

雨水综合利用理论与实践



胡良明 高丹盈 编著

雨水综合利用 理论与实践

26.62
84

黄河水利出版社



黄河水利出版社

P426.62
H484

雨水综合利用理论与实践

胡良明 高丹盈 编著

黄河水利出版社
· 郑州 ·

内 容 提 要

本书共分为 10 章,内容包括:绪论,雨水利用与水循环系统,雨水利用区域现状分析,雨水水质特征,雨水收集利用途径及工程设计,雨水收集及净化技术,雨水利用景观、雨水渗透对城市水环境改善,雨水综合利用系统,雨水利用工程评价与管理,雨水利用工程实践。本书既可作为水文水资源专业研究生的参考教材,也可供城市规划、给水排水工程、环境工程、水利工程、园林景观工程等领域的管理人员、科技工作者、房地产开发人员和高等学校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

雨水综合利用理论与实践/胡良明,高丹盈编著.
郑州:黄河水利出版社,2009.10
ISBN 978-7-80734-739-2

I. 雨… II. ①胡… ②高… III. ①降雨-水资源
利用-研究生-教材 IV. ①P426.62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 194504 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:13.25

字数:306 千字

版次:2009 年 10 月第 1 版

印数:1—1 100

印次:2009 年 10 月第 1 次印刷

定价:28.00 元

前 言

随着我国经济社会的快速发展和城市化与工业化进程的加快,水资源供求矛盾日趋突出,缺水已成为制约我国经济和社会可持续发展的主要因素。因此,开源节流,做好节水和开辟新的水源是我国必须长期坚持的战略方针。雨水利用是节水的有效方法之一,也是一个方兴未艾的新兴的科研与开发领域,应用前景广阔,为开发建设水源开辟了新的道路。把雨水收集与综合利用工作贯穿于经济社会发展的全过程,是解决城市洪涝灾害、水资源短缺、干旱和半干旱地区农村缺水等问题,建设绿色与生态化城市,推进工业化和城市化进程,建设社会主义新农村,保障经济社会可持续发展,实现全面建设小康社会战略目标的重要措施;是落实科学发展观、促进人与自然和谐发展以及建设节约型社会的必然要求。

水是城市的灵魂。历史发展证明,水是城市最大程度地满足人类聚居功能和城市综合文明的基础,山水与城市结合具有天、地、人合一的东方特有的哲学文化内涵,将是城市建设可持续发展的可靠途径。按照现代化城市供水战略理念,应优先采用天上水,其次采用过境水,再次采用地表水和地下水。雨水利用作为城市供水的新方法已越来越显示出它的兴利势头,已逐步走进我们的生活。因此,如何留住天上水,建设节约型社会,实现水资源的可持续利用,探讨雨水综合利用——建立雨水收集工程已势在必行。编写本书的目的就是让在校学生和从事雨水利用的工程技术人员、管理人员了解雨水利用的现状和重要性,掌握雨水综合利用的基本理论知识,在雨水综合利用工程建设过程中,能够更好地为示范单位服务。

本书力求在内容上理论联系实际,在叙述上浅显易懂,着重阐明雨水收集利用的重要性、雨水水质分析、雨水收集利用的方法及途径、可集雨量计算、蓄水池有效容积确定、雨水收集净化技术、雨水综合利用工程管理及评价,以使学生较为全面、系统地获得雨水收集综合利用工程方面的知识。本书还给出了不同类型雨水综合利用的工程实例,便于工程技术人员参考。本书既可作为水文水资源专业研究生的教材,也可作为高等学校水利水电类本科专业的参考教材,同时还可作为水利水电工程管理人员及其他技术人员的参考书。

2001年开始,郑州市节水供水办公室、河南省教育厅和郑州大学立项,分别以“郑州市雨水综合利用研究”(该项目获得2008年河南省科技进步二等奖)、“郑州市雨水综合利用基础与应用研究”(项目编号2009A57009)等课题

和近 10 个示范工程对雨水的利用理论及相关问题进行了系统的研究,本书就是在多年的研究和工程应用的基础上编写而成的。

本书由胡良明、高丹盈编著,研究生马小跃、翟家齐、陈锋、胡云鹤和李玉涛参加了雨水收集利用工程的部分设计工作;在雨水收集利用工程的实施过程中,郑州市节水供水办公室及雨水利用示范单位给予了大力支持与帮助,在此表示感谢!同时,在本书编写过程中,编者参阅了有关院校和科研、生产、管理单位编写的教材、专著或论文,在此对参考文献的作者表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在缺点、错误和不足之处,诚恳地希望读者给予批评指正。

