

农村雨水集蓄利用 理论与实践

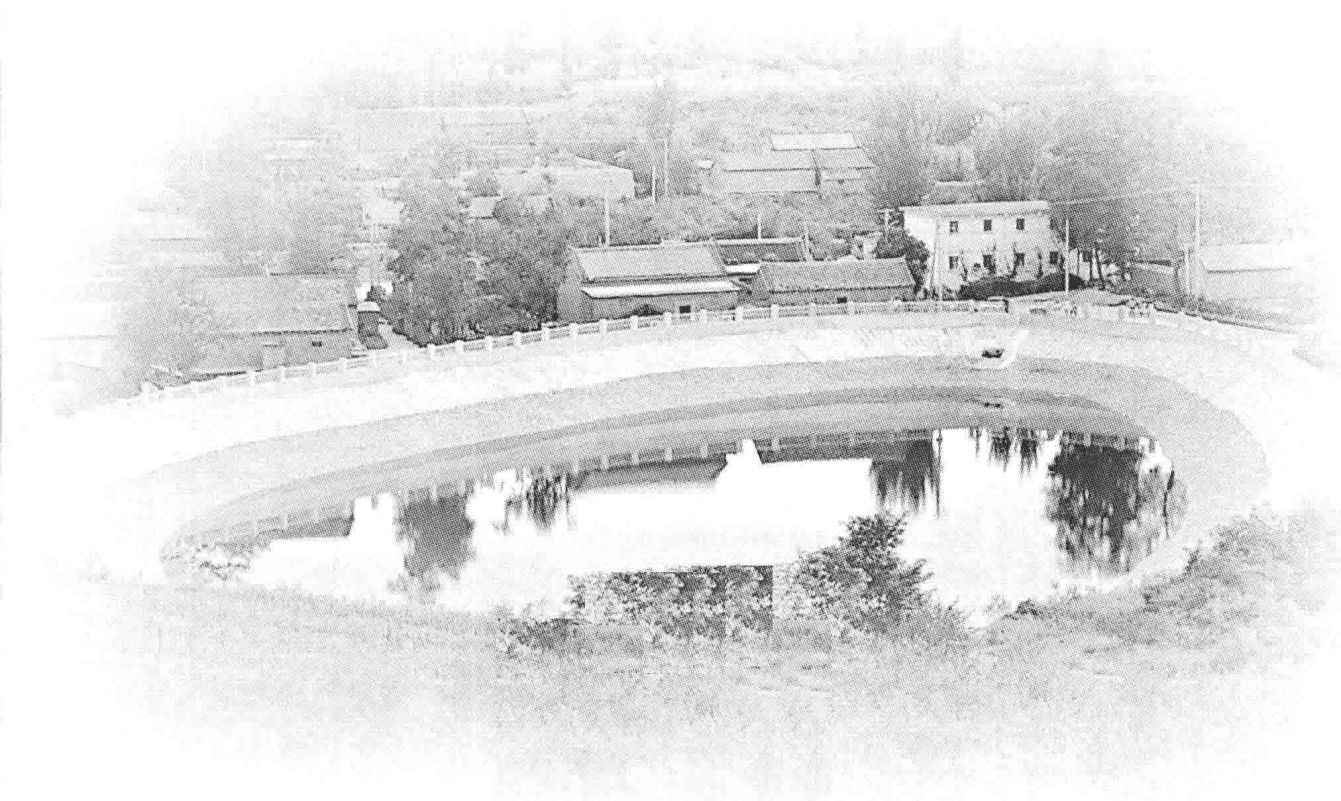
金彦兆 周录文 唐小娟 吴婕 孙栋元 郑勇 郑文燕 李育鸿 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

农村雨水集蓄利用 理论与实践

金彦兆 周录文 唐小娟 吴婕 孙栋元 郑勇 郑文燕 李育鸿 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书全面、系统地总结了近 30 年来我国农村雨水集蓄利用研究取得的成果，理论探索、技术研发与实践利用相结合，系统性强，内容丰富，具有较强的理论性、适用性和可操作性。全书共分为四篇十章，其中，第一篇为“现状篇”共 1 章，重点叙述了我国农村雨水集蓄利用背景及国内外发展趋势；第二篇为“理论与技术篇”共 6 章，重点从农村雨水集蓄利用基本原理与理论创新、工程系统组成及其规划、工程系统设计、配套农业技术、材料与设备以及工程管理等方面，系统阐述了农村雨水集蓄利用理论与技术；第三篇为“实践篇”共 2 章，重点从甘肃农村雨水集蓄利用实践与效果评价两方面，系统总结了甘肃农村雨水集蓄利用的总体需求、具体做法、利用模式与取得的成效；第四篇为“展望篇”共 1 章，重点阐述了未来雨水集蓄利用需求、发展方向、利用途径和发展模式，同时深入分析了未来雨水集蓄利用面临的机遇与挑战。

