

节水灌溉综合技术应用系列讲座

中国灌溉排水发展中心

2007 年 12 月

目 录

前 言	1
第一期 工程节水技术措施	4
1. 渠道防渗技术.....	4
1.1 渠道防渗的节水增效作用	4
1.2 各种渠道防渗技术.....	5
1.3 渠道防渗工程投资与效益	9
2. 低压管道输水灌溉技术.....	18
2.1 低压管道输水灌溉的节水增效作用	18
2.2 低压管道输水灌溉技术及其应用	18
2.3 低压管道输水工程投资与效益	19
3. 喷灌技术.....	21
3.1 喷灌技术的节水增效作用	21
3.2 喷灌技术及其应用	21
3.3 喷灌工程投资与效益	22
4. 微灌技术.....	24
4.1 微灌的节水增效作用	24
4.2 微灌技术与应用	25
4.3 微灌工程投资与效益	27
5. 田间节水地面灌溉技术.....	29
5.1 田间节水地面灌溉技术的节水增效作用	29
5.2 田间节水地面灌溉技术及应用	29
5.3 田间节水地面灌溉工程投资与效益	30
6. 集雨节灌技术.....	33
6.1 集雨节灌技术节水增效的作用	33
6.2 集雨节灌技术及应用	33
6.3 旱地集雨节灌工程投资与效益	34
第二期 节水灌溉配套农业技术措施	39
1. 种植结构优化技术.....	39
1.1 技术原理、要点和适用条件	39
1.2 各地区应用的种植结构优化技术	42
2. 抗旱节水品种筛选应用技术.....	46
2.1 技术原理、要点和适用条件	46
2.2 各地区应用的抗旱节水品种筛选应用技术	47
3. 耕作保墒技术.....	48
3.1 深松蓄墒技术.....	48
3.2 耙耱镇压保墒技术.....	50
3.3 各地区应用的耕作保墒技术.....	51
4. 覆盖保墒技术.....	53
4.1 技术原理、要点和适用条件	53

4.2 各地区应用的覆盖保墒技术.....	57
5. 蒸腾蒸发抑制技术.....	60
5.1 黄腐酸抗旱剂.....	60
5.2 水面蒸发抑制剂.....	62
5.3 土壤保墒剂.....	64
5.4 各地区应用的蒸腾蒸发抑制技术.....	65
6. 化学制剂保水技术.....	68
6.1 技术原理、要点和适用条件.....	68
6.2 各地区应用的化学制剂保水技术.....	70
7. 水肥耦合技术.....	73
7.1 技术原理、要点和适用条件.....	73
7.2 各地区应用的水肥耦合技术.....	76
第三期 管理节水技术措施	78
1. 节水高效灌溉制度制定.....	78
1.1 充分供水条件下的节水高效灌溉制度.....	78
1.2 供水不足条件下的非充分灌溉制度.....	79
1.3 “浅、薄、湿、晒”等为代表的水稻节水灌溉制度	80
2. 土壤墒情监测与灌溉预报技术.....	81
2.1 土壤墒情监测方法.....	82
2.2 灌溉预报技术.....	83
3. 灌区配水技术.....	84
4. 灌区量水技术.....	85
4.1 各种量水技术的原理和特点.....	85
4.2 灌区量水技术应用实例.....	89
5. 灌溉自动控制技术.....	90
5.1 水力自动闸门.....	90
5.2 自动调压喷灌泵站.....	90
5.3 IC 智能卡灌溉管理系统.....	91
5.4 灌溉遥测遥控技术.....	92
5.5 灌区管理自动化技术.....	94
5.6 灌区水利管理信息化技术.....	95
第四、五期 节水灌溉综合技术模式	97
1. 井灌区节水灌溉综合技术模式.....	97
1.1 井灌类型区以减少输水损失、提高用水效率为主的综合节水模式	97
1.2 平原井灌保护生态环境农业节水模式.....	100
1.3 高寒地区井灌水稻节水灌溉综合技术模式.....	101
2. 渠灌类型区节水灌溉综合模式.....	102
2.1 北方以渠道防渗为主结合农艺措施和管理措施的节水灌溉综合模式	102
2.2 东、中部地区渠灌区节水高效灌溉综合模式.....	103
2.3 成都平原渠灌区“节水改造+农艺节水+管理节水”高效用水模 式.....	104
2.4 海南渠灌区以水稻高产节水控制灌溉技术为主的节水综合模式	104
2.5 西北引黄渠灌区水稻节水配套综合技术模式.....	105

2.6 南方渠灌区水稻“湿、晒、浅、间”节水灌溉综合技术模式.....	106
3. 井渠结合灌区节水灌溉综合模式.....	107
3.1 灌区上中下游用水合理调配的井渠结合节水农业技术集成模式	107
3.2 不同水源优化调度的节水农业技术集成模式	108
3.3 引蓄提井渠结合节水灌溉技术集成模式	110
3.4 引河补源灌区节水灌溉集成技术模式	111
4. 天然降水富集区节水高效综合技术模式	112
4.1 宁夏模式.....	113
4.2 内蒙模式.....	115
4.3 甘肃模式.....	116
4.4 南方模式.....	118
五期 节水灌溉综合技术模式(续).....	121
1. 北方干旱内陆河区节水灌溉综合技术集成模式	121
1.1 大田低收益作物低成本降耗简化节水灌溉综合技术模式	121
1.2 大田高收益作物增投增效节水灌溉综合技术模式	123
1.3 以膜下滴灌为主的棉花节水综合技术模式	125
2. 节水抗旱灌溉工程技术模式.....	126
2.1 坡耕地集雨抗旱灌溉工程集成模式	127
2.2 机械化施肥铺膜打孔播种联合作业的节水抗旱灌溉综合技术模式	128
2.3 以坐水种节水抗旱灌溉为主的节水模式	129
2.4 山丘区“适水种植+集雨节灌+农艺措施”旱作农业节水模式	130
3. 设施高效益农业节水综合技术模式.....	131
3.1 北京郊区调整种植结构+设施农业技术+先进灌溉技术高新农业节水模式.....	131
3.2 济南郊区高新农业农业节水技术模式	132
3.3 东北地区微灌、喷灌、智能卡管理技术集成节水模式	132
3.4 西北地区设施高价值作物高投高效精准节水灌溉综合技术模式	133
3.5 中部地区以滴灌自动化灌溉为主的保护地节水高效综合技术模式	135
3.6 南方地区果园节水节肥一体化技术模式	136
4. 机电提水灌区节水技术模式.....	136
4.1 陕西提水灌区节水技术模式.....	137
4.2 甘肃提水灌区节水技术模式.....	137
4.3 南方小型机电提水灌区节水技术模式	138
4.4 丘陵引提灌区“水资源合理利用+非充分灌溉+农业节水措施”节水综合模式 ...	138
参考文献	140

前 言

节水灌溉是根据作物需水规律及当地供水条件,为了有效地利用降水和灌溉水,获取农业最佳经济效益、社会效益、生态环境效益而采取的多种措施的总称。我国节水灌溉的发展与国家经济社会发展水平及宏观经济发展战略密切相关。从 20 世纪 50 年代开始,我国就开展了灌区计划用水、渠道防渗、改进沟畦灌溉技术等有关节水灌溉的技术研究和推广工作。到“九五”及“十五”时期,随着经济社会的快速发展,水资源不足成为制约国民经济和农业发展的“瓶颈”,粮食安全、水安全及生态环境安全问题日益突出,农业可持续发展面临严峻挑战。为提高资源利用效益,党中央、国务院对节水灌溉给予了高度重视,采取一系列对策和措施推动全国节水灌溉的发展,全国节水灌溉的发展进入了数量、质量(配套)与效益(节水增效)并重的良性发展新阶段。全国节水灌溉无论是在规模上,还是质量、效益上都呈跨越式发展态势。形成了骨干与田间、典型项目区试点示范与区域范围内的节水示范相结合,同时注重从节水灌溉技术、节水机理、节水灌溉制度、水资源合理利用、节水灌溉设备、配套农艺措施、管理措施等全方位进行深入研究,提出和推广应用了一大批与节水灌溉配套的工程节水技术,农业节水技术,管理节水技术,并初步形成了符合国情的节水灌溉综合技术体系与综合发展模式;在管理体制及运行机制改革与创新方面也进行了有效探索,并取得一定成效。截止到 2005 年底,全国灌溉面积达到 9.28 亿亩,有效灌溉面积 8.48 亿亩,非耕地上灌溉面积 0.80 亿亩。节水灌溉工程面积为 3.20 亿亩,其中耕地上节水灌溉工程面积 2.95 亿亩;非耕地上约为 0.25 亿亩,主要为林果草节水灌溉。在耕地上节水灌溉工程面积中,渠道防渗 14454 万亩,低压管灌 9933 万亩,喷灌 4184 万亩,微灌 932 万亩。目前,全国有效灌溉面积上节水灌溉工程面积比例为 34.8%,全国灌溉水利用率约为 45%。

节水灌溉综合技术是以工程措施为主、包括农业措施、管理措施的综合技术体系。工程节水措施通常指能提高灌溉水利用率的工程性措施,如进行渠道防渗、采用管道输水、平整土地、合理确定沟畦规格等,也可将传统地面灌溉改为喷灌、微灌。农业节水措施是指与节水灌溉工程技术配套应用的、使农作物节水高效优质的农业技术措施,如种植结构优化技术、抗旱节水品种筛选应用技术、耕作保

墒技术、覆盖保墒技术、蒸腾蒸发抑制技术、化学制剂保水技术和水肥耦合技术等。管理节水措施通常仅指灌溉管理范畴内的节水措施，如节水高效灌溉制度制定、土壤墒情监测与灌溉预报技术、灌区配水技术、灌区量水技术、灌溉自动控制技术等。

节水灌溉不仅要注重工程措施的应用，同时还要注重农业、管理等非工程措施的应用。不同作物有不同的需水规律，不同耕作制度要求不同灌水方式，肥料利用率低在相当程度上源于灌溉水利用率低，不少灌溉设备本身就属于农业机械的范畴。这些事实表明，灌溉是伴随农业的发展而发展的，任何一种灌溉模式都不会脱离当时的农业生产水平。节水灌溉是我国农业实现现代化但又面临水资源短缺制约所选择的灌溉发展模式，它从发展之初就和作物紧密结合在一起，甚至不少节水灌溉技术是以作物名称和工程类型共同命名的，例如大田作物小畦灌溉、小麦玉米两茬平播半固定喷灌、果树滴灌、棉花膜下滴灌、保护地微灌等等。由此可见节水灌溉是一项综合性技术，也就是说只有采取综合节水措施，才能更有效地发挥出节水、增产、增收的效益。

根据水利部最近编制的《全国节水灌溉规划》，为高效利用我国的水资源，保障国家粮食安全、促进经济社会持续健康发展，“十一五”期间需发展耕地节水灌溉工程面积 1.5 亿亩、牧草节水灌溉面积 350 万亩、林果节水灌溉面积 550 万亩、节水措施面积 2 亿亩。到 2020 年，发展耕地节水灌溉工程面积 4.7 亿亩、牧草节水灌溉面积 1300 万亩、林果节水灌溉面积 1700 万亩、节水措施面积 1.5 亿亩。可见我国发展节水灌溉任重而道远。为配合我国大面积发展节水灌溉的要求，本网站专门组织了一批节水灌溉专家，开展对已有相关节水灌溉技术的科技成果及资料的搜集、分析和整理，并对已经实施了节水工程改造的灌溉工程面积上的工程节水技术措施、农业节水技术措施和管理节水技术措施的应用推广情况进行调研。在此基础上，总结成功的经验，筛选适用于各种不同类型区发展节水灌溉的工程、农业和管理节水技术措施，通过本网站这次举办的《节水灌溉综合技术应用推广讲座》向全社会介绍和推荐，以期为我国节水灌溉的发展做出些许微薄的贡献。

本次节水灌溉综合技术应用推广系列讲座共分五期，第一期：工程节水技术措施；第二期：节水灌溉配套农业技术措施；第三期：管理节水技术措施；第四

期：节水灌溉综合技术模式；第五期：节水灌溉综合技术模式（续）。

第一期 工程节水技术措施

1. 渠道防渗技术

1.1 渠道防渗的节水增效作用

(1) 提高渠系水利用系数：目前我国已建渠道防渗工程约 55 万千米，仅占渠道总长的 18%，有 80%以上的渠道没有防渗，仍是土渠输水，渠系水利用系数很低平均不到 0.50。也就是说，从渠首引进的水有 50%以上都在渠道输水过程中通过渠床土壤渗漏损失掉了。因此采用渠道防渗技术对渠床土壤处理或建立不易透水的防护层，如混凝土护面、浆砌块石衬砌、塑料薄膜防渗和混合材料防渗等工程技术措施，可减少输水渗漏损失，加快输水速度，提高灌水效率。与土渠相比，浆砌块石防渗可减少渗漏损失 50%~60%；混凝土护面可减少渗漏损失 60%~70%；塑料薄膜防渗可减少渗漏损失 70%~80%。

(2) 节约投资和运行费用：渠道防渗后减少输水损失，与土渠输水相比，从水源取等量的灌溉水可以灌溉更多的农田，即如果灌溉同等数量的耕地，渠道防渗所需建设水源工程的投资比土渠少得多。据新疆的经验，渠道采用防渗技术措施后，用其节省下来的水灌溉，每亩地的投资约为建水库蓄水灌溉每亩地投资的 1/3。由于渠道防渗后，与土渠相比通过同等流量时，可以加大纵比降、缩小断面，因此不但可降低渠道土方工程投资，而且可减少了渠道占地 40%~50%。对于提水灌区节水即节电或节油，据山西调查，提水灌区每平方米渠道防渗工程，每年可节电 2.7 千瓦·时或节油 1.2 千克，井灌区每平方米渠道防渗工程，每年可节电 5.6 千瓦·时或节油 3.0 千克。渠道防渗后还可大幅度节约管理养护费用，一般比土渠减少 70%。

(3) 防止土壤盐碱化及沼泽化：渠道若不采取防渗技术措施，会因渗漏而补给地下水，不但造成输水损失，而且提高地下水位，在我国北方会导致灌区盐碱化、沼泽化，在南方则会形成冷浸田、反酸田、洋湖田等，造成严重减产，甚至弃耕。更有甚者，引发房屋倒塌，威胁附近工业与民用建筑和人身安全。而采取了渠道防渗后，因大幅度减少了渗漏，对新建灌区可防止产生土壤盐碱化及沼泽化，对已建灌区则可制止或减少土壤盐碱化及沼泽化。

(4) 防止渠道冲刷、淤积及坍塌：渠道防渗后，渠床得到加固，抗冲刷、

抗坍塌能力得到很大提高，对稳定渠道，保障输水安全起到重要作用。特别是塬边或傍山渠道、湿陷性黄土地区，渠道防渗对防止在输水过程中发生决口、滑坡等事故起到很大作用。渠道防渗后由于纵比降增大，糙率减小、流速加快，因此在输水过程中不易发生淤积，特点在浑水灌区，其防淤的优点尤其显著。

1.2 各种渠道防渗技术

1.2.1 土料防渗

(1) 技术原理：在渠床表面铺上一层适当厚度的粘性土、粘砂混合土、灰土、三合土和四合土等材料，经夯实或碾压形成一层紧密的土料防渗层，以减少渠道在输水过程中的渗漏损失。

(2) 技术要点：①首先清除渠底和渠坡含有机质多的表层土和草皮、树根等杂物；②选用符合要求的土料、石灰、砂石和渗合料，土料的原材料应粉碎、过筛，素土粒径不应大于 2 厘米，石灰不应大于 0.5 厘米；③试验选定适宜的土料防渗配合比，严格掌握土料的最优含水量，拌和后含水率与最佳含水率的偏差值不大于 1%；④确定防渗层厚度，根据不同土料种类，渠底厚度 10~40 厘米，渠坡 10~60 厘米；⑤严格控制土料的配料、拌和、铺料和夯实或碾压，防渗层厚度大于 15 厘米 时，应分层铺筑；⑥铺筑时应边铺筑，边夯实，夯实后土料的干容重不得小于设计容量，铺筑完成后，应加强对防渗层的养护，保持充分的湿度和较高的温度。

(3) 适用条件：①流速较低的渠道；②气候温暖无冻害地区；③小型渠道及农、毛渠等田间渠道；④经济条件较差地区。

(4) 应用效果：①一般可减少渗漏量的 60%~90%；②能就地取材；③技术简单，农民容易掌握；④造价低，投资少；⑤可以充分利用现有的碾压机械设备。

(5) 推广前景：因其投资少、见效快，在今后较长一段时间内，仍将是我国中、小型渠道的一种较简便可行的防渗措施。但目前由于我国经济实力增强、防渗新材料和新技术不断问世，应用传统的土料防渗技术正在逐年减少。但是，随着大型碾压机械的应用、土的电化学密实和防渗技术的发展以及新化学材料的研制，也可能会给土料防渗带来生机。

1.2.2 水泥土防渗

(1) 技术原理：将土料、水泥和水按一定比例配合拌匀后，铺设在渠床表

面,经碾压形成一层紧密的水泥土防渗层,以减少渠道在输水过程中的渗漏损失。

(2) 技术要点: ①所用土料应风干、粉碎、过 5 毫米筛; ②水泥土现场铺筑应做到配料准确,搅拌均匀、摊铺平整、浇捣密实。拌和水泥土时先干拌、后湿拌,铺筑水泥土前应洒水湿润渠基,半小时左右,将拌好的水泥土按先渠坡后渠底的顺序均匀铺筑。初步抹平后,宜在表面撒一层厚 2 毫米的水泥,随即揉压抹光,每次抹和料从加水至铺筑宜在 1.5 小时内完成; ③设置保护层的塑性水泥土应在塑性水泥土初凝之前铺设完毕。当保护层为水泥砂浆时,应在水泥砂浆上刷一层水泥浆,用钢板压光,并且养护两周以上; ④注意留引缩缝,一般 1.5~2.0 米留一条,并用适宜材料填缝止水; ⑤如采用预制板、块铺设施工时,应按现场铺筑要求拌制水泥土,然后将其装入模具中压实成型后拆模,放在阴凉处静置 24 小时,洒水养护,最后将渠床修整后,按设计要求铺设预制板、块。

(3) 适用条件: 气候温和的无冻害地区。

(4) 应用效果: ①一般可减少渗漏量的 80%~90%; ②能就地取材; ③技术简单,农民容易掌握; ④造价低,投资少; ⑤可以充分利用现有的拌和及碾压机械设备。

(5) 推广前景: 因其投资少、见效快,在今后较长一段时间内,仍将是我国中、小型渠道的一种较简便可行的防渗措施。但是,因其早期强度及抗冻性较差,随着效果更优的防渗新材料和新技术不断涌现,水泥土防渗大面积推广应用的前景较差。

1.2.3 砌石防渗

(1) 技术原理: 将石料浆砌或干砌勾缝铺设在渠床表面,形成一层不易透水的石料防渗层,以减少渠道在输水过程中的渗漏损失。

(2) 技术要点: ①采用浆砌块石防渗时,首先将石料用水洗刷干净;砌石应分层砌筑,基础第一层应选用较大块石,每层厚度约 25~30 厘米,选用的块石面高度尽可能一致,两边面石砌好后,在其中倒入砂浆,砂浆厚度为每层厚度的 1/4~1/3,然后填塞碎石块进行灌浆;砌筑块石或片石时,应注意将横缝与纵缝相互错开,砌体应洒水养护 7 天;地下水位较高的地区,应在砌体下设排水孔;浆砌块石砌体每隔 20~50 米留一条伸缩缝,约宽 3 厘米,用沥青水泥砂浆灌注。②采用干砌块石防渗时,先将渠床清理,平整和夯实,在渠底铺一层约 5 厘米厚的

沙浆垫层，然后将石块安放平稳，并用碎石塞紧，如用块石衬砌，一般厚度为 20~40 厘米，如用片石厚度为 15 厘米，将石块之间的缝扫净并洒水湿润后，用水泥沙浆勾缝，并进行养护。

(3) 适用条件：沿山渠道和石料丰富、劳动资源丰富石匠多的山丘地区。

(4) 应用效果：①抗冲流速大、耐磨能力强；②抗冻和防冻害能力强；③具有较好的防渗效果，可减少渗漏量 50%左右；④造地取材、造价较低；⑤能有效地稳定渠道。

(5) 推广前景：我国山丘地区所占国土面积很大，石料资源十分丰富，农民群众又有丰富的砌石经验，因此，砌石防渗仍有广阔的推广应用前景，但随着劳动力价格提高，因砌石防渗难以实现机械化施工，且质量不易保证，在劳动紧缺的地区则应用会受到制约。

1.2.4 混凝土防渗

(1) 技术原理：将混凝土铺设在渠床表面，形成一层不易透水的混凝土防渗层，以减少渠道在输水过程中的渗漏损失。

(2) 技术要点：混凝土衬砌按施工方法分为现浇和预制两种。对于现浇混凝土防渗时，其技术要点为：①根据地质条件和方便施工来确定防渗衬砌断面形式及要素；②选择适宜的结构形式和强度标号，一般大块平板现场浇筑，在南方地区板厚为 5~15 厘米，北方地区为 10~15 厘米，混凝土标号采用 100~200 号，板间布置横向和纵向伸缩缝，并用沥青混合物或沥青砂浆油膏等进行填缝；③在地下水位较高的渠段，应设置排水垫层或开挖排水暗沟；④按拉线放样、清基整坡、分块立模、配料拌合、浇灌捣筑、光面养护、渠堤处理等七道工序进行施工。对于预制混凝土板防渗时，其技术要点为：①按预制板施工机械及人工搬运要求确定预制板尺寸；②清基测量、按设计断面结构整坡、打桩拉线放样；③在铺设断面的坡脚与坡顶设置固定齿槽，在平行水流方向每隔 15~20 米设置一道混凝土隔墙；④自下而上铺设，各预制板间留 1~3 厘米的缝隙，用沙浆填缝。

(3) 适用条件：大小渠道、不同工程环境条件都可采用，但缺乏砂、石料地区迁价较高。

(4) 应用效果：①防渗效果好，一般能减少渗漏损失 90%~95%以上；②耐久性好寿命长，一般混凝土衬砌渠道可运用 50 年以上；③糙率小，可加大渠道

流速，缩小断面，节省渠道占地；④强度高，防破坏能力强，便于管理。

（5）推广应用前景：是我国最主要的一种渠道防渗技术措施，推广应用前景十分广阔。

1.2.5 膜料防渗

（1）技术原理：用不透水的土工织物（即土工膜）铺设在渠床表面，形成一层不易透水的防渗层，以减少渠道在输水过程中的渗漏损失。

（2）技术要点：①土工膜有多种，常用的有聚氯乙烯膜、沥青玻璃纤维布油毡、复合土工膜等，应根据其适宜的应用条件来选择；②清理和开挖基槽，在基槽上口的两肩各作宽 20~30 厘米的戗台或小沟；③加工膜料，可用焊接、粘接和缝接，现场铺设采用粘接或搭接时应重叠 10~15 厘米，铺设时将膜料边缘埋入戗台或小沟，以防膜料下滑；④在膜料上覆盖土层并夯实。

（3）适用条件：交通不便运输困难、当地缺乏其他建筑材料的地区；有侵蚀性水文地质条件及盐碱化的地区；北方冻胀变形较大的地区。

（4）应用效果：①防渗效果好，一般能减少渗漏损失 90%~95%以上；②适应变形能力强；③质轻、用量少、方便运输；④施工简便、工期短；⑤耐腐蚀性强；⑥造价低，塑膜防渗造价仅为混凝土防渗的 1/15~1/10。

（5）推广应用前景：随着高分子化学工业的发展，新型防渗膜料的不断开发，其抗穿刺能力、摩擦系数及抗老化能力得到提高，膜料防渗推广应用前景十分广阔。

1.2.6 沥青混凝土防渗

（1）技术原理：将以沥青为胶结剂，与矿粉、矿物骨料经加热、拌和、压实而成的沥青混凝土铺设在渠床表面，形成一层不易透水的防渗层，以减少渠道在输水过程中的渗漏损失。

（2）技术要点：沥青混凝土衬砌防渗，可分为热拌沥青混凝土、冷拌沥青混凝土和沥青预制件衬砌防渗三种方法。①对于热拌沥青混凝土防渗，材料组成为：沥青 6.3%，矿渣填料 9.5%，砂 51.2%，骨料（砾石）33%，在高温下热拌和后即在渠基上铺筑，先静压 1—2 遍，再振动压实。压实渠坡时，上行振动，下行静压。压实过程中，应严格控制施工温度和碾压遍数。中小型渠道单层铺设厚度 4~5 厘米，大型渠道双层铺设，厚度 8~10 厘米。在温暖地区可不设伸缩缝，

在寒冷地区沿水流方向每隔 5~6 米设横向缝一条,当渠坡或渠底板宽大于 6 米时,要在中间设纵向缝一条,一般采用梯形或 Y 形缝,并用聚氯乙烯胶泥或沥青砂浆填缝。②对冷拌沥青混凝土防渗,采用热拌同样组成的材料,直接在铺筑处混合冷拌并就地进行铺筑压实,进行养护使其固结硬化。③对于沥青预制件衬砌防渗,用与热拌同样的组成材料,做成尺寸为 0.5×0.5 平方米,0.5×1.0 平方米,厚 4~6 厘米的沥青预制板块,采用平面震动器震压达到 2.3 吨/立方米容重,然后用人工或机械进行铺设。

(3) 适用条件:有冻害的地区,沥青资源比较丰富的地区。

(4) 应用效果:①防渗效果好,一般能减少渗漏损失 90%~95%;②适应变形能力强;③不易老化,且对裂缝有自愈能力;④容易修补;⑤造价较低,仅为混凝土防渗的 70%。

(5) 推广应用前景:随着厂油化学工业的发展,沥青资源逐渐丰富,效果较好的热拌沥青混凝土防渗的推广应用前景十分广阔。

1.3 渠道防渗工程投资与效益

1.3.1 田间渠道防渗投资与效益

防渗渠道的经济效益因所处水系、灌区规模、布局、种植品种、土壤质地不同而有差异。江苏省水利科学研究所曾选取高沙土、多级提水丘陵山区、丰沛井灌区、南水北调不同梯级 3 个灌区共 6 种类型进行了效益分析计算。

根据铜山县棠张灌区的实际资料,斗、农两级渠道未防渗前渠系水利用系数为 61.04%,采用防渗渠后,渠系水利用系数提高到 95.63%,每公顷节省用水 8227 立方米,节水率 36.17%,灌区一级提水费 3.25 分/立方米,每公顷节省水费 267 元。铜山灌溉水源的 50%左右是从长江或淮河经过梯级翻水而来,若平均翻水按 6 级计算,则每立方米的翻水费 17.95 分,采用防渗渠道后每公顷可减少调水费 738.5 元。根据实地丈量还可节省土地 1.5 公顷,节地率 1.5%。若按单产 900 千克计算,粮食单价按 1 元/公顷,则节地净效益 11220 元,平均每公顷地净效益 84 元。由于采用防渗渠道后扩大了灌溉面积,提高了灌溉保证率,每公顷增产粮食 675 千克、净效益 675 元。综合以上几方面效益,采用防渗渠道后,每年节水净效

益为 1765 元/公顷，斗、农两级防渗渠道每公顷投资为 4050 元(包括渠上配套建筑物)。若经济计算期(n)取 15 年、社会折现率(i)按 8%计算，则防渗工程总效益现值为 11057.85 元/公顷，益本比 3.73，投资回收年限 T=2.29 年，内部收益率为 43.6%。通南高沙土地区、三级提水丘陵山区、丰沛井灌区、南水北调梯级上的宿豫(六级)、丰县(十级)某灌区防渗渠道经济效益如表 1-1 所示。

表 1-1 不同地区防渗渠道效益分析计算

地 区	投资 (元/时米 ²)	节水(立 方米/时米 ²)	节地 (%)	增产 (千克/时米 ²)	节省 提水费 (元/时米 ²)	节省 调水费 (元/时米 ²)	增产效 益 (元/时米 ²)	年净效 益 B _n (元/时米 ²)	净效益 现值 B _N (元/时米 ²)	益本比 R _n	投资回收 年限T (a)
通南 高沙土区	4650	8421	1.8	675	330	0	675	1005	5945	1.85	4.63
丘陵提水灌区 (三级提水)	6300	8700	2.2	1275	750	0	1275	2025	11040	2.75	3.11
丰沛井灌区	2700	3900	1.7	1770	300	0	1770	2070	15015	6.56	1.30
宿豫 (六级提水)	4275	5428	1.5	480	176	487	480	1143	5520	2.29	3.74
铜山 (八级提水)	4050	8227	1.5	766	267	738	766	1765	10965	3.73	2.29
丰县 (十级提水)	4200	6300	1.5	1170	270	995	470	2435	16650	4.96	1.72

注：(1)社会折现率取 8%；(2)经济计算期取 15a；(3)井灌区为农、毛两级防渗，其余均为斗、农两级防渗；(4)投资中包括配套建筑物和泵站改造费用。

从表 1-1 可以看出，修建防渗渠道具有明显的经济效益，在经济上是合理的、可行的。同时也说明，越是水源短缺，越是调水梯级多、距离远，则防渗渠道的效益越高。另外，渠道防渗可有效防止土壤的盐碱化、沼泽化。例如我国华北某些灌区，开始灌溉时，地下水位每年平均上升 1~2 米。1958 年修建的引黄灌区，开始没有采取防渗及排水措施，不到两年的时间，因地下水位上升，使渠道两岸几百万公顷耕地盐碱化；据江苏省淮阴县水利科学研究所对准阴地区调查，砂土渠道两侧约 20 米宽的农田，因受渠道渗漏的影响，处于饱和状态，一般旱作物减产 5%~20%。但上述灌区在采取防渗措施以后，土壤盐碱化得到制止和改善，农业生产得到恢复和发展，因此渠道防渗也具有较好的生态效益。

1.3.2 骨干渠道投资与节水效果

据对河南、江苏、陕西、湖南、贵州、新疆等十几个省区 200 多个大中型灌

区骨干渠道分析结果，由于灌区规模及各地采用的防渗形式、原材料价格、输水流量等大不相同，节省单方水需要的投入相差也较悬殊，从灌区规模来分，有效灌溉面积>3.33 万公顷的灌区，节省单方水所需的投资最低为 2 分/立方米，最高达 2.16 元/立方米，平均为 0.29 元/立方米；2.0 万公顷≤有效灌溉面积≤3.33 万公顷的灌区，节省单方水所需的投资最低为 1 分/立方米，最高达 1.97 元/立方米，平均为 0.17 元/立方米；有效灌溉面积<2.0 万公顷的灌区，节省单方水所需的投资最低为 1 分/立方米，最高达 0.40 元/立方米，平均为 0.14 元/立方米。也即大于 3.33 万公顷的灌区节省单方水的费用大致为小于 2.0 万公顷的灌区的两倍。具体分析结果见表 1-2。

表 1-2 典型灌区骨干渠道衬砌投资分析

灌区规模	灌区名称	有效灌溉面积(10 ⁴ 公顷)	年总输水量(10 ⁴ 立方米)	改造前渠系水利用系数	改造后区系水利用系数	渠系防渗投资(10 ⁴ 元)	节约水量(10 ⁴ 立方米)	节约单方水投资(元/立方米)
有效灌溉面积>3.33万公顷	红旗	3.60	14713	0.55	0.67	11613.97	1794.99	0.23
	漳南	7.20	43100	0.32	0.67	25690.00	14912.60	0.06
	人民	5.65	56271	0.56	0.61	25674.98	2926.07	0.32
	陆浑	3.47	19196	0.42	0.56	24978.30	2629.85	0.34
	大功	9.40	81252	0.53	0.56	20423.00	2681.32	0.27
	渠村	9.71	63159	0.46	0.58	17537.40	7579.08	0.08
	南小堤	5.54	38140	0.46	0.58	17355.30	4576.80	0.14
	赵口	24.43	87599	0.60	0.62	25339.64	1313.99	0.69
	三义寨	12.07	73484	0.41	0.58	61172.00	12492.34	0.18
	南湾	4.93	11800	0.48	0.62	13873	1652.00	0.30
	鲇鱼山	6.60	34600	0.50	0.63	13465	4498.00	0.11
	梅山	5.00	35865	0.45	0.61	14962	5738.40	0.09
	鸭河口	8.84	50200	0.44	0.55	31275.00	5522.00	0.20
	引丹	3.55	29300	0.50	0.69	18320.00	5654.90	0.12
	五化灌区	3.36	74840	0.38	0.46	6392.70	5687.84	0.04
	垦区查哈阳灌区	3.63	53790	0.48	0.61	10055.03	6992.70	0.05
	韶山	6.67	75300	0.62	0.64	6038.28	1506.00	0.14
	铁山	3.73	42693	0.47	0.68	8988.29	8965.53	0.04
	欧阳海	4.09	74531	0.55	0.68	15729.85	9689.03	0.06
	淮涟灌区	3.73	61754	0.54	0.60	20845.00	3705.24	0.20
	淮安渠南灌区	3.56	80500	0.48	0.67	15681.00	15295.00	0.04

灌区规模	灌区名称	有效灌溉面积(10 ⁴ 公顷)	年总输水量(10 ⁴ 立方米)	改造前渠系水利用系数	改造后区系水利用系数	渠系防渗投资(10 ⁴ 元)	节约水量(10 ⁴ 立方米)	节约单方水投资(元/立方米)
	高邮灌区	3.93	55081	0.53	0.63	3046.00	5508.10	0.02
	堤东灌区	8.16	46009	0.53	0.63	8243.60	4600.90	0.06
	位山	33.87	181281	0.54	0.60	21412.29	10876.86	0.07
	彭楼	9.82	48336	0.45	0.56	15736.00	5316.96	0.11
	陶城铺	4.93	30613	0.53	0.70	8797.48	5204.14	0.06
	潘庄	22.67	151900	0.56	0.61	29785.00	7595.00	0.14
	李家岸	16.60	98400	0.58	0.61	25054.00	2952.00	0.31
	小开河	4.40	22950	0.52	0.63	29972.68	2524.50	0.43
	簸箕李	5.13	64500	0.53	0.71	29179.71	11610.00	0.09
	麻湾	3.33	24000	0.45	0.62	10681.00	4080.00	0.09
	闫谭	14.93	97074	0.45	0.58	11569.42	12619.62	0.03
	谢寨	4.83	34084	0.47	0.56	11179.34	3067.56	0.13
	刘庄	3.50	27311	0.47	0.60	10714.00	3550.43	0.11
	邢家渡	6.20	33600	0.60	0.65	4600.00	1680.00	0.10
	峡山	6.47	34100	0.43	0.71	19643.00	9445.70	0.07
	农一师沙井子灌区	3.78	46872	0.57	0.62	26820.13	2484.20	0.39
	农一师塔里木灌区	9.40	175719	0.52	0.56	73445.14	7028.74	0.38
	农三师前海灌区	6.80	67993	0.54	0.64	25961.31	6744.92	0.14
	农七师奎屯灌区	6.93	53925	0.62	0.63	16076.00	539.25	1.07
	农八师莫索湾灌区	5.47	35317	0.71	0.78	14291.84	2507.52	0.21
	农八师下野地灌区	6.00	41337	0.70	0.77	19897.33	3224.25	0.22
	乌溪江引水工程	4.18	69809	0.50	0.60	13149.00	6980.90	0.07
	钱塘江	3.87	102000	0.70	0.75	14694.00	5100.00	0.10
	长潭水库	6.62	53945	0.50	0.60	33375.00	5394.50	0.22
	民勤县红崖山灌区	5.86	49300	0.705	0.712	16473	345.10	1.72
	宝鸡峡	18.86	52329	0.58	0.62	69913	2093.16	1.20
	东雷	5.58	26434	0.56	0.66	15206	2643.40	0.21
	都江堰	67.11	585000	0.48	0.56	117700	46800.00	0.09
	升钟水库	9.26	35400	0.61	0.64	66700	1062.00	2.26
	玉溪河	3.92	48400	0.45	0.55	24600	4840.00	0.18