胡良明 高丹盈
2009 年 9 月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 雨水利用发展概况	(1)
1.2 国外雨水利用	(2)
1.3 国内雨水利用	(8)
第2章 雨水利用与水循环系统	(12)
2.1 雨水利用中的基本概念	(12)
2.2 雨水资源与水循环系统	(14)
2.3 雨水利用存在的问题	(16)
2.4 雨水利用的方式与意义	(19)
第3章 雨水利用区域现状分析	(24)
3.1 西北地区雨水集蓄利用发展状况分析	(24)
3.2 西南地区雨水集蓄利用发展状况分析	(29)
3.3 华北地区雨水集蓄利用发展状况分析	(35)
3.4 海岛地区雨水集蓄利用发展状况分析	(42)
第4章 雨水水质特征	(48)
4.1 雨水水质分析	(48)
4.2 雨水水质分析实验方法	(57)
4.3 雨水径流水质分析	(62)
4.4 城市雨水径流冲刷规律	(71)
第5章 雨水收集利用途径及工程设计	(74)
5.1 城市雨水收集利用的途径	(74)
5.2 城市雨水收集利用模型	(75)
5.3 城市雨水收集利用工程设计理论	(83)
5.4 城市雨水收集利用工程设计	(87)
第6章 雨水收集及净化技术	(94)
6.1 雨水收集系统	(94)
6.2 雨水净化	(102)
6.3 自然净化技术	(111)
6.4 雨水净化设备举例	(123)
第7章 雨水利用景观、雨水渗透对城市水环境改善	(125)
7.1 雨水利用对生态环境的影响	(125)
7.2 雨水利用景观及其对城市水环境的改善	(127)

7.3	雨水回灌技术	(128)
7.4	国外的雨水生态利用技术	(130)
第8章	雨水综合利用系统	(133)
8.1	城市雨水综合利用系统	(133)
8.2	山区雨水综合利用系统	(142)
8.3	雨水利用系统与风能和太阳能利用	(146)
第9章	雨水利用工程评价与管理	(151)
9.1	雨水利用工程方案评价的一般要求和内容	(151)
9.2	雨水利用工程规划设计的技术评价	(153)
9.3	雨水利用工程水质指标评价	(155)
9.4	雨水利用工程环境影响评价	(157)
9.5	雨水利用工程经济评价指标与方法	(158)
9.6	雨水利用工程验收评价	(164)
9.7	雨水利用工程项目管理机构与职责	(165)
9.8	雨水利用工程运行与维护管理	(165)
第10章	雨水利用工程实践	(169)
10.1	郑州市雨水收集利用现状分析	(169)
10.2	城市雨水利用工程实例	(178)
10.3	山区雨水利用工程实例	(198)
附表		(201)
附图		(202)
参考文献		(205)

第 1 章 绪 论

1.1 雨水利用发展概况

人类很早就有了对雨水资源利用的历史。人们发现了早在 4 000 年以前的以色列内格夫沙漠的径流集蓄系统,在内格夫沙漠中,雨水是唯一的水源,而且年降雨量仅 100 mm,却种出庄稼并建立了一系列城市,成为灿烂一时的沙漠文明。公元前 2000 年的中东、北非等地区,即有利用雨水的记载。中东、南阿拉伯以及北非出现了收集雨水用于灌溉、生活、公共卫生等的雨水收集系统;阿拉伯人汇集雨水以保障农业,曾以罗马帝国的粮仓著称;同样在斯里兰卡,为了发展农业,早在公元前就修建了一系列小型阶式池塘在丰雨季节蓄水,供缺水季节使用;印度许多村民的名字都有一个与雨水有关的字尾“sar”,可见,雨水的利用在印度也受到相当的重视。在同干旱气候长期的斗争中,希腊人、阿拉伯人、以色列人积累了收集雨水的丰富经验。在发达的美国,雨水利用的历史也很久远,亚利桑那洲沙漠中印第安人把雨水汇集到几公顷大的区域来发展农业,科罗拉多高原以北的阿那萨基人 500 年之前就修建了数以千计的小坝来汇集冲下山坡的雨水种植庄稼。20 世纪 60 年代,日本开始利用路面收集雨水,70 年代修筑集流面收集雨水。

我国是具有悠久雨水利用历史的国家之一,早在六七千年前,就有稻田集水防旱的记载,春秋时期黄土高原地区就有引洪漫地技术;在 2 500 年前,安徽寿县就修建了平原水库来拦截径流、灌溉作物,在汉水流域的丘陵地区还修建了串联式塘群;各地的龙王庙、皇帝的天坛祈年殿等足以说明雨水在古代社会中受到的重视。600 多年前已经出现了水窖,还有北海团城的千年古树特别集雨方式,这或许是古代城市利用雨水的先例。现在的池塘、隔坡梯田、水窖、保水耕作、覆盖及农艺节水技术等都可归属农业集水利用之列。现在雨水利用的方式很多,如甘肃“121 雨水集流工程”、宁夏“窑窖工程”和陕西“甘露工程”等,为我国旱区雨水利用创出了一条新路。

20 世纪 80 年代以来,雨水集流系统得到迅速的发展。在发展中国家的农村,全世界已经建立了数以千万计的雨水集流系统,而且越来越多的国家对此感兴趣,甚至是在城市与工业区。从雨水利用的范围来看,已遍及世界各大洲,从干旱缺水的发展中国家(有些地区收集雨水作为主要的生活水源),到供水比较充足的发达国家(因其廉价、方便而作为公共用水系统的补充);从雨水的用途来看,有农村生活用水、牲畜用水、灌溉庭院作物和部分农田以及有些地区补充城市用水;从雨水收集的场所看,有山坡、道路的汇流,有屋顶、庭院集水,还有农田的蓄水;从雨水收集系统的组成看,大都由集水面、过滤池、蓄水设施、微型泵及输水管组成;从蓄水设施看,有钢制容器(美国)、钢筋混凝土容器(博茨瓦纳)、砖砌容器(博茨瓦纳)、外表涂有橡胶或包有塑料的纤维可折叠容器(美国)、纤维玻璃水槽(美国)、聚乙烯容器(美国)、红木容器(美国)、黏土坑(巴西)、石头槽

