

第一编 雨水集蓄工程

第一章 概述

雨水集蓄技术就是收集、导引雨水径流，并把它蓄存起来的技术。雨水集蓄的试验研究最早的报道见于 1929 年 当时澳大利亚的 A.S.Kenyon 工程师用 $2\,415.5\text{m}^2$ 的白铁皮收集雨水 并把它输送蓄存到一个 409.14m^3 的带盖的蓄水池中，当地年平均降水量 304.8mm 。此后，雨水集蓄的试验研究工作在世界各地相继展开。

在集水面的处理、径流导引方面，国外主要采用植被管理、地表处理和化学处理三种方法。在雨水收集方法上，主要有微型集水区雨水收集系统和径流农业雨水收集系统。雨水蓄存主要采用蓄水池形式。

在黄土高原沟壑区，雨水集蓄已有悠久的历史并继续得到发展。不过，雨水集蓄的试验研究工作起步较晚，而且很少有人将雨水集蓄作为一个系统来研究。

在陇东黄土高原沟壑区，甘肃省水利科学研究所用了 5 年时间（1988~1992 年）作了大量的天然降雨试验，并利用黄河水利委员会西峰水保站的人工降雨基地作了大量的人工降雨试验。试验研究了在几种不同材料制成的集水面上，不同雨量分级、不同雨强分级的降雨集水效率，并从技术、材料、经济的角度分析论证了雨水集蓄工程用于人畜饮水和作物灌溉的可行性。此外，黄河水利委员会西峰水保站、甘肃省庆阳地区水利处和山西省临汾地区水利局等单位也做过类似的集水效率试验研究工作。

黄土高原沟壑区是我国优质苹果生产基地，发展雨水集蓄灌溉工程具有重要意义。即使在需水临界期进行一两次限额灌水，也能大幅度提高其产量和质量，增加收益，效果十分显著。该区降雨多以暴雨形式集中发生在年内 6~9 月，致使水土流失严重，土壤肥力下降，农业生产水平低下，农民收入低而不稳，生态环境恶化。若能充分有效地利用当地雨水资源，不仅可以在很大程度上解决缺水问题，而且可以有效减少暴雨径流灾害，实现暴雨径流资源化，防止水土流失。因此，深入系统地研究当地雨水集蓄是很有现实意义的，其成果将促进该区农业发展 加速农民脱贫致富 并有利于振兴该地区的社会经济 改善生态环境。

第一节 雨水集蓄工程的组成

雨水集蓄工程是指人工对降雨进行收集、汇流、蓄存并进行调节利用的微型水利工程。蓄水容积不大于 $10\,000\text{m}^3$ 灌溉面积小于 33.3hm^2 。一般由集雨系统、输水系统和蓄水系

统组成。

一、集雨系统

集雨系统主要是指收集雨水的场地。集雨场可以是庭院、屋面、道路、胡同和大田等，也可以是采用防渗材料铺砌的地面。常用的集雨面材料有混凝土、水泥瓦、机瓦、青瓦、沥青路面、塑膜、黄土压实面、自然土等，集雨场面积的大小主要根据当地有效降水量、集雨面的集水性能、水窖的容积、年水窖重复利用率等因素确定。

二、输水系统

输水系统是指输水沟（渠）和截流沟。其作用是将集雨场中的雨水收集起来并输送至沉沙池。输水系统可以是土渠，也可以是混凝土、机砖或塑膜衬砌的小明渠，具体根据各地的地形条件、防渗材料及经济条件等，因地制宜地进行规划布置。

三、蓄水系统

蓄水系统包括蓄水建筑物及其附属设施。其作用是蓄存雨水。

（一）蓄水建筑物

在黄土高原沟壑区，蓄水建筑物主要是水窖（窑）和蓄水池。用于生活用水和农业灌溉的形式基本一样，只是容积不同。一般用于生活用水的蓄水建筑物，为了取水方便，多建于庭院和场院附近，蓄水容积在 30m^3 左右，提水设备是以人力为主（手压泵）。用于灌溉的蓄水建筑物多建于田边和地头，容积一般在 $50\sim 100\text{m}^3$ ，提水设备有用动力的微灌泵，也有人工的手压泵。蓄水建筑物按使用的建筑材料及形状可分为土窖、水泥砂浆薄壁窖、混凝土盖碗窖、砖拱窖、窑窖、蓄水池等。各地应根据地形地貌特征、土质条件、经济条件、施工技术和当地材料进行因地制宜地选型。

（二）主要附属设施

（1）沉沙池。其作用是沉降进窖（窑）水流中的泥沙，一般建于水窖（窑）进口处 $3\sim 5\text{m}$ 远的地方，以防渗水造成窖壁坍塌，其容积为 $0.8\sim 2.5\text{m}^3$ 。沉沙池的池底和池壁用混凝土或机砖衬砌，输水渠与进水管不宜正对，以提高泥沙的沉淀效果。

（2）拦污栅和进水管。拦污栅设在沉沙池和进水管接口处，可用冷拔丝或 $\phi 6$ 钢筋焊接，也可用铁皮制作，用于拦截水流中的杂物，如树叶、杂草等漂浮物和砖石块等。进水管一般选用直径大于 80mm 的塑料管、陶瓷管或钢管，将沉沙池中的水引入窖内。进水管进口应略低于输水渠出口，进水管出口应略低于进口。