灌区规模	灌区名称	有效灌溉面积(10 ⁴ 公顷)	年总输水量(10 ⁴ 立方米)	改造前渠系水利用系数	改造后区系水利用系数	渠系防渗投资(10 ⁴ 元)	节约水量(10 ⁴ 立方米)	节约单方水投资(元/立方米)
	通济堰	3.47	19500	0.336	0.52	13000	3588.00	0.13
	平均							0.29
2.0万公顷<有效灌溉面积<3.3万公顷	群 库	2.04	9600	0.60	0.68	11082.00	768.00	0.52
	引 沁	2.06	23000	0.52	0.67	11262.22	3450.00	0.12
	广 利	2.07	19056	0.52	0.62	3782.55	1905.60	0.07
	祥符朱	2.43	22500	0.50	0.61	4871.80	2475.00	0.07
	石头庄	2.03	12000	0.52	0.68	5654.00	1920.00	0.11
	杨 桥	2.29	18400	0.50	0.70	3640.30	3680.00	0.04
	昭平台	2.67	22000	0.35	0.63	15518.00	6160.00	0.09
	宿鸭湖	3.00	2810	0.58	0.62	6460.00	112.40	2.07
	合浦水库灌区	2.09	55328	0.37	0.47	15533.90	5532.80	0.10
	青狮潭灌区	2.49	64796	0.47	0.50	4336.80	1943.88	0.08
	达开水库灌区	2.02	23450	0.38	0.61	11778.90	5393.50	0.08
	武思江灌区	2.05	38600	0.44	0.57	7484.70	5056.60	0.05
	钦灵灌区	2.03	51164	0.36	0.48	11282.00	6395.50	0.06
	双城市友谊灌区	2.27	10520	0.50	0.62	4438.12	1262.40	0.13
	五常市龙凤山灌区	2.11	38000	0.47	0.65	1796.00	6840.00	0.01
	垦区兴凯湖灌区	2.30	37950	0.50	0.70	8421.90	7590.00	0.04
	八五二农场蛤蟆通灌区	2.05	11942	0.59	0.63	6699.84	477.68	0.50
	梧桐河灌区	2.59	12856	0.50	0.65	8679.00	1928.40	0.16
	大圳	3.01	21275	0.35	0.60	9120.00	5318.75	0.06
	酒埠江	2.57	38000	0.53	0.63	5200.00	3800.00	0.05
	澧阳平原	2.15	17237	0.44	0.60	6928.08	2757.92	0.09
	黄材	2.81	17790	0.52	0.62	5802.60	1779.00	0.12
	桃花江	2.05	25424	0.50	0.65	10830.70	3813.60	0.10
	如海灌区	2.03	34115	0.56	0.85	6716.74	9893.35	0.02
	城黄灌区	2.04	29014	0.53	0.68	2850.85	4352.10	0.02
	白屈港灌区	2.25	51692	0.53	0.63	2963.00	5169.20	0.02
	石梁河灌区	2.33	27863	0.56	0.66	2907.70	2786.30	0.04
	沐南灌区	3.00	36725	0.50	0.60	13122.00	3672.50	0.13
	洪金灌区	2.09	54577	0.39	0.59	15240.00	10915.40	0.05
	周桥灌区	2.13	43654	0.47	0.63	7893.00	7071.95	0.04

灌区 规模	灌区名称	有效灌溉 面积(10 ⁴ 公顷)	年总输水 量(10 ⁴ 立 方米)	改造前 渠系水 利用系 数	改造后 区系水 利用系 数	渠系防渗投 资(10 ⁴ 元)	节约水量 (10 ⁴ 立方 米)	节约单方水 投资 (元/立方米)
	涟西灌区	2.10	34500	0.54	0.60	10721.00	2070.00	0.19
	运南灌区	2.65	37198	0.45	0.54	7596.00	3347.82	0.08
	来龙灌区	3.17	57573	0.54	0.60	11950.00	3454.38	0.12
	沐新渠灌区	3.09	33900	0.50	0.60	12167.00	3390.00	0.13
	五岸灌区	2.20	24240	0.47	0.74	7031.60	6544.80	0.04
	韩墩	2.67	41200	0.50	0.66	30553.00	6592.00	0.17
	打渔张	2.53	33726	0.56	0.70	20186.90	4620.46	0.16
	胡楼	2.53	29178	0.53	0.75	13718.78	6565.05	0.08
	王庄	3.14	40419	0.49	0.62	11951.00	5254.47	0.08
	苏阁	2.47	15720	0.40	0.64	5622.00	3772.80	0.05
	苏泗庄	3.07	20850	0.48	0.60	6910.55	2502.00	0.10
	杨集	2.03	12616	0.45	0.63	5334.00	2270.88	0.08
	国那里	2.07	15007	0.47	0.62	6823.08	2251.05	0.11
	陈垓	2.81	19495	0.51	0.65	7480.00	2729.30	0.10
	胜利渠	2.07	17228	0.37	0.56	7334.00	3273.32	0.08
	王屋	2.15	10968	0.64	0.79	8624.00	1645.20	0.19
	农二师塔里 木灌区	2.53	41000	0.56	0.60	19524.72	1640.00	0.43
	农二师十八 团渠灌区	2.36	27949	0.78	0.81	15072.66	922.32	0.59
	农四师霍尔 果斯灌区	3.18	28160	0.58	0.66	19684.00	2140.16	0.33
	农六师芳草 湖灌区	3.26	14482	0.71	0.76	5661.00	724.10	0.28
	农六师五家 渠灌区	2.38	18466	0.73	0.76	6439.94	553.98	0.42
	农八师安集 海灌区	2.87	24113	0.66	0.73	5821.76	1678.26	0.12
	农九师额敏 灌区	2.17	12987	0.66	0.85	17254.00	2467.53	0.25
	农十师北屯 灌区	2.26	26500	0.45	0.56	13090.00	2915.00	0.16
	上浦闸	2.68	29000	0.68	0.81	9350.00	3770.00	0.09
	牛头山水库	2.09	33627	0.50	0.68	3945.60	6052.86	0.02
	温瑞	2.11	23647	0.62	0.75	2142.00	3026.82	0.03
	桥墩水库	2.15	22249	0.70	0.80	1311.00	2224.90	0.02
	武威市西营 河灌区	2.50	29642	0.54	0.62	8819.31	2371.36	0.13

灌区规模	灌区名称	有效灌溉面积(10 ⁴ 公顷)	年总输水量(10 ⁴ 立方米)	改造前渠系水利用系数	改造后区系水利用系数	渠系防渗投资(10 ⁴ 元)	节约水量(10 ⁴ 立方米)	节约单方水投资(元/立方米)
	永昌县西河灌区	2.30	16305	0.516	0.606	10716.8	1467.45	0.26
	敦煌市党河灌区	2.17	31307	0.57	0.61	9350.91	1252.28	0.27
	金塔县鸳鸯池灌区	2.42	32789	0.578	0.62	8748	1377.14	0.23
	临泽县梨园河灌区	2.04	23668	0.6	0.63	3267.55	710.04	0.17
	张掖市大满灌区	2.01	17140	0.541	0.665	7118.22	2125.36	0.12
	高台县友联灌区	2.23	24428	0.587	0.622	5110	854.98	0.22
	安西县双塔灌区	2.13	32007	0.47	0.65	7363.69	5761.23	0.05
	庄河灌区	2.70	28042	0.50	0.73	16220	6449.66	0.09
	平均							0.17
有效灌溉面积<2.0万公顷	跃进	1.23	6430	0.38	0.65	5217.00	1793.97	0.10
	武嘉	1.33	11784	0.40	0.70	7637.42	3535.20	0.08
	窄口	0.93	7480	0.60	0.71	2608.63	822.80	0.11
	韩董庄	1.94	24300	0.50	0.61	10740.00	2673.00	0.14
	彭楼	1.87	14060	0.44	0.66	7832.20	3093.20	0.09
	柳园口	1.83	18534	0.46	0.60	3156.00	2594.76	0.04
	孤石滩	0.85	6319	0.30	0.65	4151.00	2211.65	0.07
	白龟山	1.79	2754	0.46	0.74	10413.55	771.12	0.49
	白沙	1.27	2093	0.35	0.65	8197.33	627.90	0.47
	颍汝	1.35	8300	0.50	0.60	2015.00	830.00	0.09
	薄山	1.60	8450	0.50	0.63	1824.00	1098.50	0.06
	板桥	0.67	3977	0.57	0.62	8300.00	198.85	1.50
	石山口	1.33	12000	0.52	0.61	4798	1080.00	0.16
	泼河	1.62	11000	0.38	0.61	6734	2530.00	0.10
	槐店	1.33	18200	0.55	0.60	7574.00	910.00	0.30
	宋岗陶岔	0.87	10600	0.61	0.77	6113.00	1696.00	0.13
	洪潮江水库	1.13	24800	0.36	0.55	6940.00	4712.00	0.05
	龟石灌区	1.46	41757	0.36	0.53	10357.00	7140.45	0.05
	峻山灌区	1.36	31300	0.36	0.50	1661.00	4256.80	0.01
	右江灌区	1.53	40153	0.37	0.51	8115.00	5500.96	0.05
	六陈灌区	1.63	35247	0.43	0.61	11318.20	6379.71	0.06
	兴中灌区	1.05	12267	0.43	0.70	11088.00	3312.09	0.12

灌区规模	灌区名称	有效灌溉面积(10 ⁴ 公顷)	年总输水量(10 ⁴ 立方米)	改造前渠系水利用系数	改造后区系水利用系数	渠系防渗投资(10 ⁴ 元)	节约水量(10 ⁴ 立方米)	节约单方水投资(元/立方米)
	乌中灌区	0.85	8094	0.50	0.65	4963.00	1214.10	0.15
	安西灌区	1.52	24130	0.41	0.70	8104.00	6997.70	0.04
	黎榕灌区	1.74	22654	0.41	0.68	1699.50	6116.58	0.01
	瓮福灌区	1.05	14331	0.55	0.70	2188.00	2149.65	0.04
	金黔灌区	1.62	14537	0.51	0.69	3610.00	2616.66	0.05
	湄凤余灌区	1.30	11788	0.58	0.67	5269.00	1060.92	0.18
	甘南县音河灌区	0.53	13999	0.58	0.69	10953.39	1511.89	0.26
	齐齐哈尔市江东灌区	0.27	23797	0.60	0.67	6207.02	1737.18	0.13
	绥棱县长阁灌区	1.21	14140	0.60	0.65	1968.84	707.00	0.10
	木兰县香磨山灌区	0.93	11788	0.53	0.68	10273.75	1768.20	0.21
	依兰县倭肯河灌区	0.80	14400	0.59	0.72	1773.60	1872.00	0.03
	鸡东县鸡东灌区	1.51	20648	0.55	0.68	6470.20	2684.24	0.09
	桦川县悦来灌区	1.22	10510	0.55	0.66	2050.81	1103.55	0.07
	卫星灌区	0.40	10700	0.48	0.66	3300.00	1893.90	0.06
	青山垅	1.50	25700	0.47	0.61	7100.00	3598.00	0.07
	黄石	1.80	21862	0.46	0.55	4360.80	2011.30	0.08
	六都寨	1.00	12606	0.54	0.69	5715.40	1890.90	0.11
	青山	1.16	36786	0.42	0.56	10324.00	5150.04	0.07
	双牌	1.87	20968	0.43	0.60	8395.81	3564.56	0.08
	官庄	1.25	21400	0.58	0.65	2426.03	1498.00	0.06
	危水	0.63	7889	0.50	0.77	3137.32	2130.03	0.05
	淳东灌区	1.47	15400	0.45	0.69	3765.00	3696.00	0.04
	小塔山灌区	1.73	18722	0.56	0.66	2663.00	1872.20	0.05
	涟东灌区	1.71	29667	0.50	0.60	9780.00	2966.70	0.12
	竹络坝灌区	1.73	16216	0.54	0.60	7207.00	972.96	0.27
	柴塘灌区	1.82	27453	0.50	0.56	129.50	1647.18	0.00
	沂北灌区	1.87	30381	0.50	0.56	1636.00	1822.86	0.03
	郭口	1.98	14308	0.57	0.63	2015.68	887.07	0.08
	双河	0.67	14900	0.40	0.67	6938.00	4023.00	0.06
	田山	1.60	12700	0.50	0.65	4920.00	1905.00	0.09
	陈孟圈	1.64	17520	0.48	0.70	1316.00	3854.40	0.01

灌区规模	灌区名称	有效灌溉面积(10 ⁴ 公顷)	年总输水量(10 ⁴ 立方米)	改造前渠系水利用系数	改造后区系水利用系数	渠系防渗投资(10 ⁴ 元)	节约水量(10 ⁴ 立方米)	节约单方水投资(元/立方米)
	刘春家	1.63	17660	0.50	0.63	3497.00	2295.80	0.05
	马扎子	1.80	21395	0.58	0.61	5071.25	641.85	0.28
	太河	1.05	23217	0.40	0.70	11337.00	6965.10	0.06
	墙夼	0.91	7202	0.47	0.63	12304.20	1152.32	0.38
	牟山	1.60	4940	0.40	0.60	8340.00	988.00	0.30
	青峰岭	0.94	11600	0.50	0.58	5870.00	928.00	0.23
	日照	1.30	8637	0.50	0.60	6500.00	863.70	0.27
	米山	1.40	12562	0.53	0.72	4483.00	2386.78	0.07
	陡山	1.08	10324	0.51	0.78	6269.00	2787.48	0.08
	跋山	1.29	14849	0.45	0.75	5842.80	4454.70	0.05
	雪野	0.97	7480	0.48	0.73	10211.00	1870.00	0.20
	葛沟	1.16	16000	0.50	0.56	8603.00	960.00	0.32
	小埠东	0.90	9321	0.48	0.67	7202.01	1770.99	0.15
	罡城坝	1.25	11300	0.56	0.67	8311.00	1243.00	0.24
	胡家岸	1.52	13824	0.48	0.55	2753.65	967.70	0.10
	龙窝	0.80	5410	0.41	0.79	3827.00	2028.90	0.07
	高崖	1.71	7886	0.47	0.65	9352.00	1387.94	0.24
	冶源	1.83	10522	0.52	0.72	9000.00	2104.40	0.15
	会宝岭	0.75	9860	0.45	0.70	5971.93	2465.10	0.09
	铜山源水库	1.37	51642	0.31	0.62	8048.00	16009.02	0.02
	甘肃省景电一期灌区	1.75	14200	0.600	0.67	3591.22	994.00	0.13
	白银市靖会电灌区	1.43	10768	0.63	0.7	4770	753.76	0.23
	民乐县洪水河灌区	1.75	14838	0.527	0.57	7359.4	638.03	0.42
	白银市兴电灌区	1.20	9150	0.64	0.68	2172.5	366.00	0.21
	张掖市西浚灌区	1.72	31335	0.556	0.655	4842.2	3102.14	0.06
	贵州省湄凤余灌区	1.30	11788	0.58	0.73	3197.02	1768.20	0.07
	长葫水库	1.94	8800	0.49	0.66	11400	1496.00	0.27
	石盘滩提水	1.70	12900	0.56	0.64	11200	1032.00	0.39
	九龙滩提水	1.59	9600	0.534	0.64	11900	1017.60	0.42
	平均							0.14

注：折旧年限按 30 年计算，年运行费按年投资额的 8%考虑，单方水投入平均值按有效灌溉面积加权平均计算。

2. 低压管道输水灌溉技术

2.1 低压管道输水灌溉的节水增效作用

- (1) 省水，水的输送利用率可达 95%。
- (2) 节能，井灌提水需耗能，节水即节能，一般比土渠输水节能 25%左右。
- (3) 减少渠道占地，管道埋在地下，可减少渠道占地 2%~3%。
- (4) 管理方便，管道埋在地下，不易受人为破坏，而且可提高输水速度，加快灌水进度，缩短轮灌周期，有利于控制灌水量。
- (5) 增产增收，由于节水和节地，故可扩大灌溉面积，增加产量和增加收入。

2.2 低压管道输水灌溉技术及其应用

(1) 技术原理：采用低的水压力（不大于 0.2MP），通过塑料管或混凝土管等管道将灌溉水输到田间沟、畦对农田实施灌溉，以减少输水过程中的渗漏、蒸发损失。

(2) 技术要点：①修建水源工程，可利用井、泉、河渠、沟塘等水源，除有自然落差水头可进行自压管道输水外，一般需用水泵和动力机提水加压；②铺设输水系统，一般由埋入地下的一级、二级或多级管道和管件连接而成，管材可采用硬聚氯乙烯管材、聚乙烯管材、水泥类预制管材；③安装给配水装置，包括由地下输水管道伸出地面的竖管、连接竖管向田间沟畦配水的出水口或连接竖管和地面移动管道的给水栓；④设置安全保护装置，为防止管道系统运行时可能发生的水锤破坏，在管道系统的首部或适当位置安装调压、限压及进排气阀等装置；⑤装设或修筑田间灌水设施，可装设地面移动管道输水直接灌溉作物，也可修筑临时毛渠输水入沟畦灌溉作物。

(3) 适用条件：主要适用于井灌区输水，也适用于在水质条件好的自流灌区或提水灌区替代末级固定输水渠道。

(4) 推广应用前景：我国井灌面积超过 2 亿亩，随着新型、质量好、价格适宜的塑料管材开发，而且可利用井泵余压解决管道输水所需的工作压力，因此在我国北方井灌区有着广阔的推广应用前景。在自流灌区，也可采用大口径低压管道代替明渠输水。

2.3 低压管道输水工程投资与效益

低压管道输水灌溉目前主要应用于北方平原井灌区，输水管道大多采用砼管或塑料管。管道输水灌溉主要有固定和移动两种主要形式，移动式管灌单位面积投资一般为 450~600 元/公顷，其中机泵投资为 300~450 元/公顷，移动软管 150 元/公顷左右，固定式管道输水灌溉投资如表 2-1 所示。

表 2-1 固定式低压管道输水灌溉投资 (单位：元/公顷)

管材	首部	出水口	管道	管件	施工	合计
P 伏 C 塑料管	525-675	225-375	1125-1650	75-225	150-300	2250-3225

管道输水灌溉输水利用系数平均在 0.95 以上，与土渠灌溉相比，平均每次毛灌水量减少 4500~6000 立方米/公顷，减少渠道占地相当于耕地的 1%，减少提水能耗 30~40%。另外根据甘肃、河南、江苏、新疆等省区 14 个大型灌区管道输水灌溉的调查，典型灌区管道输水灌溉投资节水成本分析如表 2-2 所示。

表 2-2 典型灌区管道输水灌溉投资节水成本分析

灌区	水源类型	灌溉面积 (10 ³ 公顷)	节约用水 (10 ⁴ 立方米)	主要灌溉设备 及型式	投资 (10 ⁴ 元)	单位面积投 资 (元/公 顷)	节约单方水 投资 (元/立 方米)
洪金	渠灌区中的井灌	0.2	222.18	10HB-30	233.22	11661	0.06
周桥	渠灌区中的井灌	0.33	206	UP 伏 C 管、 砼管	489	14818.18	0.13
沐新渠	渠灌区中的井灌	0.64	420.64		400	6250	0.05
堤东	渠灌区中的井灌	4	552	P 伏 C 管材 等	1407.6	3519	0.14
宝鸡峡引渭灌区	井渠结合	22.67	2176	UP 伏 C	12441	5487.869	0.31
东雷抽黄	渠灌	3.33	620	低压管道输水	4471	13426.43	0.39
陕西省冯家山灌区	渠灌	2.59	112.52	闸阀、pvc 管	3028.58	11693.36	1.45
交口抽渭	井灌	1	240		983	9830	0.22
泾惠渠灌区	井渠结合	8.67	486.85		5304.87	6118.651	0.59
石头河水库	井渠结合	1.21	59.73	水泥土管灌	686.03	5669.669	0.62

陕西省桃曲坡水库	井灌	1.33	261.2	给水栓、农膜	1342.95	10097.37	0.28
羊毛湾水库	井渠结合	5.52	341.55		3181.12	5762.899	0.50
人民胜利渠	井渠结合	7.87	803.934	水泵	5507.99	6998.717	0.37
甘肃张掖西浚灌区	井灌	0.8	133.2		134	1675	0.05
宁夏固海扬水灌区	扬水灌区	16.67	725	P 伏 C 主管	13812	8285.543	1.03
青铜峡灌区	井渠结合	36.67	1595	管材及机电井	16028.1	4370.903	0.54
平均							0.55

注：折旧年限按 20 年计算，年运行费按年投资额的 8%计算，单方水投入平均值按有效灌溉面积加权平均计算。

从表 2-2 可看出，管道输水灌溉单位面积造价在 1675~14818 元/公顷之间，渠灌区单位面积造价普遍偏高，井灌区单位面积造价较低，大致是渠灌区的一半左右（单位造价变化幅度较大，可能有的包括配套投资）；管道输水灌溉节约单方水所需投资在 0.05~1.45 元/立方米之间，平均在 0.55 元/立方米。

以辽宁省台安县西佛镇幸福村的 26.6 公顷低压管道输水灌溉工程从工程投资，节水增产效益等方面依据水利经济计算规范，进行经济效益的具体分析。考虑到该工程属井灌地区，井泵均已配套，该工程总投资不包括井、机泵的投资，只含材料费及其它有关费用。材料费包括塑料管材，首部枢纽用材和给水栓的费用。其它费用包括土方工程费、规划设计费和运输安装费，共 43940 元。年运行费包括计算管理费、维修费、电费，分别为 800 元(看水员工资)、439.40 元（按相关规范规定，取工程总投资的 1%）、3847 元（1991 年灌溉春小麦共用电 25650 千瓦·时、按 0.15 元/(千瓦·时)计算）。合计年运行费 $C_0=5079.40$ 元。

据测定，可节地 3.1%，节约的土地生产小麦 4095 千克，收获白菜 50400 千克，小麦和白菜的价格分别按 0.80 元/千克和 0.06 元/千克计算，水利分摊系数取为 0.5，节地效益为 3150 元。根据春小麦原明渠大水漫灌用水量和现在灌溉用水量的测算；管道输水灌溉比渠灌平均每公顷可节水 1500 立方米。按省政府规定的农业征收水费标准，每立方米水按 0.016 元计算，即每年节水效益为 651.2 元；麦田低压管灌输水损失量很少，节省了水量，相对节省了提水用电，据实测，实施工程后比实施工程前每公顷地可比明渠节水 1500 立方米，每千瓦·时电可提水

6.44 立方米，每公顷地可节电 23295 千瓦·时，考虑线路损失 200%，实际节电为 18.64 千瓦·时，电价为 0.15 元/千瓦·时，每公顷地节省电费 41.85 元。该工程年节约电费 1135.53 元；工程建成后，灌溉输水加快，水的有效利用率提高、缩短了灌水周期，同时还可根据作物在不同生育期的需水特点进行灌溉，产量有一定幅度的提高。据测算：小麦可增产 1500 千克/公顷，白菜可增产 1500 千克/公顷，工程增产效益达到 22385 元。灌溉总效益达到 27321.73 元。若经济计算期(n)取 20 年、社会折现率(i)按 7%计算，则该工程总效益现值为 289455.02 元，效益费用比 R_0 为 2.34，投资回收年限 $T=3$ 年。

3. 喷灌技术

3.1 喷灌技术的节水增效作用

(1) 提高农作物产量：像降雨一样湿润土壤，不破坏土壤结构，可以根据作物需水规律进行精确供水，还能调节田间小气候。因此，可为作物生长创造良好的水分条件和环境条件，比地面灌溉提高产量 15%~25%。

(2) 节约灌溉用水量：灌水均匀度可达 80%~85%，灌溉水利用率可达 80% 以上，一般可比地面灌溉省水 30%~50%。

(3) 适应性强：可用于各种类型的土壤和作物，受地形条件限制小，可以节省农田平整的工作量。

(4) 节省灌水劳动力：喷灌的机械化程度高，可以降低灌水劳动强度，节省劳动力。

(5) 提高耕地利用率：喷灌采用压力管道输水，可减少农田中的渠道、田埂占地，提高耕地利用率 7%~15%，因而可比地面灌溉增加实际播种面积，增加作物产量。

3.2 喷灌技术及其应用

(1) 技术原理：是利用专门的设备（动力机、水泵、管道等）将水加压，或利用水的自然落差将有压水通过压力管道送到田间，再经喷洒器（喷头）喷射到空中散成细小的水滴，均匀地散布在农田上，达到灌溉目的。喷灌系统可分为固定管道式、半固定管道式和移动式喷灌机组三种。固定式喷灌系统各组成部分在整个灌溉季节中（甚至长年）都是固定不动的，或除喷头外，其他部分固定不

动；半固定式喷灌系统除喷头和装有许多喷头的支管可在地面移动外，其余部分均固定不动，支管与干管常用给水栓快速连接；移动机组式喷灌系统除水源工程固定外，装在机组上的动力、水泵、管道、喷头都可移动。

（2）技术要点：①修建水源工程，包括河流、湖泊、水库、池塘和井泉都可作为喷灌的水源，但都必须修建相应的水源工程，如泵站及附属设备、水量调蓄池和沉淀池等；②选用水泵及配套动力机，水泵将灌溉水多水源吸提、增压、输送到管道系统（对于移动式喷灌机组，也可通过渠道将水送到田间向机组供水）。常用的水泵有离心泵、长轴井泵和潜水泵等，水泵扬程应根据喷灌工作压力要求确定。在有电力的地方常用电动机作为水泵的动机，用电困难地方则可用柴油机作为动力，动力机功率应于水泵要求配套；③铺设管道系统，通常分干管和支管两级，管道系统上应根据需要安装各种连接和控制配件，包括弯头、三通、接头、闸阀等，在支管上装有利于安装喷头的竖管（对于半固定管道式喷灌系统或移动式喷灌机组，应在竖管上安设给水栓，以向移动支管或机组供水）；④安装喷头，根据喷灌要求选用合适的喷头安装在竖管上（对于半固定式喷灌系统，喷头安装在移动支管上，对于移动式喷灌机组，因机组上就配有喷头）；⑤运行喷灌系统，按设定的喷灌方式对农田进行喷灌。

（3）适用条件：喷灌几乎适用于灌溉所有的旱作物，如谷物、蔬菜、果树等。既适用于平原也适用于山丘区；既用来灌溉农作物又可用于喷洒肥料、农药、防霜冻和防干热风等。但在多风情况下，喷洒会不均匀，蒸发损失增大。为充分发挥喷灌的节水增产作用，应优先应用于经济价值较高、且连片种植集中管理的作物；地形起伏大、土壤透水性强、采用地面灌溉困难的地方；水源有足够自然落差适合修建自压喷灌的地方；灌溉季节风小的地区。

（4）推广应用前景：我国现有耕地 18.3 亿亩，其中灌溉面积还不到一半，其余耕地不少是发展地面灌溉难度大或不宜采用地面灌溉。现有耕地中，经济作物和蔬菜面积有约 3 亿亩，还有上亿亩的茶园、果园和几十亿亩的草原。从长远看，这些耕地和草原只要经济条件许可都可以采用喷灌，因此喷灌技术具有广阔的推广应用前景。

3.3 喷灌工程投资与效益

现阶段适合在我国大面积推广的喷灌形式主要有三种：固定式、半固定式和

轻小型机组移动式，其单位面积投资见表 3-1。

表 3-1 不同喷灌形式单位面积投资 （单位：元/公顷）

形式		固定式	半固定式	轻小型机组移动式
泵房		450~600	450~600	
水泵机组		900~1050	900~1200	600~750
地埋管	（钢管）	6000~7500	2250~3000	
	（P 伏 C 管）	3300~3750	900~1125	
金属移动管道			900~1050	1200~1500
喷头及竖管		675~825	300~375	300~450
阀门及管件		2025~2325	525~675	150~300
施工安装		3900~4950	1275~1725	
合计	（钢管）	13950~17250	6600~8625	2250~3000
	（P 伏 C 管）	11250~13500	5250~6750	

据甘肃、河南、江苏、新疆等省区 21 个大型灌区喷灌投资及节水成本调查，如表 3-2 所示。

表 3-2 典型灌区喷灌投资及节水成本分析

灌区	灌溉形式	灌溉面积 (10 ³ 公顷)	节约用水 (10 ⁴ 立方米)	管材长度 (千米)	投资 (10 ⁴ 元)	单位面积投资 (元/公顷)	节约单方水 投资 (元/立方米)
农一师沙井子灌区	半固定式	2	375.00	706.97	2521.43	12607.2	0.62
农一师塔里木灌区	半固定式	3.33	399.60	1178.29	3924.2	11772.6	0.90
农三师前海灌区	半固定管道式	3.33	529.47	15	2915	8745	0.51
农四师霍尔果斯灌区	加压泵，半固定式	5.33	1215.24	400	2599	4873.2	0.20
农六师五家渠灌区	喷灌机	2	360.00	6900	2051.92	10259.55	0.41
农九师额敏灌区	半固定、全固定自、加压	9.07	1768.65	1000	9227	10176.9	0.48
淮涟	固定式	1	285.00		2333	23329.95	0.57
运南	半固定式	3.33	1248.75	2000	2500	7500	0.18
来龙	半固定式	2	750.00	1200	1800	9000	0.22
柴塘	半固定式	2.67	1001.25	1500	2400	9000	0.22
沂北	半固定式	2	750.00	1200	1550	7750.05	0.19
堤东	固定式	1.33	215.46	195.8	1610	12075	0.52
东雷抽黄	固定式	0.67	152.76		1959	29385	0.90
陕西省冯家	固定式	1.33	105.74	782	3973.49	29801.25	2.64

山灌区							
交口抽渭	固定式	1	469.50	560	1910	19099.95	0.29
泾惠渠灌区	固定式	4.67	495.81	52.42/980	4688.23	10046.25	0.66
陕西省石门灌区	固定式	0.33	54.79	108.9	386.99	11609.7	0.50
石头河水库	半固定	0.6	109.80	78.02	525.55	8759.1	0.34
羊毛湾水库	半固定	0.69	88.75	72.96	1217.27	17727.3	0.96
石山口灌区	半固定	0.7	39.27		404.8	5782.8	0.72
人民胜利渠	半固定、固定	2.03	570.72	98.3	2621.39	12892.05	0.42
平均						10750.51	0.51

注：半固定式地上部分按投资的 70%计算，地下部分按投资的 30%计算，固定式地下部分按投资的 70%计算，地上部分按投资的 30%计算，折旧年限地上部分按 10 年计算，地下部分按 20 年计算，喷灌机按 15 年计算，年运行费按年投资额的 8%计算，单方水投入平均值按有效灌溉面积加权平均计算。

从表 3-2 可以看出，喷灌单位面积投资为 4873~29801 元/公顷，平均为 10750 元/公顷，节约单方水所需投资为 0.18~2.64 元/立方米，平均为 0.51 元/立方米。

由于喷灌全部由管道输水，几乎没有输水损失，灌水定额小，灌水均匀，无深层渗漏，也不会有地面流失，因此，喷灌具有显著的节水效果。现以江苏沛县某喷灌工程的资料为背景对喷灌工程的经济效益进行分析计算。(1)工程投资：全固定式喷灌系统包括加压泵站、输配水系统、喷头和各种配件，每公顷投资 19500 元。(2)年运行费：喷灌工程每年每公顷地耗电 3000 千瓦·时，每度电以 0.65 元计，则水电费 1950 元。每 6.6 公顷喷灌工程需 1 人管理，管理人员工资及日常开支按每人每年 6000 元计算，则每公顷管理费 900 元。维修、养护和易损设备更新以工程总投资的 7%计，即每年每公顷 1365 元。年费用合计 4215 元/公顷。(3)年效益：每公顷蔬菜产量 75000 千克，喷灌后增产 20%，即增产 15000 千克。蔬菜以 0.4 元/千克计算，则每公顷增产值 6000 元。喷灌系统节地 7%，每公顷节地增收 160 元，扣除农本净增 80 元。采用喷灌后每公顷年增效益 7200 元。若社会折现率取 8%，经济计算期选用 15 年，则年净效益 $B_{\text{年}}=72985$ 元/公顷，总效益现值 $B_{\text{总}}=61628.3$ 元/公顷，总年运行费现值 $C_{\text{总}}=36078.2$ 元/公顷，净效益现值 $B_N=6050.1$ 元/公顷，益本比 $R_N=1.11$ ，投资回收年限 $T=6.53$ 年。

4. 微灌技术

4.1 微灌的节水增效作用

(1) 省水：微灌系统全部由管道输水，很少有沿程渗漏和蒸发损失；微灌属局部灌溉，灌水时一般只湿润作物根部附近的部分土壤，灌水流量小，不易产生地表径流和深层渗漏。另外，微灌能适时适量根据作物生长需要供水，较其他灌水方法水的利用率高，灌溉水利用率可达 85%~90%，一般可比地面灌溉省水 1/3~1/2，比喷灌还处水 15%~20%。

(2) 节能：微灌是在低压力条件下运行，灌水器的工作压力一般为 50~150 千帕，比喷灌低，又因微灌省水，灌溉水的利用率高，对提水灌溉来说，意味着减少了能耗。

(3) 灌水均匀：微灌系统能有效地控制每个灌水器的出水量，灌水均匀度高，一般可达 80%~90%。

(4) 增产：微灌能适时适量地向作物根区供水供肥，有的还可调节田间小气候，不会造成土壤板结，为作物生长提供了良好的条件，因而有利于实现高产稳产和提高品质，经济作物采用微灌一般较其他灌水方法可增产 30%~50%。

(5) 适应性强：微灌系统的灌水速度可快可慢，因此对土壤的适应性强，又由于微灌是用压力管道输水，对地形的适应性也很强。

(6) 节省劳力：微灌不需平整土地，开沟打畦，可实行灌溉自动化，因此可降低劳动强度和节省劳动力。

4.2 微灌技术与应用

(1) 技术原理：是一种新型的最节水的灌溉工程技术，包括滴灌、微喷灌、涌泉灌和地下渗灌。微灌可根据作物需水要求，通过低压管道系统与安装在末级管道上的灌水器，将水和作物生长所需的养分以很小的流量均匀、准确、适时、适量地直接输送到作物根部附近的土壤表面或土层中进行灌溉，从而使灌溉水的深层渗漏和地表蒸发减少到最低限度。微灌常以少量的水湿润作物根区附近的部分土壤，因此主要用于局部灌溉。

①滴灌：是通过安装在毛管上的滴头、孔口或滴灌带等灌水器，将水一滴一滴、均匀而又缓慢地滴入作物根区土壤中的灌水方式。灌水时仅滴头下的土壤得到水分，灌后沿作物种植行形成一个一个的湿润圆，其余部分是干燥的。由于滴水流量小，水滴缓慢入渗，仅滴头下的土壤水分处于饱和状态外，其他部位的土壤水分处于非饱和状态。土壤水分主要借助毛管张力作用湿润土壤。

②微喷灌：采用低压管道将水送到作物根部附近，通过流量为 50~200 升/时、工作压力为 100~150kp 的微喷头将水喷洒在土壤表面进行灌溉。微喷灌一般只湿润作物周围的土地，一般也用于局部灌溉。微喷灌不仅可以湿润土壤，而且可以调节田间小气候。此外，由于微喷头的出水孔径较大，因而比滴灌抗堵塞能力强。

③涌泉灌：也称小管出流灌。是通过安装在毛管上的涌水器或微管形成的小股水流，以涌泉方式涌出地面进行灌溉。其灌溉流量比滴灌和微喷灌大，一般都超过土壤渗吸速度。为了防止产生地面径流，需要在涌水器附近的地表挖小穴坑或绕树环沟暂时储水。由于出水孔径较大，不易堵塞。