(巴西)、小型池塘(斯里兰卡)以及经过防渗处理的旱井或水窖(中国)等;从雨水收集系统的发展程度看,有些国家已经开始制定雨水收集系统的标准或规划指南以及系统的优化设计等(如美国、日本),而多数发展中国家还处在以民间方式初步利用阶段或雨水利用示范阶段。

1982年,夏威夷召开第一届国际雨水集流大会,嗣后成立了国际雨水集流系统协会(International Rainwater Catchment Systems Association,IRCSA),2007年8月21~23日在澳大利亚的悉尼召开第13届国际雨水集流系统协会大会,促进了国际雨水利用的交流与合作。1995年6月,北京举办了第七届国际雨水集流系统大会。同年9月在北京举行了第七届雨水利用国际学术会议,使我国雨水利用的研究走向正轨;1996年9月在甘肃兰州举行的第一届、1998年9月在江苏徐州举行的第二届全国雨水利用暨东亚地区国际研讨会,研究主要集中在干旱半干旱地区人畜饮水、集流节灌、集蓄雨水补灌地下水及城市集流等问题,在国内外产生了很大的影响。

1.2 国外雨水利用

由于全球范围内水资源紧缺和暴雨灾害频繁,近20年来,美国、德国、日本、英国、加拿大、丹麦、意大利、法国、墨西哥、以色列、澳大利亚、印度、新加坡等40多个国家相继开展了雨水利用的研究与实践,并召开过十三届国际雨水利用大会。其中,德、日、美等经济发达、城市化进程发展较早的国家,将城市雨水利用作为解决城市水源问题的战略措施,已建立了完整的雨水收集利用体系及相关的规范制度,并开始走向系统化、集成化和规范化。

1.2.1 美国:就地滞洪蓄水

美国的雨水利用常以提高天然入渗能力为目的。1993年大水之后,在芝加哥市兴建了地下隧道蓄水系统,以解决城市防洪和雨水利用问题。其他很多城市还建立了屋顶蓄水和由入渗池、井、草地、透水地面组成的地表回灌系统,让洪水迂回滞留于曾经被堤防保护的土壤中,既利用了洪水的生态环境功能,同时减轻其他重要地区的防洪压力。美国的关岛、维尔金岛广泛利用雨水进行草地灌溉和冲洗。美国不但重视工程措施,而且还制定了相应的法律法规对雨水利用给予支持。如科罗拉多州、佛罗里达州和宾夕法尼亚州分别制定了《雨水利用条例》,这些条例规定新开发区的暴雨洪水洪峰流量不能超过开发前的水平,所有新开发区必须实行强制的“就地滞洪蓄水”。

1.2.2 伦敦:用雨水冲厕所

以伦敦世纪圆顶的雨水收集利用系统为例,泰晤士河水公司为了研究不同规模的水循环方案,设计了英国2000年的展示建筑——世纪圆顶示范工程。在该建筑物内每天回收500 m³水用以冲洗该建筑物内的厕所,其中100 m³为从屋顶收集的雨水。这使其成为欧洲最大的建筑物内的水循环设施。从面积相当于12个足球场大小的10万 m²的圆顶盖上收集来的雨水,经过24个专门设置的汇水斗进入地表水排放管中。

1.2.3 德国:放跑雨水要收费

德国是欧洲极力主张广泛进行雨水利用的国家之一。自 20 世纪 80 年代开始,德国就大力发展雨水收集利用的研究和应用,并于 1989 年制定了屋面雨水利用设施标准,目前已成为世界上最先进的国家之一。经过不断发展,德国的城市雨水利用技术已进入标准化、产业化阶段,开始向集成化、综合化方向发展。一些公司则专门从事雨水收集利用技术和设施的研究与应用,已开发出具有收集、过滤、贮存、提升、渗透、控制、监测等功能的成套设备和系列定型产品,并已建成较多的雨水利用工程。柏林等一些城市已将城市雨水利用和城市环境、城市生态建设、城市景观建设等结合起来进行设计,已建成一批各具特色的生态小区雨水利用系统。

德国的城市雨水利用系统有四种:一是屋面雨水集蓄系统。所集雨水主要用于家庭、公共场所和企业的非饮用水,可以节约饮用水,减轻城市排水和处理系统的负荷,减少污染物排放量。二是雨水屋顶花园利用系统。这是一种削减城市暴雨径流量、控制非点源污染和美化城市的重要途径,也可以作为雨水集蓄利用的预处理措施,还可以调节建筑温度,减轻城市热岛效应和美化城市环境。屋顶类型有平屋顶,也有坡屋顶,既有单层建筑,也有多层和高层建筑。三是雨水截污与渗透系统。道路雨水通过下水道排入沿途大型蓄水池或通过渗透设施补充地下水。德国城市街道雨水管道口均设有截污挂篮,以拦截雨水径流中的污染物。四是生态小区雨水利用系统。小区沿着排水道建有渗透浅沟,表面植有草皮,供雨水径流流过时下渗。超过渗透能力的雨水则进入雨水池或人工湿地,作为水景或继续下渗。达到显著削减城市暴雨径流量、优化小区水系统、减少水涝和改善水环境等效果。