（3）消力设施。为了减轻进窖水流对窖底的冲刷，应在进水管出口的下方窖底上设置消力设施，根据进窖流量的大小，选用消力池、消力筐或布设石板。

（4）窖口平台。其作用是保证取水口不致坍塌损坏，同时防止污物进窖。窖台一般高出地面 $0.2\sim 0.4\text{m}$ ，平时要加盖封闭，如果是生活用水，要另外加锁，以保证水质安全，取水时可安装提水设备。

第二节 雨水集蓄的历史、现状、存在问题与展望

一、雨水集蓄的历史及现状

雨水集蓄是一项古老的实用技术。如公元前 4500 年，中东一些地区已开始收集雨水用于人饮和农业生产。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。20 世纪中期，以色列制定了“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。20 世纪 80 年代以来，雨水集蓄技术得到迅速发展，在一些多雨的国家也得到发展，雨水利用的范围从生活用水向城市用水和农业用水发展。特别是联合国 1981~1990 年的“国际饮水及卫生十年”计划的实施，使雨水集蓄技术得到迅速发展和推广。1982 年 6 月在美国夏威夷召开了第一届雨水集流利用的国际会议，成立了国际雨水集流系统协会。1995 年 6 月在中国北京召开了第七届雨水集流系统协会，以及全国首届雨水利用学术会议暨东亚地区国际研讨会的召开，进一步推动了雨水集蓄技术的发展。

我国雨水集蓄工程也有悠久的历史。早在 2500 年前，安徽寿县就修建了大型平原水库，拦蓄雨水，用于农业灌溉。高塬沟壑区人民在同干旱作斗争的过程中，创造了许多雨水集蓄技术，如土窖、大口井、涝池、塘坝等设施，发挥了很大的作用。20 世纪 80 年代以来，由于我国北方干旱日益严重，水资源日益紧缺，在国际雨水集流事业的推动下，开始了雨水集蓄技术和水资源持续利用问题的研究。进入 90 年代以来，各地发展较迅速，如甘肃实施的“121”雨水集流工程，内蒙古实施的“112”集雨节水灌溉工程，宁夏实施的“窖水蓄流”工程，陕西实施的“甘露”工程，广西实施的“水柜”工程，还有山西、河南、河北等省也大力发展雨水集蓄工程。这些雨水集蓄措施的研究与应用，取得了一大批成果，产生了显著的社会效益、经济效益和生态效益，具有强大的生命力。

二、我国雨水集蓄技术发展中存在的问题

（一）对雨水集蓄工程的重要性认识不足

面对日益干旱、水资源日趋紧张的局面，主要寄希望于拦截地表径流（如修水库）、开采地下水（打井），或跨流域调水，而对当地雨水资源开发认识不足，未把它当作解决缺水的重要途径，对水环境效益的认识更淡漠，不仅雨水较少的地区应当重视，雨水较多的地区更应重视，实际上雨水越多的地区越适合开发利用。

（二）宏观的、综合性、系统化的研究不够

对各地区及微地貌单元的可集水量缺乏量化指标，对降水量、降雨量、有效降水量、有效降雨量等指标缺乏适宜性研究与评价，并对不同的水文年的集水量缺乏研究。过去侧重于单项技术研究，缺乏系统化、集成化的技术研究。

（三）雨水收集方面的研究有待提高完善

对不同地区、不同地貌单元的雨水集蓄方式，各种集雨面的集雨效率、可集水量的计算方法，各种集雨面设计方法、技术标准，提高集雨效率的物理化学处理技术，新材料、新工艺在集雨面处理中的应用等方面的研究均有待完善提高。

（四）雨水蓄存方面需要提高系统化、标准化设计水平

雨水蓄存设施结构的优化定型设计与施工技术，不同地貌单元和不同需水条件下蓄存设施的结构、标准化设计参数均有待规范，雨水蓄存作为雨水收集和利用的中间环节，如何做到衔接配套 实现系统化设计 保证雨水收集、蓄存、利用 形成一个完整的体系 以及各种蓄水设施的防渗、防冻技术，包括一些防渗新材料的应用，新窖体、窖型的开发，以及雨水净化措施及物理化学处理技术等，都需要加大研究力度尽快解决，以适应雨水集蓄工程发展的需要。

三、雨水集蓄工程技术的发展前景

我国是一个水资源短缺的国家，干旱缺水已成为工农业生产发展的制约因素。高塬沟壑区年降水量多在 400~600mm，降水年内分配不均，多集中在 6~9 月 且以暴雨形式出现，造成水土流失。该区已成为我国优质苹果生产基地，而干旱缺水制约着当地土地和光热资源的充分发挥。因此，充分利用当地降雨资源，发展雨水集蓄工程，提高作物的产量和质量，帮助群众脱贫致富，不但是该区需要迫切解决的问题，也是我国农业生产中的一个带战略性的问题。

由于雨水集蓄工程一般规模小，分布较分散，不会造成淹没、移民等不利的环境影响，且有利于环境保护和可持续发展。因此，凡年有效降雨量在 250mm 以上的地区，都可开发雨水资源 用于解决生活、生产用水 实施节水灌溉 变被动抗旱为主动抗旱 这是我国 21 世纪水资源实现可持续利用的一条重要途径。雨水集蓄工程技术的发展前景十分广阔。

