路和 1/3 屋面的雨水。方案 C :在方案 B 的基础上增加 1 个容积为 800 m³ 的蓄水池 ,将20 000 m² 屋面的雨水收集回用 ,蓄水池的调蓄容积为400 m³ ,回用容积为 400 m³。将各单种材质下垫面实测外排径流系数与流量进行加权平均 ,计算得 3 种方案的外排综合径流系数如表 4 所示 ,可以看出 :采用方案 A 时 ,可将小区的外排综合径流系数分别从 1 年一遇、2 年一遇、5 年一遇降雨的 0.665 ,0.698 ,0.754 减小到 0.472 ,0.518 ,0.572 ,削减率分别为 29.0% ,25.8% ,24.1% ;采用方案 B 时 ,相应重现期降雨的外排综合径流系数分别为 0.202 ,0.241 ,0.293 ,削减率分别为 69.6% ,65.5% ,61.1% ;采用方案 C 时 ,相应重现期降雨的外排综合径流系数分别为 0.069 ,0.148 ,0.227 ,削减率分别为 89.6% ,78.8% ,69.9%。可见 ,通过不同程度的雨水利用 ,径流总量得到不同程度的削减 ,小区综合外排污染负荷也有相应的减少 ,有效控制了小区的雨涝积滞水及径流污染灾害。

表 4 小区不同雨水利用措施的外排综合径流系数

方案	降雨频率	不同地面类型的分项径流系数				外排综合径流系数
		屋面占 30%	混凝土道路占 20%	人行道占 20%	绿地占 30%	
无雨水利用措施	1 年一遇	0.900	0.900	0.850	0.150	0.665
	2 年一遇	0.920	0.920	0.890	0.200	0.698
	5 年一遇	0.960	0.960	0.950	0.280	0.754
A	1 年一遇	0.900	0.900	0.110	0	0.472
	2 年一遇	0.920	0.920	0.290	0	0.518
	5 年一遇	0.960	0.960	0.460	0	0.572
B	1 年一遇	0.600	0	0.110	0	0.202
	2 年一遇	0.610	0	0.290	0	0.241
	5 年一遇	0.620	0.030	0.460	0.030	0.293
C	1 年一遇	0.155	0	0.110	0	0.069
	2 年一遇	0.300	0	0.290	0	0.148
	5 年一遇	0.400	0.030	0.460	0.030	0.227

4 结 语

a. 目前主要的雨水利用形式渗透、调控排放和收集回用措施都可不同程度地起到削减洪峰流量、延迟峰现时间、减小径流对地表的冲刷、改善进入接纳水体水质的作用 ,从而减小了雨涝积滞水、水土流失、雨天排江污染等灾害发生的可能。此外 ,渗透和收集回用措施还可以削减径流总量 ,渗透、底面渗透的调控排放以及用于回灌的收集回用措施还可以补

充地下水 ,抵御地面塌陷灾害发生的可能。
b. 将各种雨水利用的基本形式进行有机组合 ,可以发挥综合的灾害防御作用 ,抵御重现期较长的大暴雨。组合形成的综合雨水利用措施可使 10 hm² 面积的居住小区在 1 年一遇、2 年一遇、5 年一遇降雨下的外排综合径流系数分别削减 89.6% ,78.8% 和 69.9%。

参考文献 :

[1] 黄明海 ,金峰 .雨水利用——减轻城市雨涝灾害的重要途径 [C] /唐洪武 ,李桂芬 ,王连祥 .2007 水力学与水利信息学进展 :第三届全国水力学与水利信息学大会论文集 .南京 :河海大学出版社 ,2007 :138-142.
[2] 臧敏 .北京城市积涝的减灾措施和对策研究 [J].北京水务 ,2009(2) :4-6.
[3] 石红 .上海市区暴雨积水区对策研究 [J].中国市政工程 ,2003(3) :46-47.
[4] 张鑫 .浅谈上海市区暴雨积水点的改造 [J].上海建设科技 ,2003(5) :16-18.
[5] 周潮洪 ,焦飞宇 ,王建卉 .天津市区暴雨积水成因及对策研究 [J].现代水务 ,2009(5) :23-25.
[6] 杨凯 ,袁雯 .上海城市暴雨积水的成因及控制对策探讨 [J].上海建设科技 ,1999(2) :12-13.
[7] 化全利 ,吴海山 ,白国营 .2004 年 7 月 10 日北京城区暴雨分析及减灾措施 [J].水文 ,2005 25(3) :63-64.
[8] 张书函 ,陈建刚 ,丁跃元 .城市雨水利用的基本形式与效益分析方法 [J].水利学报 ,2007(增刊) :399-402.
[9] GB 50400—2006 建筑与小区雨水利用工程技术规范 [S].
(收稿日期 2009-08-29 编辑 高建群)

《水利水电科技进步》征订启事

(邮发代号 28-244 ,CN32-1439/TV ,
ISSN1006-7647 ,双月刊 ,A4 开本)

《水利水电科技进步》由河海大学主办 ,是全国中文核心期刊 ,中国科技核心期刊 ,全国水利系统优秀期刊 ,华东地区优秀期刊 ,江苏省优秀期刊。主要刊登水科学、水工程、水资源、水环境、水管理方面的科技论文 ,主要栏目有水问题论坛、研究探讨、工程技术、水管理、专题综述、国外动态等 ,适合与水利、水电、水科学、水工程、水资源、水环境有关的科研、工程、管理人员以及大专院校师生阅读。

本刊由邮局发行 ,邮发代号 :28-244 ,2011 年每期定价 10 元 ,全年 6 期共计 60 元。可在全国各地邮局订阅 ,也可直接向编辑部订阅。

编辑部地址 :南京市西康路 1 号 《水利水电科技进步》编辑部

邮政编码 210098 ,电话/传真 025-83786335

E-mail :jz@hhu.edu.cn

http ://kkb.hhu.edu.cn/web/indexjz.asp ?l_id=5