德国还制定了一系列有关雨水利用的法律法规。如目前德国在新建小区之前,无论是工业、商业,还是居民小区,均要设计雨水利用设施,若无雨水利用措施,政府将征收雨水排放设施费和雨水排放费。

1.2.4 丹麦:用水 22% 靠天降

丹麦过去供水主要靠地下水,一些地区的含水层已被过度开采。为此,丹麦开始寻找可替代水源。在城市地区从屋顶收集雨水,收集后的雨水经过收集管底部的预过滤设备,进入贮水池进行贮存。使用时利用泵经进水口的浮筒式过滤器过滤后,用于冲洗厕所和洗衣服。在 7 个月的降雨期,从屋顶收集的雨水量,就足以满足冲洗厕所的用水。而洗衣服的需水量仅 4 个月就可以满足。每年能从居民屋顶收集 645 万 m^3 的雨水,占居民冲洗厕所和洗衣服实际用水量的 68%,占居民用水总量的 22%。

1.2.5 日本:运动场也蓄水

早在 1980 年,日本建设省就开始推行雨水贮留渗透计划。采用雨水贮留渗透计划,可以有效地补充涵养地下水,复活泉水,恢复河川基流,改善环境生态条件。

利用雨水贮留渗透的场所一般为公园、绿地、庭院、停车场、建筑物、运动场和道路等。采用的渗透设施有渗透池、渗透管、渗透井、透水性铺盖、渗透侧沟、调节池和绿地等。

经过有关部门对东京附近 20 个主要降雨区 22 万 m² 范围进行长达 5 年的观测和调查,平均降雨量 69.3 mm 的地区雨水利用后,其平均流出量由原来的 37.59 mm 降低到 5.48 mm,流出率由 51.8% 降低到 5.4%。

在东京都,已经有 8.3% 的人行道采用了透水性柏油路面。雨水通过透水性柏油路面入渗到地下,经过收集系统处理后加以利用。

此外,日本还在一些城市的建筑物上设计了收集雨水的设施,将收集到的雨水用于消防、植树、洗车、冲厕所和冷却水补给等,也可以经处理后供居民饮用。据统计,日本目前已拥有利用雨水设施的建筑物 100 多座,屋顶集水面积 20 多万 m²。东京江东区文化中心修建的收集雨水设施集雨面积 5 600 m²,雨水池容积为 400 m³,每年作饮用水和杂用的雨水占其年用水量的 45%。东京的一座相扑馆,每天用水量可达 300 m³,其中一半用于冲厕所,这些水的大部分是利用大屋顶收集到的雨水。东京穹顶体育馆雨水利用工程就是很好的例子。

东京穹顶体育馆利用巨大的膜屋面收集雨水,经贮存、过滤后与经过净化的厨房排水、杂用水一起用于厕所冲洗。雨水混入中水中,能提高中水的水质标准。收集的部分雨水中 pH 值呈弱酸性,但雨水在调蓄池内 pH 值上升,调蓄池出水与上水混合后水质良好。表 1.2.1 列出了该系统的要点。

表 1.2.1 雨水利用设施概要

所在地	东京都文京区后乐
建筑物用途	室内球场
开始使用年月	1988 年 3 月
目的	水资源有效利用、消减雨水径流的排放、节水
占地面积	110 000 m ²
总建筑面积	116 643 m ²
集水面积	建筑膜屋面:16 000 m ²
雨水贮水槽容积	建筑物地下:1 000 m ³
雨水利用途径	冲洗厕所
水量	110 439 m ³ /a
水质质量	砂过滤、氯消毒
补给水源	上水道、净化杂排水
初期雨水对策	初期降雨排放

该系统示意图见图 1.2.1,穹顶采用四氟化乙烯树脂玻璃钢膜,屋面集水面积约 16 000 m²,采用两个雨水收集系统,经过过滤后用做中水(厕所用水)。

从膜屋面收集的雨水分 2 处汇入初期雨水调蓄池中,排掉一部分污浊水后,再进入雨水调蓄池。如果降雨时初级雨水调节池只放掉少量雨水,会使部分污染的初期雨水进入雨水调蓄池,对系统造成影响。当雨水调蓄池内的水质符合中水使用要求时,即送往中水

处理设施的消泡水池与经过净化的杂排水混合,再经过滤、消毒后作为中水使用。

表 1.2.2 列出了雨水与中水的利用情况。1988 年 10 月至 1989 年 9 月间,雨水利用量在 $1\,060.0\text{ m}^3/\text{月} \sim 4\,945.4\text{ m}^3/\text{月}$ 范围。平均值为 $2\,652.6\text{ m}^3/\text{月}$ 。雨水利用量占全部中水使用量的 13.1% ~ 44.1%, 平均为 28.2%。