④地下渗灌：是通过埋在地表下的全部管网和灌水器进行灌水，水在土壤中缓慢地浸润和扩散湿润部分土体，故仍属于局部灌溉。

(2) 技术要点：要实施微灌，就要建设微灌系统。微灌系统由水源、首部枢纽、输配水管网和灌水器以及流量、压力控制部件和量测仪表等组成。①选用适宜的水源，江河、渠道、湖泊、水库、井、泉等均可作为微灌水源，但其水质需符合微灌要求。②建立首部枢纽：包括水泵、动力机、肥料和化学药品注入设备、过滤设备、控制阀、进排气阀、压力及流量量测仪表等。如果有足够自然水头的地方可不设置水泵和动力机。③铺设输水管网：包括干管、支管和毛管三级管网，通常采用聚乙烯或聚氯乙烯管材，一般干、支管埋入地面以下一定深度，毛管可埋入地下，也可铺设在地面。④选用安装适合的灌水器：包括滴头、微喷头、滴灌带、涌水器和渗水头，应根据使用条件选用。⑤根据作物的需水规律和微灌系统的运行要求，开启微灌系统进行灌溉。

(3) 适用条件：微灌适用于所有的地形和土壤，特别适用于干旱缺水地区，我国北方和西北地区是微灌最有发展前途的地区，南方丘陵区经济作物因常受季节性干旱影响也很适宜采用微灌。微灌系统可分为固定式和半固定式两种，固定式常用于宽行作物，半固定式可用于密植的大田作物及宽行瓜类等。

(4) 推广应用前景：微灌特别适合灌溉干旱缺水地区的经济作物，如新疆地区的棉花滴灌。微灌也很适宜经济林果灌溉，如北方和西北地区的葡萄、瓜果等适用滴灌；南方的柑桔、茶叶、胡椒等适用微喷灌；食用菌、苗木、花卉、蔬菜等适用微喷灌。因此，在我国有着广阔的应用前景。

4.3 微灌工程投资与效益

微灌系统可分为固定式和半固定式两种，固定式全部管网固定在地表或埋入地下，灌溉时不再移动，常用于宽行作物，半固定式的干、支管固定，田间毛管可在数行作物中移动，灌完一行后，移至另一行再灌，常用于密植的大田作物和宽行瓜类作物。不同形式的微灌系统投资见表 4-1。

表 4-1 不同形式微灌系统单位面积投资（单位：元/公顷）

形式	首部设备	管道	灌水器	施工安装	合计
果园固定式	75-150	5250-7500	750-900	3000-3750	9000-12000
大田半固定式	150-225	4800-7050	450-600	3600-4125	9000-12000
保护地固定式	750-1050	5250-6750	2250-3000	3750-5250	14475-23325

另据甘肃、河南、江苏、新疆等省区 19 个大型灌区微灌投资及节水成本调查，如表 4-2 所示。

表 4-2 典型灌区微灌投资及节水成本分析

灌区	灌溉形式	灌溉面积 (10 ⁴ 公顷)	节约用水 (10 ⁴ 立方米)	管材长度 (千米)	投资 (10 ⁴ 元)	单位面积投 资 (元/公顷)	节约单方水 投资 (元/立 方米)
农二师塔里木灌区	半固定式	6.6	1980	378.2	8893.83	13476	0.41
农二师十八团渠灌区	固定式	7.93	2069.73	205	10712.18	13503	0.36
农六师五家渠灌区	半固定式	1.33	478.8	5064	1630.28	12227	0.31
农七师奎屯灌区	固定式	1.33	369.075		2719	20393	0.52
农八师莫索湾灌区	固定式	3.33	574.425	528.5	3812.25	11437	0.47
农八师下野地灌区	固定式	6.67	971.4855	1057	7624.5	11437	0.55
农八师安集海灌区	固定式	2	299.19	316.25	2287.35	11437	0.54
农九师额敏灌区	半固定式	2.27	531.18	210	3354	14797	0.58
淮涟	固定式	1	480		2104	21040	0.31
运南	半固定式	2	900		1750	8750	0.20
来龙	半固定式	1.33	598.5		1500	11250	0.23
柴塘	半固定式	1.33	598.5		1600	12000	0.25
沂北	半固定式	1.33	598.5		1750	13125	0.27
东雷抽黄	半固定式	0.67	152.76	45	1484	22260	0.89

陕西省冯家山灌区	固定式	1.33	133.665	272	2211.64	16587	1.16
泾惠渠灌区	固定式	2	329.61	403	3013.18	15066	0.64
陕西省桃曲坡水库	固定式	1.53	444.0825	162.5	2636.02	17192	0.42
羊毛湾水库	半固定式	0.73	93.89625	73.94	671.31	9154	0.66
石山口灌区	固定式	0.37	12.432		1209.69	32402	6.83
平均						13523	0.51

注：半固定式地上部分按投资的 70%计算，地下部分按投资的 30%计算，固定式地下部分按投资的 70%计算，地上部分按投资的 30%计算，折旧年限地上部分按 10 年计算，地下部分按 20 年计算，年运行费按年投资额的 8%计算，单方水投入平均值按有效灌溉面积加权平均计算。

从表 4-2 可以看出，微灌单位投资在 8750~32402 元/公顷，平均在 13523 元/公顷，节约单方水所需投入为 0.20~6.83 元/立方米，平均为 0.51 元/立方米。

微灌工程由于投资大，运行成本高，一般用于果树、蔬菜、花卉苗木等经济作物，特别是设施栽培作物的灌溉，具有较好的经济回报率。下面以山东省平邑县资邱乡时家村东岭高效生态农业示范区内的 13.4 公顷的微灌节水示范工程为例进行投资与效益分析。该区微喷灌 6.7 公顷，滴灌 6.7 公顷。灌溉树种为 6 年的苹果和杏。工程投资费用包括管网，首部枢纽及应用分摊的机泵和主管道投资费用，经计算得，微喷灌工程投资费用为 105800 元，滴灌工程投资费用为 89750 元；年费用包括折旧费和年运行费，按有关规定计算，微喷灌的年总费用为 13543 元，滴灌的年总费用为 11862 元。据 1999~2000 年二年的实测结果，采用微喷灌较土渠灌溉节水 1440 立方米/公顷年，滴灌较土渠灌溉节水 2160 立方米/公顷年，滴灌较微喷灌节水 720 立方米/公顷年。将土渠灌改为微灌，虽然增加了水泵的扬程，能耗增加，但微喷灌和滴灌毛灌定额比渠灌小的多，减少了用水量，缩短了抽水时间，因而也减少能耗，降低费用，经实测微喷灌较土渠多用电 260 千瓦·时/公顷年，多用电费 156 元/公顷年；滴灌较土渠少用电 1827 千瓦·时/公顷年，节省电费 1096.2 元/公顷年，节能效果明显；微喷灌和滴灌减少了管理人员，缩短了灌水周期，减少用工，经调查，微喷灌较土渠灌溉，省工率为 76%，节省工值费 1552 元/年，滴灌为 69%，节省工值费 1392 元/年，由于滴灌年灌水次数多于微喷灌，故年节省工值费低些；微喷灌和滴灌配水管道铺设于地下，故节省了渠道占地。据实测比渠灌可节约用地 1.5%~2.5%，相应地增加了经济林栽植面积；将工程建设前 1996~1998 年三年的平均产量为基础，与工程建成后(1999~2000 年)二年的实际产量进行对比，微喷灌和滴灌的增产效益分别达到了 71229 元/年

和 74094 元/年，并且果品质量得到改善。采用动态经济效益分析，以还本年限 T ，效益费用比 R ，内部回收率 I ，三项指标为评价指标，经计算微喷灌的三项指标分别为 $T=2.03$ 年， $R=5.46$ ， $I=42\%$ ；滴灌的三项指标分别为 $T=1.55$ 年， $R=7.06$ ， $I=53\%$ 。投资分析结果表明：微灌工程虽然一次性投资大，但在节水、增产效益等方面显著，特别是在水资源短缺地区，对于农业可持续发展以及水资源可持续利用方面，其效益更为明显，值得大力推广。应该指出的是，建设微灌工程一定要同发展高效农业结合起来，这样才能使工程发展更大的效益。

5. 田间节水地面灌溉技术

5.1 田间节水地面灌溉技术的节水增效作用

(1) 能较好地保证将灌溉水按拟定的灌水定额输送到作物根层，使全部灌溉面积上的土壤湿润比较均匀，作物的需水要求容易得到满足。

(2) 能有效防止田面跑水、串灌、流失和避免或减少深层渗漏损失。因此，灌溉水利用率较高。

(3) 能防止或减少破坏土壤团粒结构，使灌水后土壤保持疏松，减少地面蒸发，有利于作物生长发育。

(4) 操作简便、投资费用少，农民易掌握。

5.2 田间节水地面灌溉技术及应用

(1) 技术原理：对旱作物灌溉采取划小和划短畦块，改长沟为短沟，平整土地，间歇供水；对水稻灌溉采取控制格田面积，防止串灌，并采用适宜的灌溉流量等措施，提高灌溉水在田面上分布的均匀度，减少灌溉水在田面流动过程中的深层渗漏损失，以提高灌溉水利用率并满足作物的需水要求。

(2) 技术要点：在我国旱作物田间节水地面灌溉方式主要有小畦灌溉、长畦短灌、水平畦灌（小块灌）、间歇灌溉等。在水稻田间节水地面灌溉技术主要有改进格田灌。各种方式的技术要点如下：

①小畦灌溉技术：在自流灌区运用小畦灌溉技术的时候，畦田宽度应该控制在 2-3 米，畦田长度不要超过 75 米。机井和高扬程提水灌区的畦田宽度应该控制在 1-2 米，畦田长度控制在 30-50 米。

②长畦短灌技术：长畦短灌又称长畦分段灌水技术，是将长畦划分成一个一

个的小段，采用地面纵向输水沟或软管分别对这些小段进行灌溉。采用长畦短灌技术的畦田，畦宽应控制在 5-10 米之间，畦长可以控制在 200 米以上，一般在 100-400 米左右。

③水平畦灌技术：水平畦灌是将田块整理成方形（或长方形），以较大的流量入畦，使水流迅速灌满全部田面（田块）的一种灌水技术。该技术要求田面比较平整，田面各个方向无坡度，在我国现阶段的水平畦田一般多为 0.3 亩左右。如果与激光控制平地技术结合进行高精度的土地平整，还可以增大灌溉田块的面积。

④节水型沟灌：节水型沟灌有短沟灌、细流沟灌、隔沟灌等形式。短沟灌的沟长要求，自流灌区一般不超过 100 米，提水灌区和井灌区一般不超过 50 米。细流沟灌的灌水沟规格与一般的沟灌相同，只是用小管控制入沟流量，一般流量不大于 0.3 升/秒，水深不超过沟深的一半。隔沟灌是头一次灌水时，相邻的沟不同时灌水，而是间隔一条沟通水，下一次灌水时再间隔灌上一次没有灌水的沟。

⑤间歇灌溉技术：间歇灌溉是通过间歇向田块供水，逐段湿润土壤，直到水流推进到灌水末端为止的一种节水型地面灌溉新技术。间歇灌溉的设备，由波涌阀、控制器、田间输配水管道等组成。与传统的地面灌水不同，采用间歇灌溉技术向田面供水时，不是一次灌水就推进到末端；而是灌溉水在第一次供水输入田面，达一定距离后，暂停供水，当田面水自然落干后，再继续供水，如此分几次间歇反复地向田面供水直至供水到田面末端。这样降低了灌溉过程中灌溉水的渗漏损失，提高了地面灌水的质量。

⑥改进格田灌：格田的长度宜采取 60~120 米，宽度宜取 20~40 米；山区和丘陵区可根据地形、土地平整及耕作条件等适当调整。格田与格田之间不允许串灌。

（3）适用条件：不管北方还是南方，不论是旱作物或是水稻都可采用田间节水地面灌溉技术，但不宜在微地形变化很大和土壤渗透性很大的土地上应用。

（4）推广应用前景：目前我国有 95% 以上的灌溉面积在应用不同形式的地面灌溉方法，其中绝大部分仍是采用传统的地面灌溉技术，而且在今后很长时间内，地面灌溉方法在我国灌溉农业中仍将占绝对的主导地位，节水改造的任务很大。因此，田间节水地面灌溉技术有着极广阔的推广应用前景。

5.3 田间节水地面灌溉工程投资与效益

据甘肃、河南、江苏、新疆等省区 19 个大型灌区田间节水措施投资及节水成本调查，如表 5-1 所示。

表 5-1 大型灌区田间节水措施投资及节水成本分析

灌区	灌溉形式	灌溉面积 (10 ³ 公顷)	节约用水 (10 ⁴ 立方米)	投资 (10 ⁴ 元)	单位面积投资 (元/公顷)	节约单方水 投资 (元/立方米)
农一师沙井子灌区	沟畦改造	13.86	1463.62	1067.91	770.50	0.75
农一师塔里木灌区	沟畦改造	90.67	5776.13	4191.26	462.25	0.75
农二师塔里木灌区	激光平地	14.73	441.90	8672.02	5887.32	1.35
农二师十八团渠灌区	沟畦改造、平地	15.67	1151.75	5906.24	3769.14	0.35
农三师前海灌区	沟畦改造	64.67	1035.04	6676.53	1032.40	1.33
农四师霍尔果斯灌区	闸管、平地	26.45	396.75	11268.00	4260.11	1.95
农六师五家渠灌区	闸管、水平灌溉	2.55	244.80	675.69	2649.76	0.19
农八师莫索湾灌区	沟畦改造	27.20	709.92	7858.49	2889.15	0.76
农八师下野地灌区	闸管、水平灌溉	25.33	740.90	7911.46	3123.36	0.73
农九师额敏灌区	畦灌、水平灌溉	7.80	912.60	3856.39	4944.09	0.87
东雷抽黄	小畦灌溉	0.93	111.60	702.00	7548.39	0.43
陕西省冯家山灌区	畦田改造	25.13	4373.20	1278.00	508.49	0.30
交口抽渭	小畦灌溉、土地平整	31.80	8156.70	9377.45	2948.88	1.18
泾惠渠灌区	小畦灌溉、土地平整	42.00	2359.35	9922.48	2362.50	0.87
陕西省石门灌区	小畦灌溉、土地平整	15.33	2545.87	4666.94	3043.66	0.38
石头河水库	小畦灌溉、土地平整	18.19	245.61	6527.24	3587.71	5.47
陕西省桃曲坡水库	小畦灌溉、土地平整	3.45	124.60	1700.73	4934.42	2.81
人民胜利渠	小畦灌溉	30.00	3065.85	695.12	231.71	0.23
甘肃张掖西浚灌区	畦田改造	140.83	7425.44	10339.61	734.17	0.29
平均					1705	0.87

注：折旧年限沟畦改造按 1 年计算，激光平地暂按 15 年计算，闸管灌溉暂按 5 年计算，个别灌区其田间节水改造投资中包括田间末级固定渠道的防渗等投资，其折旧年限暂按 5 年计算，年运行费按年投资额的 3% 计算，单方水投入平均值按有效灌溉面积加权平均计算。

从表 5-1 可以看出，田间节水地面灌溉工程投资在 232~7548 元/公顷，平均

在 1705 元/公顷，节约单方水所需投资为 0.19~5.47 元/立方米，平均为 0.87 元/立方米。同时也可看出，改进地面灌虽然单位投资较低，但节水成本却远远高于喷滴灌，这主要是因为改进地面灌主要是提高田间节水率，而喷滴灌却是同时提高输水和田间的效率，因此尽管单位投资较高，但节水成本反而很低。

另据国家节水灌溉北京工程技术研究中心等单位在北京昌平示范区内进行的激光控制土地平整技术、水平畦田灌水技术和波涌灌溉技术等改进地面灌溉技术的应用研究和示范推广工作，也显示取得了较好的经济效益。示范区建设的总投入包括土地平整和新建田间灌排系统两部分。其中土地平整总投入 17.5 万元（土地精平 7.5 万元，粗平作业 10 万元），田间渠系工程及配套投资 25 万元，则示范区建设总投入 K 为 42.5 万元。示范区工程年运行费用主要包括田间渠系工程的年折旧费、灌溉用工费和水费。对小型灌溉渠道，使用年限一般按 15 年考虑，则由田间渠系工程投资可计算得到年折旧费为 1.67 万元。示范区建成后，田间灌溉由专业灌溉队承担，灌溉队由 6 人组成。冬小麦生长期一般灌溉 2 次，每次灌溉约需 8 天。按当地用工价格 30 元/天计算，则年灌溉用工费为 0.29 万元。节水增产效益按 2 年考虑，粮价和水价的计算以 1999 年当地的价格为基准。示范区建设前冬小麦生长期内的实际公顷均灌溉定额为 5850 立方米，建成后下降到 3975 立方米，公顷均灌溉用水量减少 1875 立方米，下降幅度达 32%。据昌平区百善镇农业科技站对示范区内进行的测产结果表明小麦作物平均增产约 1200 千克/公顷。若以 1999 年示范区冬小麦收购价 1.2 元/千克计算，两年累计增产 16 万千克，增收 19.2 万元。示范区夏玉米增产 705 千克/公顷，增幅 14%。夏玉米收购价按 1.0 元/千克计，累计增产 9.4 万千克，增收 9.4 万元。示范区建成前，全部农渠占地 2.24 公顷，示范区建成后，全部农渠占地 0.77 公顷，减少占地 1.47 公顷，提高土地利用率 2.2%。若按粗平条件考虑，累计增产小麦 0.26 万千克，增收 0.31 万元；累计增产玉米 0.21 万千克，增收 0.21 万元。节地增产效益 0.52 万元。综上所述，节水增产效益总计为 29.1 万元。示范区建成 2 年内实测的节水增产效益为 29.1 万元，依此计算工程多年平均节水增产效益为 14.55 万元。根据当地水土条件，分摊系数按 0.6 取。这样，示范区工程多年平均毛效益 B_0 为 8.7 万元。年用水费为 0.5 万元。工程年运行费用 C 为 2.46 万元。根据以上有关参数计算得到还本年限 T 为 6.8 年，效果费用比 R 为 2.5。采用改进的

地面节水工程技术，不仅有利于提高地面灌水质量，还对提高地表水利用效率、降低渠系引水成本具有重要意义。还可明显改善作物生长的水分条件和土壤结构，提高田间土壤水分利用效率，取得显著的节水增产效益和社会效益。

6. 集雨节灌技术

6.1 集雨节灌技术节水增效的作用

（1）提高雨水资源的利用效率：修建集雨工程可提高雨水集流效率 30%以上。

（2）经济效益显著：由于作物关键需水期得到灌溉，旱作农业区的增产增效效果显著，经过集雨补灌后的粮食作物成倍增产，经济作物增收幅度更大。

（3）有效地促进了结构调整和高效农业的发展：集雨节灌工程的兴建，为各项现代农业生产技术的配套实施提供了一定的水利条件，推动了农业结构的全面调整。农民可以根据各种集雨节灌工程供水情况、农产品市场需求，自觉调整种植结构，发展高效农业。如依靠集雨节灌工程发展日光温室大棚、林果业种植等。

（4）促进了生态环境的改善：集雨节灌工程已经成为小流域综合治理的主要工程措施，成为退耕还林（草）的水源工程。有效控制了水土流失，在生态建设中发挥了重要作用。

6.2 集雨节灌技术及应用

（1）技术原理：修建雨水集蓄节水灌溉工程，将降雨通过汇流面汇集到蓄水设施进行储存，在作物关键需水期内，采用节水灌溉系统将储存的雨水输送到田间，对作物实施灌溉。

（2）技术要点：①修建集雨场。可选择具有一定产流面积的地方作为集雨场，如没有天然条件的地方，则需人工修建集雨场，并用不透水物质或防渗材料对集雨场表面进行防渗处理。②修建输水系统。包括输水沟（渠）和截流沟，将集雨场上的来水汇集起来，引入沉沙池沉淀后，流入蓄水系统。③修建蓄水系统，包括储水体及其附属设施。储水体主要采用水窖（窑）和蓄水池，附属设施主要有拦污栅、沉沙池、进水暗管、消力设施、窖口井台。④安装节水灌溉系统。包括提水设备、输水管道和田间节水灌水设备，常用的节水灌溉形式有滴灌、渗灌、

坐水种、注射灌、膜下穴灌与细流沟灌等。⑤根据作物关键需水期的需水要求进行灌溉。

(3) 适用条件：因区域性、季节性干旱缺水严重又不具备修建骨干水利工程条件的地区；地表水、地下水缺乏或开采利用困难，且多年平均降水量大于 250 毫米的半干旱地区；经常发生季节性缺水的湿润、半湿润山丘地区，以及海岛和沿海地区。

(4) 推广应用前景：我国西北地区的陕、甘、青、新等省（区）及内蒙古西部，土地辽阔，总面积占到全国的 40%，地表水和地下水资源十分缺乏，但雨季常有暴雨发生，很适宜采用集雨节灌技术；南方丘陵山区受季节性干旱影响，作物关键生长期缺水严重，也很适合应用集雨节灌技术。对改善我国西北黄土高原丘陵沟壑区、华北干旱缺水山丘区、西南旱山区等地农民的生活生产条件，增加农民收入，促进农村社会经济发展意义重大，具有极为广阔的推广应用前景。

6.3 旱地集雨节灌工程投资与效益

旱地集雨节灌工程包括很多类型，这里以宁夏南部山区集雨节灌工程为例进行投资、运行管理及经济效益的分析。

集水场工程建设投资分析：宁夏南部山区修建各类水窖容积多为 50 立方米，降雨量按 400 毫米计，设计水窖复蓄指数 1.5，单眼水窖需要配套不同类型材料集水场面积、投资见表 6-1。

表 6-1 年集水 75 立方米需不同类型材料集水场面积及造价

集水场类型	集水效率	集水场面积 (平方米)	单价(元/平方米)	造价(元)	备注
混凝土	0.8~0.85	234	12	2808	C 15 厚 3~5 厘米
碾压场院	0.3~0.4	625	1	625	碾压厚 10 厘米
瓦屋面	0.5~0.85	375	利用现有屋面	0	
土路面	0.3~0.4	625	利用现有屋面	0	平整
砂石路面	0.2~0.35	625	利用现有屋面	0	平整
沥青路面	0.7	268	利用现有屋面	0	平整
土工布	0.85~0.9	220	3.5	770	100 克/平方米
纤维布	0.90.85~0.9	220	3.5	770	
塑 膜	0.9	208	0.8	166.4	厚 0.2 毫米

固化剂	0.7	268	5	1340	O S T 固化剂
坡 面	0.08	2345	0	0	

天然坡面集雨为主，根据集水区域的特点及经济能力，选择不同类型的人工集水面；建设的导引工程主要有小型拦引渠道、输水渠道和管道；蓄水工程主要有水窖、蓄水池、塘坝、小水库；在提水工程建设中，对微型水源主要以小型潜水泵、离心泵、手压泵、柴油泵、汽油泵提水及加压，对塘坝、小水库等小水源主要以建设小型提水站提水加压。节灌工程主要有田间灌溉所需的节灌设备和节灌设施两部分，现田间节灌主要以覆膜小管浇灌、坐水种、温棚滴灌、微喷灌等节灌方式为主。在本次工程投资分析中，集水工程以各类人工集水面为主，其投资分析见表 6-1；蓄水工程以水窖为主，取各类水窖工在宁夏南部山区，由于地形破碎，集雨规模较小，集雨工程主要以人工集水场和部分程平均投资水平；路面、坡面集雨工程配套拦引渠道和输水渠道等导引工程，瓦屋面集雨工程配套输水管道；蓄水工程中有水窖者均配备小型柴油泵或汽油泵 1 台， $\phi 25$ 毫米塑料软管 50 米；小水库蓄水工程配套小型提水站及田间小型灌溉渠道。典型集雨节灌工程建设投资析见表 6-2。

表 6-2 集雨节灌工程建设投资分析（单位：元）

工程类型	集水工程	输水工程	蓄水工程	提水节灌工程	工程投资合计	备 注
水窖+混凝土集水场	2808	0	1200	430	4438	直接入窖
水窖+碾压场院集水	625	0	1200	430	2255	直接入窖
水窖+瓦屋面集水	0	600	1200	430	2230	60 米 $\phi 75$ 毫米 P 伏 C 管
水窖+土路面集水	0	1600	1200	430	3230	160 米小型引水渠
水窖+砂石路面集水	0	1250	1200	430	2880	125 米小型引水渠
水窖+沥青路面集水	0	900	1200	430	2530	45 米拦引渠
水窖+土工布集水	770	0	1200	430	2400	直接入窖
水窖+纤维布集水	770	0	1200	430	2400	直接入窖
水窖+塑膜	166	0	1200	430	1796	直接入窖

集水						
水窖+固化剂集水场集水	1340	0	1200	430	2970	直接入窖
水窖+坡面集水	0	2000	1200	430	3630	200 米小型引渠
骨干坝+提节水工程	0	0	300000	100000	400000	
土圆井节灌工程	300	0	0	430	730	不需输水工程管理费
田间微集雨工程	100	0	0	0	100	不需输水工程, 水利用率 70%

工程运行费主要包括管理费用、维修费用、提水灌溉动力费用、工程折旧费用。水窖储水工程年补灌 3 次, 每次灌水 150 立方米/公顷, 年灌溉定额 450 立方米/公顷; 骨干水保坝提水灌溉按彭阳王洼范新庄水库畦田灌水定额, 田间净灌水定额 900 立方米/公顷, 渠系水利用系数按 0.8 计, 毛灌水定额为 1125 立方米/公顷, 年补灌 3 次, 年毛灌溉定额 3375 立方米/公顷。管理费用主要为管理人员工资, 维修费用主要为易损设备的维修费用, 田间种植均采用覆膜栽培, 使用地膜 150 千克/公顷, 单价 10 元/千克, 各类工程的运行费分析详见表 6-3。

表 6-3 集雨节灌工程年运行费用分析 (单位: 元)

工程类型	工程投资	管理费	维修费	动力费	工程年折旧费	工程年运行费用
水窖+混凝土集水场	4438	10	10	60	314.50	394.50
水窖+碾压场院集水	2255	10	10	60	167.60	247.66
水窖+瓦屋面集水	2230	10	10	60	166.00	246.00
水窖+土路面集水	3230	80	10	60	232.67	382.67
水窖+砂石路面集水	2880	40	10	60	209.33	319.33
水窖+沥青路面集水	2530	40	10	60	186.00	296.00
水窖+土工布集水	2400	50	10	60	280.00	400.00
水窖+纤维布集水	2400	50	10	60	280.00	400.00

水窖+塑膜集水	1796	60	10	60	209.00	339.00
水窖+固化剂集水场集水	2970	10	10	60	215.30	295.30
水窖+坡面集水	3630	30	20	60	259.30	369.30
骨干坝+提节水工程	400000	4800	4000	5000	16666.70	30466.70
土圆井节灌工程	730	10	20	156	96.00	282.00
田间微集雨工程	100		0		100.00	100.00

注：在折旧费计算中，水窖按 30 年折旧，骨干水保坝按 30 年折旧，柴油泵、小型汽油泵、输水软管按 5 年折旧。

各类集雨节灌农业种植均实行覆膜栽培。各类集雨节灌工程投资经济效益分析详见表 6-4。

表 6-4 集雨节灌工程投资经济效益分析

工程类型	工程投资	节灌面积(公顷)	年工程投资(元)	年工程运行费(元/公顷)	年均生产费用(元/公顷)	年均增产增效		益本比
						增产(千克/公顷)	增效(元/公顷)	
水窖+混凝土集水场	4438	0.167	125.28	2367.00	3807.00	3300	5280	1.39
水窖+碾压场院集水	2255	0.167	67.06	1485.96	2985.96	3300	4875	1.63
水窖+瓦屋面集水	2230	0.167	66.40	1476.00	2976.00	3300	4875	1.64
水窖+土路面集水	3230	0.167	93.07	2296.02	3796.02	3300	4875	1.28
水窖+砂石路面集水	2880	0.167	83.73	1915.98	3415.96	3300	4875	1.43
水窖+沥青路面集水	2530	0.167	74.44	1776.00	3276.00	3300	4875	1.49
水窖+土工布	2400	0.167	112.00	2400.00	3900.00	3300	4875	1.25

集水								
水窖+纤维布集水	2400	0.167	112.00	2400.00	3900.00	3300	4875	1.25
水窖+塑膜集水	1796	0.167	83.60	234.00	3534.00	3300	4875	1.38
水窖+固化剂集水场集水	2970	0.167	86.12	1771.80	3271.80	3300	4875	1.49
水窖+坡面集水	3630	0.167	87.22	2215.80	3715.80	3300	4875	1.31
骨干坝+提节水工程	400000	30	37.04	1015.55	2515.50	4200	6720	2.67
土圆井节灌工程	730	0.433	14.77	650.77	2150.77	3300	4875	2.67
田间微集雨工程	100	0.167		0	1500.00	2250	2700	1.80

上述分析表明：集雨节灌工程单位面积投资较高，但其日常管理费用较低，工程投资具有较显著的经济效益，特别是小流域集雨、骨干水保坝拦蓄节灌工程土圆井节灌工程、微集雨节灌工程经济效益显著。集雨节灌工程经济效益的提高关键在于种植具有较高经济价值和地方特色的优势作物。

第二期 节水灌溉配套农业技术措施

节水灌溉配套农业技术措施是提高农田水分利用效率的重要措施之一，它通过选择适当的作物种类、品种、种植方式，合理有效的灌溉管理、配方施肥、耕作、覆盖、化控调节等措施，来减少作物生长期的水分消耗，提高作物的水分利用效率，减少作物灌溉用水，最终达到节水、高产、高效的目标。农业节水技术措施大致上可划分为七大类：即种植结构优化技术、抗旱节水品种筛选应用技术、耕作保墒技术、覆盖保墒技术、蒸腾蒸发抑制技术、化学制剂保水技术和水肥耦合技术。

1. 种植结构优化技术

种植结构优化技术是依据当地的水、土、光、热资源特征以及不同作物需水特性和耗水规律，以高效、节水为原则，以水定植，合理安排作物的种植结构及灌溉规模，限制和压缩高耗水、低产出作物的种植面积，从而建立与当地自然条件相适应的节水高效型作物种植结构，以缓解用水矛盾，提高降水和灌溉水的利用效率。该技术可在较大范围内产生节水效果。

1.1 技术原理、要点和适用条件

1.1.1 技术原理

不同作物对水分亏缺的反应不同，这集中表现在抗旱节水特性和水分利用效率的差异。作物抗旱性是在缺水条件下作物能获得足够产量的能力。作物的节水性是指作物以较低的水分消耗，维持正常生长发育并获得一定经济产量的特性。水分利用效率是指单位耗水量生产的生物量、经济产量以及经济价值。许多研究表明，在相同干旱条件下，不同作物种间的水分利用效率存在很大差异，通常可达到 2~5 倍。由于不同作物种间的抗旱节水特性与水分利用效率差异以及雨水资源的时空分布不均，这就为作物选择与合理布局而建立节水型种植结构提供了理论依据。

1.1.2 技术要点

- ① 选择需水与降水耦合性好、耐旱、水分利用率高的作物品种

适当扩大水分利用效率较高的作物（如甘薯、春玉米、马铃薯等）种植面积，压缩水分利用较低的作物（如春小麦、亚麻等）种植面积，以充分利用当地水资源。在华北平原两熟制地区的深井灌区，压缩高耗水冬小麦、夏玉米等作物，增加传统的耐旱节水优质高效的作物种植，如春播或者夏播的谷子、高粱等小杂粮、豆类、以及优质饲草、甘薯、特种玉米和其他特色作物。在北方灌溉水源保证率不高的地区，严格控制稻田的规模，对稻田面积的扩大要进行认真的水资源供需平衡论证。1 亩稻田的灌溉用水可以满足 3 亩充分灌溉的旱作用水，稻田只能在局部低洼易涝地上发展。对于土壤还没有彻底脱盐的盐渍化地区，每年需要大量淡水用于压碱、洗盐，平衡土壤盐分，更需要加大水稻改旱作的力度，推动稻田改制。在南方丘陵地区压缩一些灌溉保证率不高，冬春严重缺水的岗丘稻田，即俗称的“望天田”、“雷响田”，加强地面径流拦蓄，充分利用相对丰富的天然降水实行退水改旱，或水旱轮作，种植耗水较少但经济效益较高的旱地作物，如棉花、麻类、烟草、瓜菜、药材，果树或其他经济作物、经济林木。

② 调整作物熟制，使之与水分条件相适应

根据我国夏秋季节降水较多、光热充足的特点，适当扩大夏秋作物的种植比例，以充分利用水热资源。如南方三熟制双季稻区，淘汰劣质低效的双季早稻，增加一季旱作；在热量条件两熟有余，三熟略感不足的长江中下游地区，改部分双季稻三熟制为单季稻两熟制，扩大一季中稻或一季晚稻的种植，保证冬种的充分生长，即常说的“三三得九不如二五得一十”；减少早春整地播种，缓解夏季双抢期间灌溉高峰期的用水压力；北方西部干旱条件下的一熟制冬小麦或春小麦地区，由于小麦对水分要求的条件较高，可以改种部分耐旱节水的小杂粮、豆类、饲草，或建立节水高效的轮作制；在黄淮豫东平原，春夏播作物需水和降水的耦合关系较好，生长期降雨量占年降雨量的 60%以上，尤以棉花最高，达 82%，其次是春播花生、红薯和高粱等。

③ 调整作物播期

调整作物播期，使作物生育期耗水与降水相耦合，可以提高作物对降水的有效利用。对于灌区，要根据来水的季节变化特点，合理安排作物种植比例，缓解用水矛盾。

④ 优化协调粮、经、饲三者比例

在满足粮食生产基本需求的情况下，调整农业结构，压缩粮食种植面积并提高其品质，增加饲料作物、经济作物、林果、名优特产作物的种植比例。把目前以粮食作物为主兼顾经济作物的二元结构，逐步发展为“粮、经、饲”的三元结构。

⑤ 发展立体、轮作种植

我国各地因所在的纬度、海拔高度不同，气候条件有很大差异，应根据当地的自然条件、土壤条件和作物的生物学特性，采用不同的种植方式，合理搭配种植。一般无霜期较长、热量充足的地区，应积极发展间、套、复种等种植方式；无霜期较短、热量资源较差的地区，应采用以间作为主要形式的种植方式，或实行高秆作物与矮秆作物、深根作物与浅根作物的混作等，以充分利用有限的水、肥、光、热资源。

立体种植应遵循的原则：

a. 不仅作物地上部分的茎、枝、叶应当分布合理，而且作物根系也应搭配合理，使地下部分深、浅根作物配合，达到既提高光热资源利用率，又提高不同深度的土壤水分利用率的目的。

b. 根据当地的降水特征，做到不同需水特征的作物合理搭配，并特别重视利用夏秋季节的雨热资源。

c. 充分注意不同作物的需水要求，采用不同的耕作方式。

d. 根据作物套种的需水特点，调整灌水时间和灌水方式，尽量做到套种作物和前茬作物或另一套种作物之间一水两用。

轮作种植应遵循的原则：

a. 高耗水作物与低耗水作物搭配，有利于水分恢复和平衡；

b. 深根作物与浅根作物搭配，以充分利用土壤深层储水，并增强土壤蓄纳降水的能力，提高土壤水分的保蓄能力；

c. 根据当年降雨年型和播前土壤墒情合理安排种植。在干旱年，种植耐旱作物，丰水年种植丰水高产品种。

1.1.3 适用条件

对于水资源短缺严重，种植结构不合理，粮食作物种植比例过大，经济作物比例过小，作物种植与降水、光热不适应，茬口不合理，连茬、重茬过多的地区适宜采用该项技术。

1.2 各地区应用的种植结构优化技术

我国地域辽阔，自然资源条件和社会经济发展水平以及消费需求结构的地区差异很大，因此各地区应因地制宜地采用种植业结构优化措施。

1.2.1 北部地区适用的种植结构优化技术

北部地区应当发挥土地资源丰富的优势，将宜农荒地资源充分利用起来，走提高单产与适当扩大耕地面积相结合的道路，保持具有全国意义的粮食、大豆、甜菜优势。同时改进种植制度，选择相宜作物，开展与小麦、玉米、甜菜等作物间作，同一生长期内多种多收。