第二章 雨水集蓄工程规划

第一节 雨水集蓄工程规划的任务和原则

一、规划的主要任务

- (1)收集基本资料。
- (2)论证工程的可行性。
- (3)根据雨水资源、生产生活用水合理确定工程规模。
- (4)合理布设集雨场、蓄水建筑物和附属设施。
- (5)工程概算。
- (6)效益分析和施工组织安排。

二、规划的主要原则

(一)因地制宜

由于雨水集蓄工程形式的多样性及各地工程条件的差异，要求必须根据当地的实际情况，因地制宜地选用合适的集雨场和蓄水建筑物的类型。

(二)实现多目标利用

尽量将人饮、养殖、庭院经济统一考虑，合理确定工程规模。

(三)与当前农村管理体制相适应

尽量建成一家一处或两处雨水集蓄工程，对大型雨水集蓄工程，实行统一规划和管理，以节省投资。

(四)突出效益的发挥

在解决人畜饮水的基础上，利用集蓄的雨水发展高效农业，提高工程的效益。

(五)多渠道筹资

由于雨水集蓄工程投资较大，而当地群众收入一般较低，加之工程社会、生态效益显著，因此国家、地方应对工程进行资金扶持和技术支持，实行国家、地方、群众相结合，实现多渠道筹资。

第二节 基本资料的收集

为了因地制宜地做好雨水集蓄工程的规划设计与施工，应做好基本资料的收集。

一、地形地貌资料

包括工程所处的位置、高程、高差。一般单个小型雨水集蓄工程不需要地形图。但大型

的、多个雨水集蓄工程要有 1/500 的地形图。

二、水文气象资料

降水资料主要是多年平均降水量（保证率为 50%、75%、95%），一般选用最近的雨量站的近期资料，资料年限不少于 10 年；当地无资料时，可利用有关公式估算。气象资料包括多年平均气温、日照、无霜期及冻土层深度等。

三、集雨设施资料

对当地适宜作集雨场的庭院、场院、道路、胡同、屋顶、天然坡地等的面积进行量测并收集相关集雨面的集雨效率数据。对工程控制范围内已建成的雨水集蓄工程使用状况进行调查。

四、土壤资料

对工程实施地点的土壤质地、容重、田间最大持水量、渗透系数、酸碱度及有机质含量等资料进行收集。

五、其他资料

对工程受益的人口和大小牲畜数进行调查，并对今后 5~10 年内的发展作出预测对建筑材料应调查数量及分布地点。

第三节 雨水集蓄工程规划

工程规划的内容包括：①基本情况分析，即社会经济条件、降雨、地形地貌及集雨面状况；②可行性论证；③规划的原则及目标；④需水量的预测及规划；⑤集雨场规划即在水量供需基本平衡的基础上，选择适宜的集雨面种类和面积；⑥蓄水工程规划，即蓄水建筑物类型选定及蓄水量确定；⑦投资概算，包括投资概算及资金来源分析；⑧效益分析，包括经济、社会、生态三大效益；⑨保证措施，包括组织保证措施、技术保证措施和管理保证措施。

一、来用水分析计算

根据集雨场集水量及生产、生活用水需求，进行水量供需平衡计算和分析，确定雨水集蓄工程合理的规模。

（一）年集水量计算

全年单位集水面积上可集水量按式（2-1）~式（2-3）计算。

$$W = E_y R_p / 1000 \quad (2-1)$$

$$R_p = K P_p \quad (2-2)$$

$$P_p = K_p P_0 \quad (2-3)$$

式中： W ——保证率等于 p 的年份单位集水面积全年可集水量， m^3/m^2 ；

E_y ——某种材料集雨面的全年集雨效率，以小数点表示，由于集雨材料的类型、各地降雨量及其保证率的不同，全年的集雨效率也不同，要选用当地的实测值，若

资料缺乏,可参考类似地区集雨效率,表 2-1~表 2-12 有关集雨效率可作参考;

R_p ——保证率等于 p 的全年降雨量 mm,高塬沟壑区可从附表 C-1 和附图 7、附图 8、附图 9 中查得,也可按式(2-2)和式(2-3)计算;

P_p ——保证率 p 的年降水量 mm;

P_0 ——多年平均降水量, mm;

K_p ——根据保证率及 C_v 值(降水量离差系数)确定的系数,用小数表示,可从附表 E 和附图 10 中查得 高塬沟壑区 $C_s=2.0C_v$ 时可参照表 2-13;

K ——全年降雨量与降水量之比,用小数表示,高塬沟壑区可从附表 C-1 中查得。

(1)《甘肃省雨水集蓄利用工程技术标准》推荐的集雨效率,见表 2-1。

表 2-1 不同材料集雨场在不同降水量及保证率情况下全年集雨效率

多年平均 降水量 (mm)	保证率 (%)	集 雨 效 率 (%)								
		混凝 土	塑膜 覆砂	水泥 土	水泥 瓦	机瓦	青瓦	黄土 夯实	沥青 路面	自然 土坡
400~500	50	80	46	53	75	50	40	25	68	8
	75	79	45	25	74	48	38	23	67	7
	95	76	36	41	69	39	31	19	65	6
300~400	50	80	46	52	75	49	40	26	68	8
	75	78	41	46	72	42	34	21	66	7
	95	75	34	40	67	37	29	17	64	5
200~300	50	78	41	47	71	41	34	20	66	6
	75	75	34	40	66	34	28	17	64	5
	95	73	28	33	62	30	24	13	62	4