本书可供从事雨水集蓄利用工程规划、设计、施工和运行管理人员使用，亦可供有关研究人员与大专院校师生参考。

图书在版编目（C I P）数据

农村雨水集蓄利用理论与实践 / 金彦兆等著
． — 北京：中国水利水电出版社，2017.9
ISBN 978-7-5170-5689-8

I. ①农… II. ①金… III. ①农村—降水—蓄水—水利—研究—甘肃 IV. ①TU991.34

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第185421号

书 名	农村雨水集蓄利用理论与实践
作 者	NONGCUN YUSHUI JIXU LIYONG LILUN JISHU YU SHIJIAN
出版发行	金彦兆 周录文 唐小娟 吴婕 孙栋元 郑勇 郑文燕 李育鸿 著 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 18.75 印张 445 千字
版 次	2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0001—1500 册
定 价	88.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究



前 言

干旱是全世界共同面临的重大问题，水资源短缺受到国际社会的广泛关注，由此引发了供需水矛盾、生态环境恶化以及经济社会发展受制等一系列问题。在常规水资源总量有限，开发利用受到限制的情况下，雨水资源成为缓解干旱缺水地区水危机的新途径，雨水集蓄利用技术因此而受到广泛青睐。目前，全世界除南极洲外各大洲均有实施雨水集蓄利用，解决农村生活、发展农业灌溉和恢复生态植被的先例，一些发达国家更是贯彻人水和谐理念，统筹人与自然关系，更加系统、广泛地实施了雨水资源的综合开发利用。

我国水资源严重短缺，人均水资源占有量仅为世界平均水平的 $1/4$ 左右，是全球 13 个贫水国家之一。与此同时，水资源在时空分布上严重不均，以西北、华北为代表的干旱、半干旱地区，人均水资源占有量仅为全国平均水平的 $1/2$ 左右，与联合国规定的人均水资源 1000m^3 的基本要求线持平，已经成为区域经济社会发展和生态环境保护的重要制约性因素。

随着水利建设事业的快速发展，雨水集蓄利用引起了全社会的广泛关注，我国甘肃、宁夏、陕西、山西、内蒙古等北方缺水地区尤其注重对雨水资源的开发利用，先后组织实施了“121”雨水集流工程、集雨节灌工程、径流窖灌农业等大量雨水集蓄利用工程，各有关省（自治区、直辖市）、国家有关部门先后立项开展了相关研究，在雨水集蓄利用理论探讨、技术研发、实践应用等方面取得了大量成果，很好地支撑和引领了雨水集蓄利用技术发展，为缓解区域供需水矛盾、保障水资源可持续利用、支撑经济社会可持续发展提供了重要技术支撑。但总体而言，在雨水集蓄利用水量与水质保障、降水与需水过程耦合、有限水资源高效利用以及综合技术体系形成与完善等方面仍存在保障程度不够、匹配性较差、系统性不强等关键技术问题。为此，甘肃省水利厅于 2016 年在省水利科研与技术推广计划中立项开展了“农村雨水集蓄利用理论创新与技术集成研究”。国家科技部在“十三五”重点研发计划

“流域雨洪资源高效开发利用技术及示范”项目中立题开展了“雨水集蓄利用技术与配套装备”研究，重点针对集雨饮用水安全保障、基于降水-需水过程耦合的雨水就地富集利用、雨水资源高效调控与补充灌溉以及坝窖雨水联蓄联调技术开发与示范等进行了专题研究。本书是在大量前期研究成果的基础上，结合前述课题相关研究内容开展研究取得的阶段性成果。

本书第一章、第十章由唐小娟、金彦兆撰写，第二章由金彦兆、孙栋元、吴婕、郑勇撰写，第三章、第四章由金彦兆撰写，第五章由唐小娟撰写，第六章由周录文、郑勇撰写，第七章由周录文、金彦兆撰写，第八章、第九章由吴婕、金彦兆撰写；全书由金彦兆统稿，李育鸿对部分章节提出了修改意见；书中插图由郑文燕绘制完成。

由于作者水平有限，加之雨水集蓄利用技术起步较晚，相关理论、技术及体系尚处在不断形成与逐步完善之中，对部分问题的认识仍需不断深化，书中难免存在错误与不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

2017年9月



目 录

第一篇 现状篇

第一章 农村雨水集蓄利用背景及发展趋势	3
第一节 雨水集蓄利用技术发展缘由	3
第二节 雨水集蓄利用技术发展背景	6
第三节 雨水集蓄利用技术发展现状	8
第四节 雨水集蓄利用技术发展趋势	22