① 内蒙古河套灌区种植结构优化技术

内蒙古河套灌区按照“三压三扩”的调整原则进行种植结构调整，即压缩夏田种植面积，扩大秋田面积；压缩高耗水作物种植面积，扩大低耗水作物种植面积；压减重盐碱地和低产田种植面积，扩大林草种植面积或退耕还林还草面积。种植结构调整后，引黄灌区的小麦面积由 2002 年的 20 万公顷减少到 10 万公顷，增加 4 万公顷优势牧草，使牧草种植面积达到 6.7 万公顷；种植乳化全株青储玉米 7 万公顷以上；新增覆膜种植 7 万公顷，达到 23 万公顷。

② 北京市种植结构优化技术

北京市主要灌溉作物过去以水稻、冬小麦、蔬菜为主，从 2000 年开始，北京市进行农业结构调整，在当年压缩水稻面积 0.53 万公顷的基础上，2001 又把包括京密引水渠沿线水稻在内的 0.5 万公顷水稻全部改种其它节水作物。京密引水渠沿线的水稻几十年来一直依靠密云水库的来水灌溉，每年的用水量都达上亿立方米。2001 年引水渠停止给农业供水后，京密引水渠沿线密云、怀柔、昌平、海淀等区县的水稻已全部改种果树、苗圃。仅海淀区在 2001 年就投资 2 亿元将 0.17 万公顷水稻调整为林木、苗圃，并全部采用了喷灌、微灌、管灌等高效节水技术，节水效果明显，往年京密引水渠沿线海淀段水稻的年用水量达 1500 万立方米，而改种节水作物后只用水 210 万立方米，节水达 86%。

目前北京市水稻种植面积由 1.9 万公顷压缩到 0.15 万公顷，冬小麦种植面积

由最高峰时期的 16.8 万公顷减少到 2.8 万公顷。通过压缩高耗水作物，节约了宝贵的水资源，使长期以来农业用水占全市用水总量 50% 的格局下调到 25%~30% 左右。

1.2.2 西部地区适用的种植结构优化技术

西部地区在解决粮食自给的基础上，适当压缩春小麦种植面积，大力发展甜菜等经济作物，扩大马铃薯、谷子、高粱等耐旱粮食作物和人工牧草种植，实行休闲轮作制。扩大糜子、马铃薯、玉米等生育期水分满足程度高的作物种植面积，在提高粮食产量人均占有水平的基础上，适当扩大经济作物和饲草面积的比重。同时实行退耕还草，以草养畜，农牧结合，重点建设优质高产的棉花、糖料基地，区域商品粮生产基地和瓜果基地。

① 甘肃省张掖市种植结构优化技术

地处甘肃河西走廊中段的张掖，是依靠发源于祁连山冰川雪山的中国第二大内陆河黑河水滋养的一片绿洲。这里曾经是西部重要的粮食生产基地，近 10 多年来，张掖以甘肃省 5% 的耕地，提供了全省 35% 的商品粮，但这却以消耗大量的水资源为代价。张掖市灌溉 1 公顷粮田需要至少 1 万立方米以上的水，远远高于全国平均水平，农业生产用水量占全市总用水量的 90% 以上，而农业生产每立方米水的产出仅为全国平均水平的十六分之一。高耗水使张掖市对黑河水资源利用迅速增加，过多的占用水资源不仅直接导致黑河断流，下游额济纳绿洲生态急剧恶化，同时也给张掖市自身引来了生态麻烦，沙尘频起，靠近沙漠边缘的田地被沙漠侵蚀。

从 2000 年初开始，张掖市进行全国第一个节水型社会的试点，对黑河流域内各地区的用水量进行总量控制，同时按照全市的水权总量，核定单位工业产品、人口、灌溉面积和生态用水定额。提出了“三字经”——“三禁三压三扩”，即禁止新开荒地，禁止移民，禁止新上高耗水作物；全面压缩耕地面积，压缩粮食面积，压缩高耗水作物；扩大林草面积，扩大经济作物面积，扩大低耗水作物面积。到 2002 年底，张掖市已压缩用水量大的水稻面积 0.56 万公顷，大田作物 1.53 万公顷，并完成退耕还林还草 1.2 万公顷。2003 年，张掖将把剩余的 0.1 万公顷水稻全部压缩，从此告别种植水稻历史。2000 年张掖市粮经比例是 52：48，经过两年的调整，粮经草比例已达到 35：57：8，基本形成以“生态农业”为理念的

节水型经济新模式，全市年节水 9 亿多立方米，有效地缓解了黑河流域的生态危机。

② 宁夏引黄灌区种植结构优化技术

宁夏是全国水资源最少的省区之一，农业灌溉主要靠黄河引水，是一个典型的灌溉农业区。36 万公顷引黄灌区是宁夏农业的精华地带，以占全区 1/3 的耕地生产了全区 2/3 的粮食，农业产值占全区的 87%以上。

2003 年，宁夏引黄灌区遭遇了新中国成立以来最严重的缺水困难。夏秋灌期间，黄河上游来水比多年同期偏少 44%。根据水利部《2003 年旱情紧急情况下黄河水量调度预案》及黄委会月旬水量调度计划，2003 年 4 月至 8 月上旬分配宁夏引水量 33.83 亿立方米，耗水量 22.52 亿立方米，分别比 2002 年同期减少 36.4%和 28.0%。面对严重的缺水形势，宁夏自治区采取了以调整农业种植结构为主的一系列节水增效措施。通过引导群众大规模调整种植结构，压减小麦种植面积 2.29 万公顷，压减水稻种植面积 2.3 万公顷；增加饲草、玉米、蔬菜等秋作物 5.3 万公顷。农业种植结构的调整既有效地缓解了灌溉用水的压力，促进了节水，又增加了农民收入。2003 年宁夏引黄灌区仅压减水稻一项就减少引水 3.5 亿立方米，稻作调整区每公顷耕地减少 1.5 万立方米左右的灌溉用水。

1.2.3 南部和东部地区适用的种植结构优化技术

南部和东部地区自然资源要素组合好，粮食生产潜力大，应当继续发挥水稻高产优势，并保持目前的粮油生产比例。适当增加玉米、饲用稻和大麦生产，以满足畜牧业发展需求；扩大水旱轮作面积，改变目前双季稻连作带来的不良生态后果。在盆地地区推行间、套、复种等种植方式，提高复种指数；海拔较高的地区，应在强化粮食基础同时，适当扩大油、烟、麻、蚕、茶种植，尤其应发挥高原独特的气候资源优势，发展优质烟、茶和药材等特种作物。

湖北省随州市种植结构优化技术：湖北省随州市地处鄂东北丘陵地带，属封闭性流域，境内河流皆为河源，全市人均年水资源量仅 1300 立方米，耕地平均水资源量为 24000 立方米/公顷。但由于水利建设及管理中存在的薄弱环节，以及农业种植结构调整不到位，一些地区本来水源条件不好，却偏偏要种水稻，有的地方农民宁愿“抗”出“成本”跟“收入”差不多的稻谷，也不愿调整结构后买几角钱一斤的大米，往往是“先插秧，后找水，抗旱求丰收”，加剧了水资源

的供求矛盾。

2002 年开始，随州市开始进行农业种植结构调整。一是将水利死角地区的 1.33 万公顷水田全部改种旱作物，每年省水 6000 万立方米。二是压缩水源条件保障率低的水稻种植面积 2 万公顷。本着以水定种的原则，对每公顷平均蓄水量不足 4500 立方米或依靠提水保种、保收的地区，控制水稻种植面积。全市压缩水稻面积 2 万公顷改种高效耐旱经济作物，每年省水 9000 万立方米。三是将现有普通旱作物调整为耐旱作物品种，让高效经济作物进正田。将 1.33 万公顷普通旱作物调整为畜、禽、渔饲草和林果等耐旱作物品种，增加保收系数，发挥避灾效益。通过水改旱、压缩水稻面积和改种耐旱作物，随州市每年节水 1.5 亿立方米。

1.2.4 中部地区适用的种植结构优化技术

中部地区特别是华北地区是我国水资源矛盾最尖锐的地区，种植业结构应向节水高效方面优化。具体的优化措施包括：适当扩大对天然降水利用率较高的玉米、棉花的种植面积；增加甘薯、花生等优质饲料来源作物的种植比例，逐步形成种植结构三元化；由于北方冬季转暖，南部地区可以适当扩大油菜等越冬作物的种植比例。

① 河北衡水种植结构优化技术

河北衡水是一个水资源严重匮乏的地区，全市人均水资源占有量为 120 立方米，仅为全省人均水平的 38%，全国的 5.4%。由于既没有地上水源，年降水量又少，主要靠开采地下水维持生计。针对水资源匮乏的实际，衡水市积极推广节水农业种植结构调整技术，按照以水定产业结构布局、以水定发展方向的思路，积极推进农业种植结构的调整。采取压面积、提单产、保总产的方式，压缩了高耗水的小麦等作物，扩大棉花、林草等节水作物。近年来，已压减小麦面积近 6.7 万公顷，扩种棉花、林草 6.7 万公顷。通过种植结构的调整，每年可节水 1 亿多立方米。

② 天津市种植结构优化技术

天津市是一个水资源严重短缺的滨海城市。近年来，天津市依据水资源状况进行了种植结构的调整，优质、高产、高效、低耗水农作物的种植比例大幅提高。耗水量较大的水稻种植面积从 6.7 万公顷压缩到 1.33 万公顷左右，小麦由 14.7 万公顷压缩到 8.7 万公顷，优质粮食品种逐年提高；耐旱的棉花种植面积达到 8.53

万公顷。种植结构的调整取得了较好的节水增产效果。经测算，全市年节水达到 7 亿多立方米，年增加农业生产能力折合粮食 1.38 亿千克，估算直接增加经济效益可达 2.77 亿元。

2. 抗旱节水品种筛选应用技术

所谓抗旱节水品种是指抗旱性强、水分利用效率高、综合性状优良的作物品种。培育或引进适合当地条件的节水高产型品种是降低作物耗水量、提高水分利用效率的一项重要措施。

2.1 技术原理、要点和适用条件

2.1.1 技术原理

同一作物不同品种之间在抗旱性和水分利用效率方面差异很大，这种差异除了环境条件的影响外，更主要的是植物本身遗传基础的差异。充分挖掘并利用作物的抗旱、节水、增产潜力，改良作物的抗旱性，对发展节水农业具有重要意义。

2.1.2 技术要点

① 严格遵照用种程序

试验、示范、推广是一套不可逆的缺一不可的品种筛选应用程序。

首先要进行严格的、规范的试验。试验中，对品种的特征、特性、抗逆性、产量性状和产量、品质性状和品质、生态适应性、利用价值和前景等方面进行全面考查。严格遵守种子法，在试验成功的基础上开展一定规模和范围的示范。通过特定程序，经专门机构审定或认定，合法地逐步推广。

② 选用适宜的品种类型

尽管不同作物的品种繁多，但都有一定的类型归属。种植中，品种类型适宜是前提，如果类型不当，就不能完成生长发育过程，失去了种植意义。掌握具体作物品种的特征和特性，结合每种作物的种植区划，计算用种地区的积温，综合其他生态条件，选用适宜的品种类型，是种植成功的保证。

③ 选用抗逆性强、高产优质作物品种

冬小麦节水抗旱品种的主要筛选指标是：种子吸水力强、叶面积小、气孔对水分胁迫反应敏感，根系大入土深，株高 80 厘米左右，分蘖力中等，成穗率高，生长发育冬前壮、中期稳、后期不早衰，籽粒灌浆速度快、强度大，穗大粒多，

千粒重 40~45 克，抗寒、抗旱、抗病、抗干热风。玉米节水抗旱品种的主要筛选指标是：出苗快而齐，苗期生长健壮；中后期光合势强，株型紧凑；籽粒灌浆速度快；耐旱、抗病、抗倒伏；产量高而稳，籽粒品质好；生育期适合于当地种植制度。

2.1.3 适用条件

选用节水高产基因型作物品种要因地制宜。不同作物品种对环境的要求和适应力都有一系列的生理生态和形态差异，因此，只有环境与作物品种的生理生态和遗传特性相适应时，才能充分发挥品种的优良特性与产量潜力，合理利用资源，趋利避害，发挥资源增产优势。

① 地区类型

注意作物和品种生育期的地理变化。如果产地和被引入地区的环境和生态条件大致相同，一地种植成功的可能性就大。

② 光温特性

不同作物及不同的品种生长发育过程中，所要求的光、温等生态条件各不相同，对其有不同的反应。如有些小麦品种生态型对光、温条件要求非常严格，如果引入不当，可能造成绝收的严重损失。

2.2 各地区应用的抗旱节水品种筛选应用技术

2.2.1 抗旱节水冬小麦筛选应用技术

石家庄市农科院的小麦课题组经过多年的试验探索，选育出既高产又具有节水抗旱性能的新一代小麦品种—石家庄 8 号。试验结果显示，在栾城实验站做的“0 水处理”（即小麦从播种到收获不浇水）试验中，平均产量可以达到 7150 千克/公顷，居 6 省(市)19 个参试品种的第一名。在“1 水处理”（即小麦从播种到收获只浇 1 水）试验中，该小麦新品种平均产量 7415 千克/公顷。经过中国农科院作物所、河北省农科院旱作所、西北农大等多个科研单位多年鉴定，“石家庄 8 号”在水浇地表现节水高产，在半干旱地表现抗旱丰产，水分利用效率高达 1.9 千克/立方米，较目前国内一般高产小麦品种的水分利用效率提高 25%左右。

2.2.2 抗旱节水水稻筛选应用技术

上海市农业科学院育成的“中旱 3 号”、“沪旱 3 号”、“沪旱 7 号”等水稻

节水抗旱品种已在广西、湖北、浙江、江西、江苏、山东、河北等省区的干旱地区大面积推广种植。目前累计推广面积已达 3566 万公顷，增产稻谷 3 亿千克，节约水资源 16 亿立方米，实现经济效益 589 亿元。与抗旱稻相配套的节水栽培技术也趋于成熟，在一些种植区域，节水可达 50%，而且还可在坡耕地实现水土保持，减少近七成的泥沙流失。

2.2.3 山西省寿阳地区抗旱节水玉米筛选应用技术

玉米是山西省寿阳县的第一大作物，长期以来，该地区一直沿用中单 2 号、烟单 14 等一些 20 世纪 70 年代和 80 年代育成的玉米杂交种，使当地玉米生产水平的进一步发展受到很大限制。2004 年开始，寿阳县引进高产、抗旱节水的优良玉米杂交种，以高产和高效用水为目标进行筛选试验。

引进的品种中，东农 250、龙单 23 和四早 113 在产量和水分利用效率方面均明显高于寿阳多年应用的主栽品种，对寿阳地区的水热条件具有很好的适应性，表现出高产、高效用水的显著特点。

2.2.4 抗旱节水高粱筛选应用技术

晋杂 101 是山西省农业科学院高粱研究所育成的抗旱、节水、酿酒专用高粱新品种。该品种抗旱指数为 1.13，具有很好的抗旱及高产、稳产性能，在山西晋中生产示范表明，该品种平均产量为 10140 千克/公顷，最高产量可达到 12630 千克/公顷。目前已在山西、内蒙、河北等地推广种植，其高产、稳产、多抗的特点深受农民欢迎。该品种适应种植地区广，在黑龙江、吉林、内蒙、山西等高粱春播早熟区和山东、河北、山西、河南等夏播区均可种植。

3. 耕作保墒技术

3.1 深松蓄墒技术

深松是指疏松土壤，打破犁底层，使雨水渗透到深层土壤，增加土壤储水能力，且不翻动土壤，不破坏地表植被，减少土壤水分无效蒸发损失的耕作技术。

3.1.1 技术原理

长期浅耕及机械的田间作业会造成土壤压实，在距地表 16—25 厘米下面形成坚硬、密实粘重的犁底层，阻碍雨水下渗，减弱土壤蓄水能力，影响作物根系发育，导致作物减产。深耕松土就是使用深松机械将犁底层耕松，创造疏松深厚

的耕作层。通过深松加厚了活土层，疏松的土层增加了土壤孔隙度，提高土壤接纳降雨的能力；同时，翻耕切断了土壤水分向地表移动的通道，减少了土壤下层水分表逸的机会和数量，进而达到蓄水保墒的效果。一般耕作时，水分入渗量只有 5 毫米/时，1 米土层蓄水量不足 1350 立方米/公顷，深耕松土后土壤水分入渗量达到 7~8.5 毫米/时，1 米土层蓄水量达 1800 立方米/公顷。

3.1.2 技术要点

深松有全面深松和局部深松 2 种。全面深松使用深松犁全面松土，适用于配合农田基本建设，改造耕浅层的黏质土。局部深松则是用杆齿、凿形铲进行松土与不松土间隔的局部松土，即深松土少耕法。

① 技术要求

a. 深松时间。适时深松是蓄雨纳墒的关键，深松的时间应根据农田水分收支状况决定，一般宜在伏天和早秋进行。对于一年一熟麦收后休闲的农田要及早进行伏深松或深松耕。一年两熟区一般在播种前进行。

b. 深松深度。深松深度因深松工具、土壤等条件而异，应因地制宜，合理确定。一般深松深度以 20~22 厘米为宜，有条件的地方可加深到 25~28 厘米，深松耕深度可至 30 厘米。

c. 深松间隔。密植作物（小麦等）的深松间隔为 30~50 厘米；宽行作物（玉米等）深松间隔 40~70 厘米（量好与当地玉米种植行距相同）。

d. 作业周期。深松有明显的后效，一般可达 2~4 年。因此，同一块地可每 2~4 年进行一次深松。

② 机具要求

a. 深松作业前的土壤比较坚硬，深松机入土困难，牵引阻力大，需匹配大功率拖拉机。

b. 根据土质、土壤墒情、深松幅宽确定拖拉机功率匹配。

c. 深松作业是保护性耕作技术内容之一，保护性耕作要求秸秆和残茬覆盖地表，因此，要求工作部件（松土铲）有良好的通过性能而不被杂草缠结。

d. 深松机要求具有保证其松土而不粉碎土壤、不乱土层的性能。

e. 深松机工作部件应使土壤底层平整均匀。

③ 农艺要求

- a. 深松后为防止土壤水分的蒸发,应根据土壤墒情状况确定是否镇压表土。
- b. 深松后要求土壤表层平整,以利于后续播种作业,保证播种时种子覆土深度一致。

3.1.3 适用条件

该技术适宜在地势平坦,土层深厚,农业机械化程度高的地区推广使用。

3.2 耙耱镇压保墒技术

耙耱是改善耕层结构达到地平、土碎、灭草、保墒的一项整地措施。镇压既能使土壤上实下虚减少土壤水分蒸发,又可使下层水分上升,起到提墒引墒作用。

3.2.1 技术原理

所谓耙耱是指翻地后用齿耙或圆盘进行碎土、松土、平整地面等措施。实行翻地—耙地—耱地的“三连贯”作业,可以进一步耱碎表土、耱平耙沟,使田面更加平整,并具有轻压作用,使地面形成一个疏松的覆盖层,减少土壤水分蒸发。秋翻地要随犁、随耙、随耱,称为秋耕地耙耱。小麦为了防止土壤返浆水的无效蒸发,要进行早春顶凌耙耱,早春顶凌耙地时间一般在早春土壤解冻2—3厘米(即昼消夜冻期间)。顶凌耙地保墒的关键:一是要早,二是要细,三是次数要适宜。

3.2.2 技术要点

① 耙耱时间

耙耱保墒主要是在秋季和春季进行。麦收后休闲田伏前深耕后一般不耙,其目的是纳雨蓄墒、晒垡,熟化土壤。但立秋后降雨明显减少,一定要及时耙耱收墒。从立秋到秋播期间,每次下雨以后,地面出现花白时,就要耙耱一次,以破除地面板结,纳雨蓄墒。一般要反复进行多次耙耱,横耙、顺耙、斜耙交叉进行,耙耱连续作业,力求把土地耙透、耙平,形成“上虚下实”的耕作层,为适时秋播保全苗创造良好的土壤水分条件。秋作物收获后,进行秋深耕时必须边耕边耙耱,防止土壤跑墒。早春解冻土壤返浆期间也是耙耱保墒的重要时期。在土壤解冻达3~4厘米深,昼消夜冻时,就要顶凌耙地,以后每消一层耙一层,纵横交错进行多次耙耱,切断毛管水运行,使化冻后的土壤水分蒸发损失减少到最小程度。在播种前也常进行耙耱作业,以破除板结,使表层疏松,减少土壤水分蒸发,增

加通透性，提高地温，有利于农作物适时播种和出苗。

② 耙耱的深度

耙耱的深度因目的而异。早春耙耱保墒或雨后耙耱破除板结，耙耱深度以3~5厘米为宜。耙耱灭茬的深度一般为5~8厘米，但耙耱播种的地，第一次耙地的深度至少8~10厘米。在播种前几天耙耱，其深度不宜超过播种深度，以免因水分丢失过多而影响种子萌发出苗。

③ 镇压时间

播种前土壤墒情太差，表层干土层太厚，播种后种子不易发芽或发芽不好，尤其是小粒种子不易与土壤紧密接触，得不到足够的水分时，就需要进行镇压，使土壤下层的水分沿毛细管移动到播种层上来，以利种子发芽出苗。

冬季地面坷垃太多太大，容易透风跑墒。在土壤开始冻结后进行冬季镇压，压碎地面坷垃，使碎土比较严密地覆盖地面，以利冻结聚墒和保墒。

3.2.3 适用条件

镇压一般是在土壤墒情不足时采取的一种抗旱保墒措施。镇压后表层出现一层很薄的碎土时是采用镇压措施的最佳时期，土壤过干或过湿都不宜采用。土壤过干或在沙性很大的土壤上进行镇压，不仅压不实，反而会更疏松，容易引起风蚀；土壤湿度过大时镇压，容易压死耕层，造成土壤板结。此外，盐碱地镇压后容易返盐碱，也不宜镇压。

3.3 各地区应用的耕作保墒技术

3.3.1 北部地区适用的耕作保墒技术

辽宁阜新玉米镇压保墒技术：辽宁省农业科学院在辽宁阜新地区的玉米不同镇压方式试验结果表明，镇压可以提高耕层土壤含水量，播后24和48时，0~10厘米土壤含水量分别比对照高0.4~0.94个百分点和1.59~2.88个百分点；10~20厘米土壤含水量分别比对照高0.18~0.44个百分点和1.14~1.66个百分点。镇压还有利于玉米干物质的积累和产量的提高，镇压处理产量比对照提高18.3%~22.9%。节水增产效果显著。

3.3.2 西部地区适用的耕作保墒技术

① 甘肃兰州市机械深松营造“土壤水库”工程技术

甘肃省兰州市是黄土高原、青藏高原、内蒙古高原交汇的地方，腹地沟谷纵

横，旱地面积占总耕地面积的 63.8%，气候以干旱少雨为主，年均降雨 300 毫米左右，且年内分配相当集中，一般在 7~9 月份，多以暴雨形式出现，自然降雨与农作物需水时间不同步。近 20 年来，由于农业经营规模变小和大中型拖拉机的减少，土地耕作主要使用小型拖拉机和役畜，沿用传统的浅耕翻耕作方式，80% 以上的耕地未进行过深耕或深松。长期以来，耕地土壤由于人畜的踩踏，机车轮子碾压和铧式犁年复一年的耕翻，加之大量不科学施用化肥等综合作用，在耕作层底部耕作层与芯土层之间形成了一层 8~15 厘米厚的坚硬的犁底层。它阻隔了降水和灌溉水的渗入，使土壤蓄水保墒能力减弱，易形成地表积水或径流，造成大量水土流失，也阻隔了地下水上升；在水浇地，因耕作层小，大大提高了水分蒸发量，使水的利用率和生产率下降。另外，犁底层还影响了作物根系向土壤深层生长，不利于土壤中气、热交换和微生物的繁衍分解，犁底层已成为农业生产的一大障碍，为此，兰州市实施了“机械深松营造‘土壤水库’工程技术的推广研究”项目。

1998~2003 年，兰州市累计推广机械深松面积 1.24 万公顷，其中，机械深松旱地 0.68 万公顷，机械深松水浇地 0.56 万公顷，主要种植作物为小麦、啤酒大麦、马铃薯、玉米、胡麻等。机械深松取得了显著的增产增收效益，机械深松旱地的小麦、马铃薯、胡麻分别增加纯收益 602.7 元/公顷、825 元/公顷、360 元/公顷；机械深松水浇地的小麦、玉米、胡麻分别增加纯收益 864.6 元/公顷、541.5 元/公顷、757.5 元/公顷。实践证明：机械深松用于旱地可减少地表径流，提高蓄水保墒能力；用于水浇地可减少水分蒸发，节约灌溉用水，是一项保持水土节水抗旱的耕作新技术，也是广大旱作区农业增效、农民增收的有效途径。

② 宁夏彭阳县耙耧镇压技术

小麦是宁夏彭阳县的主要粮食作物，从 2000 年开始，彭阳县大面积推广耙耧镇压技术，取得了明显的增收效果。与对照田比较，采用耧镇压提高 0~10 厘米土层含水量 1.4%，10~20 厘米土层含水量提高 3.4%，小麦基本苗增加 4.4%，增产 3.3%。

3.3.3 东部地区适用的耕作保墒技术

江西红壤地机械深松技术：据江西省农业科学院农业工程研究所在红壤地的试验结果，在机械深松 30 厘米的条件下，15~20 厘米土层含水率比普通犁耕提

高 15.2%，晚大豆的产量增加 17.1%，花生产量增加 21.2%，玉米产量增加 15.0%。深松 30 厘米的生产成本为 300 元/公顷，各作物按当时市场可比价格计算，大豆增产的收入为 657 元//公顷，花生增产的收入为 1195.5 元//公顷，玉米增产的收入为 1465.5 元//公顷，纯增加的收入为 357~1165.5 元//公顷。

3.3.4 南部地区适用的耕作保墒技术

广西柳江县机械化深松技术：据广西柳江县农机局测定在黄沙土甘蔗地测定，使用机械化深耕深松比牛耕土壤含水量增加 0.5%~1.5%，在连续 3 个月干旱的情况下，深耕深松的土壤含水率 12.97%，比牛耕的增加 1.7 个百分点。平均增产 1.815 万千克/公顷，按当地甘蔗价格 0.26 元/千克计算，每公顷增值 4719 元，效益显著。

3.3.5 中部地区适用的耕作保墒技术

河南省麦田耕作保墒技术：河南省民权县气象局的试验证明，干旱时对麦田播前镇压，可使 0~8 厘米土层的水分提高 1%~3%，干土层厚度由 3~5 厘米下降为 1~2 厘米，利于出苗扎根。冬前与早春镇压，可使 0~5 厘米土层的水分增加 3%左右，能有效地促根增蘖、抗旱防冻。麦田镇压还可促进生长发育，增加植株高度及成穗数，一般可增产 6%~20%。

据河南省农科院测定，采用松耕作法，疏松深度在 20 厘米以上，耕层有效水分可增加 4.0%~5.6%，渗透率提高 13%~14%，粮豆增产 10%。在伏雨前深松，可使 40~100 毫米土体蓄水量增加 73%，小麦增产 5.9%~29.6%。

4. 覆盖保墒技术

4.1 技术原理、要点和适用条件

4.1.1 技术原理

作物田间通过利用作物秸秆或地膜覆盖，可以截留和保蓄雨水及灌溉水，保护土壤结构，降低土壤水分消耗速度，减少棵间蒸发量和养分损耗，从而提高水资源利用效率，同时该技术具有调节土温、抑制杂草生长等多方面的综合作用。覆盖保墒技术根据覆盖材料的不同分地膜覆盖和秸秆覆盖两种形式。

4.1.2 地膜覆盖保墒技术

① 技术要点

a. 精细整地

精细整地是地膜覆盖的基础。地膜覆盖的田块秋季收获后要进行秋、冬翻耕，耕后及时耙耱保墒。第二年春季只耙耱不翻耕，早春要及时顶凌耙耱保墒。雨后还要及时耙耱保墒。经过这些工序，达到地平、土碎、墒足，无大土块，无根茬，为保证覆膜质量创造良好条件。

b. 科学施肥

根据土壤养分亏缺状况科学配比施肥，是地膜覆盖增产的保证。一般来说，在土壤翻耕时要施足基肥。基肥以有机肥和磷肥为主，有机肥施用量较常规增施30%~50%，作物中后期应及时采用扎根追肥、灌水的方法补充肥水，以防止作物脱肥早衰。高肥地块氮素肥料应减少20%左右，增施磷、钾肥，以控制作物徒长。低肥地块增施氮肥，则有利于增产。

c. 早起垄

在冬前或早春整好地后随即起垄。垄应做成中间高、两侧呈缓坡状的圆头高垄。一般垄高10~15厘米，垄底宽50~60厘米。垄向以南北向为宜。垄做好后，再轻轻镇压垄面，使垄面光滑平整，覆膜时地膜容易绷紧，膜面能紧贴垄面，增温保墒效果好，而且还有利于土壤毛细管水分上升。在干旱少雨地区，大面积采用地膜覆盖时，应在垄沟中分段打埂，以便纳雨蓄墒。

d. 喷洒除草剂

地膜覆盖容易在膜下滋生杂草，特别在多雨低温年份，易形成草荒，与作物争水、争肥、争光照，影响盖膜效果。所以在覆膜前要适当使用除草剂，按照适宜的剂量和稀释浓度，均匀地喷洒地面，以防药害。为保证安全，可按常规用量减少20%。

e. 覆膜

覆膜质量直接关系到地膜覆盖的效果，是地膜覆盖栽培的关键。整地、起垄、喷洒除草剂后应立即覆膜。覆膜时，要将地膜拉展铺平，使地膜紧贴地面。地膜的两侧、两头都要开沟埋入土中，并要压紧、压严、压实，使膜面平整无坑洼，膜边紧实无孔洞。然后再在膜面上每隔1.5米压一土堆，每隔3米压一土带，以防风吹揭膜。应用地膜覆盖机覆膜功效高，质量好，均匀一致，并且节省地膜。

f. 播种与定植

播种与定植时间、方法、质量，关系到出苗早晚和缓苗快慢，是地膜覆盖的主要技术环节，因此，应根据不同作物、不同地区和地膜覆盖的特征，选择适宜的播期。地膜覆盖的春播作物，一般是晚霜前播种，晚霜后出苗或放苗，播种、定植过晚则失去地膜覆盖的意义。一些抗寒作物可以适当提早，但由于盖膜后播种至出苗的时间缩短，出苗期较早，所以播种也不能过早，以防早春霜冻危害。地膜覆盖的播种方式一般采用先盖膜后播种或定植，主要有条播和穴播或移栽等几种方式。播种时先按株、行距在膜面上开直径为4~5厘米的圆孔或十字形口，然后再播种或定植。随后要及时用湿土把播种或定植孔连同地膜一起封严压实，以防风吹揭膜，降低土温和蒸发失水，并可抑制杂草。

g. 田间管理

在播种、定植后，覆盖在田间的地膜常会因风吹、雨淋和田间作业遭到破坏，有的膜面出现裂口，有的膜侧出现漏洞，如不及时用土封堵严实，地膜会很快裂成大口，使地温下降，土壤水分损失，杂草丛生，失去盖膜的作用。因此，在田间管理时，应注意不要弄破地膜；要经常检查，发现破口及时封堵，以防大风揭膜，造成毁苗伤苗。

在先播种后盖膜的农田，出苗后应及时打孔放苗。孔的大小以4厘米为宜，按照密度确定适宜的株距。幼苗放出后，及时用土把孔口密封严实，防止透气和灌风揭膜。先盖膜后播种的田块，如播种后遇雨，易形成板结，应及时破除播种孔的硬结，以利幼苗出土。幼苗出土后，应根据不同作物，在适宜的时期进行间苗、定苗，保证全苗，达到适宜的密度。其他的田间管理，如中耕除草、追肥、防治病虫害等，应根据不同地区、不同作物、不同生育阶段，采取相应的措施。此外，地膜覆盖的作物，往往前期容易徒长，后期容易早衰。因此，在前期要注意控水蹲苗，促进根系生长。在中、后期要注意灌水、追肥，防止脱肥早衰，促使作物早发、稳长、不早衰。

在地膜覆盖下，作物生育期普遍提前，成熟期较早，应及时收获，达到增产增收的目的。作物收获后，要及时拣净、收回田间的破旧地膜，以免污染土壤，影响下茬作物的生长发育。

② 适用条件

地膜覆盖适用于地势平坦、肥力较好、土质疏松、有一定保水和保肥能力的地块。在坡地、沙土地、涝洼地、冷渍田、瘠薄地、重盐碱地和无水源的严重干旱地不适用。此外，风口地块也不宜选用。

一般年平均气温在 5 摄氏度以上，无霜期 125 天左右，有效积温在 2500 摄氏度左右的地区适宜推广玉米地膜覆盖栽培技术。在降雨量 400 毫米以上的地区适宜推广小麦地膜覆盖栽培技术。

4.1.3 秸秆覆盖保墒技术

① 技术要点

a. 主要形式

直茬覆盖：主要应用于小麦联合收割机收获后，小麦高茬覆盖地表。

粉碎覆盖：用秸秆还田机对作物秸秆直接进行粉碎覆盖。

带状免耕覆盖：用带状免耕播种机在秸秆直立状态下直接播种。

浅耕覆盖：用旋耕机或旋播机对秸秆覆盖地进行浅耕地表处理。

b. 覆盖量与覆盖时间

直播作物：小麦、玉米等作物播种后、出苗前，以 2250~3000 千克/公顷干秸秆均匀铺盖于土壤表面，以“地不露白，草不成坨”为标准。盖后抽沟，将沟土均匀地撒盖于秸秆上。

移栽作物：油菜、红薯、瓜类等移栽作物，先覆盖秸秆 3000~3750 千克/公顷，然后移栽。

夏播宽行作物：棉花等宽行作物在最后一次中耕除草施肥后覆盖秸秆，用量 3000~3750 千克/公顷。

果树、茶桑等果茶园：可随时覆盖秸秆，用量以春季 4500 千克/公顷，秋季 3750 千克/公顷为宜。

休闲期覆盖：在上茬作物收获后，及时浅耕灭茬，耙耱平整土地后将秸秆铡碎成 3-5 厘米覆盖在闲地上，覆盖量视土壤肥力状况，一般 4500~7500 千克/公顷。

总之，覆盖量以把地面盖匀、盖严但又不压苗为度。一般以 3750~15000 千克/公顷为宜，应酌情掌握。一般原则是：休闲期农田覆盖量应该大些，作物生

育期覆盖量应该小些；用粗而长的秸秆作覆盖材料时量应多些，而用细而碎的秸秆时量应少些。

c. 覆盖材料

采用农作物生产的副产品（茎秆、落叶）或绿肥为材料进行农田覆盖。一般情况下，麦秸、稻草、玉米秸秆、麦糠等都可以作为农田和果园的覆盖材料。

d. 灌水方法

灌好底墒水；

采用 450 立方米/ 公顷左右的小定额灌水。

e. 田间管理

均匀覆盖；

注意病虫草害。

② 适用条件

适用于我国南北各地的气候与土壤条件。秸秆覆盖条件下，使用地面灌溉时会出现秸秆随水漂移壅塞阻水、灌水均匀度低、灌水定额大等难以解决的技术问题。因而秸秆覆盖技术必须与适宜的田间灌水技术相结合，才能充分发挥其节水效果。实践证明，采用孔口出流软管灌水、卷盘自回收 PE 管地面机具灌水或喷灌灌水等灌水方法，可以较好地解决灌水过程中壅塞阻水及秸秆漂移问题。

4.2 各地区应用的覆盖保墒技术

4.2.1 北部地区适用的覆盖保墒技术

① 沈阳地区水稻地膜覆盖技术

沈阳地处辽浑太流域的辽宁中部平原，是工业密集、水稻种植面积较大的地区，工农业的大量用水，造成相互间争水现象严重，供需矛盾日益突出。该区近 1/2 的农业作物为水稻，由于用水短缺，生产受到了严重的影响。