(2)“甘肃山旱地集雨节灌高效农田的试验示范”项目推荐的集雨效率,见表 2-2。

表 2-2 集雨效率

集雨面	集雨效率	集雨面	集雨效率
塑膜	0.90	柏油马路	0.80
优质水泥路面	0.85	自然硬化场面	0.25

(3)“集雨灌溉工程技术研究与应用”项目推荐的集雨效率,见表 2-3。

表 2-3 集雨效率

集雨面	集雨效率	集雨面	集雨效率
混凝土	0.63	原土夯实	0.22
屋顶水泥瓦	0.63	屋顶机瓦	0.41

(4)“甘肃雨养农业区集水观测试验研究”项目推荐的集雨效率如下：

塑膜、水泥集水面集雨效率 0.74~0.77；

三合土、夯实土、自然土集雨效率 0.07~0.17。

(5)《庆阳地区农业实用技术选辑》推荐的集雨效率，见表 2-4。

表 2-4 集雨效率

集雨面	集雨效率	集雨面	集雨效率
混凝土	0.8	水泥瓦面	0.75
机瓦面	0.5	青瓦面	0.4
沥青路面	0.68	黄土压实面	0.25
自然土	0.08		

(6)甘肃省庆阳地区水利处孔繁洲推荐的集雨效率，见表 2-5。

表 2-5 集雨效率

集雨面	集雨效率	集雨面	集雨效率
各种屋面、混凝土 沥青路面	0.9	大块石铺切路面和沥青 表面处理的碎石路面	0.6
级配碎石路面	0.45	干砌砖石和碎石地面	0.4
非铺砌土地面	0.3	公园或绿地	0.15
计算洪峰流量	0.15~0.25(规划取大值)	庆阳地区塬面耕地	0.05
庆阳地区山川区平均	0.12~0.15(规划取大值)		

(7)黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站李怀有推荐的集雨效率，见表 2-6。

表 2-6 集雨效率及降雨径流含沙量

集雨面	集雨效率		平均含沙量(kg/m ³)	
	范围	平均值	范围	平均值
冬小麦	0.005 4~0.226	0.103 5	1.97~28.0	10.61
玉米	0.001 0~0.060 9	0.028 3	1.97~12.1	7.07
小豆	—	0.123 0	—	2.86
高粱	0.002 9~0.186	0.071 8	3.43~17.2	9.35
糜子	0.019~0.149	0.090 2	1.67~12.6	7.22
马铃薯	0.065 3~0.084 9	0.075 1	—	46.00
林地	0.000 1~0.041 9	0.002 8	0.00~29.7	3.84
苜蓿地	0.000 3~0.183	0.029 8	0.00~38.2	5.52
天然荒坡	0.000 4~0.359	0.051 5	0.00~902	118.13
乡间上路	0.122~0.382	0.287 7	4.56~10.4	7.17
庄院	0.264~0.368	0.303 3	2.04~4.29	2.95

(8) 山西省临汾水保所推荐的集雨效率，见表 2-7。

表 2-7 集雨效率

集雨面	集雨效率	集雨面	集雨效率
村庄道路	0.155	塑料薄膜	0.9
砖瓦屋顶	0.30	灰土夯实	0.32
水泥砂浆面	0.83		

(9) 北京林业大学王斌瑞推荐的集雨效率，见表 2-8。

表 2-8 集雨效率

集雨面	集雨效率	集雨面	集雨效率
石蜡 + 2% 防蚀剂	0.87	Na 盐喷溶液	0.46
硅酮 + 2% 粘接剂	0.50	Na 盐混土壤	0.80
YJG-1(有机硅)	0.8~0.9		

(10)《陕西省集雨窖灌农业工程建设技术指导手册》推荐的集雨效率，见表 2-9。

表 2-9 集雨面集雨效率及造价

集雨面	集雨效率	造价 (元/m ²)	使用期 (a)	运行费占造价 (%)	造价 + 运行费 (元/m ²)
机瓦	0.34~0.49	3.98	25	2	5.97
水泥瓦	0.66~0.73	4.96	25	2	7.44
混凝土	0.75~0.79	4.82	20	3	7.71
小青瓦	0.34~0.49	3.00	20	3	4.80
水泥石	0.42~0.52	3.64	15	4	5.82
土路坡面	0.30~0.39	0.20	8	50	1.0
黄土夯实	0.17~0.24	0.25	4	20	0.45
塑膜覆砂	0.34~0.45	1.94	10	8	3.49
原坡面	0.05~0.07				

(11) 山西省吉县李彦廷推荐自然集雨场径流量和人工集雨场集雨效率，分别见表 2-10 和表 2-11。

表 2-10 自然集雨场年径流量

集雨场类型	<5°坡耕地	牧草地	幼林地	土质荒坡	道路
年径流量 (mm)	13.6	22.2	21.4	19.5	117.0

表 2-11

不同集雨面集雨效率及年集雨量

集雨面	集雨效率	年集雨量(m^3/m^2)
砖瓦屋顶	0.30	0.12
水泥砂浆抹面	0.830 3	0.33
塑膜覆面	0.896 3	0.36
灰土夯实	0.323 4	0.13
原土夯实	0.30	0.12