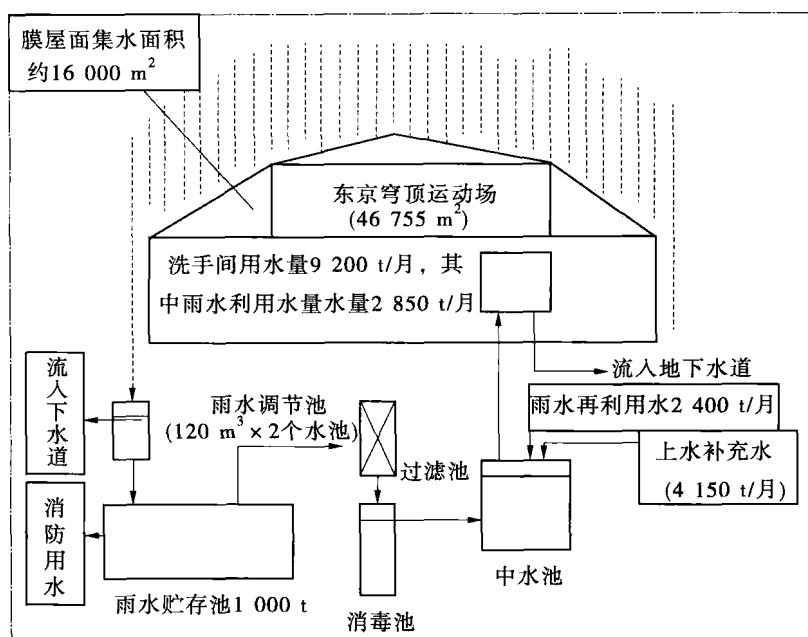


图 1.2.1 雨水利用系统示意图

在调查的 365 天内,东京的降雨天数为 201 天,年降水量为 1 389 mm。一日最大降雨量为 116.5 mm(8 月 10 日),1990 年 8 月雨水使用量最多为 $4\,945\text{ m}^3/\text{月}$ 。

1.2.5.1 雨水水质

调蓄池入口水质:pH 值在 5.4 左右,呈弱酸性。1990 年 1 月 19 日有一次测定的 BOD 浓度为 12 mg/L,其余都在 5 mg/L 以下,属于良好水质。分析 1990 年 1 月 19 日水质,因降雨量太小(小于 0.5 mm)而受到影响。

调蓄池出口水质:pH 平均值为 6.9,大致呈中性,雨水在调蓄池中 pH 值呈上升状态。BOD 浓度在 4 mg/L 以下,获得比较稳定的水质。

东京穹顶体育馆经过净化的厨房排水、洗手水等杂用水与雨水混合后的水质仍能满足上水的水质标准。雨水调蓄池出口的各项水质指标也完全满足再利用水暂定水质标准。

1.2.5.2 中水处理特点

在东京穹顶体育馆中,用于洗手等水质良好的杂排水及厨房排水经中水水源收集后,采用深井生物处理后通过“气浮分离”及“旋转生物过滤”工艺去除大的颗粒物,再送往消泡水池。在消泡水池里经过净化的中水和雨水混合再经砂滤和加入次氯酸钠(NaClO)溶液进行消毒后放入中水池中。当中水量不足时,向中水池补给上水。

表 1.2.2 雨水利用量及所占中水比例

项目	水量(m ³ /月)				占中水比例(%)		
	雨水量	排水量	上水补给量	中水使用量	雨水	排水	上水
1988 年 10 月	3 428.0	2 100.0	2 252.0	7 780.0	44.1	27.0	28.9
11 月	2 186.1	1 676.2	3 603.3	7 465.3	29.3	22.5	48.2
12 月	1 156.8	1 457.3	3 251.0	5 865.1	19.7	24.8	55.5
1989 年 1 月	1 060.0	1 521.1	5 488.0	8 069.1	13.1	18.9	68.0
2 月	2 823.1	1 662.2	6 488.0	10 933.3	25.8	15.2	59.0
3 月	1 347.1	1 964.9	4 588.0	7 900.0	17.1	24.9	58.0
4 月	3 497.1	3 082.5	2 537.0	9 116.6	38.4	33.8	27.8
5 月	1 864.2	2 624.6	6 406.0	10 894.8	17.1	24.1	58.8
6 月	2 328.9	2 369.1	4 501.0	9 199.0	25.3	25.8	48.9
7 月	3 238.6	3 277.8	3 443.0	9 959.4	32.5	32.9	34.6
8 月	4 945.4	3 210.9	3 832.0	11 988.3	41.2	26.8	32.0
9 月	3 956.4	3 804.8	3 507.0	11 268.2	35.1	33.8	31.1
合 计	31 831.7	28 751.4	49 856.3	110 439.1	—	—	—
平均值	2 652.6	2 396.0	4 158.0	9 203.3	28.2	25.9	45.9
最大值	4 945.4	3 804.8	6 448.0	11 988.3	44.1	33.8	68.0
最小值	1 060.0	1 457.3	2 252.0	5 865.1	13.1	15.2	27.8