第二篇 理论与技术篇

第二章 农村雨水集蓄利用基本原理与理论创新	33
第一节 雨水集蓄利用技术及理论基础	33
第二节 雨水集蓄利用潜力及评价	42
第三节 雨水叠加利用技术及其理论	61
第四节 塑料大棚雨水高效利用技术及其理论	65
第五节 雨水集蓄利用设施匹配技术及其理论	72
第六节 设施农业雨水集蓄长系列计算经济利用模式及其理论	86
第七节 雨水集蓄利用蓄水设施结构优化技术及其理论	90
第八节 雨水集蓄利用水质净化技术及其理论	96
第三章 农村雨水集蓄利用工程系统组成及其规划	103
第一节 雨水集蓄利用技术体系	103
第二节 农村雨水集蓄利用工程系统组成	104
第三节 农村雨水集蓄利用工程规划要求	110
第四节 农村雨水集蓄利用工程规划方法	113
第五节 雨水集蓄利用工程规模	119
第四章 农村雨水集蓄利用工程系统设计	130
第一节 雨水集蓄利用集水工程技术	130
第二节 雨水集蓄利用引水工程技术	136
第三节 雨水集蓄利用蓄水工程技术	138
第四节 雨水集蓄利用净水工程技术	156

第五节	雨水集蓄利用供水工程技术	164
第六节	雨水集蓄利用灌溉工程技术	168
第七节	雨水集蓄利用自动控制技术	171
第五章	雨水集蓄利用农业高效用水技术	176
第一节	耕作保墒技术	176
第二节	覆盖保墒技术	181
第三节	水肥耦合利用技术	186
第四节	坡地蓄水保墒技术	189
第五节	垄沟集水种植技术	191
第六节	化学保墒技术	194
第六章	雨水集蓄利用材料与设备	197
第一节	雨水集蓄利用输水与供水材料	197
第二节	雨水集蓄利用供水设施与设备	201
第三节	雨水集蓄利用水处理设施与设备	203
第七章	农村雨水集蓄利用工程管理	208
第一节	规划管理	208
第二节	建设管理	210
第三节	运行管理	213
第四节	水质管理	219

第三篇 实 践 篇

第八章	农村雨水集蓄利用实践	225
第一节	甘肃农村雨水集蓄利用模式与特点	225
第二节	甘肃农村雨水集蓄利用总体需求	235
第三节	甘肃农村雨水集蓄利用工程现状	239
第四节	甘肃农村雨水集蓄利用工程投资需求	247
第九章	甘肃农村雨水集蓄利用工程效果评价	254
第一节	甘肃雨水集蓄利用实施效果评价	254
第二节	甘肃农村雨水集蓄利用效益分析	256
第三节	甘肃雨水集蓄利用工程经济可行性分析	259
第四节	甘肃雨水集蓄利用工程总体评价	263

第四篇 展 望 篇

第十章	雨水集蓄利用展望	267
第一节	雨水集蓄利用需求	267
第二节	雨水集蓄利用发展方向	271
第三节	雨水集蓄利用途径	273

第四节 雨水集蓄利用方式..... 276

第五节 雨水集蓄利用模式..... 280

第六节 雨水集蓄利用面临的机遇与挑战..... 284

参考文献..... 288

第一篇

现状篇



第一章 农村雨水集蓄利用背景及发展趋势

第一节 雨水集蓄利用技术发展缘由

“所有的水都是雨水”这是美国雨水集蓄利用专家理查德·海尼忧经常说的一句话。的确，不论是地表水、地下水，还是河水、井水，最初都来源于雨水。对雨水的集蓄利用不仅可以增加地下水的补给量、涵养水源、节约用水、缓解缺水局面，还可增加农业灌溉与生态林面积，减少区域内的降雨外排流量，缓解市政排水压力，提高城市防洪能力。因此，把雨水作为重要水资源加以收集利用，已经成为一个重要的新兴课题。

Geddes 1963 年首次将雨水集蓄利用 (Rainwater Catchment and Use) 定义为“收集和储存径流或溪流用于农业灌溉”。在此基础上，1975 年、1988 年多人先后多次修改其定义。Mayer 引用 Currier 的定义，将其定义为“从已处理过的区域收集自然降水并有益利用的过程”，Mayer 定义是“一个为了增加降雨或融雪水的实践活动”。Finkel 定义为“径流的收集并用来灌溉作物、草场和树木以及为牲畜提供饮用水”。1996 年，赵松岭等将其定义为“经过一定的人为措施，对雨水径流进行干预，使其就地入渗或汇集蓄存，并加以利用的过程”。对于雨水利用，美国早期称之为 Rainwater Cistern System (雨水收集系统)，英国称为 Rainwater Collection (雨水收集)，泰国称为 Rainwater Storage (雨水储存)，日本称为 Rainwater Resources (雨水资源化)。自第五届国际雨水利用大会后大多称为 Rainwater Catchment System (雨水蓄积系统)，而我国有关文献则称为“雨水利用”(Rainwater Use)。《雨水集蓄利用工程技术规范》(GB/T 50596—2010) 对雨水集蓄利用作了如此界定：“雨水集蓄利用是指采取工程措施对雨水进行收集、蓄存和调节利用的微型水利工程。”同时规定蓄水库容不大于 10000m^3 ，灌溉面积小于 33.3hm^2 。雨水集蓄利用工程的目的主要是为了解决人畜饮水困难、发展庭院经济，进行大田作物和林木的节水灌溉。雨水集蓄利用工程由集流面、输水系统、蓄水设施、生活用水设施和农业灌溉设施等五部分组成。