从 2002 年开始，沈阳市开展水稻覆膜插秧节水技术试验，结果表明，地膜水稻节水 2310 立方米/ 公顷，增产 525 千克/ 公顷，净增收 348 元/ 公顷。苏家屯地区 1.6 万公顷水田全部采用地膜覆盖，节水 3696 万立方米，增加经济效益 556.8 万元。

② 甜菜地膜覆盖技术

甜菜是我国北方地区一种主要的经济作物，甜菜地膜覆盖技术 20 世纪 80 年代初在内蒙古、吉林、黑龙江、新疆等省区开始试验推广，以后应用面积逐渐扩大，各地地膜栽培都获得了节水增产增收效果。1983 年，内蒙巴盟地区推广 1900 多公顷，产量达 6.38 万千克/公顷，含糖提高 0.5~0.9 度。1985 年河套地区地膜甜菜 0.35 万公顷，平均产量 6.18 万千克/公顷，含糖率达到了 17.25%，每公顷增产值 1500 元，1987 年吉林省白城子地区 0.27 万余公顷地膜甜菜，每公顷产量 1.5 万千克以上，较裸地播种甜菜增产 40%左右，黑龙江推广 500 多公顷，较裸地播种甜菜增产 62.1%，含糖提高 0.74 度，新疆石河子甜菜研究所两年试验，地膜甜菜单产 4.14~4.59 万千克/公顷，比裸地播种甜菜增产 1.78~1.83 万千克，增产 63.8%~78.9%，含糖提高 0.45~1.3 度，产糖量增加 2457~3042 千克，纯度也有提高。由于增产增糖效果显著，地膜甜菜面积在不断扩大。

4.2.2 西部地区适用的覆盖保墒技术

① 新疆棉花膜下滴灌技术

膜下滴灌技术产生于兵团农八师石河子垦区。这里位于天山北麓、准噶尔盆地南缘，年降雨量只有 100 到 200 毫米，年蒸发量高达 2000 到 2400 毫米，是典型的干旱地区，农业生产完全依赖于灌溉，用水矛盾十分突出。

从上个世纪八十年代起，农八师的水利工作者开始尝试在大田滴灌节水技术的可行性，自 1996 年到 1998 年，对不同土壤条件下的不同作物进行试验，获得成功，1999 年开始，兵团以农八师为中心在全兵团大面积推广，第一年即推广 0.25 万公顷，目前的推广面积较 1999 年增长了近 46 倍。

2002 年，石河子垦区 11 万公顷棉田有 8 万公顷采用了膜下滴灌技术，棉花平均单产达 4500 千克，创历史新高。全师棉花增产了 20%，平均单产提高了整整 750 千克，就以每千克籽棉 3.5 元的市场价计算，每公顷地可增加收入 2625 元，如此，仅增产因素就为农八师增加收入近两亿元，若按一个农业职工 3.3 公顷的平均承包定额，则农工平均增收达 8750 元。

② 四川巴中水稻覆膜节水抗旱栽培技术

四川巴中市大力推广水稻覆膜节水抗旱栽培技术，以地膜覆盖为核心，以节水抗旱为主要手段，通过旱育秧、厢式免耕、精量推荐施肥、地膜覆盖、“大三围”栽培、节水灌溉、病虫害综合防治等先进技术有机整合，取得了显著的节水

增产效果。运用覆膜节水抗旱栽培技术后每公顷可节水 70%以上，节省 10%—15%的氮肥，省种量 50%左右，省工 150 个以上，增产 2250—3000 千克。目前，巴州区兴文乡、通江县民胜镇、平昌县六门乡等地已示范推广该技术。

4.2.3 东部地区适用的覆盖保墒技术

江苏少免耕秸秆覆盖技术：地处江苏省黄海之滨东辛农场，为泻湖相沉积母质，粘质盐渍土，质地粘重，宜耕期短，俗称“干时凉僵湿又粘，不干不湿两三天”。由于机械作用阻力大，耕翻后土块失墒快，结块不易破碎；湿土经机械挤压又板结闭塞以致无法播种，延误农时。

上世纪 90 年代开始，东辛农场推广少免耕秸秆覆盖技术，实行新的耕作制度，提高复种指数，为作物生态环境创造了充分的时空条件。经过多年来对免耕秸秆覆盖的田间调查与统计分析表明，夏玉米和夏大豆实行免耕秸秆覆盖当季分别增产 16%和 19%，并降低农本。免耕秸秆覆盖每公顷投入成本比耕翻对照田可降低 465 元和 270 元；夏玉米实行免耕秸秆覆盖每公顷净增 1230 元，提高 53.9%；夏大豆每公顷净增 580 元，提高 63%。

4.2.4 南部地区适用的覆盖保墒技术

① 广西秸秆覆盖还田技术

秸秆覆盖还田是一项集节水农业、生态农业和环境保护于一体的沃土工程技术。近年来，广西秸秆还田技术推广取得明显成效，呈现出强劲的发展势头。广西钦州市钦北区，早稻收割后，农民把稻草覆盖还田，并施秸秆腐熟剂，晚稻播种时稻田土壤变得更加肥沃、疏松，每公顷增产稻谷 840 千克；兴业县采用免耕栽培马铃薯与稻草覆盖还田技术相结合，农民只需在冬闲稻田上“摆一摆、盖一盖、捡一捡”，马铃薯平均产量 2.25 万千克/公顷以上，每公顷节本增收 3000~3750 元。2005 年，广西秸秆覆盖还田面积达 188 万公顷，占广西农作物播种面积的 30%，比 1995 年翻了一番。实行秸秆还田的作物一般增产 10%以上，其中稻草覆盖还田每公顷增产稻谷 245~865 千克，增产效果十分明显。

② 南方山区水稻覆膜栽培技术

低温冷害是山区水稻生产的主要限制因子，为了探索山区水稻高产栽培的新技术，湖北省十堰市和竹山县农业局的农业科技人员借鉴地膜玉米覆盖栽培和水稻地膜育秧的技术，进行了山区水稻地膜全程覆盖栽培技术试验。1993 年在竹

山县大庙乡万兴村选择沙壤土稻田进行小面积（0.05 公顷）地膜栽培与常规栽培对比试验，地膜水稻采取半旱式垄作、覆盖地膜打孔栽培，结果地膜水稻单产达 8000 千克/公顷，比常规稻增产 36.4%，平均可节水约 1200 立方米/公顷。1994～1998 年，湖北省的地膜水稻迅速推广至 15000 公顷，目前湖北省山区适于种植地膜水稻的面积就有近 15 万公顷，如全部推广种植地膜水稻，可节水约 1.8 亿立方米。中国水稻研究所 1996 年开始覆膜种稻研究，在我国几个不同水分生态区试点开展试验研究，初步结果显示，将旱作物地膜覆盖技术移植到水稻上，结合目前生产上应用的水稻旱育稀植等先进实用技术，进行覆膜种稻有明显的节水增产效果，与一般的水稻旱种相比，不同地区增产幅度在 13.4%～26.1%。

4.2.5 中部地区适用的覆盖保墒技术

① 山西小麦地膜覆盖技术

山西省吕梁市从 2002 年开始大面积推广小麦地膜覆盖技术，2002～2004 年推广膜侧条播、膜上穴播和膜侧加膜上条穴播 3 种模式，其中膜侧条播面积 23286.7 公顷，平均单产 2247 千克/公顷，比未覆盖田平均增产 600 千克/公顷，增产率 36.4%；膜上穴播面积 9406.7 公顷，平均单产 4920 千克/公顷，比未覆盖田平均增产 1024.5 千克/公顷，增产率 26.3%；膜侧膜上条穴播模式 1500 公顷，平均单产 5640 千克/公顷，比未覆盖田平均增产 1789.5 千克/公顷，增产率 46.5%。

② 河北承德水稻覆膜湿种节水技术

承德是京津两大水源一密云水库和潘家口水库的主要水源地。武烈河上游地区涉及隆化、承德两县，现有水稻面积 0.44 万公顷。由于连年干旱，加上上游地区水稻大量用水，造成武烈河下游连续出现断流，影响向城市供水。河北省承德市为保证向京津供水，并实现水稻业的可持续发展，开始在武烈河上游地区推广水稻覆膜湿种节水技术。在 0.2 万公顷示范区应用水稻覆膜湿种节水技术后，每公顷稻田节水 1.2 万立方米，水稻产量每公顷平均在 7500 千克以上。水稻覆膜湿种技术取得了显著得节水增产效果，并大大降低了劳动强度。

5. 蒸腾蒸发抑制技术

5.1 黄腐酸抗旱剂

5.1.1 技术原理

黄腐酸，简称 FA，是腐殖酸（HA）中分子量较小的水可溶组分。FA 除具有 HA 的一般特征外，还具有自身的特点，即分子量较小，醌基、酚羟基、羧基等活性基团含量较高，生理活性强，易溶于水，易被植物吸收利用，水溶液成酸性等。因而 FA 对植物起着以调控水分为中心的多种生理功能，是一种调节植物生长型的抗蒸腾剂。

① 缩小气孔开张度，抑制水分蒸腾：叶面当日喷施抗旱剂一号，气孔开张度明显降低。次日测定，小麦叶片气孔平均开张度 0.6 微米，对照为 2.2 微米，直喷剂后第 10 天仍然明显，小麦的蒸腾强度在 14 天内平均降低 40%。喷剂一次引起气孔导性降低所持续的时间为 12~20 天，在水分调控上达到保水节流。

② 增加叶绿素含量，促进光合作用：小麦在孕穗期遭受干旱后植株发黄，叶绿素含量下降，而喷施 FA 后叶色浓绿，小麦旗叶叶绿素含量较对照增加 0.35 毫克/克干叶，倒二叶增加 0.5 毫克/克干叶，这一现象一直可以维持到生长中后期。旗叶、倒二叶光合产物在籽粒形成中占据到 35.1%，从而有利于光合作用的正常进行。

③ 提高根系活力，防止早衰：研究证明，叶片衰老指数 C 旗/C 基，即基部叶片与顶部叶片叶绿素含量的比值，与根系活力呈显著正相关。叶面喷施 FA 后，促进了根系活力，增强了从土壤深层对矿物质和水分的吸收能力，一般比对照多吸收 13%~40%，表现出叶片衰老明显减缓，在水分调控上达到增墒开源。

④ 减慢土壤水分消耗，改善植株水分状况：由于 FA 制剂抑制蒸腾，使土壤水分消耗减慢，土壤含水率相应提高。喷剂 9 天植株总耗水量比对照减少 6.3%~13.7%，土壤含水率相应提高 0.8%~1.3%，从而改善了植株水分平衡状况。

5.1.2 技术要点

① 拌种

密植作物配比用量为种子：FA：水=50 千克：200 克：5 千克；稀植作物配比用量为种子：FA：水=50 千克：100 克：5 千克。方法是将 200 克 FA 溶解在 5 千克水中，然后将药液洒在种子上搅拌均匀，堆闷 2~4 时后即可拌种。

② 喷施

喷施技术直接影响 FA 效果的发挥，故应严格遵守各项要求。

a. 最佳喷期：一般原则是在作物生长期中遇到干旱时都可喷施。但在作物

的“水分临界期”即作物对干旱、干热风特别敏感的时期喷施效果最好。

b. 喷施次数：一般对当季作物喷施一次即可，若遇严重持续干旱，可在间隔 15~20 天后喷施第二次。

c. 喷施浓度：冬小麦每公顷用量 0.75 千克，玉米每公顷用量 1.125 千克，均加 900 千克水稀释喷雾。

d. 稀释方法：合格产品极易被水稀释而不留沉淀。某些产品黏性增加，抗硬水能力差，则采用 50 摄氏度热水搅拌至胶状液后，再加水稀释至所需浓度。

e. 喷雾机具：一般用背负式喷雾器，要求机具压力大、雾滴细、雾化好。面积较大的喷施最好选用机动喷雾器，使用弥雾机效果最好。

f. 喷施时间：晴天上午 10 点前或下午 4 点后为最佳喷施时间。中午炎热，刮风时节或下雨前后喷施效果最差，甚至无效。

g. 混配须知：可与酸性农药复配混用，以增效缓释。

h. 喷施要领：基本要求是要保证农作物功能叶片均匀受药。如冬小麦以旗叶和倒二叶为中心的上部叶片必须受药，喷量以刚从叶片上滴落雾滴为度，并检查叶片上是否均匀分布褐色雾滴作为喷雾的质量标准。

5.1.3 适用条件

黄腐酸抗旱剂在我国南北各地均适用，各地在使用时应视植株大小、当地水质状况、土壤状况选择适宜用量，如植株大、水的硬度高、土壤呈碱性时，用量可稍加大，反之宜降低用量。

5.2 水面蒸发抑制剂

5.2.1 技术原理

能够在水面形成单分子膜并能抑制水面蒸发的制剂称之为水面蒸发抑制剂，在化学上属于表面活性剂的范畴。这类物质为直链的高级脂肪族化合物，碳原子数目在 11 个以上，具有抑制水分蒸发的能力。其分子具有不对称结构，一端含有极性的亲水基团，另一端具有非极性疏水基团，将这种乳液喷于水面后，分子中的疏水基团由于与水排斥而转向空间，亲水基团转向水中，与水分子发生缔合。这样水与单分子膜物质间牢牢吸引，在水面就会形成肉眼看不见的单分子膜层，膜层厚度为 0.00000025 米，对水面产生较高的表面压力，阻挡水分子向大气中

扩散。同时单分膜层分子间的空隙可让氧气和二氧化碳透过，而水分子却通不过，因而能有效抑制水分蒸发。当然，由于抑制了水分蒸发，使蒸发潜热积累于水中，从而可提高水温。

它的主要功能：

① 抑蒸性：这是水面蒸发抑制剂的主要功能。在水面形成单分子膜层，阻挡水分子向外逸出，其抑制蒸发率室内为 70%~90%，野外为 22%~45%。

② 增温性：由于抑制蒸发在水中累积蒸发耗热，从而提高水温，一般增温幅度为 4.0~8.2 摄氏度。

③ 扩散性：这类制剂喷施水面后能迅速形成连续均匀的单分子膜层。由于膜内加有扩散剂，当膜层破裂后能自动扩散恢复合拢。扩散性与温度有关，温度高扩散快，温度低则扩散慢。

④ 抗风性：单分子膜层对风敏感，当风速为 0.8 米/秒时，膜层就会随风移动，风速为 3 米/秒时有助于膜层的扩散和提高抑制蒸发率，当风速超过 3 米/秒时，单分子膜被风吹成褶皱破裂而失效。

⑤ 有效性：喷施一次有效性可维持 3~7 天。由于氧气和二氧化碳均能透过，对植物、鱼类无害。

5.2.2 技术要点

① 喷施

将水面抑制蒸发剂加水稀释 10~30 倍成为水乳液，然后用喷雾器喷洒水面，即自动扩散成膜。

② 挂施

将水面抑制蒸发剂的水乳液用纱布包好，挂在水稻田水流入水口处，经流水缓慢冲击，乳液从纱布团中不断浸出，随漂浮水面扩散成膜，经流水带动扩散使整块稻田水面全部成膜。

5.2.3 适用条件

水面抑制蒸发剂无毒、无污染，对人畜安全，并能为生物降解。技术简单，无需增添专用设备，易于农民掌握，适合于我国南北方广大地区。

5.3 土壤保墒剂

5.3.1 技术原理

裸露土壤中的水分主要是通过蒸发散失。散失途径有两条：一是毛管水通过毛细管上升作用不断输送到地表损失；二是以气态水的方式扩散到空气中损失。将成膜制剂喷于土表，干燥后即可形成多分子层的化学保护膜固结表土，阻隔土壤水分以气态水方式进入大气。同样以土壤结构改良剂混合土壤，可显著增加土壤水稳性团粒结构，从而阻断土壤毛管水的连续性，降低毛管水上升高度，达到抑制水分蒸发的目的。

它的主要功能：

① 抑制土壤水分蒸发：土面增温剂的抑制蒸发率为 80%~90%，保墒增温剂的抑制蒸发率为 75%~95%，土壤结构改良剂的抑制蒸发率一般在 30%~50% 之间。

② 提高土壤温度：在 20 摄氏度的室温下，每蒸发 1 克水约需消耗 584.9cal 热量，抑制了土壤蒸发，就意味着减少了蒸发耗热而用以提高土温。在我国北方春季晴朗的天气条件下，充分湿润的土面蒸发量可达 7~8 毫米/天，即在 1 厘米平方米的土面上 1 天就要蒸发掉 0.7~0.8 克水，并消耗 420~480cal 热量，减少蒸发就保存了部分汽化热而使土壤温度得以提高。由于这类制剂的颜色多为深褐色和黑色，故能增加太阳辐射的吸收率而进一步增温，使土壤增温效果十分显著。

③ 改善土壤结构：将土壤结构改良剂与土壤混施后，由于氢键和静电作用，对电解质离子、有机分子、络合物等发生吸附而促使土壤形成团粒结构。粒级为 2~1、1~0.5、0.5~0.25 毫米土粒的百分含量，处理比对照分别增加 33.3%、29.5% 和 59.6%。

④ 减轻水土流失：增温保墒剂喷施土表后与土粒黏结形成多分子膜层而固化表土；土壤改良剂与土壤混施后能形成稳定的团粒结构，有利于增加土壤的稳定性，防风固土，减轻冲刷，保持水土效果明显。

5.3.2 技术要点

① 喷土覆盖

增温保墒剂需在用水稀释后喷洒土表用来封闭土壤，所以用量较大。每公顷

全覆盖用量为原液 1200~1500 千克加 5~7 倍水稀释。先少量多次加水，不断搅拌均匀后再大量加水至所需浓度，经纱布过滤后倒入喷雾器即可喷施。若预先用水对土表喷施湿润后，则更有利于制剂成膜并节省用量。对于冬小麦这类条播作物，喷剂时只需喷施播种行，不必对土壤进行全覆盖，也同样能取得好的效果。

② 混施改土

将土壤结构改良剂与土壤混合，用量一般为干土重的 0.05%~0.3%，约 2800~3000 千克/公顷。混施可促进土壤团粒结构形成，尤其对各种土壤水稳性团粒结构形成作用明显，有利于保持水土。

③ 渠系防渗

用沥青制剂喷于渠床封闭土壤可大大减少水分渗漏损失。在渠系表面或 15 厘米层处喷施沥青制剂，每平方米用量 80~110 克。

④ 灌根蘸根

对于一些育苗移栽作物除了喷土覆盖外，也可采用土壤保湿剂乳液直接灌根，浓度配比为 1:10。也可用此浓度乳液蘸根包裹后长途运输再作移栽，用以减少蒸腾，保持成活。

⑤ 刷干保护

对移栽的果树类作物和林木树干，可用制剂乳液喷涂刷干，通过膜层保护减少蒸发，防寒防冻，保护苗木安全越冬、病虫害防治和早春抽条。

5.3.3 适用条件

土壤保墒剂在我国主要应用于渠道防渗、盐渍改良、沙漠和荒漠的绿化和改良、防止水土流失、旱地增温、保墒等方面。

5.4 各地区应用的蒸腾蒸发抑制技术

5.4.1 北部地区适用的蒸腾蒸发抑制技术

① 北京郊区“FA 旱地龙”应用技术

北京市从 1997 年开始在各郊区县进行了“FA 旱地龙”试验和推广工作，选择小麦、玉米、蔬菜、果树等作物作为推广对象。试验表明，小麦经过“旱地龙”拌种和生长期喷施，平均可增产 15%左右；玉米经过“旱地龙”拌种和生长期喷施，平均可增产 13%左右；蔬菜和果树使用“旱地龙”喷施平均可增产 20%左

右，并可提高果实的糖度。1997~2000 年四年中，北京市在京郊房山、门头沟、昌平、延庆、怀柔、密云、平谷、朝阳、丰台、海淀、通州、大兴、顺义以及农场局的长阳农场等 13 个郊区县县的易旱地区进行“旱地龙”推广，累计推广使用“旱地龙”面积达到 6.15 万公顷，其中小麦 1.65 万公顷，玉米 1.83 万公顷，蔬菜 0.83 万公顷，果树 1.84 万公顷，占全市易旱面积 13 万公顷的 47.3%。四年累计小麦增产 1297 万千克，玉米增产 1603 万千克，蔬菜增产 1000 万千克，果树增产 2770 万千克，总计增收 11205 万元，综合投入产出比达到 1:13，而且还减少了化肥、农药的使用，取得了很好的经济效益、生态环境效益和社会效益。

② 北京密云苹果树应用“旱地龙”技术

中国农业大学在北京密云对苹果树的试验表明，在有限灌水条件下黄腐酸类抗旱剂“FA 旱地龙”对果树的生长发育、保墒能力、果实品质及产量的影响较大。果树施用“FA 旱地龙”后，有抗旱增产效果，增产幅度可达 4.88%~7.32%，平均单果重量增加 4.2%~8.4%，并且使果实品质得到改善；与充分灌溉条件相比，水分利用效率也有所提高，每公顷节约灌溉水量 487.5 立方米。

5.4.2 西部地区适用的蒸腾蒸发抑制技术

① 甘肃武威地区“FA 旱地龙”应用技术

甘肃武威地区从 1997 年开始推广“FA 旱地龙”，在春小麦上应用面积达 0.22 万公顷，取得了十分显著的经济效益。使用旱地龙后，春小麦增产 388 千克/公顷，节水 530 立方米/公顷，净增收 387 元/公顷。

② 宁夏固原地区马铃薯喷施黄腐酸技术

宁夏固原地区农科所对马铃薯喷施黄腐酸的试验结果，喷施不同量的黄腐酸，马铃薯产量比对照提高 9.17%~52.96%。以喷施黄腐酸 3750 米¹/公顷增产效果最明显，比对照增产 4250 千克/公顷，增产率为 52.96%。

③ 新疆巴楚县棉花施用“旱地龙”技术

新疆巴楚县农技推广中心的试验表明，棉花生产使用“旱地龙”，单产可增 110~3728 千克/公顷，增产率达到 7.38%~24.1%。而且可以改善棉花品质，如纤维长度、衣分都有提高。不同施用时期与施用量增收在 2535~4200 元/公顷之间。

5.4.3 东部地区适用的蒸腾蒸发抑制技术

福建省“旱地龙”应用技术：福建由于受特定的自然地理条件和气候特点的影响，一方面洪涝灾害频繁，另一方面干旱缺水也常常威胁着农业生产。虽然全省已建成蓄水工程 12 万处，有效灌溉面积达 93.2 万公顷，保灌面积达 75.5 万公顷，分别占总耕地面积的 79%和 64%。从 1997 年起，福建首批引进推广“旱地龙”，在全省 18 个县（市、区）的 267 公顷易旱耕地开展抗旱试验，并取得了成功。

实践表明，使用“旱地龙”不仅能抗旱、抗寒、抗干热风，而且可以促进农作物根系发育生长，用量小，增效快，无污染，在节水的同时，农作物平均增产 20%~30%。这一抗旱技术的应用，为全省重旱区的抗旱减灾，稳产增收发挥了重要作用。

目前，福建各地不断扩大使用面积，莆田、上杭、同安、丰泽等县（市、区）将新一代“旱地龙”用于芦笋、花生、水果、蔬菜等 0.33 万公顷粮食和经济作物生产中，节水增产效果明显，平均增产近三成，颇受农民欢迎。

5.4.4 南部地区适用的蒸腾蒸发抑制技术

广西“旱地龙”应用技术：1996 年，广西开始引进具有抗旱作用的多功能植物抗旱营养生长剂“旱地龙”，探索喷施“旱地龙”对不同农作物需水保水性、耐旱能力、提高产量的方式。田间试验证明，采用节水灌溉结合喷施“旱地龙”，用水量可平均降低 30%~65%，节水效果十分显著。作物喷施“旱地龙”后平均增产率为：水稻 8.5%、玉米 0%、甘蔗 18%、花生 24%、荔枝 10%、龙眼 14%、葡萄 14%、西红柿 13%、辣椒 21%，并且果实个大，外观成色好，维生素和含糖量高。1999 年，在通过试验取得大量数据、并积累了一定经验的基础上，广西各县市开始大力推广使用“旱地龙”，1999~2003 年累计推广使用“旱地龙”面积 1.77 万公顷，产生了十分显著的经济效益，如百色市 2000~2002 年，甘蔗累计使用面积 7400 公顷，增产甘蔗 9800 万千克，新增纯收入 1478 万元，财政新增特产税 145 万元，糖业新增税利 1439 万元，农民人均纯收入也增加了 180 元。柳江县的 66.67 公顷葡萄园使“旱地龙”后，每公顷增产 3727.5 千克，按每千克 4 元计算，每公顷增加收入 14910 元，而购买“旱地龙”的成本不足 150 元。试验推广应用证明，“旱地龙”在广西壮族自治区确实能起到抗旱增产的作用，是一种投资省、见效快、操作简单、使用方便、效益较高的节水增产实用技术。

5.4.5 中部地区适用的蒸腾蒸发抑制技术

山东济南“FA 旱地龙”应用技术：山东省济南市 1998 年开始大力推广“FA 旱地龙”应用技术，在历城、平阴、章丘、济阳、长清等县（市）区进行大面积推广。至 1999 年底，累计推广施用面积 5.2 万公顷，其中，小麦 4.43 万公顷，玉米 0.43 万公顷²，蔬菜和果品 0.34 万公顷。施用“FA 旱地龙”后，作物增产 10%~15%，节水 20%~30%，投入产出比为 1：15，经济作物则达 1：20 以上，取得了显著的经济、社会与环境效益。

6. 化学制剂保水技术

6.1 技术原理、要点和适用条件

6.1.1 技术原理

保水剂又称土壤保水剂、保湿剂、高吸水性树脂、高分子吸水剂，是利用强吸水性树脂制成的一种超高吸水保水能力的高分子化合物。它与水分接触时，能够迅速吸收和保持相当于自身重量几百倍至几千倍的去离子水、数十倍至近百倍的含盐水分，而且具有反复吸水功能，吸水后膨胀为水凝胶，可缓慢释放水分供作物吸收利用，从而增强土壤保水性，改良土壤结构，减少深层渗漏和土壤养分流失，提高水分利用率。大量试验研究表明，保水剂能提高农田保水保肥能力，节约农田用水量，改良土壤结构，提高种子出苗率、幼苗移栽成活率，促进作物幼苗生长发育等功效。

6.1.2 技术要点

① 施用方法

保水剂的施用方法大致有十几类，根据农林业使用的经验，一般大田作物采用拌种并配合沟（穴）施，果树及其他经济作物采用蘸根或沟（穴）施，效果最佳。

保水剂施用时要掌握以下要领：

a. 耙土挖沟

无论是耙土还是挖沟（穴），都不要伤动主根，造成“伤筋动骨”，影响植物成活和正常生长，但开挖时要有利于根系吸水，所以大部分毛根应露出，但最好不要将毛根外表的土层剔得太干净，使保水剂凝胶体与毛根直接接触，也就是说

露出毛根应保留一层薄薄的土为好。这样既不会对吸水产生影响，而且可以防止保水剂凝胶体与毛根直接接触而发生对根的腐蚀或者由于伴随吸水发生体积变化后根被切断。另外，沟（穴）的深度应略大于播种深度，有利于根系朝有水的方向生长，防止倒伏。

b. 撒施浇水

无论干施、湿施都要均匀，否则吸水后在局部会产生糊状凝胶，造成土壤蓄水过高，影响土壤通气和植物生长，甚至枯死。一般来说，保水剂（颗粒剂型）干施时，只要与土拌匀就能解决这个问题；如果不拌土，就一定要撒匀。同时，要注意土壤水分和施用时间在干旱少雨且灌溉条件又比较差的地方，土壤含水量低于 10% 时，施用保水剂前应将其投入大容器中充分浸泡饱和，使之充分吸水呈凝胶状后再与土壤混合使用（湿施），这种方法的优点在于能提前充分把水吸足，但要十分注意与土拌匀。据林业专家建议，在造林绿化时，保水剂粒径采用 0.5~3 毫米为宜，不要使用粉状剂型，以克服产生糊状问题。另外，无论干施、湿施，都要保证已施入的保水剂被水浸泡饱和。干施时要浇透蒙头水；湿施时，要提前洒水使沟（穴）中土壤含水量达到 10%。因为保水剂是吸水保水的物质而不是产水剂，没有条件浇透第一遍水或浸泡饱和的地区不宜使用。

c. 防止蒸发

泡胀后的保水剂在自然条件下的水分蒸发远远大于有减蒸措施的蒸发量。1 克保水剂加 100 克水在室内杯装开口和杯口盖上塑料纸条件下，自然蒸发 40 天后，剩下的水分分别为 5% 和 95%。所以，要采取一些必要的防蒸发措施，如盖草、树叶和沙子等。

d. 观测管理

使用保水剂后，在植物生长全过程都要注意观察叶片旱象和土壤墒情，并结合气象条件决定是否补水，如果不补水，又无降水，就会适得其反。

② 用量

保水剂在土壤中的用量随土壤质量、土壤墒情、植物种类、气候条件以及保水剂本身性能不同而有所差异。各类产品的使用说明中一般会提供参考值，大致用量为植物耕作层或穴（沟）干土重量的 0.05%~0.2%，施入量太少起不到蓄水保墒作用，施入量过大，不但成本高而且雨季（特别是南方地区，粘壤类土壤）

常会造成土壤贮水过高，引起土壤通气不畅而导致林木根系腐烂。

6.1.3 适用条件

① 降水时期和降水量

施用保水剂，必须考虑当地的降水时期和降水量。保水剂主要适用于年降水量在 450-500 毫米且季节性干旱明显的地区，对于年降水量低于 300 毫米的地区不能完全发挥作用。降水量大或正值降水时期可适量少施或不施保水剂。我国北方大多春旱秋雨，保水剂最好在雨季快结束时施用，吸收保存的土壤水分可供春季根系吸收使用。春季施用应选用使用寿命较短的保水剂，以防雨季吸水过量，造成土壤蓄水过多，影响土壤通气性和果树生长。

② 土壤类型与土壤湿度

对土层深厚、保水保肥能力强的壤土或黏土地，应适量少施；对土层浅、保水保肥能力弱的沙土地、瘠薄地，应适量多施。当土壤含水量较低时，应先吸水后施入。另外，在含盐地区使用效果和使用寿命会有所下降。

开发保水剂的主要目的是抗旱节水，但保水剂并非造水剂，它不是灵丹妙药。因此，只有根据各地的气候、土壤和植物条件科学使用，保水剂才能真正发挥作用。

6.2 各地区应用的化学制剂保水技术

6.2.1 北部地区适用的化学制剂保水技术

① 吉林双辽水稻田保水剂施用技术

吉林省双辽地区气候十年九旱，由于长期干旱，降水减少，造成地下水位下降，农业生产用水面临着严重的挑战。一方面严重缺水，另一方面土壤渗漏、不科学用水造成水资源的大量浪费。水稻是该市农业中的主导产业，现有水稻 1.67 万公顷，其用水量在农业用水中所占的比例达 65%以上，而利用率却仅为 30%。双辽农业生产中大力推广应用节水技术势在必行。

2005 年，防渗保水剂在双辽的 6 个乡镇进行了 20 公顷的试验，取得了显著的节水增产效果。据双辽市水稻研究所统计，20 公顷水田平均节水 28.1%，最好的试验田地块节水 35.4%。节约灌水投入 800 元，平均增产水稻 879.05 千克/公顷，增收 791 元，两项累计增收 1591 元，扣除水田保水剂投入 480 元，每公顷

纯增收 1111 元。2006 年，双辽在 4 个乡镇又落了 27 个示范点，试验面积增加到了 50 公顷，节水效果也非常明显。

② 保水剂浸根造林技术

春季是造林的好季节，但北方地区由于春天气候干燥，风大，常会导致苗木干枯，降低成活率。保水剂能促进苗木生长及提高幼苗成活率。使用保水剂时，先将准备栽植的苗木捆成小把，每把以 50 棵为宜。准备 1 个塑料大盆，为配制保水剂用。配制保水剂的比例为 1:800。配制保水剂的水温要求 30 摄氏度，配制时先把水倒进塑料盆中，然后一边用手均匀撒保水剂，一边用木棍均匀搅拌，使水和保水剂稀释开，以防结块。配好保水剂后，将事先捆成把的苗木根部浸放在装有保水剂溶液的盆中，浸泡到 1 分钟左右取出，即可进行栽植。辽宁省凤城市 2004 年春季造林时大力推广使用保水剂，到 2006 年春已累计推广 1 万多公顷，栽植苗木成活率达到 95%以上。

6.2.2 西部地区适用的化学制剂保水技术

① 甘肃古浪县春小麦应用保水剂技术

甘肃省古浪县位于河西走廊东端，多年平均降水量在 300 毫米左右，且多集中在 4-8 月份，干旱成为抑制当地小麦生产的主要因素。从 2005 年开始，水利科技部门在当地小麦生产中推广使用保水剂。在小麦播种前，将保水剂按 15 千克/公顷的用量与肥料混合施入田中。应用结果表明，保水剂能有效提高春小麦出苗率，促进生长发育，并有明显的节水、增产效果，节水 10%，增产幅度在 15%左右。

② 新疆新型多功能保水剂应用技术

广东仲恺农业技术学院的专家经过多年研究，开发出适合新疆土壤和气候特点的新型多功能保水剂。该保水剂利用新疆本地丰富的天然及废弃物资源，例如动物羽毛蛋白、角蛋白、棉籽蛋白、毛皮加工废弃物等，价格低廉、具有突出的耐老化和耐候性能、可完全降解，并采用新的配方和制备技术，使保水剂具有多种功能性。通过在新疆干旱地区不同作物上的应用技术与示范，建立了新型多功能保水剂在不同作物上的标准化应用技术规范，节水率达到 15%—30%，并具有增产、提高成活率、刺激作物根系发育、促进植物生长以及改善农产品品质等多种作用。多功能保水剂应用于荒漠造林可节水 20%—30%，成活率还提高

30%以上，苗木生长迅速，甚至当年即可成林。以葡萄示范基地为例，使用了保水剂后肥料利用率提高了 30%；生长期平均灌水 12 次减少为 8 次；商品果产量提高 30%，每公顷产值为 33750 元，利润为 25620 元，每年每公顷增加利润 6120 元，两年约为 12000 多元。目前已在哈密、吐鲁番、乌鲁木齐等地的 40 多个示范点累计推广应用 0.67 万公顷以上，累计节水达到 1000 多万立方米，取得了良好的生态效益、社会效益以及经济效益。

6.2.3 中部地区适用的化学制剂保水技术

① 山西方山县果树施用保水剂技术

山西省方山县属黄土半干旱地区，多年平均降雨量 400 毫米左右，干旱是制约当地果树生产的主要因子。“九五”期间，方山县大力推广保水剂技术，取得了较好的节水增收效果。

方山县果树施用保水剂主要采用两种方法，一是拌土，二是蘸根。保水剂用量为：在幼龄果园，每株用量 120 克；在成龄果园，每株用量 170 克。在株间或树冠垂直投影边缘挖 50-60 厘米见方的穴拌土施入。对于新植果园，保水剂一般施用方法是在上年雨季前整地时在定植穴内与土拌匀，经过雨季充分吸收下渗水，将水分保存在土穴内，到翌年春季栽植，达到秋水春用的目的。为了防止苗木在运输过程中失水和提高栽植成活率，采用保水剂蘸根。具体方法是将 40-80 目的粉状淀粉接枝型保水剂按 0.1%的比例投入浸根容器中，充分吸水搅匀，20 分钟后即可用来蘸根。

方山县多年应用实践表明，果树施用保水剂可节水 50%，节肥 30%，成龄果园产量可提高 25%~30%，经济效益显著。该技术适合胶东、辽东和关中北方水果产区及季节性干旱严重的云、贵、川、桂、粤南方水果产区。

② 北京昌平地区苹果园施用保水剂灌溉技术

根据中国农业大学在北京昌平的试验结果，土壤中施用保水剂后，土壤的蓄水保墒能力显著提高，可以减少灌水次数，节约灌溉用水，提高水分利用效率。在砂壤土条件下在苹果全生育期施用保水剂 200 克/棵，可以减少灌溉 2 次（不包括封冻期灌水），节约灌水 900 立方米/公顷。华北地区果园在施用保水剂条件下，对于降雨量频率为 50%的平水年，施用保水剂后，在果树全生育期灌溉 5 次，灌溉总水量为 3600 立方米/公顷；对于降雨量频率为 75%的中等干旱年份，