1.2.5.3 都市雨水利用设施的融资

东京穹顶体育馆建设的雨水利用设施结合了提高都市治水安全性和合理利用水资源等社会要求,利用日本开发银行都市雨水贮存设施融资制度基建费 2.5 亿日元中的 40% (1 亿日元)为长期低息贷款。

为了引导、促进设施建筑物地下雨水调蓄利用设施,日本开发银行都市雨水贮存设施融资制度于 1986 年创建,东京穹顶体育馆是第一号融资项目。

日本于 1963 年开始兴建滞洪和储蓄雨水的蓄洪池,还将蓄洪池的雨水用做喷洒路面、灌溉绿地等城市杂用水。这些设施大多建在地下,以充分利用地下空间。而建在地上的也尽可能满足多种用途,如在调洪池内修建运动场,雨季用来蓄洪,平时用做运动场。近年来,各种雨水入渗设施在日本得到迅速发展,包括渗井、渗沟、渗池等,这些设施占地面积小,可因地制宜地修建在楼前屋后。日本于 1992 年颁布了“第二代城市下水总体规划”,正式将雨水渗沟、渗塘及透水地面作为城市总体规划的组成部分,要求新建和改建的大型公共建筑群必须设置雨水就地下渗设施。

1.2.6 以色列:节水灌溉农业

以色列是一个水资源严重缺乏的国家,全国多年平均水资源总量为 20 亿 m³,人均占有水资源量不足 340 m³。降雨的地区分布极不均匀,在最北端的加利利地区年降雨量达

900 ~ 1 000 mm,中部的死海地区和南部的内格夫沙漠每年的降雨量仅 25 mm,全国有一半以上地区降水量低于 150 mm,且蒸发强烈。

鉴于北部降水较多,以色列充分利用北部山地、丘陵,顺山势以及沿着岩洞中渗漏出的水流方向,挖掘引水沟,修建小型蓄水池,并沿水流途径种植果树,因地制宜充分利用雨水资源;另外,还通过在地表挖掘横竖排列成行的小坑的方法收集雨水,并用于种植棉花、马铃薯等农作物,积极发展节灌农业。

尽管以色列是一个水资源严重匮乏的国家,但是其通过积极发展微灌、滴灌等节水灌溉技术并在全国广泛应用,已成为世界公认的农业发达国家。以色列先进的灌溉技术包括滴灌、埋藏式灌溉、喷洒式灌溉和散布式灌溉。滴灌是指连接主水源的塑料细管分散于植物之间,每棵植物根部有一个滴灌头,每小时供水 1 ~ 20 L 不等,用水效率最高达 95%,特别适用于精细种植;埋藏式灌溉是把水管线埋在地下 50 cm 深处,灌溉时既保持地面干燥,又不影响地面的田间作业;喷洒式灌溉主要适用于果园和温室,每棵树都拥有一个独自の喷洒器为其灌溉,耗水量一般每小时 30 ~ 300 mL,用水效率达 85%;散布式灌溉主要用于大区域和田间作物的灌溉,用水效率达 70%。这些技术特别适合在我国的西北等干旱缺水地区,结合相应的雨水集蓄工程推广应用,进一步促进高效现代农业和地区经济发展。

1.2.7 印度:集雨已见成效

2005 年,被称为水资源领域“诺贝尔奖”的“斯德哥尔摩年度水奖”颁发给了印度科学和环境中心,以表彰其成立 25 年来对于雨水资源开发利用的成就。该中心在过去的 20 多年里创造性地开发出一整套对雨水进行收集、过滤、沉淀和清洁的方法,通过在农村建造水池、池塘、人工湖泊等,积蓄雨水。不仅如此,该中心还针对很多城市地下水开采过度的现状,把古老的雨水储蓄技术也搬到了城市:通过在屋顶设置雨水采集箱、在地面设立雨水过滤箱等措施,把洁净的雨水导入地下水井,建立起一套循环利用水资源的简易系统。

在印度一些大中城市,高架的立交桥在雨水收集中也派上了用场。市政部门在许多幅面比较宽的立交桥下修建了大型储水池。雨水充沛时会顺着立交桥两侧的排水沟直接流入到桥下的水池里,其基本上可以满足城市绿地的浇灌需求。在一些大型广场、学校操场和机场等场所,一般也预先修建了宽约 66.66 cm、深 33.33 cm 的导流渠,将雨水导入附近的储水池内。

1.2.8 澳大利亚:集雨工程初见成效

澳大利亚是一个水资源相对贫乏的国家,全国年平均降水量只有 470 mm。水资源短缺迫使澳大利亚人充分利用好每一滴水。澳大利亚各地开展了以节水为核心的城市雨水利用设计,主要是通过收集雨水并加以利用,节约地下水的开采量,同时大量补充地下水。澳大利亚的城市雨水利用设计被广泛地应用于很多方面,如社区公共用地、住宅、公路两侧、街道空白处、停车场、滞水池都可以进行这种设计。以下是澳大利亚城市雨水利用设计的两个实例。