(12) 西北农林科技大学史慧珍推荐的年集水量计算方法。一般来说, 水窖集水主要集中在降水 350~450mm 地区, 我们可以依据式 (2-4) 计算单位集雨面积集水量。

$$Q_p = a_i \cdot P \cdot C_v / 1000 \quad (2-4)$$

式中: Q_p ——年集雨量 m^3/m^2 ;

a_i ——集雨面材料 i 的集雨效率;

P ——年降水量, mm;

C_v ——降水年型因子, 平水年取 0.95, 丰水年取 1.2, 干旱年取 0.8。

由于黄土高原水窖集雨一般多由几次较大降雨产流而完成, 我们可以依据式 (2-5) 计算在设计频率 24h 最大 3~5 次降雨深的产流情况拟订集雨场面积的大小。

$$Q_p = \theta_i \cdot h \cdot C_v / 1000 \quad (2-5)$$

式中: θ_i —— i 集雨面材料次降雨集雨效率;

h ——设计频率的降雨深, mm。

结合窖水集雨区的降水与集雨面的产流情况研究成果, 推荐次降雨集雨效率值见表 2-12。

表 2-12

黄土高原次降雨集雨效率经验值

集雨场	草地	荒坡	土石路及场面	沥青及水泥路
集雨效率	0.35~0.45	0.45~0.60	0.65~0.75	0.80~0.85

表 2-13

 K_p 值($C_s = 2.0C_v$)

p (%)	C_v									
	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39
50	0.984	0.981	0.978	0.975	0.972	0.968	0.963	0.959	0.955	0.950
75	0.851	0.836	0.821	0.806	0.791	0.791	0.761	0.746	0.731	0.720
95	0.683	0.657	0.630	0.604	0.578	0.555	0.530	0.506	0.483	0.460

(二) 用水量计算

用水量包括灌溉用水量和生活用水量。在庭院、场院附近的水窖, 往往灌溉和生活用水同时考虑, 较远处田边的蓄水设施, 一般只考虑灌溉用水。

1. 灌溉用水量

按非充分灌溉（限额灌溉）原理进行分析计算。单位面积年灌溉用水量按式（2-6）计算。

$$M_d = (N - 10P_e - W_s) / \eta \quad (2-6)$$

式中： M_d ——非充分灌溉条件下年灌溉定额， m^3/hm^2 ；

N ——灌溉作物的全年需水量， m^3/hm^2 ；

P_e ——作物生育期的有效降雨量，mm，可采用同期的降雨量乘以有效系数而得。该系数对不同地区，不同作物则不同。甘肃、宁夏建议夏作物取 0.7~0.8 秋作物取 0.8~0.9 高塬沟壑区苹果 P_e 值可查附表 C-1；

W_s ——播种前土壤有效储水量， m^3/hm^2 缺资料时可按 $(0.15 \sim 0.25)N$ 作粗略估计；

η ——水的利用系数，若采用微灌， η 可取 0.9。

上式中 N 值是地面灌溉条件下的试验值，在微灌时应乘以一个系数，甘肃和宁夏建议取 0.5~0.8。

单位面积上的年灌溉用水量也可利用灌水定额和灌水次数估算，即年灌溉用水量 = 每次灌水定额 × 灌水次数。这种方法简单明白，表 2-14 列出了甘肃、宁夏各种作物灌水次数和灌水定额。缺乏资料时这种计算结果更符合实际。灌溉用水保证率按 $p = 75\%$ 设计。

表 2-14 甘肃和宁夏两省（区）各种作物的灌水次数与灌水定额

项 目		粮食作物		果树	蔬菜瓜果
		夏作物	秋作物		
灌水次数	年降水量 300mm	3~4	3~4	4~5	8~9
	年降水量 400mm	2~3	2~3	3~4	6~8
	年降水量 500mm	2~3	1~2	2~3	5~6
灌水定额 (m^3/hm^2)	滴灌、膜孔灌	150~225	150~225	120~225	150~225
	点浇、注水灌	75~150	75~150	75~120	75~150

2. 生活用水量

生活用水包括人、大牲畜、小牲畜的饮用水。规划时应采用未来 5~10 年的预测值 并按不同保证率年份的用水定额进行计算。各地的标准可能不一样，陕西省生活用水和生产用水定额见表 2-15，甘肃省和宁夏自治区人畜饮用水定额见表 2-16。

表 2-15 陕西省生活用水和生产用水定额

项目	日(次)用水量 (kg)	日(次)规划用水量 (kg)	需水期 (d)	需水量 (m^3)
每人	5~10	10	365	3.7
大家畜/头	30~40	45	365	16.0
小家畜/头	5~8	8	365	2.9
点浇/ hm^2	75 000	90 000		90.0
喷药/ hm^2	10 000	12 000		12.0
补灌/ hm^2	300 000	300 000		300.0

表 2-16

甘肃和宁夏两省(区)人畜饮用水定额

保证率	人畜饮用水定额		
	人 [kg/(人·天)]	大牲畜 [kg/(头·天)]	小牲畜 [kg/(头或只·天)]
50%	10	30	3~5
75%	8	25	3~4
95%	6	20	2~3

(三) 供需水平衡计算

根据集水量、灌溉用水量和生活用水量,进行平衡计算,确定工程规模,包括集雨场面积、灌溉面积和蓄水建筑物容积。供需水平衡计算应分两种情况进行计算:①以集蓄的雨水作为灌溉和生活用水惟一水源;②以集蓄的雨水为主,以机井和小高抽为保证水源。