果树全生育期灌溉 5 次，灌溉总水量为 3800 立方米/公顷；对于降雨量频率为 95%的特旱年份，果树全生育期灌溉 6 次，灌溉总水量为 4000 立方米/公顷。

6.2.4 东部和南部地区适用的化学制剂保水技术

① 广东惠安县花生、甘薯保水剂施用技术

广东惠安县农业局使用广东珠海得米化工有限公司生产的保水剂，在花生和甘薯轮作上进行试验。对施用 45 千克/公顷，60 千克/公顷，75 千克/公顷三种不同保水剂量的试验结果表明：施用抗旱保水剂具有一定的保墒效果，能增加耕层土壤含水量 13%~43%。同时，保水剂对提高作物产量的作用也十分明显，花生增产 256.92~456.75 千克/公顷，增产率为 9.0%~16.0%；甘薯增产 3483.28~5317.19 千克/公顷，增产率为 20.4%~31.1%。施用抗旱保水剂可增加花生和甘薯轮作的产值（3117.64~5017.31）元/公顷，其投入产出比 1:1.91~1:2.79。其中抗旱保水剂以 60 千克/公顷的用量的增产增收效果最佳，增加花生产值 1827 元/公顷，增加甘薯产值 3190.31 元/公顷，投入产出比 1:2.79。

7. 水肥耦合技术

水肥耦合技术就是根据不同水分条件，提倡灌溉与施肥在时间、数量和方式上合理配合，促进作物根系深扎，扩大根系在土壤中的吸水范围，多利用土壤深层储水，并提高作物的蒸腾和光合强度，减少土壤的无效蒸发，以提高降雨和灌溉水的利用效率，达到以水促肥，以肥调水，增加作物产量和改善品质的目的。

7.1 技术原理、要点和适用条件

7.1.1 技术原理

作物根系对水分和养分的吸收虽然是两个相对独立的过程，但水分和养分对于作物生长的作用却是相互制约的，无论是水分亏缺还是养分亏缺，对作物生长都有不利影响。这种水分和养分对作物生长作用相互制约和耦合的现象，称为水肥耦合效应。研究水肥耦合效应，合理施肥，达到“以肥调水”的目的，能提高作物的水分利用效率，增强抗旱性，促进作物对有限水资源的充分利用，充分挖掘自然降水的生产潜力。

不同水分胁迫条件下，水肥对作物的生长发育和生理特性有着不同的作用机理和效果。首先，在水分胁迫较轻时，养分能显著促进作物的根系和冠层生长发

育，不仅增强了根系对水分和养分的吸收能力，而且提高叶片的净光合速率，降低气孔导度，维持较高的渗透调节功能，改善植株的水分状况，从而促进光合产物的形成，最终表现为产量和 WUE 的提高。然而，随着水分胁迫的加剧，养分的作用机理和效果发生了不同的变化。氮素的促进作用随水分胁迫的加剧慢慢减弱，在土壤严重缺水时甚至表现为负作用。说明氮肥并不能完全补偿干旱带来的损失。因此，随干旱胁迫的加重应适当减少氮肥的用量。与氮肥相反，在严重水分亏缺条件下，磷肥能促进作物的生长与抵御干旱胁迫的伤害。氮、磷有很强的时效互补性和功能互补性，合理搭配能显著增产，达到高产、稳产和提高水分利用效率的目的。

对氮素和水分相互关系研究发现，由于含氮化合物需要相对较大的能量用于合成和维持生命，限制氮素的供应则可能导致含氮化合物在老的组织中转移并供同样需要能量的幼嫩组织利用。在氮素亏缺条件下，植株地上部与地下部比率下降，导致非光合组织相对增加，因而不利于水分利用效率的提高。有研究指出，施肥使冬小麦叶水势下降，增加了深层土壤水分上移的动力，使下层暂时处于束缚状态的水分活化，扩大了土壤水库的容量，提高了土壤水的利用率，达到了“以肥调水”的目的。

通过对一定区域水肥产量效应的研究，同时预测底墒、降水量，就可以根据模型确定目标产量，拟定合理的施肥量，为“以水定产”和“以水定肥”提供依据，就可以在区域内“以肥调水”、“以水促肥”、“肥水协调”，提高水分和肥料的利用效率，对大面积农业增产具有实际指导意义。但因为不同地区水量、热量、土壤肥力等条件不同，其肥水激励机制也存在明显差异。所以在某一区域建立的水肥耦合互馈效应模型，只能在相似地区适用，在另一地区用的效果则不理想或不适用。

7.1.2 技术要点

① 平衡施肥

平衡施肥是指作物必需的各种营养元素之间的均衡供应和调节，以满足作物生长发育的需要，从而充分发挥作物生产潜力及肥料的利用效率，避免使用某一元素过量所造成的毒害或污染。

平衡施肥的技术要领：

- a. 采集土样分析；
- b. 确定土壤肥力基础产量；
- c. 确定最佳元素配比与最佳肥料施用量；
- d. 合理施用。

② 有机肥、无机肥结合施用

有机肥与无机肥配合施用，能提高土壤调水能力，而且增产效果较好。但施用时应根据有机肥料和无机肥料种类的特点，适时、适量运用。使用中应考虑以下几点：

a. 有机肥料含有改良土壤的重要物质，其形成腐殖质后，具有改善土壤水稳结构和增进土壤保水、保肥能力的作用，能提高作物对土壤水的利用率；化学肥料只能提供作物矿质养分，无改土作用，对中下等肥力土壤应尽量多使用有机肥料，并根据土壤矿质养分状况配合施用一定量化肥。

b. 有机肥料在分解过程中会产生各种有机酸和碳酸，可促进土壤中一些难溶性磷养分转化成有效性养分，在一定程度上提高了土壤磷养分总量。因此，可以适当降低使用化肥磷量的标准。

c. 有机肥料供肥时间长，肥效缓慢，化肥肥效快，两者具有互补性。因此，有机肥应适当早施，化肥则可根据作物需肥情况按需施肥。

d. 在施用碳氮比较高的有机肥（如秸秆还田）时，要适量增施氮肥，防止作物脱氮早衰，避免产量下降。

e. 由于种植作物种类及轮作方式不同，作物所需有机肥与化肥比例会有较大差异。如豆科作物可能需要有机肥、磷肥量多一些，氮肥需要量就很少；对于玉米，有机肥、化肥均应多施一些。所以，有机肥、化肥施用中应根据土壤养分状况、作物需肥和种植方式情况不同而不同。

③ 采用适宜的施肥方式

对密植作物宜用耧播沟施，对宽行稀植作物以穴施为好，施肥后随即浇水；花生、棉花、油菜等作物根据生长需要还可结合运用根外追肥。

④ 控制灌水定额

研究表明，灌水定额超过 1050 立方米/公顷便容易造成肥料淋失，在畦灌

条件下灌水定额宜控制在 825 立方米/ 公顷以内。

7.1.3 适用条件

水肥耦合效应与土壤状况、作物种植方式等密切相关，不同作物在不同的土壤条件下，水肥耦合关系也会不同。因此，使用水肥耦合技术时应根据当地具体情况，将灌水与施肥技术有机地结合起来，调控水分和养分的时空分布，从而达到以水促肥，以肥调水，进而使作物产量最高，经济效益最好。

7.2 各地区应用的水肥耦合技术

7.2.1 河北省武安市水肥耦合技术

河北省武安市耕地面积 5.35 万公顷，其中坡耕地 3.6 万公顷，占全市耕地面积的 67.5%，主要农作物有玉米、小麦、棉花、谷子、豆类等。坡耕地土层瘠薄，缺水少肥，生产条件差，粮食单产一般在 3375 千克/ 公顷，皮棉 570 千克/ 公顷。该市开展了坡耕地测土配方施肥行动，推广测土配方技术 0.6 万公顷，实现节本增效 225 万元。其中，为提升耕地地力水平，该市建立玉米核心示范区 333 公顷，带动 0.33 万公顷，每公顷节本增效 375 元以上，农民获益 125 万元；建立棉花核心示范区 133 公顷，带动 0.133 万公顷，皮棉每公顷增产 67.5 千克，节本增效 450 元，农民获益 60 万元；建立谷子核心示范区 133 公顷，带动 0.133 万公顷，每公顷增产 240 千克，节本增效 300 元，农民获益 40 万元。通过建立高效节水、测土配方施肥样板，典型示范，辐射带动，形成了武安坡耕地培肥模式，促进了经济、社会、生态效益同步增长。

7.2.2 河南新乡小麦、玉米、花生水肥耦合技术

中国农科院农田灌溉研究所“九五”开始对河南新乡地区主要作物开展水肥耦合技术模式研究。结果表明，不同灌水条件下，对冬小麦、玉米、花生等作物进行适宜的水肥管理，与传统灌水量相比，地面灌可节水 15~20%，喷灌可节水 35~60%；主要作物增产幅度为 9%~17%，化肥有效利用率提高 15%~20%，主要作物的水分生产率达到 1.5~2.1 千克/立方米。

7.2.3 河南商丘地区冬小麦、夏玉米水肥耦合技术

针对豫东地区水、肥利用效率较低的状况，“八五”期间中国农业科学院农田灌溉研究所在河南商丘开展了氮肥、磷肥和灌水的综合效应试验研究，结果表明：冬小麦、玉米水肥耦合存在阈值反应。冬小麦水肥耦合的阈值是：N(90~240

千克/公顷), P_2O_5 (56.25~221.25 千克/公顷), 灌溉定额 1500~3750 立方米/公顷, 夏玉米水肥耦合的阈值是: N(105~255 千克/公顷), P_2O_5 (52.5~127.5 千克/公顷), 灌溉定额 1500~3000 立方米/公顷。低于阈值下限水平, N、P 无明显增产效应, 水分利用效率(WUE)低; 高于阈值上限, 水肥互作效应呈减小趋势; 在阈值范围, 水肥互作增产效应显著。

第三期 管理节水技术措施

管理节水技术措施是指根据农作物的需水，耗水规律，来控制、调配水源，以最大限度的满足作物对水分的需求，实现区域效益最佳的农田水分调控管理。它包括节水高效灌溉制度的制定、土壤墒情监测与灌溉预报技术、灌区配水技术，灌区量水技术和灌溉自动控制技术等几个方面。

1. 节水高效灌溉制度制定

作物灌溉制度是为了促使农作物获得高产和节约用水而制定的适时、适量的灌水方案，它既是指导农田灌溉的重要依据，也是制定灌溉规划、设计灌溉工程以及编制灌区用水计划的基本依据。作物灌溉制度包括：农作物播种前及全生育期内的灌水次数、灌水时间、灌水定额和灌溉定额。灌水定额是指单位耕地面积上的一次灌水量，而灌溉定额是指单位耕地面积上农作物播种前和全生育期内的总灌溉水量。灌溉制度的制定，要依赖于灌区内农作物的组成情况和各种农作物的需水量，以及灌区内水源供应情况和农作物生长期内的有效降雨量等因素，通过试验和进行水量平衡计算确定。

节水高效灌溉制度是把有限的灌溉水量在作物生育期内进行最优分配，以提高灌溉水向根层贮水的转化效率和光合产物向经济产量转化的效率。对旱作物可采用非充分灌溉、调亏灌溉、低定额灌溉、储水灌溉等，对水稻可采用浅湿灌溉、控制灌溉等，限制对作物的水分供应，一般可节水 30%~40%，而对产量无明显影响。制定节水高效灌溉制度一般不需要增加投入，只是根据作物生长发育的规律，对灌溉水进行时间上的优化分配，农民易于掌握，是一种投入少、效果显著的管理节水措施。

1.1 充分供水条件下的节水高效灌溉制度

充分灌溉是指水源供水充足，能够全部满足作物的需水要求，此时的节水高效灌溉制度应是根据作物需水规律及气象、作物生长发育状况和土壤墒情等对农作物进行适时、适量的灌溉，使其在生长期不产生水分胁迫情况下获得作物高产的灌水量与灌水时间的合理分配，并且不产生地面径流和深层渗漏，既要确保

获得最高产量，又应具有较高的水分生产率。

山西省霍泉灌区采用节水高效灌溉制度后，冬小麦、夏玉米和棉花都减少了灌溉次数 1 次。冬小麦每公顷节约灌溉水 2985 立方米，节水 45.3%，每公顷增产 1035 千克，增产 16.2%，水分生产率由原来的 0.78 千克/立方米提高到 1.41 千克/立方米。夏玉米每公顷节约灌溉水 2010 立方米，节水 47.2%，每公顷增产 1725 千克，增产 22.4%，水分生产率由原来的 1.24 千克/立方米提高到 2.24 千克/立方米。棉花每公顷节约灌溉水 1800 立方米，节水 50%，每公顷增产 420 千克，增产 53.8%，水分生产率由原来的 0.11 千克/立方米提高到 0.23 千克/立方米。

1.2 供水不足条件下的非充分灌溉制度

非充分灌溉的优化灌溉制度是在水源不足或水量有限条件下，把有限的水量在作物间或作物生育期内进行最优分配，确保各种作物水分敏感期的用水，减少对水分非敏感期的供水，此时所寻求的不是单产最高，而是全灌区总产值最大。

(1) 非充分灌溉的经济用水灌溉制度：以经济效益最大或水分生产率最高为目标，确定作物的耗水量与灌溉水量。

对华北地区主要农作物非充分灌溉的经济需水量试验研究表明，与充分灌溉相比，每分顷可节水 30~40 立方米，而对产量基本没有影响。

(2) 调亏灌溉制度：根据作物的遗传和生物学特性，在生育期内的某些阶段，人为地施加一定程度的水分胁迫（亏缺），调整光合产物向不同组织器官的分配，调控作物生长状态，促进生殖生长，控制营养生长的灌溉制度。

在山西洪洞试验研究表明，冬小麦采用调亏灌溉，湿润年分灌 1 次水，平水年份灌 2 次水，干旱年份灌 3 次水，灌水定额 60 毫米，产量提高 7%~10%，水分利用效率提高 11%~24%。商丘试验区进行的玉米调亏灌溉试验结果表明，玉米拔节前中度亏水和拔节、抽雄阶段的轻度亏水，光合作用降低不明显，而蒸腾作用降低显著，且复水后，光合作用有超补偿效应，即抽雄前的水分调亏，具有节水、增产、提高水分利用效率的生理基础。甘肃武威对春小麦调亏灌溉的研究结果表明，在春小麦分蘖、拔节、乳熟前受旱 3~5 天，可增产 2%~20%，耗水量减少 750~10500 立方米/公顷，适度亏缺灌溉能够促进根系发育，提高抗旱能力和抗倒伏能力，对生殖生长有促进作用，使单位面积有效穗数和穗粒数增加，

具有明显的节水增产效应。

(3) 根系分区交替隔沟灌溉：每条灌水沟在两次灌水之间对作物根系实行干湿交替，且顺序间隔一条灌水沟供水的灌溉措施。

在甘肃省武威地区进行了根系分区交替隔沟灌溉的示范推广工作。1998 年在甘肃省民勤大坝乡文二村、田斌村选择了两个示范点，每个示范点面积 2 公顷，连片种植；单井控制；并建立重点示范户 6 户。1999 年分别在民勤小坝口、大坝乡田斌、文二村进行了试验与示范，面积近 6.67 公顷，玉米次灌水定额 300 立方米/公顷，灌溉定额 2100 立方米/公顷，比常规沟灌节水 33%，比畦灌节水 600%以上，籽粒产量 11355 千克/公顷，保持常规沟灌的高产水平，单方水效益 2.93 千克/立方米，比常规增加 32%；2000 年全武威地区先后建立试验田 50 亩，示范田 33.3 公顷，累计推广 4133 公顷，玉米公顷节水 30%以上，平均产量达 12000 千克/公顷以上。在年降水量仅 110 毫米的沙漠绿洲区，全生育期灌水 7 次，灌水定额 2100 立方米/公顷，单方水产粮达 1.9 千克以上；玉米单产达 12750~13500 千克/公顷。

1.3 “浅、薄、湿、晒”等为代表的水稻节水灌溉制度

在我国南方及北方的一些水稻灌区推广了水稻节水灌溉技术，包括广西推广的水稻“浅、薄、湿、晒”灌溉技术、北方地区推广的“浅湿”灌溉技术和浙江等地推广的水稻“薄露”灌溉技术等。其技术要点为：在水稻全生育期需要灌溉的大部分时期内，田面不设水层或设只浅水层，采取湿润灌溉或薄水灌溉。由于田面不设水层或只设薄水层，可大幅度降低稻田的渗漏量和水面蒸发量，从而使稻田用水量降低 20%~50%，而对产量没有影响。

天津市塘沽区高标准稻田遥测计量综合节水示范区执行方收费，推广稻田“浅湿晒”灌溉，推广表明水稻的“浅、薄、湿、晒”灌溉技术每公顷年节水 4500~7500 立方米。

浙江省平湖市积极推广增产节水的水稻薄露灌溉技术，1996~2000 年累计推广 11.4 万公顷，取得了非常显著的效果。4 年共节电 547.5 万度，节水 2.19 亿立方米，平均每公顷节水 1920 立方米、增产 945 千克。

太湖稻区绝大部分为老稻区，经近几年各地对各种节水灌溉技术试验、筛选，重点推广推广了浅湿灌溉技术。该技术采用浅水和湿润相结合，以浅水为主构成

浅水与湿润反复交替，浅、湿、干灵活调节并充分利用两水的一种综合性灌溉技术，各生育期的灌水技术可概括为：“薄水插秧，寸水活棵，浅水促蘖，苗足烤田，浅湿长穗，湿润灌浆，黄熟落干”。各生育期田间水分控制指标见表 1-1。

表 1—1 浅湿灌溉各生育期田间水分指标

生育期 项目	返青	分蘖		拔节	孕穗	抽穗	乳熟	黄熟
		前中期	末期					
灌水上限(毫米)	30-40	20-30	烤田	20-30	30-40	20-30	20-30	干、湿
土壤水下限(%)	100	80-90	70	70-80	100	90-100	80	75
蓄水深度(毫米)	80	100	—	140	140	140	80	0
灌溉周期(天)	4~5	4~5	6-8	4~6	3~4	4~6	4~6	—

注：土壤水下限为耕层 20 厘米土壤饱和含水量的比值。

据对太湖地区实测资料分析，在浅水勤灌下日渗漏强度变幅一般为 3.0~5.0 毫米，渗漏总量要占耗水量的 30%~50%，而在浅湿灌溉情况下，日渗漏变幅仅为 2.0~3.0 毫米，仅为耗水总量的 15%~30%，比浅水灌溉渗漏量平均减少 25% 左右。据常熟水科所连续两年用 ZHT 植物蒸腾仪测定，浅湿勤灌抽穗以后的叶面蒸腾强度为 204~310 克/平方米时，比浅水勤灌减少 12%~19%，棵间蒸发在总耗水量中所占比例较小，日均蒸发强度在 1~2 毫米，尤其在浅湿灌溉情况下，大部分时间处于湿润状态，水面蒸发被土壤蒸发所取代，蒸发速率比水面蒸发降低 5%~8%，在生育后期植株叶面荫蔽程度亦优于常规灌溉，降低了棵间蒸发。太湖地区年平均降雨量 1100 毫米，在水稻生长期多年平均降雨量为 450 毫米左右，如何充分利用这期间的雨量，提高雨量利用率，降低灌溉用水量是节水灌溉的重要措施。而浅湿灌溉田面一般保持干湿或浅水状态，雨后可承接较多的雨水，提高了雨量的利用率。据多年观测浅湿灌溉技术在偏丰或平水年平均雨量的利用率可达 55%~65%，偏枯年可达 75%以上，比常规浅水勤灌提高 15%~20%，相当于每公顷节省灌溉用水量 675~900 立方米。

2. 土壤墒情监测与灌溉预报技术

用张力计、中子法、电阻法等监测土壤墒情，数据经分析处理后，配合天气预报，对适宜灌水时间、灌水量进行预报，可以做到适时适量灌溉，有效地控制

土壤含水量，达到节水又增产。土壤墒情监测与灌溉预报技术只需购置必要的仪器设备，对基层农民技术员经技术培训后，即可操作运用，也是一种投入较低，效果比较显著的管理节水技术。

2.1 土壤墒情监测方法

(1) 烘干法：用取土管插入土中取得土样，称其重量，置于烘箱中，在 105 摄氏度至 110 摄氏度的温度下，烘干至其重量不再变更时，计算所失去的水分与土样干重量的百分比。此法须有烘箱、取土钻及一定精度的天平，烘干时间最少需 8~10 时。

(2) 张力计法：先用负压计测定土壤水分的能量，然后通过土壤水分特征曲线间接求出土壤含水量。负压计由陶土头、连通管和压力计三部分组成。压力计可采用机械式真空表、压力传感器、水银或水的 U 型管压力计。陶土头安装在被测土壤中之后，负压计中的水分通过陶土头与周围土壤水分达到平衡，这样就可以通过压力计将土壤水分的势能显示出来。负压计的实际测定范围一般为 0~8 千帕。

(3) 中子仪法：是通过测定土壤中氢原子的数量而间接求得土壤含水量，它主要由快中子源、慢中子探测器和读数控制系统三部分组成。目前中子仪主要有两种类型，一种用于测定深层（地表 30 厘米以下）土壤水分；另一种用于测定表层（小于 30 厘米）土壤含水量。

(4) 时域反射仪（TDR）法：在测定土壤含水量时，主要依赖电缆测试器。时域反射仪通过与土壤中平行电极联接的电缆，传播高频电磁波，信号从波导棒的末端反射到电缆测试器，从而在示波器上显示出信号往返的时间。只要知道传输线和波导棒的长度，就能计算出信号在土壤中的传播速度。介电常数和传播速度成反比，而和土壤含水量成正比，即可通过预先率定的土壤——水介质的介电常数，求出土壤的体积含水量。

(5) 遥感法：采用遥感技术测定土壤含水量，主要依据于测定从土壤表面反射或散出的电磁能。随着土壤含水量大小而变化的辐射强度主要受土壤介电特性（折射率）或土壤温度的影响。遥感技术根据使用放射波的波长不同而有两种方法：一种是热力法或红外热辐射遥测法，其波长是 10~12 米；另一种是微波法，其波长为 1~50 厘米。微波法一般又分为无源微波法和有源微波法，前者是

利用放射技术,而后者是利用雷达技术去测定与土壤含水量密切相关的土壤表层介电特性。

2.2 灌溉预报技术

灌溉预报是以农田水量平衡计算为基础,以土壤含水量预报为中心。通过循环运算,以确定各时段的土壤含水量,然后判断其是否需要灌溉,并计算灌水量。

(1) 采用正推法进行灌溉预报:是通过农田土壤水分预测,得知现在的农田土壤含水率,并依此预报未来时段内农田土壤水分是否降到作物适宜土壤水分控制下限,然后根据下限可能出现的日期预报灌水时间和灌水量。武汉大学在河北、湖北两省用此预报方法分别对冬小麦和水稻进行灌溉预报,根据实测资料检验,其预报精度较高,符合实际应用要求。据河北省望都、藁城、临西三个试验站的冬小麦试验资料,用该预报方法确定灌水日期和灌水定额,结果全生育期内预报的灌溉次数比实际减少 1 次,灌溉定额可减少 20%~25%。石家庄、保定市从上世纪 90 年代中期起,按此法在每次灌水前通过报纸、广播与电视发布冬小麦分次灌水预报,1993~1999 年已促进节水 3.9 亿立方米,增产粮食 8.9 万吨。湖北省漳河灌区在 1999 年和 2000 年用该法对 220.5 万亩水稻田进行水稻灌溉预报,平均每年节水 5200 万立方米,增产粮食 1.5 万吨。

(2) 采用时域反推法进行灌溉预报:中国农业科学院农田灌溉研究所在河南省清丰县采用时域反推法进行农田灌溉预报,取得较好效果。这种预报方法操作过程可归纳为:①确定土壤水分控制标准,根据作物光合作用对土壤水分的阈值反应与土壤蒸发等研究,确定节水灌溉的下限指标和上限指标,这样有利于减少土壤蒸发与提高作物水分生产率;②用时域反推法跟踪土壤水分下限值出现的时间与地块;③预报未来时段的腾发量并与降水量比较,判断灌水与否;④发出灌水预报,指导灌水;⑤如发现旬内实际天气条件(主要是降水)与预报出入较大,可在旬末及时修改灌水方案;⑥如此反复,旬以继旬,直至作物生长期结束。

此法具有很强的操作性,一般县级气象站,可根据此法发布全县范围内灌溉预报,而农民与灌水员就可依据县站的预报实施灌水。由于预报仅用上次灌水日期识别灌水地块,灌水量又是预报中已给出的量值,农民很容易掌握。

(3) 利用土壤墒情模拟和预报模型进行灌溉预报:武汉水利电力大学在山西省霍泉灌区利用土壤墒情模拟和预报模型进行灌溉预报,取得较好效果。这种

预报模型的原型是概念性平原水文模型，根据墒情预报的要求引进了作物需水量的概念，按农作物实际蒸发蒸腾量，对原模型中的蒸发蒸腾计算进行了修改，并利用作物适宜土壤含水量的研究成果，对田间土壤墒情的动态发展过程进行模拟和预报。利用该预报模型可直接由实测或的或预测的降雨、蒸发和其他气象条件、作物条件来模拟和预测田间土壤墒情，并可根据作物的适宜土壤含水量指标和土壤含水量下限临界指标来判断作物的水分状态，进行灌溉预报，以指导田间灌溉用水管理。

3. 灌区配水技术

根据灌区各级输配水渠道的技术参数和灌溉农田及作物分布情况，按照水源可供水量和作物某生育阶段需水量及水分生产函数，以输配水过程中水量损失较小，而增产值较大为目标，应用系统工程手段，编制灌区水量优化调度方案，合理调配灌溉水量。其技术要点是灌区配水计划的编制。灌区向各级用水单位配水的计划，通常是根据渠系或用水单位的分布情况，将全灌区划分成若干段（片），在各段（片）进出口设立配水站（或点），由灌区管理局（处）按一定比例统一向各管理段（片）配水，各管理段（片）再向所辖各配水点配水。编制配水计划就是在全灌区的灌溉面积、取水时间、取水水量和流量已确定的情况下，拟订每次灌水向配水点分配的水量、配水方式、配水流量（续灌时）或配水顺序及时间（轮灌时）。渠系动态配水技术是目前较先进的灌区配水技术。其技术的主要内容是确定各干支渠系统的灌溉需水量、开闸时间、放水延续时间和开闸流量。应用渠系动态配水技术的操作过程为：

（1）建立灌溉用水信息管理系统：该系统是以微机系统为基础，包括数据采集系统、通讯系统、数据库及数据库管理系统、用水计划编制与调控系统等软硬件在内的综合系统。数据库包括灌区灌溉用水基本信息数据库和实时信息数据库。灌区灌溉用水基本信息数据库内含灌区概况信息库、气象资料库、作物生长信息库、水源流量数据库、渠系分布信息库、土壤信息库、农业生产信息库。实时信息数据库包含短期天气预报、水源流量预测、作物生长情况、作物需水量、田间土壤水分状况及工业、城镇生活用水量等。每次运行预报程序前要根据系统菜单提示输入前一个时段的各项实测数据，以修正预报值，同时输入下一时段的预测值辅助系统做出灌溉预报。

(2) 实时灌溉预报：进行实时预报必须正确估计“初始状态”和掌握最新的预测资料。每一次预测都是以修正后的初始状态为基础，根据地形条件、土壤质地、作物品种、生育阶段、农田小气候、水文地质等不同条件，选择代表性田块进行初始状态修正，并对所有田间水量平衡要素和影响灌水日期、灌水定额的各种因素进行逐日递推或分析。

(3) 制定渠系动态配水计划：主要体现在渠系操作计划方面，即确定各级渠道的开闸日期、时间，放水延续时间（或关闸日期和时间），放水流量。为顺利实施动态配水计划，还应对输水渠道中的水位、流量变化进行监测。

4. 灌区量水技术

采用量水设备对灌区用水量进行量测，实行按量收费，促进节约用水。常用的量水设备有量水堰、量水槽、灌区特种量水器和复合断面量水堰等。随着电子技术、计算机技术的发展，应用半自动或自动式量水装置，可大幅度提高灌区的量水效率和量水精度。

4.1 各种量水技术的原理和特点

4.1.1 利用渠道建筑物量水

利用渠道建筑物量水较为经济简便，但需要事前对不同种类的渠系建筑物逐个进行率定，工作量很大。可用于量水的渠系建筑物一般有渠槽、闸、涵、倒虹吸和跌水。

(1) 利用渠槽量水：这是一种最简单的量水技术，但精度较差。即选用一般断面尺寸稳定的渠槽，安装水尺，并预先率定水位与渠槽断面积的关系，然后用流速仪测定渠道中的稳定流速，即可用断面积乘以流速得出渠道的流量。

(2) 利用闸、涵量水：对于具有平面直立启闭式闸门的明渠，可利用其放水的单孔闸、涵量水。根据闸、涵结构及过闸水流状态选用相应公式求得过水流量。

(3) 利用渡槽量水：渡槽下游不应有引起槽中壅水或降水的建筑物。测流断面面积及湿周应为渡槽中部、进口、出口断面的平均值。水尺应固定在渡槽中部侧壁上，水尺零点应与槽底齐平。过槽流量可利用流量经验公式计算；当渡槽的槽身总长度大于进口前渠道水深的 20 倍时，槽中流量可按均匀流公式计算流

量。

(4) 利用跌水（或陡坡）量水：跌水分单口跌水与多口跌水，跌水口的形式有矩形、梯形与台堰式。当进口底与上游渠底齐平或台堰顺水流方向宽度大于 2 倍堰上水头时，可用宽顶堰公式计算；当台堰顺水流方向宽度在 0.67~2 倍堰上水头时，按实用堰公式计算。梯形跌水口、多缺口跌水可采用相应公式计算流量。

4.1.2 利用量水堰量水

堰板厚度 δ 与堰上水头 H 之比 $\delta/H < 0.67$ 时，称为薄壁堰堰流。薄壁堰适用于量测输送清水、且具有一定水头的渠道流量。薄壁堰堰板应与侧墙和水流方向垂直。堰口应制成锐缘，锐缘水平厚度为 0.001~0.002 米，当厚度大于 0.001~0.002 米时，缺口下缘要加工成斜面，并使堰顶下游斜面和堰顶的夹角不宜小于 45° 。小型薄壁堰堰板可用钢板、木板堰口加铁皮制成，大型薄壁堰应在现场安装在钢筋混凝土基座上，并应保持垂直。水流通过薄壁堰板形成的水舌，应完全挑离堰顶射出。水舌上下表面应与大气接触、通气良好，下游最高水位应低于堰顶 0.1 米，堰上水头应大于 0.03 米。水头测量断面应设置在距堰口上游 3~6 倍堰顶最大水头处。薄壁堰水尺零点高程与堰顶高程相同，水尺零点高程用水准仪确定。当堰顶宽（ b ）与行近渠宽（ B ）之比 $b/B \geq 0.5$ 时，行近渠槽的长度至少应为槽宽的 10 倍；当 $b/B < 0.5$ 时，可适当缩短。行近渠槽应断面整齐、顺直、坚固。水头可用水尺（刻度 5 毫米）测量。

(1) 三角形薄壁堰：过水断面为三角形缺口，角顶向下。常用的薄壁三角堰堰顶夹角为 45° 、 90° ，适用于小流量（ $Q < 100$ 升/秒）。堰口与两侧渠坡的距离 T 及角顶与渠底的高度 P ，不应小于最大堰上水头 H 。根据其出流方式是自由或是淹没出流选用不同公式计算流量。

(2) 矩形薄壁堰：矩形薄壁堰分为无侧收缩和有侧收缩两类。当堰顶宽度（ b ）与行近渠槽（ B ）等宽时称为无侧收缩矩形薄壁堰，堰顶宽度小于行近渠槽宽度时为有侧收缩的矩形薄壁堰。堰口宽度 $b \geq 0.15$ 米。根据有无收缩情况选用不同的公式计算流量。

(3) 梯形薄壁堰：梯形薄壁堰结构为上宽下窄的梯形缺口，堰口侧边比应为 1:4（横:竖）。根据其出流方式是自由流或是淹没流选用不同公式计算流量。

4.1.3 利用量水槽量水

量水槽应设置于顺直渠段，上游行近渠段壅水高度不应影响进水口的正常引水，长度一般应大于渠宽的 5~15 倍；行近渠内水流佛汝德数 Fr 应小于或等于 0.5。槽体应坚固，不渗漏，槽体表面平滑光洁。槽体轴线应与渠道轴线一致。量水槽上游不应淤积，下游不应冲刷。水尺零点应用水准仪确定。

(1) 长喉道量水槽(量水槛)：长喉道量水槽的收缩段应有足够长度，保证喉道内产生平行水流，并在量水槽内出现临界水流。喉道收缩断面与行近渠道断面应有一个适当比率，矩形长喉道量水槽不应大于 0.7，梯形长喉道量水槽不应大于 0.5。长喉道量水槽分为只有侧收缩(无底槛)、既有侧收缩又有底槛收缩和只有底槛收缩无侧收缩共三类，量水槛适用于稳定流或近似稳定流的渠道，用于自由流和淹没流(但淹没度应控制在 0.9 以下精度较高)状况下测流。它可应用于上下游水位差较小的渠道，建议使用自由流的量水槛。量水槛可用于不同形状渠道断面和不同水流状态下的水流测量，水头损失宜在 0.1 时最大~0.13 时最大，最大流量与最小流量比 $Q_{\text{最大}}:Q_{\text{最小}}=10:1$ 。量水槛由上游行近渠道和喉道组成，喉道断面与渠道断面相同。横断面有矩形、梯形、三角形或其他规则的曲线形状。量水槛长度是堰前最大水深的 1.5 倍~2.5 倍，迎水面用 1:3 的斜坡与原渠底连接。堰后用较缓的斜面与渠底衔接，也可不设斜面，垂直与渠底衔接。底部应设排水管。可用流量理论公式或经验公式计算流量。

(2) 标准巴歇尔量水槽：巴歇尔量水槽由进口收缩段、喉道、出口扩散段及上下游水尺组成。进口收缩段底板应保持水平，进口收缩段的侧墙与轴线应成 $11^{\circ}19'$ 的扩散角，出口扩散段的侧墙与轴线应成 $9^{\circ}28'$ 的扩散角，喉道底板的坡降为 3:8，出口扩散段底板的逆坡坡度为 1:6。量水槽的上下游水尺分别在进口收缩段和距喉道末端上游处。水尺零点高程均与进口收缩段底板高程一致。喉道宽度在 0.75 米以下且水流平稳的量水槽，水尺可设在侧壁上；喉道宽度在 0.75 米以上和水流不稳的量水槽，应在槽外设观测井。观测井底应比槽槛低 0.2 米~0.25 米，观测井与量水槽可用平置的金属管或塑料管连通。槽型的选择应考虑流量变化范围、有效水头、最大淹没度、渠道特性、水头损失、水流含沙情况、经济条件等因素。不应随意改变或按比例缩放标准设计中给定的各部尺寸。应根据工程地点渠道的实际情况及水流条件，选择与之最接近测流要求的标准尺寸。根据其出流方式是自由流或是淹没流选用不同公式计算流量。

(3) 矩形无喉段量水槽：矩形无喉段量水槽由进口收缩段、矩形喉口、出口扩散段及上下游水尺组成，上游进口段以 1:3 折角收缩，下游出口段以 1:6 折角扩散，进口和出口宽度相等。量水槽的上、下游水尺分别设置在距进口和出口 $1/9$ 开处，水尺应垂直于槽底，零点与槽底齐平。小型量水槽（喉宽在 0.8 米以下），水尺可设在侧墙壁上；大型量水槽可在槽外设观测井观测水位。根据其出流方式是自由流或是淹没流选用不同公式计算流量。