无花果小区位于澳大利亚新南威尔士州新堡镇城郊,由 27 户居民住户组成。该区的雨水利用设计包括集水箱、渗透水槽和一个与地下水连接的、用于贮存过滤后雨水的中央水池。通过实施该项目,雨水对地下水的补注作用明显,而且成了主要的家用水源。家用水范围包括热水、冲洗厕所和花园浇灌,但不用于饮用。雨水的再利用大大节约了供水量。据调查,用这种方式在小区收集、处理的雨水能够满足 50% 的家用热水和冲洗厕所用水的需求,以及 100% 的花园灌溉和汽车清洗需求。

圣伊丽莎白教堂位于澳洲南部,该区过去被称为“冬天的沼泽、夏天的泥塘”,为此,附近的居民要求对教堂及附近的网球场、停车场进行集雨设计。根据城市雨水利用设计的原则,在当地政府的引导下建成了现在的雨水控制系统。该系统的目标是:在设计降雨概率内,街道路面没有积水;另外,在将雨水送到地面以下 45 m 处的地下含水层之前,由中央处理层自行净化,这样就建立了地下水与教堂区地面产流之间的水量交换。中央处理层由 200 mm 厚的草垫和沙土混合层组成,下面还有带网眼的塑料支撑,以过滤雨水。夏天多余的雨水被存储在地下含水层中以备春天灌溉之需,缓解了春灌缺水的紧张局面。同时,暴雨雨水被及时导入中央处理层和地下,使得路面没有积水。

1.2.9 新加坡:建起“集水区”

受岛国地质条件限制,新加坡严禁开采地下水,以防止地面沉降,因而获取水资源的主要途径就是采集雨水。经过多年的实践,新加坡政府成功地拟订了适合岛国特色的集水区计划,在规划建设、环境保护和综合利用等方面,都进行了有益的探索和尝试,积累了一整套行之有效的经验和办法。目前,新加坡政府开源与节流双项并举,提出开发四大“国家水喉”计划,即天然降水、进口水、新生水和淡化海水,正在向着实现水资源自力更生的目标努力,而其中适合岛国特色的集水区计划无疑扮演着举足轻重的关键角色。

综合上述,国外发达国家雨水利用的主要经验是:制定一系列有关雨水利用的法律、法规和不断地开发研制新技术;建立完善的屋顶蓄水系统和由入渗池、井、草地、透水地面等组成的地表回灌系统;将收集的雨水用于冲洗厕所、洗车、浇洒庭院、洗衣和回灌地下水;在山区农村积极发展集雨节灌,促使农业现代化,从而在不同程度上实现了雨水的综合利用。

1.3 国内雨水利用

我国雨水利用虽具有悠久的历史(早在 4 000 年前的周朝,利用中耕技术增加降雨入渗就在农业生产中得到应用),而真正意义上的雨水利用的研究与应用是从 20 世纪 80 年代开始,于 90 年代在一些地区得到一定程度的发展。由于我国是一个农业大国,农业灌溉用水关系到农业的发展和民生大计,所以雨水的集蓄利用在一些缺水的农村地区较先开始发展。在西北干旱半干旱地区通过长期的生产实践,创造了许多雨水集蓄利用技术,如坎儿井、土窖、大口井等多种蓄水设施,对当地农业的发展发挥了十分重要的作用。如甘肃的“121 雨水集流工程”、宁夏的“窑窖工程”、陕西的“甘露工程”和新密的“集雨节灌工程”都已形成一定的规模,并取得了显著的经济效益和社会效益,加快了社会主义新农

村的建设。

我国是一个水资源相对贫乏、时空分布又极不均匀的国家。水资源年内年际变化大,降水及径流的年内分配集中在夏季的几个月中;连丰、连枯年份交替出现,造成一些地区干旱灾害出现频繁和水资源供需矛盾突出等问题。我国水资源总量为 28 000 多亿 m^3 ,居世界第 6 位,但人均水资源占有量只有 2 300 m^3 ,约为世界人均水平的 1/4。全国水资源的 81% 集中分布在长江及其以南地区,而淮河及其以北地区,水资源量仅占全国的 19%。总体来说,我国水资源的分布是南方多于北方,东部地区多于西部地区。由于水资源分布的差异以及我国水资源污染的日益加重,我国城市水资源正在面临着不足和短缺等问题。造成城市水资源不足和短缺的主要原因:一是水资源总量先天不足,人口多,人均水资源少;二是水源水质日趋恶化,不能满足水体正常循环使用的功能要求,大大减少了有效水资源的利用。城市中的一部分污水没有经过处理直接排入江河湖海中,造成天然水体的污染,破坏了天然水体的良性循环。目前,全国城市水源只有 30% 符合卫生标准,全国七大水系有一半以上被污染,流经 42 个大中城市的 44 条河流中大约有 93% 被污染。

同时,我国又是世界上用水量最多的国家,仅 2002 年,全国淡水取用量达到 5 497 亿 m^3 ,大约占世界年取用量的 13%。中国从 20 世纪 70 年代以来水资源供需矛盾就比较明显,20 世纪 80 年代以来,中国的水资源短缺由局部逐渐蔓延至全国,对农业和国民经济已经带来了严重影响。据统计,我国目前缺水总量估计为 400 亿 m^3 ,有近 400 座城市供水不足,严重缺水的有 130 多个;每年受旱面积 200 万 ~ 260 万 km^2 ,影响粮食产量 150 亿 ~ 200 亿 kg,影响工业产值 2 000 多亿元,全国还有 7 000 万人饮水困难。