1. 以集蓄的雨水为惟一水源

各类集雨场收集的雨水必须满足灌溉和生活用水要求,采用式(2-7)计算:

$$W_p \leq S_{p1}F_{p1} + S_{p2}F_{p2} + \dots + S_{pm}F_{pm} \quad (2-7)$$

式中: W_p ——保证率 p 年份全年需水量 m^3 ,即灌溉用水量与生活用水量之和;

$S_{p1}, S_{p2}, \dots, S_{pm}$ ——保证率 p 年份不同集雨面的集雨场面积, m^2 ;

$F_{p1}, F_{p2}, \dots, F_{pm}$ ——保证率 p 年份不同集雨面单位集水面积上可集水量, m^3/m^2 。

蓄水设施的总容积按式(2-8)计算。

$$V = W_{\max} / (\lambda \cdot \alpha) \quad (2-8)$$

式中: V ——蓄水设施容积, m^3 ;

λ ——蓄水设施的重复利用率,平水年水窖 λ 取 1.5~2.5 涝池 λ 取 1.0~1.5;

α ——容积系数,一般取 0.8;

W_{\max} ——不同保证率年份用水量中的最大值, m^3 其中生活用水量按平水年考虑 灌溉用水按中等干旱年考虑。

2. 集蓄的雨水与机井或小高抽结合使用

在高塬沟壑区,一般以机井或小高抽作为生产生活用水水源。为充分利用雨水资源,减少地下水的开采,实现水资源的可持续利用,提倡兴修雨水集蓄工程。

对集水量、机井提水量、灌溉用水量、生活用水量进行综合平衡计算,合理确定水窖、涝池的规模和机井、小高抽的提水量和提水时间。人畜饮水按机井、小高抽、水窖依次优先选择水源 灌溉用水按涝池、水窖、小高抽、机井依次优先选择水源 按式(2-10)进行水量平衡计算:

$$T_{\text{抽}} = W_{\text{抽}} / (365 Q_{\text{抽}} \cdot N_{\text{抽}}) \quad (2-9)$$

$$W_{\text{抽}} = V_{\text{灌}} + V_{\text{生活}} - V_{\text{集}} \quad (2-10)$$

$$V_{\text{集}} = V'_{\text{涝}} + V'_{\text{窖}} + \alpha (V_{\text{涝}} \cdot M_{\text{涝}} \cdot \lambda_{\text{涝}} + V_{\text{窖}} \cdot M_{\text{窖}} \cdot \lambda_{\text{窖}}) \quad (2-11)$$

式中: $T_{\text{抽}}$ ——机井、小高抽平均每天提水时间, h/d;

$Q_{\text{抽}}$ ——机井、小高抽平均流量 m^3/h ;

$N_{抽}$ ——区域内机井、小高抽数量 个；
 $W_{抽}$ ——区域内机井、小高抽年提水总量 m^3 ；
 $V_{灌}$ ——规划期末灌溉用水量 m^3 ；
 $V_{生活}$ ——规划期末生活用水量 m^3 ；
 $V_{集}$ ——规划期末涝池、水窖总蓄水量 m^3 ；
 α ——容积系数，一般取 0.8；
 $V'_{涝}$ 、 $V'_{窖}$ ——现有涝池、水窖总蓄水量 m^3 ；
 $V_{涝}$ 、 $V_{窖}$ ——规划新增涝池、水窖平均容积 m^3 ；
 $M_{涝}$ 、 $M_{窖}$ ——规划新增涝池、水窖数量；
 $\lambda_{涝}$ 、 $\lambda_{窖}$ ——涝池、水窖重复利用率，平水年一般涝池取 1.0~1.5 次，水窖取 1.5~2.5 次。

二、总体规划

对收集的资料进行系统分析，通过供需水平衡计算，然后进行集雨场、蓄水工程规划，并进行投资预算、效益分析和实施保证措施等规划。

（一）集雨场规划

应充分利用现有条件作为集雨场，若现有条件不具备时，应规划修建人工防渗集雨场。在生态环境建设和小流域综合治理中，利用荒山坡面上部作集雨场时，应规划截水沟和输水渠，将水引入蓄水设施或就地利用。在坡面规划集雨场时尽量规划于上部，以便自压灌溉下部树木或作物。

高塬沟壑区径流主要来自于塬面，因此，塬面是雨水集蓄工程发展的重点区域。塬面土地开发利用程度较高，因此，修建大型集雨场既不现实也无必要，应充分利用现有条件集蓄雨水。

(1) 庭院、场院和屋面集雨。农民的庭院、场院一般经碾压，个别已硬化，屋面多为机瓦或混凝土，集雨效率较高。根据当地有效降雨量、集雨效率、集雨场面积的大小，采用“以场定窖”的原则，在庭院内、场院边修建 30~100 m^3 蓄水设施。采用一些新材料（如有机硅）对集雨面进行喷涂或掺混处理，可显著提高集雨效率。

(2) 道路、胡同集雨。塬面道路网络完善，道路密度一般达 4.0~5.0 km/km^2 ，乡间都有柏油路、石子路和土质路，这些可以直接收集或改造后收集雨水。采用“以场定窖”的原则，合理布设窖群密度和水窖容积，并对水窖进行标准化定型设计，可修建蓄水量 50~200 m^3 的蓄水设施。