(4) 抛物线形喉口量水槽：底弧直径 $D=0.3\sim 2.0$ 米；渠道深度 $H=0.4\sim 1.5$ 米；直线段外倾角 $0^\circ\leq\alpha\leq 15^\circ$ ；渠底比降 $I=1/300\sim 1/1500$ 。抛物线形喉口量水槽应在自由流条件下使用，临界淹没度不宜大于 0.88。佛汝德数 $Fr\leq 0.5$ 。抛物线形喉口量水槽由进口收缩渐变段、抛物线形喉口断面、出口扩散渐变段和水尺组成。喉口上游 $(4\sim 5)H$ 渠段内的渠底高程应与抛物线形喉口底部高程齐平。水尺位于距进口渐变段前沿的距离为 $2H$ 。水尺可直接印在 U 形渠内壁上。水尺零点应高出喉口底部水平面以上 0.005 米。选用相应的公式计算流量。

(5) 直壁式量水槽：底弧直径 $D=0.3\sim 0.8$ 米；衬砌深度 $H=0.4\sim 0.8$ 米；上游水尺读数 $h_1\geq 0.06$ 米；直线段外倾角 $0^\circ\leq\alpha\leq 15^\circ$ 。直壁式量水槽应在自由流条件下使用，临界淹没度(正常水深 h_0 与上游总水头比值)不宜大于 0.83。佛汝德数 $Fr\leq 0.5$ 。直壁式量水槽属长喉道临界水深槽，进口与出口由椭圆形曲线与 U 形渠道衔接，量水槽底部不改变原渠道底坡。采用量水槽流量公式计算流量。

4.1.4 利用量水仪表量水

(1) 水位计：水位计可用于标准断面、堰槽、渠系建筑物等量水设备与设施的水位测量。水位计有浮子式、压力式、超声波式和遥测水位计等，选用水位计应满足有关标准规定的技术指标与精度要求。

(2) 水表：水表用于管道量水。水表分固定式和移动式两种，移动式水表可用于田间测流。水表的周围空气温度在 $0^\circ\text{C}\sim 40^\circ\text{C}$ ，工作水温应低于 40°C 。用于灌溉的水表主要有旋翼式和螺翼式两类。最大流量时，水表压力损失应不超过 0.1M 帕，水平螺翼式水表不应超过 0.03M 帕。水表流量与水头损失关系曲线由厂家提供。水表口径应根据管道设计流量、水头损失要求及产品水表流量~水头损失曲线选择。应选择管道设计流量接近公称流量的水表（不应直接以管道直径大小选定水表的口径）。在渠道或管道上安装固定水表，宜选用

湿式水表，并应设表井等保护设施。螺翼式水表前应保证有 8~10 倍公称直径的直管段，旋翼式水表前后，应有不小于 0.3 米的直管段。水表前应设过滤网，滤水网过水面积应大于水表公称直径对应的截面积。

（3）差压式流量计：差压式流量计由节流件、取压装置和节流件前后直管段等组成。根据节流件的不同，推荐用于灌溉系统的差压式流量计有：孔板式流量计、文丘利管流量计及圆缺孔板流量计。可选用相应公式计算流量。

（4）电磁流量计：电磁流量计主要由变送器和转换器及流量显示仪表三部分组成。输出电信号可以模拟电流或电压，以及频率信号或数字信号输给显示仪表、记录仪表进行流量显示、记录和积算。可按产品说明书安装与操作。

（5）超声波流量计：超声波流量计由超声波换能器、转换器及流量、水量显示三部分构成。可按产品说明书安装与操作。

（6）分流水量表：分流水量表以文丘利管作为节流件和过水主管，在喉管处连接一支管，支管上安装水表，支管进口与上游水体连接，出口与喉管连接。分流水量表分为管道式和渠用式两种。管道式分流水量表用于有压管道量水。渠用式分流水量表用于明渠量水，可安置在渠首或渠中。渠道流量大时，可选用并联分流水量表。可按产品说明书安装与操作。

（7）旋杯式水量计：旋杯式水量计的构造由量水涵洞和量水仪表两部分组成。量水仪表由旋杯式转子、轮轴和计数表三部分组成。计数表分机械型和电子智能型。旋杯式转子安装在涵洞内，计数表安装在量水涵洞的盖板上。仪表安装按产品要求执行。

4.2 灌区量水技术应用实例

山东省滨州地区簸箕李引黄灌区，设计灌溉面积 10.9 万公顷，有效灌溉面积 5 万公顷。19985 年开始利用流速仪测流量水、利用渡槽量水、利用巴歇尔量水槽量水、利用一般涵闸量水等技术，推行“分级管理、分级供水、用水计量、按方收费”的管理办法，取得了显著的经济效益和社会效益。灌区灌溉面积由 1980 年的 4.4 万公顷扩大到 1999 年的 11.46 万公顷，并解决了沿海 30 万人口和 20 万头大牲畜的饮水困难问题。1999 年灌区的灌溉水利用率比 1982 年提高了 21 个百分点，达到 64%。1990~1999 年平均引水 4.96 亿立方米，平均灌溉面积 10.41 万公顷，比前 5 年引水量只增加了 26.8%，而灌溉面积却增加了 92.8%。灌区测

水量水为水费征收工作提供了可靠依据，1983 年水费征收仅 37.66 万元，而到 1985 年上升到 109 万元，1995 年达 657.1 万元，1999 年达到 2001 万元。现在水费收入已成为灌区管理的主要来源。

5. 灌溉自动控制技术

在地表水灌区，采用电子技术对河流、水库、渠道的水位流量、含沙量乃至提水灌区的水泵运行工况等技术参数进行采集，输入计算机，利用预先编制好的计算机软件对数据进行处理，按照最优方案用有线或无线传输方式，控制各个闸门的开启度或调节水泵运行台数，实现自动化监测控制。在井灌区则可利用 IC 智能卡管理系统对井灌实行自动控制。

5.1 水力自动闸门

(1) 定流量变水位的水力自动闸门：这种闸门的作用是，当上一级渠道（如干、支渠）的水位随水源来流量的瞬时变化时，通过这种闸门的自动调节，进入下一级渠道（如斗、农渠）的流量始终稳定不变，确保灌水的正常进行与良好的灌溉质量。这类闸门一般安装在各级渠道的引水口上，以引入稳定的灌溉流量。

(2) 定水位变流量的水力自动闸门：这类水力自动闸门可分为定上游水位和定下游水位两种。

1) 定上游水位的水力自动闸门：这种闸门的作用是，当上一级渠道来流量发生瞬时变化时，而通过该闸门的自动调节以后始终保持上一级渠道水位稳定不变，而将瞬时变化的流量，配入下一级渠道或泄入其他地方，以确保上一级渠道水位始终保持于设计高程。这种闸门一般多安装在配水站、分水点；泄洪的退水渠首；灌排两用渠道的中下段；集水沟的出口处。

2) 定下游水位的水力自动闸门：即当上游水位（流量）发生瞬时变化时，通过该闸门的自动调节后，始终保持下游水位稳定不变。这种闸门主要设置在稻田的放水口上，根据水稻各个生育期所需水层要求，田面始终维持其最适宜的水层而不受渠道水位变化影响。

5.2 自动调压喷灌泵站

根据灌区不断变化的实际喷灌用水量，自动调压喷灌泵站可以自动调节泵站内泵的运行台数，使泵站供水量始终与实际喷水量相适应，从而使管网在一个规

定的压力范围内工作，因此，采用自动调压泵站的喷灌系统就具有节能、节水、管道设备不易破坏及喷洒质量好的优点。

自动调压喷灌泵站由水泵机组（两台以上）、调压罐、压气供应系统、压力水位传感器、水泵机组程序控制器组成。一般适用于不具备自压喷灌条件，又要求加压泵能自动运行的喷灌系统。

我国已在河南省郑县建成 446.67 公顷的恒压喷灌工程，采用自动调压喷灌泵站进行喷灌，获得了显著经济效益。这种自动调压喷灌泵站，当控制喷灌面积为 26.67~446.67 公顷时，单位面积投资为 450~285 元/公顷。与一般无自动调压的喷灌比较，平均节能达 12%~13%，省工可达 50%~70%，喷灌均匀度提高 1~3 个百分点，节省工程维修保养费达 70%~80%。

5.3 IC 智能卡灌溉管理系统

IC 智能卡灌溉管理系统将计算机管理、智能卡技术和单片机自动控制应用于自动灌溉，采取用户预交水费，凭卡开机灌溉，自动计时计费，卡中预交水费用尽或者无卡不能进行灌溉。同时可以统计用水量和用水时间，为有关部门制定科学用水规划提供依据。

该系统由中心计算机（或专用发卡机）和智能卡机井灌溉管理机组成。中心管理系统由系统维护、卡片管理、分机管理、综合统计、安全加密、辅助系统等子系统构成。主要适用大田低压管灌和喷灌。该系统具有以下特点：

（1）操作方便、简单：用户只要将有一定金额的智能卡插入安装在机泵房中的管理控制机内，按下“开”键，即可开机上水使用；灌溉完毕，按下“关”键或取走卡即可停机；为避免机泵频繁启动，取卡后设置了 10 秒的延时保护程序。

（2）管理系统方便灵活：通过计算机内的管理软件，可以完成对数十台、数百台智能卡灌溉管理机的综合管理。发卡机较计算机造价低廉、使用方便，可以脱离计算机单独使用，实现对用户卡的发行与管理、不同机井的费率设置与更改、查询发卡记录、进行发卡统计等；并且还留有通讯接口，可将数据上传到以乡镇为单位的计算机上，实现上级单位对水费核算标准的统一、集中管理。县有总监控中心，制定各区域各类机井的水费核算办法，合理的水价，使管理者的利益和广大农民的增产增收利益在一定程度上保持最大的统一。

（3）系统安全可靠：该系统使用的智能卡，采用先进的系统加密技术，保

证了使用安全性，并且可以在系统内部划分子系统，以适应各机电井的情况。同时将机泵高压人工启动改为农户持卡低压操作智能卡灌溉管理控制机，该机器配合自动起动柜可以实现水泵的自动控制，对水泵运行过程中的缺相、欠压、过流、过压以及其它不正常运行进行随时检测，可确保水泵安全运行。

（4）管理功能强大：实行水费预交，不但有利于政府部门对水价的调控监督，还可以消除用水过程中的各种纠纷，减轻农民负担，密切干群关系。该系统可以对发卡数量、收入金额等进行统计并打印成报表。该系统对用水进行详细统计，不但可以加强用水管理，还为科学用水提供依据。该系统的扩展功能为下一步实现全自动节水灌溉奠定基础。

（5）适应性强，使用寿命长：该系统中的机井智能卡管理机配合相应的附属设备可以控制各种功率的机井，而且根据农村电网的实际情况做到宽电压设计，在 320~420 伏交流电仍可稳定工作。该系统采用高可靠性元器件，分机适应温度为-40 摄氏度~80 摄氏度，湿度为-20 摄氏度~40 摄氏度的极端环境，并且防潮、防水、防尘，该机内置非法卡保护电路，可以防止各种不同卡片（如铁片、塑料片等）插入造成危害。可长久重复使用，使用寿命超过 10 万次。

山东省济南市水利局，山东省平阴县水利水产局在实验区安装了 16 台 IC 智能卡灌溉管理系统，经过一年多的实验运行，取得了良好的效果。每眼机井安装智能卡灌溉管理系统投资 1000 多元，每眼机井可灌溉 3.33~6.67 公顷，与未安装该系统的灌区相比，每公顷年均节水 750 立方米，节电 20 千瓦时，每眼机井每年节水折合费用和增收的灌溉费用达上千元。当年就可将成本收回，之后，每眼机井每年都可净收上千元。采用 IC 卡灌溉管理系统，具有预先收费、收费标准公开、减费过程动态可见、不需专人值守等特点，从而较好地解决了水费计收困难、争水抢水发生、水资源浪费、计量失真、收费经常发生纠纷等突出问题，对提高群众自觉节水意识和密切干群关系，具有重要的意义。

5.4 灌溉遥测遥控技术

（1）MCCS 灌溉自动化遥测遥控系统：由中国农业科学院农田灌溉研究所研制的 MCCS 遥测遥控系统已广泛应用在喷灌和微灌的自动控制上，取得了较好的效果。

该系统由 MCCS 遥测遥控器（主控机）、MCCS 工作站（子控站）和计算

机构成三级控制网络，也可由主控机、子控站等组成两级控制系统。主控机与各子控站之间的通讯采用双工、编码、载波的方式，通过信号传输线把指令传输给对方。系统工作时，在主控机的键盘上设好各泵闸的工作时间表（也可在计算机上设置时间表），主控机根据工作时间表，把对泵闸的开关命令传送给各子控站。各子控站再根据主控机的命令开启或关闭对应的水泵阀门。各子控站除按主控机的命令启闭泵阀外，还将各个被控泵阀的实际工作状态信息（如水源水位、出水压力、开关状态等）回送给主控机，并显示在主控机的升 ED 数码管上。主控机将各子控站的实际工况汇总后，再传送给计算机，并在显示屏上显示出整个灌区的泵阀工作状态图。

一台主控机可控制 24 个子控站。主控机一般设置在灌区中心控制室内，由灌区管理人员或系统操作人员根据灌水的需要，操作主控机或计算机实施灌溉。

利用 MCCS 遥测遥控系统，在河南省长葛市官亭乡建成控制 100 座日光温室的自动化日光温室微灌试验工程和控制面积 13.33 公顷的自动化喷灌试验工程，获得显著的节水增产效益。实施结果，试验区微灌和喷灌分别比地面灌增产 30%和 20%左右，节水 70%和 30%左右，年节省电费 2.4 万元，提高土地利用率 13.8%，年节省用工费用 16.28 万元。

（2）灌溉遥测计量系统：天津塘沽区高标准稻田遥测计量综合节水示范区建设工程，从 1997 年冬开始至 1999 年春完成，共计投资 601 万元。主要工程内容有：研制安装了遥测计量系统，该系统设中心站 1 处，子站 25 套，遥测计量系统能够自动得出各渠道的瞬时流量、累积流量，按操作人员指令显示、打印，完成对渠道流量遥测计量。实现了微机遥测计量和分析，为按方收取水费提供了技术支持；衬砌 U 型砼灌水支渠 19 条，总长 18.5 千米，新建干支闸 5 座，改造支渠闸 43 座，开挖排渠 14 条，修建田间道路 29 条，安装毛渠涵闸 1686 座及平整土地、干支、毛渠清淤复堤等等。共计完成土方 109 万立方米，砌石和混凝土 0.6 万立方米。上述工程建设特别是流量遥测计量系统的建设，建立起了可靠的运行管理系统。①遥测计量系统的使用，使中心桥灌区管理实现了自动计量和随时监测，对渠水位的自动监测，保证了渠堤埝的安全运行，最大限度地发挥了渠道输水能力，缩短了轮灌时间，不误农时，节约了水源。②实现了对支渠首闸运行状态的自动监测。过去对支渠首闸的启闭情况及运行状态是靠人工巡视，由于

干渠长、支渠多，管理人员往往未能及时全面掌握各支渠闸的运行状况，对于擅自开闸偷水及调整闸门开启高度的违章情况，不能及时发现和处理，造成调度计划不能正常实施。现在，通过微机可随时掌握各支渠闸的闸前、闸后水位，瞬时流量，累计流量等要素，达到最科学最合理的调度。③促进了管理人员素质的提高。过去的放水员是骑着自行车、带着摇把从事放水管理工作，而该系统运行后，不会微机操作就不能胜任管理工作。从而促进了管理人员学科学用科学，提高了管理人员的基本素质。据河头镇善门口统计，该村在示范区 104.1 公顷稻田年公顷均用水 7260 立方米，而亩产则达到 492 千克的好收成，因此按照协议规定对他们进行奖励。测算结果，公顷均水费 156 元，是原来“大锅水”的 26%。

5.5 灌区管理自动化技术

灌区管理自动化是指灌区生产技术活动及管理的自动化，这种自动化的实现要依靠全自动控制的灌区管理系统。该系统除了建立微机控制中心外，还要有一套遥控运动装置，以应用微机，通过信息传输技术组成通信网络或远方监控网络的自动控制系统传达指令和反馈信息。

（1）河南省人民胜利渠灌区管理调度自动化技术：该灌区位于黄河下游半干旱地区，引入黄河高含沙水进行灌溉，正常流量为 60 立方米/秒，灌溉面积 5.9 万公顷。为提高灌区管理水平，管理中心配置一台微机，应用软件进行灌溉用水优化调度。硬件系统方面，在管理局中心站和干总干渠上安装有多微机分布式远方监控网络设备，整个系统是微机联网运行，中心站配备一台小型机，总干渠的两个分站配有分机，中心站通过分站对闸群实行自动控制，实现灌区管理调度自动化。

（2）湖南省韶山灌区管理自动化技术：该灌区位于长江中游地区，灌溉面积 6.67 万公顷，总干渠流量 45 立方米/秒，除灌溉效益外，尚有发电、航运等综合利用效益。为了提高管理水平，实现灌区水利调度自动化，在一座水电站和灌区管理中心安装了监控系统，其主要设备由两部分组成：第一部分采用了美国摩托罗拉公司的微机器材、设备与国产微机运动装置，实现遥测、遥信、遥控和遥调等基本功能及人机联系、打印报表功能；第二部分采用 SWS-1 型水位遥测装置和 YF-1 型分散型运动装置，前者用电话线作为数据传输信道，可收集 19 个测点的水位，后者用无线传输信道，可进行数十个站点的雨量和水位遥测。实施结

果，每年节约用水 3000 多万立方米，农田灌溉效益提高了 30%。

5.6 灌区水利管理信息化技术

(1) 山西省夹马口灌区的水利管理信息化技术：1998 年，该灌区与西安沃泰公司合作开发了《夹马口灌区节水灌溉信息管理系统》，其系统结构共 16 个一级模块，分别是：泵站管理、测流站管理、干渠管理、支斗渠管理、实验站管理、水票管理、人事管理、财务管理、工程设备管理、通信网络管理、公安水政管理、农户管理、办公网络管理、综合管理、系统维护管理、政策管理。

上述功能涵盖了夹马口灌区的所有水管理工作。各模块间既相互独立，又可实现共享。目前我局计算机网络分为管理局机关、灌区业务、泵站业务、各乡镇及农户查询共 5 块，这样形成灌区的局域网。使 3.33 万公顷灌区达到水生产“车间化”、水销售“超市化”的管理。利用这个系统，灌区为 3.7 万个农户都分别建立档案。包括作物种植、用水量、用水时间、浇地次数、水费收缴、斗管费等情况。为实现“规范服务公开化”提供了硬件支撑。配合“阳光工程”，建立了农户水费电话查询系统和触摸屏查询系统，农户对此特别满意。通过这个系统，很好地解决了原来水费收取中存在的暗箱操作，遏制了关系水、人情水、权力水。达到用多少水，交多少钱。这个“软”节水效果很显著。从前用水不交钱的人根本就谈不上节水意识，想怎么浇，就怎么浇，树沟、路面到处是水，浪费极大。农户信息系统运行后，灌区的 3.7 万个农户全部建账，各种数据随时查询，透明度极高。农民通过相互对比，实现了“给用水户一个明白，还配水员一个清白”。

该系统实施结果，用水量由原来 1083 立方米/(公顷·次)，降为现在 975 立方米/(公顷·次)；平均水费由 1997 年的 375 元/(公顷·次)，降到现在 331.5 元/(公顷·次)；全灌区农户每年少支出水费 60 万元左右。灌溉面积由 1997 年的 1.33 万公顷，增加到现在的 3.33 万公顷，而灌溉周期却比 1997 年缩短了近 50 天。灌区节水由 1997 年的 20 万立方米增加到 2002 年的 148 万立方米。水费收入逐年增加，由 1997 年 1024 万元增加到 2002 年的 1588 万元，职工的人均年收入由 1997 年的 2700 元增加到 2002 年的 9050 元。

(2) 甘肃省兴电灌区泵站监控与信息化技术：兴电灌区泵站监控与信息化系统包括泵站自动监控子系统，视频监控子系统，干、支口闸门自动监控子系统，斗口水量计量子系统，灌区用水管理子系统，气象、土壤墒、水质子系统，办公

自动化子系统。融合了探测传感技术、自动化测控技术、光纤网络传输技术、视频图像技术、计算机局域网技术、信息管理技术等。是一个集中管理，分散控制，各部门相对独立，同时又具有整体的统一性和连贯性的远程管理调度监控系统。规划总投资为 2254 万元。目前已建成信息化总站 1 座，信息化子站 9 座。完成投资 629.28 万元。

经过几年运行，证明系统安全可靠、经济实用、操作方便。该系统的建设为兴电灌区带来了良好的工程效益和经济效益。泵站设备安全运行率由原来的 96% 达到 99% 以上，能源单耗由 4.6 千瓦·时/千吨米降低到 4.5 千瓦·时/千吨米以下，年节水 300 万立方米，年减少管理费用 27 万元。年可创效益 144.8 万元。

第四、五期 节水灌溉综合技术模式

节水灌溉是充分合理利用各种水资源，采取工程、农艺、管理等技术措施，使区域内有限的水资源总体利用率最高及其效益最佳。由于实施节水灌溉的地区自然、经济、社会条件千差万别，灌溉的对象也多种多样，不可能用一种固定的模式放之四海皆适用。必须遵循因地制宜的原则，依据不同地区、不同作物的不同要求，建立不同的节水灌溉综合技术模式，才能更有效地发挥出节水、增产、增收的综合效益。

1. 井灌区节水灌溉综合技术模式

井灌区节水灌溉综合技术模式是以粮食和经济作物为对象，以提高农田灌溉用水效率和实现地下水采补平衡为目标而提出来的一种将工程措施、农艺措施和高新技术为依托的管理措施综合配套而形成的一项综合节水技术。不同地区不同作物又形成了不同的节水灌溉综合技术模式。

技术原理：根据井灌区水、土资源状况，作物类型，选择适宜的工程措施和灌溉技术来提高输、配水效率，将作物栽培措施、节水抗旱品种筛选、耕作覆盖等农艺措施结合来提高水分利用效率，采用政策引导、软硬件相结合的管理措施进行区域和不同作物间的优化配水，最终实现水资源的科学、高效利用。

由于我国地域辽阔，水土资源以及作物种类的不同，不同井灌区的节水灌溉综合技术模式的技术要点和适用条件也有所差别。

1.1 井灌类型区以减少输水损失、提高用水效率为主的综合节水模式

该模式根据采用的灌溉技术的不同，其技术要点也有所差别，可分为下述三种具体的节水模式。

1.1.1 井灌类型区以管道输水灌溉减少输水损失为主的综合节水模式

工程措施要点：出水量为 30~60 立方米/时的机井，其控制面积宜在 3.3~10 公顷之间；灌溉形式宜采用①地埋管道+土垄沟输水+小畦灌溉模式；②地埋管道+地上软（硬）管输水+小畦灌溉模式。单向支管布置适宜间距（畦长）60~75 米，

出水口间距 40~50 米，田间管道用量 7~9 米，土垄沟输水的适宜长度为 60~80 米，畦宽≤3 米。地上软管最大长度为 200 米，铝管最大长度为 150 米。

农艺措施要点：作物以冬小麦、夏玉米和春玉米为主；播种时采用种子包衣技术；冬小麦宜采用深浅轮耕、连续少耕、第三年深耕的优化耕作技术，夏玉米宜采用小麦机械化收割，秸秆覆盖、夏玉米免耕播种技术，春玉米采用旋耕技术，采用配方施肥技术和适宜的节水灌溉制度，冬小麦宜用“旱地保”或“旱地龙”500 倍稀释液于拔节后抽穗前，视天气喷施 1~2 次，玉米在拔节前后视天气情况喷施 1~2 次；种植模式宜采用冬小麦+夏玉米（1 年两作）、春玉米+冬小麦+夏玉米（2 年 3 作或豌豆+春玉米（1 年两作）。

管理措施要点：打井发放地下水取水证；安装 IC 卡智能化灌溉取水计量装置，运用经济杠杆，促进节约用水；实行取用水总量控制和定额管理、优化配置水资源；建立农民用水组织，制定规章制度；培训技术队伍，建立技术档案，搞好机井、设备和田间工程的养护维修，实行科学用水，进行经济核算，发布灌溉信息加强节水宣传，提高农民节水意识。

节水、增产、增效综合效果：河北三河市实施该模式后，冬小麦比现状灌溉节水 20%~32.5%，平均节水 26%以上，水分生产率达到了 1.47 千克/立方米以上，产量与现状接近或增加。夏玉米节水 35%以上，水分生产率达到了 1.95 千克/立方米以上，增产率为 2.3%以上。地下水环境得到了不同程度的改善。

1.1.2 井灌类型区以管道输水波涌灌溉为主的综合节水模式

工程措施要点：出水量为 30~60 立方米/时的机井，其控制面积宜在 3.3~10 公顷之间；灌溉形式宜采用①地埋管道+地上软（硬）管+畦灌或沟灌模式；②地埋管道+闸管输水入畦+畦灌或沟灌模式。支管或干管出水口间距等于所选的适宜波涌沟（畦）长，一般≤200 米；管道输水系统若同时满足连续灌或波涌灌，则出水口间距应等于所选的适宜连续沟（畦）长，波涌灌时，根据实情进行组合选择，以保证波涌灌的畦长，且畦宽≤3 米。入畦单宽流量控制在 2.5 升/秒·米~5 升/秒·米。

农艺措施要点：作物以冬小麦、夏玉米和春玉米为主；播种时采用种子包衣技术；冬小麦宜采用免耕垄作技术，夏玉米宜采用上茬小麦机械化收割，秸秆覆盖、夏玉米免耕播种技术，春玉米采用旋耕技术，采用配方施肥技术和适宜的节

水灌溉制度，冬小麦宜用“旱地保”或“旱地龙”500倍稀释液于拔节后抽穗前，视天气喷施1~2次，玉米在拔节前后视天气情况喷施1~2次；种植模式宜采用冬小麦+夏玉米（1年两作）、春玉米+冬小麦+夏玉米（2年3作或豌豆+春玉米（1年两作））。

管理措施要点：打井发放地下水取水证；安装IC卡智能化灌溉取水计量装置，运用经济杠杆，促进节约用水；实行取用水总量控制和定额管理、优化配置水资源；建立农民用水组织，制定规章制度；培训技术队伍，建立技术档案，搞好机井、设备和田间工程的养护维修，实行科学用水，进行经济核算，发布灌溉信息加强节水宣传，提高农民节水意识。

节水、增产、增效综合效果：河北三河市实施该模式后，比现状灌溉节水39%，增产14.9%，粮食的水分生产率达到了1.81千克/立方米，并且改善了项目的水环境和农业生产状况。

1.1.3 井灌类型区以喷灌为主的综合节水模式

该模式的特点是将半固定式喷灌、综合农艺措施和管理措施有机集成。

工程措施要点：出水量为30~60立方米/时的机井，其控制面积宜在3.3~10公顷之间；喷头工作参数：压力 $H_p=300\sim400$ 千帕；流量 $q=3.0\sim4.5$ 立方米/时；射程 $R=18\sim20$ 米；根据风速风向、管道规格、结合作物间距种植方向，一般选用喷头间距为18米或24米为宜；组合喷灌强度 $\leq$ 土壤允许喷灌强度；地埋管材为硬PVC管材，压力 ≥ 0.6 M帕；移动铝合金支管规格一般为 $\Phi 76$ 毫米，壁厚1.5毫米。

农艺措施要点：作物以冬小麦、夏玉米和春玉米为主；播种时采用种子包衣技术；冬小麦宜采用深浅轮耕，连续浅耕后第三年深耕，夏玉米宜采用上茬小麦机械化收割，秸秆覆盖、夏玉米免耕播种技术，春玉米采用旋耕技术，采用配方施肥技术和适宜的节水灌溉制度，冬小麦宜用“旱地保”或“旱地龙”500倍稀释液于拔节后抽穗前，视天气喷施1~2次，玉米在拔节前后视天气情况喷施1~2次；种植模式宜采用冬小麦+夏玉米（1年两作）、春玉米+冬小麦+夏玉米（2年3作或豌豆+春玉米（1年两作））。

管理措施要点：打井发放地下水取水证；安装IC卡智能化灌溉取水计量装置，运用经济杠杆，促进节约用水；实行取用水总量控制和定额管理、优化配置

水资源；建立农民用水组织，制定规章制度；培训技术队伍，建立技术档案，搞好机井、设备和田间工程的养护维修，实行科学用水，进行经济核算，发布灌溉信息加强节水宣传，提高农民节水意识。

节水、增产、增效综合效果：河北三河市实施该模式后，冬小麦产量获得了 7834.5~8104.5 千克/公顷的好收成，水分生产率达到了 2.0~2.07 千克/立方米。平均增产 2341.5 千克/公顷，增产率达到了 41.6%；水分生产率平均由 1.49 千克/立方米提高到 2.04 千克/立方米，提高 0.55 千克/立方米，增长 36.9%。夏玉米增产 30.4~40.6%，水分生产率为 2.13 千克/立方米，比对照处理提高 29.1~35.8%，大大提高了水分利用率。

适用条件：上述模式适用于灌水技术落后，地下水超采严重的华北半湿润偏旱井灌区的冬小麦、玉米等粮食作物。在河北省廊坊市、石家庄市、沧州市、衡水市、邢台市、邯郸市等地区进行了大面积推广应用，取得了较好的效果。其技术原理也可供我国北方其它井灌区借鉴应用。

1.2 平原井灌保护生态环境农业节水模式

技术原理：充分利用天然降水、地表水、土壤水、控制开采地下水，变作物消耗灌溉水为主到消耗土壤水、降水为主；工程节水、农艺节水与管理节水紧密结合，实现水资源的优化配置。

技术要点：采用以低压管道输水灌溉与窄短小畦结合为主的田间节水工程，因地制宜地慎重发展粮田喷灌，有条件的地方发展大棚微灌，实现工程节水；充分利用沟渠河塘拦截地表径流、广积雨水；科学增雨，巧用雨水、尽量减少地下水的开采；深耕蓄雨，增加降雨入渗；灌关键水，减少灌溉水；冬小麦进行前控、中促、科学用水、充分开发利用 2.0 米土层土壤水；精量匀播，控株高产栽培，防止小麦奢侈蒸发；秸秆覆盖返田，减少棵间蒸发，增加雨水渗入，增强土壤肥力；精耕细作，划锄保墒、抑制土壤水分蒸发；麦套秋作，节约灌水；选用耐旱品种以种省水等，实现农艺节水，真正减少水资源的消耗；建立县、镇、村三级管水的节水管理服务体系，实现统一机耕、统一机播、统一供种、统一浇水，实现管理节水。

节水、增产、增效综合效果：山东省桓台县实施该模式后，比传统地面灌溉节水 29.8%，节能 28.8%，省工 33.2%，省化肥 34.6%，增产 46.7%，纯收益增

加 3709.5 元/公顷。年减少地下水开采量 30 亿立方米，不但有效控制了地下水位下降，而且还有所回升。此外，也大大缓解了水资源供需矛盾，促进了高产、优质、高效农业的发展。

适用条件：山东省环泰沂山周围的山前平原区，鲁西北黄泛平原区、胶莱平原及山间平原等，也可供我国黄淮井灌区选用。该模式已在鲁西北、鲁西南等地得到大面积推广应用。

1.3 高寒地区井灌水稻节水灌溉综合技术模式

技术原理：我国北方地区温度较低，而水稻又是喜温作物，因此除了减少输水过程中的损失以外，还必须采用适宜的输配水措施增加入田水温，加强田间工程管理，进行水稻控水灌溉和旱育秧等技术来达到节水高产的目的。

技术要点：对渠道进行防渗，并注意防冻胀；在井的出水口近处修一晒水池，面积应控制在灌溉面积的 1%~5%，池内水层一般应保持在 30~50 厘米，中间有隔板 2~3 个，交错使水形成 S 状流出，后可接渠道或管道。也可采用雾化增温技术，其方法是在出水口水管套上长 20~30 厘米左右、带孔的小白龙塑料管，前边扎死，后边固定，在管上钻 8~10 行，800~1000 个直径 2.0~2.5 厘米的小孔。在灌水的渠道和支渠上可用宽塑料膜覆盖，增温效果也较明显。田间可采取抬高加宽入畦进水口的方法以增加阳光照射面积，一般可抬高 2~5 厘米，加宽 40~50 厘米。采用增设跌水，降低渠道比降，加宽渠道的方法使井水缓流以增高水温。勤换进水口以避免进水口形成冷寒区。有排水系统可截回水重新灌溉，可明显提高水温，又能节约用水。在水稻生育中期，可实行白天死水灌，夜间活水灌，封行后，及时改为昼夜活水灌溉；夜间由于温差小，宜灌近地，白天灌远地，随着渠道输水延长，水温会不断升高而且也缩小了温差，以减少对水稻生长发育的影响。

实现早耙地、早起埂、早整平，整地泡田一条龙作业。实施“三集中”(即集中放水、集中泡田、集中插秧)、“二缩短”(即缩短泡田期、缩短插秧时间)的配水制度，既减少泡田泡插期的水面蒸发和渗漏损失，又相对延长水稻本田生长时间，为壮苗、早抽穗创造良好条件。在增水温、减少输配水损失的同时，实行浅、湿、干灌溉技术。

节水、增产、增效综合效果：在黑龙江三江平原实施该模式后，可形成适时、

适温、适量的灌溉，达到了节水 25.2%，增温 3~5 摄氏度，增产 600 千克/公顷的效果。该模式在内蒙古呼、兴两盟等地区，累计推广面积已达 2.67 万公顷，并取得了十分显著的经济效益和社会效益，深受广大干部和群众的欢迎。根据 5 个旗县连续五年大面积推广应用调查，产量提高 750~1500 千克/公顷，稻谷售价按 1.2~1.5 元/千克计算，五年累计新增产值 1.627 亿元。

适用条件：我国北方井灌高寒水稻灌区，如内蒙古、黑龙江、辽宁等地。

2. 渠灌类型区节水灌溉综合模式

我国渠灌区输水渠道防渗衬砌率低，工程老化失修严重，田间工程不配套，灌水方法落后，是发展节水灌溉的重点区域，特别是田间工程部分，由于以群众投入为主，是当前节水灌溉最薄弱的环节。这类灌区比较适宜的节水灌溉综合模式是：对斗、农渠进行防渗衬砌，平整土地，重新确定沟渠规格，采用小畦灌、沟灌、长畦短灌和波涌灌等先进的地面灌水技术，并通过开展非充分灌溉、水稻控制灌溉、降低土壤计划湿润层深度和采用覆盖保墒等农业综合节水技术，实现渠灌区全方位节水。但是由于我国地域广阔，水源有所差异，作物种类也有所不同，因此其综合模式也会有所不同。

2.1 北方以渠道防渗为主结合农艺措施和管理措施的节水灌溉综合模式

技术原理：采用渠道防渗防冻胀技术减少输水损失，应用地面灌水改进技术减少田间灌水损失，集成农业综合配套技术，提高水分生产效率，通过渠系水管理技术及水资源优化配置与信息管理系统的应用来提高灌区管理水平。

技术要点：为了减少输水过程中的损失，干、支、斗渠可采用 U 型衬砌，其形式可采用 1/2U 形预制安砌+焦油塑料胶泥条；1/2U 形预制安砌+遇水膨胀橡胶止水条；人工现浇全 U 型渠；U 型衬砌机现浇+聚硫密封胶；板膜复合。小麦、玉米宜采用畦灌+保墒灌溉+非充分灌溉技术，果树、土豆、红薯宜采用沟灌形式。幼龄果树宜采用行内沟灌、行间畦灌的方式，温室作物宜采用膜测沟灌和无压根区局部控水地下灌溉。畦灌的规格一般为 2~5 米，畦长 70~120 米，单宽流量 12 升/秒·米。对于部分地势不平整的长畦采用在畦内分段的方式灌水。重视氮、磷、钾平衡施肥，有机无机肥料相结合，秸秆还田。坚持足墒播种，精耕细作，耕耙