所有形式的水资源 (包括河川径流、地下水等)，从根本上说都来自雨水，因而雨水利用不仅仅是指借助雨水集蓄利用工程的生活利用和雨养农业利用，而且还包括人工增雨、水土保持、水源涵养、城市防洪和生态环境改善等水资源利用方面。这种雨水利用的概念其外延几乎囊括了水资源利用的所有方式。一般文献中提到的雨水利用是指对雨水的原始形态和最初转化为径流或地下水、土壤水阶段的利用，可将其称为狭义雨水利用 (有的文献称为雨水直接利用)。就狭义雨水利用而言，其内涵至少应包括：①解决人畜饮水；②实施农业补灌；③用于城市消防和绿地灌溉；④补给地下水；⑤修复生态系统。



地球上 70% 的面积是海洋, 水资源总量中 97.5% 是不能直接利用的海水, 淡水资源只占 2.5%, 而可以直接利用的河流、湖泊和水库的淡水资源仅为淡水资源总量的 0.26%, 水资源的珍贵由此可见一斑。随着人口剧增和经济高速发展, 水资源供求矛盾已成为制约世界各国工农业生产和社会发展的瓶颈。工业和城市的迅猛发展, 排污量大增, 又导致水源的污染; 森林等植被破坏使得生态失去平衡, 也会造成降水量减少, 地下水补给量随着也减少。目前, 世界上大约有 90 个国家, 40% 的人口出现缺水危机。同时, 全世界干旱、半干旱区占陆地总面积的 34.3%, 其中干旱区占 24%, 半干旱区占 10.3%, 分布在 50 多个国家和地区, 分布着世界耕地的 42.9%。由此引发了部分地区人民生活贫困、社会经济发展下滑、水资源利用不可持续等问题, 更有甚者在非洲等地区还会由于水危机而爆发区域政治危机。因此, 开源节流, 实现水资源的安全、可持续开发利用已上升为诸多国家共同关注的核心问题和国家战略。联合国于 1997 年发出淡水资源短缺的警报: “缺水问题将严重制约下世纪的经济和社会发展, 并可能导致国家间的冲突。”由此可见, 水是人类最重要的生存依靠, 尤其对于干旱地区, 水更像生命一样宝贵。

我国是一个水资源短缺的国家, 人口占世界总人口的 22%, 水资源总量为 28124 亿 m^3 , 其中河川年平均径流总量约为 27115 亿 m^3 , 居世界第 5 位, 继巴西 69500 亿 m^3 、美国 30560 亿 m^3 、加拿大 29114 亿 m^3 和印度尼西亚 28113 亿 m^3 之后。一方面, 目前我国人均水资源占有量仅为 2100 m^3 , 根据国际标准, 世界人均占有量 12900 m^3 , 而中国人均占有量则不到世界平均的 1/6, 仅相当于美国的 1/5, 俄罗斯的 1/7, 加拿大的 1/50, 居世界第 110 位, 被联合国列为世界 13 个贫水国家之一。另一方面, 降雨时空分布极不均衡, 干旱区约占我国领土总面积的 47%, 包括了北方 15 个省(自治区、直辖市)的 645 个县, 分布着全国 30% 左右的耕地面积。在我国 668 个城市中, 缺水城市达 400 多个, 其中严重缺水城市 110 个。据统计, 全国城市目前日缺水量达 1600 万 m^3 , 每年因缺水损失工业产值 1200 多亿元。全国农村每年缺水约 300 亿 m^3 , 有 5000 多万人和 2.5 亿头牲畜饮水困难。如果用水矛盾得不到有效解决, 将直接影响我国经济可持续发展的大局。因此, 开源节流, 用好每一滴水成为我们每一个公民的责任和义务。

随着经济社会的不断发展, 水资源短缺问题日益突出, 缺水已经成为我国国民经济和社会发展的主要制约因素。据预测, 到 2030 年和 2050 年, 中国的供水缺口将分别达到 2300 亿 m^3 和 3710 亿 m^3 。预计到 2030 年, 中国人口接近 16 亿人时, 用水量将达到 7000 亿~8000 亿 m^3 , 而实际可利用的水资源约为 8000 亿~9500 亿 m^3 , 需水量已逼近可利用水量的极限, 甚至一些地方已经开始出现水生态危机。人均水资源也由目前的 2100 m^3 减少到 1760 m^3 , 逼近国际上公认的 1700 m^3 “用水紧张”的界限。尤其是随着城市化进程的加快, 城市人口的大量增加和工业生产持续规模化, 污水量大幅度增加, 水环境恶化, 原本已经非常紧张的水资源也因污染而丧失其应有的使用功能。全国 90% 以上的城市水域受到不同程度的污染。以太湖流域为例, 因为水污染逐渐加剧, 出现了 3000 多万人守着 2300 km^2 的太湖, 但却出现了“水多用难”的尴尬局面。