我国干旱山区水资源分布不均,人畜饮水都面临困难,已经严重制约了山区的经济发展,阻碍了社会的文明进步。农村雨水集蓄综合利用工程具有的经济高效、灵活机动、产权明晰的特点,适合农村一家一户、分散经营管理的实际情况,能够有效解决当前山区缺水的难题,改善干旱山区农民生产生活条件和生存环境,而且有利于开辟和发展高效农业道路,实现农民增收、农业增效、农村经济的可持续发展。

目前,我国有近 400 座城市面临缺水的困扰,并且有加剧的趋势。与此同时,由于城市不透水面积的不断增加,改变了原有的水文特征,每年都白白流失大量雨水资源。另外,由于多数城市排水系统不能满足排泄要求,当暴雨来临时,却又面临着日益严峻的城市防洪压力。随着我国经济社会的快速发展和城市化进程的加快,水资源供需矛盾将更加突出,缺水已成为制约我国经济和社会可持续发展的重要因素,因此雨水的综合利用是我国必须长期坚持的战略方针。把雨水收集和综合利用工作贯穿于经济社会发展的全过程,是解决干旱缺水问题、保障经济社会可持续发展、提高人民生活质量、实现全面建设小康社会战略目标的重要措施,是落实科学发展观、建设节约型社会、促进人与自然和谐发展的必然要求。

我国已经意识到问题的严重性,2001 年,国务院批准了包括雨水收集利用规划内容的《21 世纪初期首都水资源可持续利用规划》。2002 年,中国工程院重大咨询项目《中国城市水资源可持续发展利用》就对我国城市雨水利用的潜力作出了估算,如果把 20% 的雨洪量利用起来,到 2010 年可利用雨水 40 亿 m^3 ,相当于全国城市用水总量的 10% 左右,而到 2030 年可利用雨水 60 亿 m^3 。

雨水利用作为一种经济、实用的小型技术,能够产生巨大的环境效益、生态效益和经济效益,其前景十分广阔。雨水集流应用的范围非常广泛,在生活供水方面,雨水利用尤其适合不宜集中供水的农村以及缺乏淡水的海岛地区、边远山区;在农业用水方面,保水梯田及雨水集流灌溉、雨养农业等都是雨水利用的传统手段;城市雨水集蓄可用于城市卫生、消防、备用水源、环境绿化、回灌地下水、水面景观等方面,雨水综合利用正愈来愈受到人们的重视。

相比之下,由于我国的城市化水平自20世纪80年代才有了较大的提高,城市水资源短缺和雨洪灾害在近几年才逐渐得到人们的普遍关注,在一些大中城市,如北京、上海、大连、西安、哈尔滨、郑州等城市的雨水收集利用已经取得了一定的成效,不少建筑物已经建有雨水收集系统,只是处理和回用系统还不完善,比较典型的有山东的长岛县、大连的獐子岛和浙江省舟山市葫芦岛等雨水集流利用工程。同时也缺乏相应的技术规范 and 法律法规保障体系。总体来看,我国雨水收集技术的研究和应用只是刚刚起步,大部分地区还处于探索和工程示范推广阶段。

1.3.1 甘肃“121 雨水集流工程”

“121 雨水集流工程”是指干旱地区的1户农民,在院子里砌100 m²左右的水泥集流场,挖砌2口蓄水窖,并利用其发展1亩^①左右的高效庭院经济。近年来的实践证明,混凝土集流场的集水率可达70%以上,如果年降雨量300 mm左右,100 m²集流场加上50 m²屋面全年可以集水37 m³左右,除基本满足五口之家的需要外,还可发展1亩庭院经济。

该项雨水集流工程主要由集水面、水窖(或蓄水池)和输水管(沟)三部分组成:

(1)集水面。包括100 m²左右的集水场和约50 m²的屋面。集水场主要利用庭院和道路采用高效、经济的防渗材料(一般用水泥)砌成。雨前将集水场打扫干净,以集流较干净的雨水,提高降水集流效率。

(2)水窖(或蓄水池)。水窖设计能够就近利用农户原有水窖的尽量利用原窖,距家太远或高程限制难以利用的农户可在庭院内外就近新建水窖。水窖窖址的选择要求地基土质好,靠近集流场,远离厕所和畜圈。地面要做窖口,防护污染水质和便于取水。有条件的可安装手压泵,实行自来水化。

(3)输水管(沟)。输水管(沟)可用砖、塑料管等建成,可明可暗,以顺利输送雨水进入水窖为原则,自由设计。但要求在进入水窖前,最好建小沉淀池,以沉淀泥沙,保证水质清澈。

1.3.2 北京的城市雨水利用

北京是我国第一个开展城市雨水利用的城市。于2000年启动的中德合作“城区水资源可持续利用——雨洪控制与地下水回灌”项目,是我国开展得比较早的城市雨水利用项目之一。通过建立示范小区引进吸收德国先进、成熟的雨洪利用技术与设备,将汛期来

① 1亩=667 m²。