(3) 大田集雨。虽然大田的集雨效率较低，但面积较大，可修建蓄水量达 200~3 000 m^3 的蓄水设施。这种方法就是利用大田产生的径流，通过空间富集，达到暴雨径流资料化，实现雨水资源的优化配置。

(4) 温室顶部、大棚棚面集雨。设施农业作为高塬沟壑区的新兴农业，发展势头迅猛，但由于缺水，多分布于机井、小高抽等水源工程附近，影响了大面积推广。由于塑膜集雨效率高，可充分利用温室顶部、大棚棚面收集雨水，采用“以场定窖”的原则，在温室和大棚附近修建 50~100 m^3 水窖。集水不足时，采用“以窖定场”的原则修建人工防渗集雨场，利用新材

料处理集雨场，提高集雨效率，可减少人工防渗集雨场的面积。

(5) 塬坡坡面上部集雨。在塬坡上部修建集雨场。可用防渗新材料进行喷施或掺混处理，提高集雨效率。在集雨场下部修截水沟，在引入沉沙池前修输水沟，蓄水设施的数量和容积应根据集雨量和灌溉用水量因地制宜确定，也可采用“长藤结瓜”式修建多个蓄水设施。

(6) 塬坡冲沟集水。在冲沟中上部修建一道或多道土埝拦截塬面经冲沟下泄的洪水，并导引到蓄水设施中。由于冲沟下泄水量较大，因此，蓄水设施容积应相应增大。

(7) 川道利用滚山水集水。在川道两侧山坡、山脚沿等高线修截水沟 拦截径流 并导引到蓄水设施中。在遏制水土流失的同时，可以自压灌溉川道作物。

(二) 蓄水工程规划

蓄水工程包括水窖、水池、涝池、塘坝等类型 要根据当地的地形、地貌、土质、集雨场状况及蓄水用途进行合理规划布置。用于解决生活用水和庭院经济用水的蓄水设施，一般应选择庭院内、远离厕所、地势较低的地方，以保证水质的卫生和取水方便。用于解决灌溉用水的蓄水设施应尽量建在比灌溉田块高的地方，以便实现自压灌溉。蓄水设施必须避开填方和易滑坡的地段，设施的外壁距崖坎或根系发达的树木距离不小于 5m。公路两旁的蓄水设施应符合公路部门的排水、绿化、养护等有关规定。主要附属设施如沉沙池、进水管应统一规划考虑。

(三) 投资概算

较大的工程应分别列出集雨场、蓄水工程的材料费、施工费、运杂费、勘测设计费、不可预见费和税金等几项，算出工程总投资和单项工程投资。若灌溉和生活用水结合的工程，应按用水量进行投资分摊。

(四) 效益分析

对工程建成投入运行后产生的经济效益、社会效益和生态效益进行分析。经济效益主要是对工程的投资、年运行费、增收效益进行分析。社会效益是工程运行后增加的水量，减轻的劳动量等方面。生态效益是实现雨水径流资源化，减少了水土流失，缓解了用水矛盾，减少了地下水的开采，环境卫生改善等方面。

(五) 实施保证措施

主要包括组织保证措施、技术保证措施和管理保证措施。对于较大的工程，为了保证工程的顺利实施，必须因地制宜，制定切合实际、可操作性强的保证措施。

第三章 集雨场工程

第一节 集雨面材料选择

一、影响集雨面集雨效率的主要因素

（一）降雨特性对集雨效率的影响

全年降雨量的多少及雨强的大小影响集雨效率，随着降雨量和雨强的增加，集雨效率也增加。越是干旱的年份（保证率愈高），全年的集雨效率就越低。

（二）集雨面材料对集雨效率的影响

集雨面的防渗材料有很多种，其集雨效率差异较大，如塑膜防渗集雨面在降雨量不到5mm就可产生径流，集雨效率高达0.9，而大田作为集雨面集雨效率仅为0.05。同种防渗材料在不同地方的年集雨效率亦有差别，同种防渗材料集雨面其密度不同，集雨效率差异较大。

（三）集雨面坡度对集雨效率的影响

同一种集雨面材料，坡度较大时，集雨效率也较大。因为坡度较大，流速较大，降雨停止后坡面上滞留水也较少，因而可提高集雨效率。

二、集雨面材料选择

修建集雨场时，首先要充分利用现有的集雨场，现有集雨场面积小，不能满足集水量要求时，则需修建人工防渗集雨场。防渗材料有很多种，要本着因地制宜、就地取材、集雨效率高和工程造价低的原则选用。

在修建庭院集雨场时，应尽量选用混凝土集雨面，因其具有渗透系数小、集雨效率高，效率也比较稳定，且使用年限长，集水成本低，施工简单，干净卫生等优点。

修建场院集雨场时，应尽量采用有机硅等新材料进行喷涂或掺混处理，这种集雨面具有集雨效率较高、集水成本低、不改变土质、施工简单的特点。

第二节 集雨场设计

一、降雨资料的收集与计算

降雨资料最好选用当地资料，这样计算结果比较符合实际。如果只有降水资料，可根据式(2-2)和式(2-3)计算。高塬沟壑区降雨资料已分析到县，选用1971~1985年降水、降雨资料进行系统分析，并已得到比较可靠的资料，该区集雨场设计可直接查用附表C-1、附表C-2、附表C-3。