20 世纪 80 年代以来, 在我国西北、华北、西南缺水山区及沿海和海岛地区实施了解决干旱缺水问题的有效措施——雨水集蓄利用。采取这些措施地区的共同特点是: 地表水和地下水严重缺乏或季节性缺乏, 地形上山大沟深、沟壑纵横, 修建跨流域引水等骨干工

程的条件十分艰苦。农业生产完全依靠天然降水,而降水的年内分布十分不均,水分供需严重错位,农业生产水平低下。更为严重的是当地居民祖祖辈辈没有可靠的生活饮用水供给,长期饮用不符合饮水标准的山泉水、苦咸水,在供水和食物两方面都缺乏安全保障,是我国最为贫困的地区。但即便如此,每遇干旱年份,经常需要政府组织车辆远距离运水度荒。

我国西北山区群众历史上就有打窖蓄水,解决家庭生活用水的传统,南方许多山区也有修建山塘解决季节性缺水困难的实践。但长期以来,受经济和技术条件的限制,传统雨水利用收集效率很低,蓄水工程渗漏损失大,集蓄的雨水往往连生活饮水都难以满足,更不用说解决农业生产用水。随着半干旱地区雨水集蓄利用技术的兴起,通过有计划设置一定数量的集流面并采取人工防渗处理,有效提高了集流效率,很好地解决了传统雨水利用“水源”不足的问题;同时,通过对蓄水工程采用混凝土材料进行防渗处理,与传统红胶泥防渗相比,减少了劳动力投入,易于保证工程质量。在此基础上,对雨水资源进行了综合利用,不仅解决了人畜饮水问题,而且在现代节水理论和方法的指导上,发展对作物、林草的补充灌溉,大大提高了雨水集蓄利用效益。特别是进入20世纪90年代以来,干旱日益严重,全国每年受旱农作物面积超过2000万 hm^2 ,因干旱粮食减产达150亿 kg 左右。干旱缺水制约着这些地区的自然、社会、经济发展,因而实施雨水集蓄利用具有重要理论和实践意义。而且,把雨水作为重要水资源加以收集储存,实现综合利用成为新兴课题。

面对日益短缺的水资源情势,有效应对的唯一办法就是开源节流,实现雨水资源化及其综合利用作为“开源”的重要内容,成为协调水资源配置模式、缓解水资源供需矛盾的重要抓手。一方面,我国降水量在250mm以上的地区分布很广,且降雨主要集中在6—9月,荒坡山地、路面、场院和屋顶等设施为收集雨水创造了十分有利的条件,这些地方都为进一步开发利用雨水资源提供了许多便利。特别是西北黄土高原沟壑区、华北干旱缺水山区和西南喀斯特地区,地形地貌及地质条件特殊,人口耕地分布零散,水资源供需矛盾十分尖锐,因地制宜建设雨水集蓄利用工程非常必要。另一方面,我国高度重视雨水集蓄利用工作,中央明确提出要支持兴建小微型水利设施,显著提高雨洪资源利用水平和供水保障能力。目前,我国雨水集蓄利用规模居世界第一。从实际效果来看,雨水集蓄利用工程在解决群众饮水困难、提高农业综合生产能力、改善区域生态环境等方面发挥了不可替代的重要作用,同时还在一定程度上解放了农村劳动力,为农民增收、农业发展和农村稳定提供了强有力支撑。

进入21世纪以来,随着人口的不断增长和水资源危机的进一步加剧,跨流域调水和地下水开采受到越来越多的限制,我国水资源面临着更加严峻的挑战,水资源短缺和供需矛盾进一步加剧,全面建设小康社会和社会主义新农村对水资源的需求进一步增加,全球气候变化引起的极端气候和干旱、洪涝灾害频繁发生,雨水集蓄利用技术重新开始发挥其独特作用。但如何才能实现天人合一、人水和谐,在新农村建设中实现雨水集蓄利用的可持续发展是值得思考的一个重要问题。

根据《全国雨水集蓄利用工程实施情况评估》成果,全国已有25个省(自治区、直辖市)不同程度的实施雨水集蓄利用,其中用于解决农村饮水问题的省(自治区、直辖



市)已经达到 22 个,实际解决人口数量达到 2194 万人,但普遍存在的问题是工程建设标准低、供水保证率低、水质状况差,与社会主义新农村建设和目前实施的“农村安全饮水”要求尚有较大差距,对高效、安全、经济的雨水集蓄利用支撑技术具有强烈需求。同时,在我国 25 个省(自治区、直辖市)的雨水利用区目前还有近 1100 万人、333.3 万 hm^2 耕地亟须建设雨水集蓄利用工程,解决生活饮用水缺乏与农业生产受旱的问题。

目前,雨水集蓄利用在解决干旱地区人畜饮水困难、发展旱地农业补充灌溉、促进植被恢复等方面取得了非常显著的应用效果,雨水集蓄利用已经成为干旱、半干旱地区实现农业发展的重要增长点之一。根据贯彻科学发展观思想和以人为本的发展理念,在构建和谐社会,实现经济、社会与环境协调、持续、稳定、健康发展的过程中,以水资源的可持续利用支撑经济社会的可持续发展成为实现这一目标的关键和根本。

随着全球水资源短缺形势的不断加剧,水危机与粮食危机一并成为 21 世纪全球关注的焦点。为了适应党中央提出的全面建设小康社会和社会主义新农村的新要求,加大资源节约型、环境友好型社会建设力度,在我国北方地区,面对水资源数量不足,供需水矛盾不断加剧的现实,以开辟水资源利用途径、提高水资源利用效率为核心的雨水集蓄利用必将在今后获得更大发展空间。可以预见,在我国西北、华北一些干旱、半干旱地区,雨水集蓄利用仍将是今后较长时期内解决农村人畜饮水的重要途径。但与此同时,“农村安全饮水”战略的实施,对雨水的安全利用也提出了更高的要求,这为雨水集蓄利用技术的深层次研究、高水平发展提供了重要契机。

有鉴于此,雨水集蓄利用在全球迅速兴起并取得了巨大成效。我国北方许多水资源短缺省份都先后组织实施了雨水集蓄利用工程,在解决干旱山区人畜饮水困难、改善旱作农业生产条件等方面发挥了重要作用。随着我国水利发展方略的不断调整以及按照构建和谐社会和社会主义新农村建设的具体要求,保障水资源可持续利用、支撑经济社会可持续发展成为未来我国农村水利发展的重点。但与之相矛盾的是受水资源短缺形势的制约,一些干旱山区仍然不得不采用雨水解决生活用水。为此,探讨包括雨水集蓄利用在内的绿色非常规水资源利用战略具有非常重要的现实意义。

第二节 雨水集蓄利用技术发展背景

随着全球范围内干旱情势的不断加剧和水资源的日益紧缺,雨水已成为缺水国家和地区解决用水危机的新途径,雨水集蓄利用因此而受到普遍重视。雨水集蓄利用技术发展历史悠久,据有关记载,这种技术的起源可以追溯到数千年前的古代玛雅文化时期。在人类漫长的发展历史中,由于没有现代化的工程设备和技术,不可能修筑大量的大型水利工程来进行水量调节,雨水集蓄利用一直是生活用水和农业发展的主要措施。目前,在世界 6 大洲都有收集利用雨水解决生活和生产用水的范例,包括发达国家日本、澳大利亚、加拿大、美国、德国和发展中国家泰国、印度、肯尼亚、坦桑尼亚、巴西、墨西哥等亚非拉国家都在推广应用这一技术。

传统的雨水利用在我国具有悠久的历史,在解决农村生活用水、发展旱作农业生产方

面发挥了十分重要的作用,有效支撑了干旱缺水山区经济社会发展。只是到了20世纪中叶,近代科技的发展使人们遗忘了这一曾经支撑了几千年古代灿烂文明的传统技术。然而,近30年来,随着人口的不断增加、水资源的日益短缺以及新建水利工程的难度越来越大,融入现代工程与材料技术的雨水集蓄利用技术才在世界范围内又迅速复兴并发展起来。

进入新时期以来,我国水利发展开始由传统的工程水利向资源水利、可持续发展水利转变并取得了良好效果,关注民生、发展民生水利成为今后较长时期内水利发展的主题。作为干旱缺水地区发展民生水利的重要补充,雨水集蓄利用工程得到重视,雨水集蓄利用技术受到了广泛关注和推崇,也因此对雨水集蓄利用工程在建设标准、发展规模、利用模式等方面提出了更高要求。尤其是自20世纪80年代中后期以来,现代建筑材料、施工与管理技术,包括集流技术、蓄水技术、取用水技术(包括灌溉技术)在内的新兴技术赋予了雨水集蓄利用新的内涵。面对全球干旱越演越烈、水资源短缺形势愈加严峻的背景,雨水集蓄利用技术的兴起与相应工程的大规模发展,在解决干旱、半干旱山区农村生活用水、缓解人畜饮水困难,发展农业补充灌溉、促进农业丰产稳产,实施环境建设、恢复生态植被等方面取得了十分显著的效果。同时,为全面贯彻落党中央提出的全面建设小康社会和社会主义新农村的新要求,加大资源节约型、环境友好型社会建设力度,在我国北方干旱地区,面对水资源数量严重不足,供需水矛盾不断加剧的现实,以开辟水资源利用途径、提高水资源利用效率为核心的雨水集蓄利用必将在今后获得更大的发展空间。可以预见,在我国西北、华北一些干旱、半干旱地区,雨水集蓄利用仍将是今后较长时期内解决农村生活用水不可或缺的重要方式。