二、集雨场面积的计算

集雨场面积的大小主要根据当地降水量、集雨面的集雨效率、水窖(池)的容积、水窖的重复利用率等因素确定,可用式(3-1)计算。

$$S = 1\,000 V \cdot \alpha \cdot \lambda / P_p E_p \quad (3-1)$$

式中: S ——集雨场面积, m^2 ;

V ——水窖(池)容积, m^3 ;

α ——水窖(池)容积系数,一般取 0.8;

λ ——水窖(池)的重复利用率;

P_p ——降水保证率 p 时的降水量, mm ;

E_p ——降水保证率 p 时的集雨效率。

当地资料缺乏时可参考表 3-1~表 3-4。

表 3-1 宁夏不同材料集雨场在不同降水量及保证率情况下全年集水量

多年平均 年降水量 (mm)	保证率 (%)	集水量($m^3/100m^2$)						
		混凝土	水泥土	机瓦	青瓦	黄土夯实	沥青路面	自然土坡
400~500	50	40	26.5	25	20	12.4	34	4
	75	39.5	22.5	24	19	11.5	33.5	3.5
	95	38	20.5	19.5	15.5	9.5	32.5	3.0
300~400	50	32	20.8	19.6	16	10.4	27.2	3.2
	75	31.2	18.4	16.8	13.6	8.4	26.4	2.8
	95	30	16	14.8	11.6	6.8	25.6	2.0
200~300	50	23.4	14.1	12.3	10.2	6	19.8	1.8
	75	22.5	12	10.2	8.4	5.1	19.2	1.5
	95	21.9	9.9	9	7.2	3.9	18.6	1.2

表 3-2 500mm 降水量时不同集雨面条件下的不同容积水窖所需集雨场面积

集雨面	15 m^3	20 m^3	25 m^3	30 m^3	40 m^3	50 m^3
5°坡耕地	1 100	1 467	1 833	2 200	2 933	3 660
牧草地	673	900	1 127	1 353	1 800	2 253
幼林地	700	933	1 167	1 400	1 867	2 333
土质荒坡	767	1 027	1 280	1 540	2 053	2 567
村庄道路	127	173	213	253	340	427
砖瓦屋顶	127	167	207	247	327	413
水泥砂浆抹面	47	60	73	93	120	153
塑膜覆面	40	53	67	87	113	140
灰土夯实	113	153	193	233	307	386
原土夯实	127	167	207	247	327	413

表 3-3

集雨场面积参照

集雨场	不同年平均降雨量时,集 1m ³ 水所需集雨场面积(m ²)			
	400~450(mm)	451~500(mm)	501~550(mm)	551~600(mm)
土路面	≥12.0	11.0	10.0	9.0
沥青路面	≥4.4	4.0	3.6	3.2
塑料薄膜	≥7.0	6.3	5.6	5.0

以道路作集雨场时可参考表 3-3和表 3-4.

表 3-4

常见道路集雨场集水效率和 50m³ 水窖布设密度

道路类型	可利用率	集雨效率			水窖密度(孔/km)		
		350mm	400mm	450mm	350mm	400mm	450mm
生产路	0.70	0.30	0.33	0.36	3~5	4~6	5~7
沥青路	0.80	0.65	0.66	0.67	25~37	29~43	33~49
沥青路	0.85	0.65	0.66	0.67	16~23	18~27	21~31

三、集雨场防渗设计

(1)混凝土集雨面。厚度一般为 3~5cm 现浇分块尺寸以 1.5m×1.5m~2.0m×2.0m 为宜,施工前先将地基作夯实处理,接缝用沥青灌注,或用胶泥填缝。

(2)水泥石夯处理。采用水泥重量比为 10.6% (占总重)左右,夯实后厚度为 5~10cm,干容重达 1.65t/m³。

(3)三七灰土夯实处理。石灰和土配合比为 3:7(体积比)夯实厚度为 5~10cm,干容重达 1.60t/m³。

(4)原土夯实处理。就地将黄土刨松后,洒水至土壤墒情适宜时人工夯实 厚度为 10cm 左右 干容重达 1.55t/m³。

(5)塑膜处理。采用裸露塑膜、覆砂、覆草泥、覆沥青等形式。

(6)钠盐处理。采用在地表喷洒盐溶液或铺盐粒,或者将盐掺混到土壤中,一般用量为 45~1120g/m²。

(7)粗石蜡处理。将地面整平压实后,均匀铺上一层粗石蜡(0.65~1.5kg/m²)用喷灯或太阳能将蜡熔化,形成一个防水层。

(8)有机硅处理。将有机硅(如硅烷偶联剂、甲基硅酸钠等)溶液 1:5~1:8)喷洒到地表或掺混到土壤中 可加 AlSO₄ 溶液进行中和,也可加一些乳胶,以延长集雨面的使用年限,也可采用喷涂处理屋顶,效果显著。

(9)沥青喷洒处理。主要用于以灌溉为目的、廉价、不透水的集雨场,使用年限可达 4~5年。拍光压实集雨面,再喷洒两层沥青。

(10)土工膜处理。处理方法与塑膜处理相似。

(11)土壤固化剂处理。集雨面整平后,按 5~6kg/m² 将土壤固化剂掺混到土壤中夯