纵观我国雨水集蓄利用技术的发展历史,由于受发展时间、支撑技术、认知水平、经济条件等各方面因素的制约,目前普遍存在工程建设标准低、供水标准低、供水保证率低、水质状况差等问题。很显然,现有雨水集蓄利用技术支撑条件下的雨水集蓄利用工程系统构成、工程结构以及蓄水、净水、供水设施与设备,无论在水量还是水质上都远远不能满足社会主义新农村建设与实现农村安全供水的要求。加之我国雨水资源分布十分不均衡,北方干旱少雨,而且大部分降水多以暴雨形式产生,南方多雨,经常造成洪涝灾害。在缺水地区中,生活饮用水供给得不到保障,常常发生水荒,西北和华北地区广大群众历史上就有打窖蓄存雨水的传统,南方山区也有修建山塘解决缺水困难的实践。但限于过去经济水平和技术条件,传统的雨水利用技术较为简单,完全依赖于天然集流面集水,既没有高效收集雨水的集流场,也没有高标准防渗水窖,只能沿用传统的红黏土防渗水窖,雨水收集利用效率较低,远远不能满足生活生产之需。如何从技术层面实现突破,从而提高雨水的收集、储存和利用效率,有效解决干旱山区人畜饮水问题,改善农业生产条件,便成为我们的神圣使命。

我国西北黄土高原丘陵沟壑区、华北干旱缺水山丘区、西南干旱山区,主要涉及13个省(自治区、直辖市),742个县(市、区),面积约200万 km^2 ,人口约2.6亿人。水资源贫乏,区域性、季节性干旱缺水问题严重,大型骨干水利工程建设难度大是这些地区的共同特征。北方黄土高原丘陵沟壑区与干旱缺水山区多年平均年降水量仅为250~600mm,且60%以上集中在7—9月。根据试验资料,该地区主要作物在4—6月的需水



量占全生育期需水量的 40%~60%，而同期降水量却只有全年降水量的 25%~30%。由于特殊的气候、地质和土壤条件，区域内地表和地下水资源都十分缺乏，人均水资源量只有 200~500m³，是全国人均水资源量最低的地区。“三年两头旱，十种九不收”是当地干旱缺水状况的真实写照。西南干旱山区尽管年降水达 800~1200mm，但 85% 的降水集中在夏、秋两季，季节性干旱缺水问题仍然十分突出。而且该区域大部分属喀斯特地貌，土层瘠薄，保水性能极差，降水大多白白流走；许多地方河谷深切、地下水埋藏深，水资源开发利用难度大；加之耕地破碎，人口居住分散，大多不具备修建骨干水利工程的条件，干旱缺水成为当地农业和区域经济发展的主要制约因素。

由于干旱缺水，上述地区 3.9 亿亩耕地中，70% 是“望天田”，粮食平均亩产小麦只有 100kg 左右，玉米只有 150kg 左右。遇到大旱年份，农作物还要大幅度减产甚至绝收，农业生产水平低下，种植结构与产业结构单一，农村经济发展十分落后。区域内有国家级贫困县 353 个，约占县（市、区）总数的一半，贫困人口 2350 万人，有 3420 万人饮水困难，是全国有名的“老、少、边、穷”地区和扶贫攻坚的重点地区。为了生存，当地群众普遍沿用广种薄收的传统耕作方式，陡坡开荒，盲目扩大种植面积，陷入了“越穷越垦，越垦越穷”的恶性循环，区域内 25° 以上的坡耕地面积有 4650 多万亩，有 50% 以上的面积属水土流失面积，生态环境恶劣。要从根本上改变该区域的贫困落后面貌，关键是要解决好水的问题。实践证明，大力发展小型、微型雨水集蓄利用工程，集蓄天然降水，发展节水灌溉是这些地区农业和区域经济发展的唯一出路，而且这项措施投资少，见效快，便于管理，符合该地区农村经济发展要求，应该大力推广，全面普及。

第三节 雨水集蓄利用技术发展现状

一、国外雨水集蓄利用发展现状

雨水集蓄利用技术是一项古老而简易的实用技术，属降雨初期阶段就地利用降水的技术措施。雨水资源开发利用具有悠久的历史，尤其是在集蓄雨水发展农业灌溉方面。世界上不同国家的雨水利用大致都走过了大规模使用—冷落—再度兴起的过程。据墨西哥的一份报告指出，雨水利用可追溯到公元前 6000 多年的阿兹泰克（Aztec）和玛雅文化时期，那时人们已把雨水用于农业生产和生活所需。在墨西哥、秘鲁和南美的安第斯山脉上，建有大片梯田和数百公里精巧的渠道输送雨水，供应印加人的太阳帝国和现已消失的马丘比城，使数十万人在此生活。

早在 4000 年之前的中东、南阿拉伯以及北非就出现了用于灌溉、生活、公共卫生等的雨水收集系统。古代中东的纳巴特人（Nabateans）在涅杰夫沙漠，把从岗丘汇集的径流由渠道分配到各个田块，或把径流储存到窖里，以供农作物利用，获得了较好的收成。以色列利用雨水种出庄稼并建立了一系列城市，成就了灿烂一时的沙漠文明。在威尼斯，屋顶雨水收集和蓄存是直到 16 世纪为止 1300 年间的主要水源。为了发展农业，印度和斯里兰卡早在公元前就修建了一系列小型阶梯式池塘在丰雨季节蓄水，供缺水季节使用。在

哥伦比亚、厄瓜多尔、苏里南沿海和秘鲁南部高原, 3000 多年前的村居就成功地利用不同地形, 修筑台地种植玉米, 在沟底种植水稻。

公元前 2000 多年, 中东地区典型的中产阶级家庭都有雨水收集系统用于生活和灌溉。他们在同干旱气候长期的斗争中, 积累了收集利用雨水的丰富经验。阿拉伯人汇集雨水以保障农业, 这里曾以“罗马帝国的粮仓”而著称, 他们种植了无花果、橄榄树、葡萄、大麦等。在利比亚的干燥河谷内, 人们用堤坝、涵管把高原上的水引至谷底使用。埃及人用集流槽收集雨水作为生活之用。阿拉伯闪米特部族巴泰人在内盖夫 (Negev) 沙漠 (地处地中海和里海间, 终年为副热带高压所控制, 它占到整个以色列国家面积的 60%, 雨水是唯一的水源, 年降雨量仅 100mm) 中, 创造了径流收集系统, 利用这样少量的雨水种出了庄稼, 这种纳巴泰技术直到现在仍在应用。在阿富汗、伊朗、巴基斯坦以及我国的新疆, 2000 多年前就建造了坎儿井用于灌溉。在墨西哥、秘鲁和安第斯山山坡上, 1000 多年前就建造起来能灌能排的雨养梯田。几百年前, 印第安人就收集雨水种植玉米、南瓜和甜瓜。

综上所述, 无论是降水稀少的以色列内盖夫沙漠地带, 还是年降水量在 4000mm 以上的西太平洋诸岛, 几千年来, 那里的人民正是依靠雨水资源的收集和利用顽强地生存下来的。但在人类漫长的发展历史中, 由于没有现代化的工程设备和技术, 不可能修筑大型水利工程来进行水量的拦蓄调节, 因此, 此阶段的雨水仅限于自然条件下的简单利用。

随着人口、耕地的增加和水资源过度开发, 较少污染的雨水又日益被人重视。20 世纪中期, 以色列制订了“沙漠花园”计划, 实施多种形式的雨水集蓄工程, 在沙漠上种出了庄稼, 产生了巨大的经济效益。60 年代, 日本开始收集利用路面雨水, 70 年代修筑集流面收集雨水。80 年代雨水集流系统得到迅速发展, 主要是提供农村生活、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。雨水集蓄利用在一些发展中国家也得到利用, 范围也从生活用水向城市用水和农业用水发展, 如东南亚的尼泊尔、菲律宾、印度和泰国, 非洲的肯尼亚、博茨瓦纳、纳米比亚、坦桑尼亚和马里等国; 在工业发达国家, 如日本、澳大利亚、美国、新加坡、法国、瑞典等国都在开发利用雨水。各国根据自身的社会、经济和科技发展情况, 因地制宜地发展集雨设备和蓄水设施。泰国的“泰缸”工程建造了超过 1200 万个 2m^3 的家庭集流水缸, 解决了超过 300 万农村人口的吃水问题。而肯尼亚的单个蓄水容器的容积更大, 一般每罐储水 $10\sim 100\text{m}^3$ 。澳大利亚在农村及城市郊区的房屋旁, 普遍建造了用波纹钢板制作的圆形水仓, 收集来自屋顶的雨水。据南澳大利亚的一项抽样调查问卷表明, 使用雨水的居民比用城镇集中供水系统的要多。加勒比海地区的雨水也是许多地方居民生活用水的主要来源, 百慕大群岛 80% 以上的居民用水来自雨水收集系统。在非洲肯尼亚的许多地方, 联合国开发署和世界银行的农村供水和卫生项目把雨水存储罐作为项目的一个重要内容。伊朗建立了微集水、广泛集水、洪水收集 3 种集水类型及永久灌溉、补充灌溉和污水灌溉等类型的灌水方法。美国、日本作为雨水利用比较成功的国家, 已经开始制定雨水收集系统标准和规划指南以及系统的优化设计等, 而多数发展中国家包括中国在内的更多地方还处在以民间方式为主的初步利用阶段。

随着水资源日益紧缺和人们对可持续发展的思考, 近 30 年来, 雨水集蓄利用在世界很多国家和地区又迅速复兴和繁荣起来。目前, 世界各地都不乏集蓄雨水发展农业灌溉的