配套，提高整地质量；选用节水品种，播种高质量的种子，种衣剂包衣，短期播种、精细耕作，根据品种类型确定基本苗数，根据叶型、株型确定合理行距，播量准确，分布均匀；合理运筹肥水，春季追施氮肥，时期后移；采取深耕断根，松土保墒，调节群体大小适宜，株形合理；提高成穗率，减少无效分蘖；协调地上部与地下部的关系，营养与生殖的关系，达到不同分蘖成穗率和穗粒重类型时作物要求的穗数和穗粒重，以较高的经济产量和经济系数实现节水增效高产。在管理节水技术上，采用精确量水+专家辅助决策灌溉系统+水分查询系统+网络技术推广+数字化技术监控+用水者协会模式。

节水、增产、增效综合效果：陕西杨陵渠灌区实施该模式后，渠系输水损失减少 70~80%，斗分渠以下渠系水利用系数 从 0.8 提高到 0.92，田间水利用系数从 0.75 提高到 0.83，灌溉水利用系数从 0.6 提高到 0.76。粮食作物水分生产效率达到 1.52 千克/立方米，实现了年节水约 500 万立方米，扩大灌溉面积 1100 公顷，年增产粮食约 800 多万千克，年增农业产值 840 万元，节省灌溉水费 68 万元的较好效果。

适用条件：西北地区半湿润气候类型渠灌区。

2.2 东、中部地区渠灌区节水高效灌溉综合模式

技术原理：渠道防渗和采用管道输水可显著提高输水效率，改进沟畦灌溉可提高田间水利用率，实施合理的灌溉制度可提高水分利用效率；地膜覆盖栽培和“旱地龙”等农艺措施可减少叶面蒸发，提高土壤的保墒增蓄能力，改革用水及投入机制，实施水资源的优化配置可提高水资源的综合利用效率，上述方法和措施共同组成了节水高效灌溉模式。

技术要点：渠道衬砌应采用复合式防渗渠道、衬砌机现浇 U 形混凝土渠道和液压式预制 U 形混凝土渠道；实施平田整地，在格田建设的基础上，进行改进的地面灌溉，改大畦为小畦，改长畦为短畦，改宽畦为窄畦，使畦田宽度控制在 2~5 米，长度控制 50 米以下；对于宽行距中耕作物,如棉花、玉米等，在作物行间开沟，沟深 15~20 厘米，沟宽 20~40 厘米；对水稻，采用“浅、湿、晒”为特征的节水灌溉技术和旱育稀植技术以提高水分利用效率；采用地膜覆盖、保墒剂、秸秆还田、增施有机肥、深耕、深翻等措施，以提高土壤的蓄水保墒能力，减少蒸发，增加有效降雨量，提高水的利用率；加强水资源统一管理，坚持依法

治水；改革水利工程设施经营管理体制；理顺水费价格，实行累进加价制度等管理措施。

节水、增产、增效综合效果：江苏省宿豫县通过实施节水灌溉高效模式，改善灌溉面积 2800 公顷，年节水 1686 万立方米，年增产粮食 129 万千克，同时节约耕地 66.67 公顷，每年产生直接经济效益 678.91 万元，形成了以灌区为中心，以宿泗、宿邳、宿沭、徐淮、宿宁等省、县道路为轴线的节水农业新格局。

适用条件：该模式适用于江苏、山东、浙江水资源较为丰富的我国东部地区。

2.3 成都平原渠灌区“节水改造+农艺节水+管理节水”高效用水模式

技术要点：实施灌区节水改造，重点强化末级渠系治理，推广渠道防渗输水技术，积极开展生态渠道建设及改造；改进和推广节水型地面灌水技术，结合平整土地，实行厢作沟灌、间歇灌、保墒灌溉技术；优化农艺措施，采用节水灌溉制度，调整作物种植结构，优选抗旱节水品种，推广节水、高产高效栽培技术；强化下湿田涝渍灾害整治技术。加强稻田排涝、排渍与排水再利用优化设计，推广稻田优化建设工程技术；加大农业节水管理与宣传力度。在管理节水措施上，一是建立灌区调度运行及优化配置系统；二是实行用水户参与管理为主要内容的灌区管理体制变革；三是大力推行计量用水和合同制供水；四是采取法律的、行政的强制性节水措施，同时广泛开展节水宣传教育，提高全民节水意识。

节水、增产、增效综合效果：该模式在都江堰灌区取得了很好的效果。节水改造后灌区灌溉水利用率由 0.432 提高到 0.463，水分生产率由 0.94 千克/立方米。提高到 1.25 千克/立方米。

适用条件：主要适用于成都平原渠灌区，将在成都、德阳及绵阳、眉山部分县市推广 367 万公顷。

2.4 海南渠灌区以水稻高产节水控制灌溉技术为主的节水综合模式

该模式是在渠灌区将工程技术、农业技术与管理技术，因地制宜地进行有机结合，形成节水高效的节水灌溉综合技术体系。

技术要点：进行渠道防渗，减少渠道渗漏损失；进行田间工程改造，平整土地，减少深层渗漏，提高灌水均匀度；田块格田化，田埂硬化；田间灌排渠道分设，并布设水量计、控设施；返青期保持 5~30 毫米的水层，每公顷可施 75 千克尿素，注意除草灭螺；分蘖期田间土壤水分下限维持在饱和含水量的 60%~80%，田间状态在分蘖前、中、后期分别控制为田泥稍沉粘脚、田泥不粘脚不陷脚、田间有鸡爪裂纹，无脚印；在分蘖前期可施尿素 7.5 千克、钾肥 2.5 千克，并注意防鼠害、叶瘟病、纹枯病等；幼穗分化期采用间歇灌溉，田间状态为干湿交替，施尿素 3 千克，钾肥 5 千克，注意防止三化螟；孕穗期土壤水分下限为饱和含水量的 80%，田间状态为鸡爪裂纹变小，注意防治鼠害；抽穗开花期土壤水分下限为饱和含水量的 90%，土壤含水量基本达到饱和，期间可施尿素 2.5 千克，注意防治颈瘟、白叶枯、稻飞虱等病害；后期(灌浆结实期)采取间歇灌溉，田间状态青熟期为干湿交替，黄熟期为干爽状态，并注意防治鼠害。

节水、增产、增效综合效果：该技术一般可比常规淹水灌溉节水 10%~42%，且具有改善田间小气候、促进根系生长、有效调控群体发展、减轻病虫害、增穗增粒的作用，增产效果显著，一般可增产稻谷 2.8%~11.8%，从而达到节水、增产增效的目的。

适用条件：该技术主要适用于(1)水源基本有保证的稻田；(2)移栽稻、抛秧稻和机插稻。

2.5 西北引黄灌区水稻节水配套综合技术模式

水稻是宁夏引黄灌区的三大粮食作物之一，也是宁夏第一大耗水作物，单位田间用水量是小麦的 3~4 倍，因此在西北引黄水稻灌区推广节水综合技术具有重要意义。

技术要点：渠道进行防渗，减少渠道渗漏损失；进行田间工程改造，平整土地，减少深层渗漏，提高灌水均匀度；田块格田化，田埂硬化；田间灌排渠道分设，并布设水量计、控制设施；选择宁梗 24 号(97XW-723)、富源 4 号(96D10)、宁梗 27 号(吉 T39)和超优一号等中早熟节水优质稳产品种；做好晒种、选种、消毒和浸种等种子处理工作，消毒和浸种时间应在 8-10 天，以保苗齐、苗壮；选好秧田，应选择灌排方便，避风向阳的菜园地、常年旱地或庭园做为秧田；做好秧床，秧床面积 10 米×1.8 米较为合适，先平整后翻耕三次以上；施肥要用腐

熟的农家肥，少施氮肥，增施磷钾肥，增强耐旱能力；实行旱育秧，手插秧取掉打孔膜，适期早播，灌足底水，做到当天灌水，当天整地，当天播种，降低播量，手插秧每平方米播湿种子为 200-300 克，机插秧每平方米播湿种子为 600 克左右；控制浇水次数，旱育秧的核心是使秧苗在接近旱田条件下生长，出苗后尽量少浇水。待早晚床上干燥、早晚秧苗叶片无水珠、或午间叶片因旱打卷三项指标出现一个时，可灌一次透水，一般播后 10-12 天灌第一次水，整个育秧期只灌 2-3 次水，有利于地下部生长，培育旱根；见绿就通风炼苗，控制叶鞘的生长，一般秧苗见绿（约有三分之一露土）就通风，刚开始先中午小通风，待到一叶一心后，日出前打开薄膜，逐步加大通风量，阴天中午打开两个小时通风换气，但要注意早关床保温；缩小灌溉面积、提高整地质量是节水栽培的重要一环。灌面应控制在 0.53-0.667 公顷以内；推行三旱整地，即旱旋耕、旱找平、旱打埂，田面高低差不超过 3 厘米；基施化肥应结合稻田最后一次浅耕，把全生育期纯氮的 80% 和磷钾肥全部施入土壤，余下的 20% 用作分蘖肥和穗肥，提高肥料的利用率；集中劳力在快速整地基础上集中插秧，插秧期为 5 月 10~20 日，插秧密度为 30 厘米×13 厘米，每穴 2~3 苗。在缺水特别严重的地方，可适当加大 10% 的亩穴数进行合理密植。秧苗移栽大田后，田面保持薄水层返青活苗，但决不能晒苗，同时要注意遇低温，适当增加灌水深度。在返青后的各个生育阶段，灌水后田面不再保持水层（除施药追肥外），每次灌水后自然落干；加强田间病害观测，发现病害要及时防治。

节水、增产、增效综合效果：通过采用水稻节水控灌技术和规范化旱育稀植技术以及加强渠道防渗和田间管理等措施，每公顷可比常规灌溉节水 6000 立方米左右，节水 30% 以上，增产 10% 以上，节本增收 100-150 元。

适用条件：该技术主要适用于黄河上游有水源保证的水稻灌区。

2.6 南方渠灌区水稻“湿、晒、浅、间”节水灌溉综合技术模式

技术要点：进行渠道防渗，减少渠道渗漏损失；进行田间工程改造，平整土地，减少深层渗漏，提高灌水均匀度；田块格田化，田埂硬化；田间灌排渠道分设，并布设水量计、控设施；前期(分蘖期)湿润灌溉。在水稻返青成活后至分蘖前期，采取湿润灌溉或浅水干湿交替灌溉，田间最好不长期保持水层，促进分蘖早生快发；分蘖后期“够苗晒田”，即当全田总苗数（主茎+分蘖）达到预定有效

穗数（一般 0.000000225~0.00000027/公顷）时排水晒田，如长势很旺或排水困难的田块，应在达到预定有效穗数的 80%时开始排水晒田；晒田轻重视田间长势而定，长势旺应重晒，长势一般则轻晒；拔节时要结束晒田复水；中期(幼穗分化至抽穗扬花期)浅水灌溉。即当水稻进入幼穗分化(拔节)时，采取浅水(2 厘米左右)灌溉，切忌干旱，促大穗；后期(灌浆结实期)间歇灌溉。在籽粒灌浆结实期，采取干湿交替间隙灌溉，养根保叶促灌浆。

节水、增产、增效综合效果：该技术一般可比常规淹水灌溉节水 20%~40%，且具有改善田间小气候、促进根系生长、有效调控群体发展、减轻病虫害、增穗增粒的作用，增产效果显著，一般可增产稻谷 5%~15%，从而达到节水、增产增效的目的。

适用条件：该技术适应范围广，主要适用于：（1）水源基本有保证的稻田；（2）移栽稻、抛秧稻和机插稻。

3. 井渠结合灌区节水灌溉综合模式

井渠结合灌区的基本特点是单一依靠渠灌还是单一依靠井灌都存在水资源不足，或引起其它生态问题，必须实行井渠结合灌溉。这类灌区节水灌溉综合技术模式一般为：开展地面水与地下水在时间上及空间上的联合调度。渠灌部分进行适度防渗输水渠道，井灌部分采用管道输水；田间采取长畦改短实施小畦灌溉及覆盖、化学节水、节水灌溉制度等农艺和管理节水措施，实现水资源的优化调度和农业高效用水。结合各地的灌溉实践，井渠结合灌区节水灌溉综合技术模式可概括为下述几种模式。

3.1 灌区上中下游用水合理调配的井渠结合节水农业技术集成模式

技术原理：对灌区上、中、下游用水合理调配、地表水高效利用、建设引河补源，以井保丰的农田节水灌溉工程；配套农艺节水措施，实现农艺节水与工程节水的密切结合；采取分级管理、分级供水、按方收费、计量到村的运行管理措施。

技术要点：井渠合理布局。上游控制引用河水，增打新井充分利用地下水，机井一般沿农渠平行布置，对骨干输水渠道进行衬砌防渗，提高向中下游的输水

效率，支、斗、农渠为地上渠道时，为防止渠系渗漏抬高地下水位产生次生盐碱化，也应衬砌防渗；灌区中游适量开采地下水，引黄补源；灌区下游控制开采地下水、采取灌排合一沟渠，引水渠道一般不进行防渗，相机引河补源，实现采补平衡；灌区中下游机井沿末级排水沟平行布置。采取以井保丰的节水灌溉技术。在灌区上游新发展的井灌区应对原渠灌的田间工程进行节水改造，划小畦块，使畦田标准化，中游井灌区宜选择半固定式低压管道输水结合小畦灌溉为主的形式，下游井灌区也应以低压管道输水灌溉为主，在经济条件较好，缺水严重的地区可因地制宜地发展喷灌和微灌，科学灌水并配套农艺节水综合技术措施。选择灌溉时机，进行科学灌水，既应满足作物需水要求，又利于补源和排涝；调整作物布局、选用成熟期早，植株矮、叶片小的耐寒品种；深耕并增施有机肥；秸秆覆盖增温保墒。强化灌溉用水的运行管理。实行市、县、乡三级或县乡两级的分级管理、分级供水责任承包的组织管理机制，统一调水，分级计量供水到县、乡、村，根据河道来水变化情况，对河水、地下水进行科学调度，以及适当提高引水价格。

节水、增产、增效综合效果：山东省临清市按照上述模式共建设和推广节水工程面积 1.57×10^4 公顷，年增产粮食 1748 万千克，蔬菜 420 万千克，节水 1725 万立方米，节能 395 万千瓦·时，年增产值达 1973.5 万元，农业节水灌溉工程的实施，不仅起到节水、增产、省工、节地的良好经济效益，同时还缓解了水资源供需矛盾，为工业的稳步发展和城乡生活用水，提供了良好保证。同时减缓了地下水位的下降，项目实施后 1997-2000 年地下水位下降了 0.1 米，使区域水资源基本达到了采补平衡，使生态环境得到了进一步改善。

适用条件：黄河中下游地区、水文地质条件较好的地下水灌区。这种模式已在北方井、渠灌区得到了大面积推广应用。

3.2 不同水源优化调度的节水农业技术集成模式

技术原理：在冬春两季利用地下水井灌，腾空地下库容，接纳雨季降水；夏秋两季则利用地表水源渠灌，实现地表水与地下水、咸水与淡水在时间上及空间上的联合调度。渠灌部分要对骨干渠道进行适度防渗处理，在提高渠系水利用率的同时，发挥田间渠道回补地下水的作用，井灌部分采用管道输水，提高输水效率。田间采用短小畦灌溉，并与覆盖保墒、生物化学节水措施、节水灌溉制度等

农艺和管理措施结合，实现水资源的优化调度和高效利用。

技术要点：引渠（河）水和地下水的合理利用。实行引渠（河）补源渠道提灌与井灌联合运用，对引水补源渠道要采用速提速灌，力争在有限的时间内，用有限的水量灌溉较大的面积，在水量调配利用上，尽可能多引用河水灌溉，辅之以井灌。建设包括输水节水系统和田间节水系统的节水灌溉工程。可采用混凝土 U 型渠道系统和地下塑料管道系统两种类型。混凝土 U 型渠道系统由一级渠道组成。为使井灌和渠道提灌共用一套输水系统，利用地下塑料管把机井与最近的提灌 U 型渠道连接起来，在井灌时，将井水通过地下管道送入 U 型渠道，然后再分配到田间。田间节水系统采用虹吸管或插管配水入畦，通过支管给水栓及带阀软管灌水入畦两种方式。采用节水、高产、高效模式化栽培技术，选用节水高产良种，合理搭配布局，充分利用光、热、水、肥资源的增产潜力；适期播种，适当推迟玉米收获期，提高粒重促进增产；增施氮磷肥，适当增施锌肥，两作合理运筹；覆盖保墒，节水灌溉，提高水分生产率，建立高效低耗群体结构，化学调控防衰增穗重。

节水、增产、增效综合效果：河北省南皮县位于黄河以北，南运河以东，春旱夏涝，秋冬又旱。水资源严重短缺，全县地下水有一半是咸水，人均水资源 269 立方米。春季开采浅层地下水包括微咸水和半咸水抗旱灌溉，小麦、玉米连作，比不灌的旱作增产 1.2-1.6 倍。上世纪 80 年代初，应用咸水灌溉的成果，引进联合国 IFAD 贷款，开发治理南皮中部盐碱低产田 1.33 万公顷，使灌区增加一倍，盐碱地减少一半，农业产值及人均收入翻了两番。南皮试区 1987 年 8 月 26 日降暴雨 189 毫米，雨前地下水埋深在 4.62 米，降雨全部入渗地下，没有产生径流，不涝不渍。1987 年春旱大量开采地下水，地下水位下降，雨季降雨入渗又回补地下水，地下水位上升 1.75 米，地下水可开采模数增加 85230 立方米/k 平方米。南皮还在汛后利用沟渠坑塘引蓄黄河、南运河、漳卫新河、宣惠河来水。1984~2004 年引蓄河水 5.27 亿立方米，年均 26400 立方米，年均蓄灌面积 64000 公顷。其中 2003 年 9 月~2004 年 6 月引蓄河水 81980 立方米，蓄灌面积 8670 公顷。地下水得到大量回补，地下水埋深由 5~6 米回升到 2 米左右。20 年来，南皮县合理调控利用当地水资源，充分挖掘农业灌溉节水潜力，地下水地表水联合运用，保持了水资源采补平衡，实现了水资源可持续利用，取得了重大的经济社

会效益，出现了生态环境的良性循环。3/4 的盐碱地已经改好，地下咸水明显淡化，局部变为淡水。全县农业总收入增加了 4.4 倍，达到 7.6 亿元。农民人均纯收入增加 7 倍，达到 2550 元。

适用条件：有地下咸水可开发利用的渠井结合灌区。

3.3 引蓄提井渠结合节水灌溉技术集成模式

技术原理：利用灌区内天然或人工开挖的排水河、沟，在其内建闸蓄存汛期的排水或通过骨干渠道在非灌溉季节从水源地向其引水蓄存。在灌溉季节，沿河沟提水通过渠道灌溉河沟近处耕地上的作物；在离河沟较远耕地的作物，则打井实行井灌。采取优化配置降雨和外来水资源、站井联用的灌溉技术、节水高效的农艺节水措施和灌溉用水管理技术进行有机配套集成。

技术要点：开挖和疏浚深沟，使深沟成为排、蓄、补、引、灌多种功能的综合体。深沟的作用一是排涝，二是引水补水、三是提水直接灌溉，四是治碱。干沟一般深 5 米，支沟深 4 米，斗沟深 3 米，农沟深 1.5 米。要求河沟达到灌排灵活，蓄补方便，引水通畅。涝天能很快将地表水送到大河排走；旱天能将河水不断地送到大小沟渠，除一部分灌溉外，大部分补给地下水，达到“以井保丰，以渠补源”的目的；建闸蓄水，按照最大泄洪量来设计，使其既具有蓄水和补水功能，又不妨碍排水；打浅井，一般在 5~7 公顷耕地上打一眼深度不超过 30 米的机井，雨季前用浅井抽取浅层地下水灌溉，降低地下水位，不但防止了土壤积盐，还腾出地下库容，增大降雨入渗，回补地下水；采用节水、高产、高效模式化栽培技术，选用节水高产良种，合理搭配布局，配方施肥，覆盖保墒，节水灌溉，提高水分生产率；强化水源调配和用水管理，优化蓄存当地降雨和引外地水的调配和应用，加强天气监测和预报，严格在汛期前对深沟闸门的蓄水控制，使汛期能排涝通畅，防止涝渍灾害发生。

节水、增产、增效综合效果：黄河以南的山东桓台县是老井灌区，1988 年开始成为我国北方第一个“吨粮县”。1976~1988 年地下水位年均下降 0.5 米。1986 年~1993 年平均引境外水 3397.5 万立方米，但地下水埋深仍持续下降，由 8.29 米发展到 10.70 米，年均下降 0.34 米。桓台县自 1988 年推行农业综合节水技术：充分利用降水，开发利用土壤水，拦蓄地表水，调控地下水；采取工程节水，农艺节水和管理节水，大大提高了农业用水效率。小麦由灌水 6 次减少到 2~3 次；

小麦灌溉定额从 4500 立方米/公顷,降低到 1785 立方米/公顷;土壤水的利用率由占总耗水量的 16.3%提高到 49.9%;单方水生产粮食 1.9 千克/立方米。1994~1998 年平均降水量 554.6 毫米(相当多年平均降水量),停止了从境外引水,地下水埋深从 10.56 米上升到 9.84 米,年均上升 0.14 米,实现了一个水文周期地下水采补平衡。

适用条件: 平原低洼易涝,但在作物生长季节又干旱缺水的井渠结合灌区。

3.4 引河补源灌区节水灌溉集成技术模式

技术原理: 建设高效用水的引洪补源灌溉工程和对田间灌溉工程进行节水技术改造,针对洪水具有历时短、流量大、随机性强的特点,在利用有限的洪水资源获得较大的补源量的总原则下,采用以面补为主、线补为辅、即到即补,粮食作物地块补源为主、经济作物补源为辅的引洪补源灌溉技术,提高灌溉水资源的利用率。结合引洪补源灌溉采用节水高效的综合农艺技术措施,提高水分利用效率,增产增收。在整个灌溉用水过程中,为实现地下水的采补平衡,要采取强化水资源管理,搞好水资源的保护措施。

技术要点: 建设以面补为主,线补为辅的引洪补源工程,对引洪水的干支渠道进行渠道衬砌防渗,减少糙率,增大输水能力,以使灌区在汛期有限区间内能引用较多的洪水量,在对农田的粮食作物进行全面灌溉的同时补充地下水源。斗农渠等田间灌溉渠道一般不作防渗处理,以增加渠线补源的效果。对井灌的田间工程进行节水改造,以修建低压管道输水灌溉工程为主,合理确定灌水畦长,根据土壤入渗特性调整入畦单宽流量,并适当发展喷灌和微灌。采用节水高效的农艺技术措施,如垄膜沟种的改进地膜集雨覆盖技术和配套应用适合的节水灌溉技术,采取半覆盖方式,即平地起垄,垄沟相间,垄背覆膜,垄沟种植方式,起垄后在陇上覆膜,靠地膜的聚水作用,使少量的降雨也能顺膜集水流入垄沟内,且地膜的覆盖又能保墒抑制蒸发,实现开源与节流的有机结合。在配套节水灌溉技术时,因作物种类和覆盖地膜或秸秆的不同可分别采取喷灌、管灌和微灌技术。采取用水管理技术措施,依法建立权威、高效、集中、统一的水资源管理体制,实行严格的水情监测预报,合理调控引洪补源水量,实行引洪补源的“三、三制”经济管理措施,即补源水费由国家、灌溉管理单位,个人各负责三分之一,以调动农民群众采取引洪补源灌溉的积极性,使灌区实现水资源的持续利用。

节水、增产、增效综合效果：山西榆次地区通过采用引洪补源技术、节水灌溉工程的升级改造，覆盖措施与节水灌溉工程技术集成，抗旱品种的筛选，蓄水保墒的耕作技术以及改进的地面灌溉集成技术，节水与节能相结合的灌溉技术，综合高效用水管理等措施的应用，灌溉水利用系数提高 23 个百分点以上，水分生产率达到了 1.20 千克/立方米以上，人均收入提高了 20.5%。

适用条件：汛期河流量大，灌溉季节干旱缺水，土壤入渗性能较强的引河灌区。

4. 天然降水富集区节水高效综合技术模式

据调查，我国适宜开展集雨节灌的地区包括西南、西北、华北的 14 个省（区），有耕地面积 2.73 亿公顷，人口 2.86 亿人。这些地区的相当一部分，由于地形和经济条件的限制，兴建骨干水利工程难度很大，而且带来的生态环境问题多。因此，农业生产主要“靠天吃饭”，生产条件落后，农民收入低，是我国主要的扶贫地区。如何充分利用当地唯一有潜力的降雨资源，发展有限灌溉（灌关键水），提高作物产量，促进农民脱贫致富，不但是当地迫切需要解决的问题，也是我国农业生产一个战略性的问题。

技术原理：应用一定的土地面积，经过必要的地面处理作为集水区，在雨季相对丰富时期蓄集降水径流，储存在一定的储水设施（如水窖）中，供作物生长需水关键期对农田进行有效补充灌溉。这种灌溉一般采用先进的节水灌溉技术，即把有限水量直接输入到作物根际附近的土壤中，达到节水、省水目的，以提高灌溉水利用率。发展集雨节灌的同时与农作物种植管理措施综合配套，在一定程度上化解了降水与作物需水在时间上的供需错位矛盾，保障了作物在整个生育时段都处在相对良好的供水环境中，提高了有限降水的粮食生产效率。

通过水利、农业科技工作者的努力，根据各地劳动人民的实践，总结提出了天然降水富集区节水高效综合技术模式，这种模式的特点是节灌工程与农业节水措施的紧密结合，即建设雨水集流工程 [包括集流面、水窖（池）、输水管（沟）] 和等高耕种开挖鱼鳞坑拦蓄雨水、深耕蓄水保墒、覆盖抑制蒸腾保蓄、调整农作物布局的适水种植、增施肥料提高水肥利用率、坡地粮草轮作、粮草带状间作和草（灌木）间作减少雨水径流等农业蓄雨利用技术措施相结合，田间采用小畦灌、点灌或滴灌。

4.1 宁夏模式

4.1.1 集雨节水补灌工程形式

根据水源蓄水量，对原有灌溉设施进行改造，同时新建部分节灌设施，利用的主要形式是小流域径流库坝拦蓄+渠道、管道输水+沟台地节水喷灌、畦灌+节水农业配套技术等形式发展灌溉；筛选种植地膜玉米、地膜土豆、小麦、葵花、蔬菜等耐旱作物品种，采用葵花+胡麻、玉米+豆类、玉米+平菇等立体种植模式，使补水灌溉农田高效作物种植面积达到 70%以上。农业配套技术措施包括引进抗旱节水新品种和应用抗旱增产剂、蓄水保土耕作、新型生物集雨材料、新型节水覆盖材料、地膜覆盖种植等技术。

4.1.2 坡面集雨与林草建设利用模式

根据地形在降雨径流集中的坡面下部或林草地中部和下部修建截流渠，拦截坡面降雨径流，并通过导引渠将径流导引至一侧的水窖中储存，在某些流域的沟道中，考虑到降雨径流比较集中，修建调蓄沉沙池，拦截沟道降雨径流，通过导引渠，将拦蓄的径流引至渠道一侧的水窖中储存。在一些地势较平坦、径流较大的沟道中，建设调蓄水源工程，利用引水渠将调蓄水源工程中的径流输送至周围坝地里。在作物需水时利用手压泵、电力潜水泵、小型离心泵提水，采用小管浇灌、坐水补灌，采用坡面集雨+导引渠导引+水窖、窑窖+节水灌溉+林草建设等综合技术；作物可选择地膜玉米、地膜土豆、豌豆、葵花、黄花菜等作物，少量坡地种植朝阳、中苜 1 号等紫花苜蓿新品种，农业综合配套技术措施包括引进抗旱节水新品种和应用抗旱增产剂、新型节水覆盖材料等技术。

4.1.3 道路路面集雨补灌农田利用模式

截流渠对道路路面降雨进行集中拦蓄，通过导引渠，将拦蓄的径流导引至一侧的水窖中储存，利用小型电力潜水泵或手压泵、管、微喷灌设备等设施，提水灌溉水窖附近的农地，发展窖灌农业，采用建设道路路面集雨+导引渠导引+水窖+节水灌溉+节水农业配套技术；作物可选择冬小麦、地膜玉米、地膜土豆、豌豆、葵花、蔬菜等作物，农业配套技术措施主要包括引进抗旱节水新品种和应用蓄水保土耕作技术、抗旱保水剂、节水生化制剂等旱地农业技术。

4.1.4 土圆井节灌工程节水利用模式

土圆井水源是降雨径流转化的一种形式，高效利用土圆井水源是雨水利用的

重要内容。利用土圆井配套提水设备，种植膜侧冬小麦、地膜玉米、地膜土豆、豌豆、葵花、蔬菜等抗旱作物新品种，应用作物抗旱保水剂、节水生化制剂、蓄水保土耕作技术、新型生物集雨材料、新型节水覆盖材料、地膜覆盖种植技术，发展高效集雨节灌农业。

4.1.5 庭院经济集雨利用模式

根据庭院、房屋屋面及居民区四周的荒坡降雨径流多、土地面积较小的特点，以水窖建设为主，配置提水、输水、微喷设备，重点发展庭院经济林果蔬套种、大棚菌草、温棚蔬菜、温棚养殖等占地面积小、经济效益较高的庭院经济。主要利用方式有庭院、屋面集雨+导引渠道+水窖+庭院经济林+节水农业配套技术；庭院、屋面集雨+导引渠道+水窖+蔬菜温棚+节水农业配套技术；庭院、屋面集雨+导引渠道+水窖+菌草大棚+节水农业配套技术；庭院、屋面集雨+导引渠道+水窖+草畜转化+温棚养殖；利用庭院、屋面集雨，在村庄周围的台地、梯田上发展种植、养殖温棚，其中：菌类温棚主要生产双孢菇、鸡腿菇、金针菇等；蔬菜温棚反季节种植茄子、辣椒、黄瓜、西红柿、豆角、小白菜、芹菜、韭菜等高效益蔬菜，以及反季节的礼品瓜、草莓等；养殖温棚结合退耕还林还草，发展养殖业，引进秸秆酶贮技术、青贮技术、微贮饲养技术及优质肉羊、牛等新品种，采用草畜转化的新途径，走种草、养畜、转化、增值高效生态畜牧业发展的路子；庭园经济林以红梅杏、早酥梨、草莓、油桃、矮化桃等高效果园建设为主，包括“果菜型”和“果苗型”两种主要形式，在果树的行间套种辣椒、西红柿、甜瓜等矮生经济作物或优质果树苗木。

4.1.6 旱作农田微集雨高效利用模式

为了提高水资源利用效率，采用生化抗旱剂、保水剂、节水材料等化学方法，使土壤水库扩容增蓄；应用覆膜栽培、膜侧栽培、秸秆覆盖、秸秆还田等物理方法蓄水保墒；示范推广免耕法、少耕法、高留茬深耕法等农业抗旱耕作技术；应用各种节水补灌技术，建立不同肥料、灌溉时期、补水量、补水方式的生产方式，使水肥耦合效益实现最优化；扩大经济作物、特色作物、创汇作物的种植比例，调整种植业结构；重点引进一批已定型、有潜力的旱地作物新品种；筛选抗旱品种，配合草畜转化、优质抗旱作物种植等技术，发展径流就地拦蓄水资源高效利用，采用径流就地拦蓄+土壤水库扩容增蓄+节水农业配套技术。

节水、增产、增效综合效果：集雨节水高效综合技术模式的应用，促进了旱作农业由传统的粗放型向集约型、节水型农业转变，使被动靠天吃饭转变为主动抗旱。通过采用多种节水灌溉技术，每公顷灌水量仅 405 立方米，灌水 3~4 次，作物生育期灌水定额为 6~30 立方米。利用窖水节水补灌技术，在过去不能发展经济作物的干旱山区种植了西瓜、蔬菜及果树，其中西瓜全生育期补灌约 150 立方米/公顷，产量达到 30000 千克/公顷，蔬菜补灌 28 立方米，产量 60000 千克/公顷以上，取得了较好的经济效益。实施该模式，除了保证一定的粮食生产能力，解决部分人畜饮水的困难，还可减少水土流失和土地的退化，促进了山区的造林绿化工作。

适用条件：本技术适用于年降水量>250 毫米的丘陵山区。

4.2 内蒙模式

4.2.1 高效种植性节水综合技术模式

该模式以提高水分利用率和利用效率来带动户营经济的高效益，不仅提高农田水分利用率、补灌水分利用效率，而且还要提高土地产出率、劳动生产率、产投比，科技进步贡献率等。

技术要点：充分利用现有屋顶、庭院集雨及对附近道路进行硬化改造，增建水窖旱井提高雨水集蓄率；推广田间集雨耕作、节水补灌、基本农田建设、水肥耦合、覆盖与耕作保墒、化学抗旱等技术和选用良种以提高雨水利用率和雨水利用效率；根据市场需求和气候风险分析调整种植结构，以提高水分转化率为中心，建立市场与生态双重适应的种植结构，大幅度增加农民收入，提高农田生态系统的稳定性。集蓄雨水主要用于抗旱坐水播种以确保出苗，多余储水可用于高效经济作物需水关键期补灌。

节水、增产、增效综合效果：内蒙古准格尔旗以种植玉米、谷子、马铃薯、糜子、荞麦为主，根据 2002~2004 年跟踪监测结果，该模式实施前的农民人均纯收入 1031.2 元，实施后的 2003 年 2004 年人均纯收入分别为 1611.3 元和 2183.8 元，比 2002 年增长了 111.8%。

适用条件：适用于北方半干旱，具有较多耕地资源的地区。

4.2.2 庭院经济型节水综合技术模式

该模式通过推广高效种养适用技术来提高降水、土地与饲料的利用和转化效

率。

技术要点：主要包括硬化屋顶和庭院，并在庭院内建设旱井和水窖，高效收集利用雨水；建设 210~350 平方米塑料大棚或 35 平方米塑料小拱棚，种植瓜类和蔬菜，采用节水灌溉技术灌溉；庭院附近建设沼气池、猪圈、厕所和大棚四位一体农村能源工程一处，根据可利用水量、市场需求和庭院附近土地条件和饲料资源，确定蔬菜、瓜类、花卉等庭院种植与畜禽养殖的结构与规模。

节水、增产、增效综合效果：内蒙古准格尔旗庭院经济示范区以种植油料、豆类、葱、小瓜、西瓜为主，根据 2002~2004 年跟踪监测结果，实施该模式前农民人均纯收入 1728.3 元，2003 年为 2445.1 元，增长 41.5%，2004 年人均纯收入为 4106.9 元和 2183.8 元，比 2003 年增长了 68%。

适用条件：适用于北方半干旱地区，并且农户居住分散，承包农田不多，庭院面积较大且周边土地条件较好。

4.2.3 生态畜牧型节水综合技术模式

该模式是综合利用节水灌溉综合技术来提高饲料转化效率与单位畜产品的经济效益，力求经济效益与生态效益的双赢。

技术要点：主要是根据市场需求和当地饲料粮、饲料作物、可利用副产品和饲草资源量，确定合理的畜牧结构和载畜量；确定应退耕低产田，促进退耕地与荒坡地植被恢复及可持续的产草强度；推广优良畜种和先进饲养技术。

节水、增产、增效综合效果：内蒙古准格尔旗部分农户通过实施生态畜牧型节水综合模式，2003 年人均纯收入 2362.1 元，比实施该模式前增长 68.5%，2004 年达到了 4226.9 元，比 2003 年又增长了 78.9%。

适用条件：适用于北方半干旱地区，承包耕地和山场面积较大，以畜牧业生产和退耕还林草植被营建补助为主要收入来源的农户。

4.3 甘肃模式

在长期实践中，甘肃省将集雨节灌作为改善生态环境和提高土地生产力的结合点，大力发展集雨节灌高效生态农业，初步形成了“梯田、水窖、地膜、微灌、良种、化肥”六配套的高效农业用水模式。

集雨节灌高效用水农业系统以雨水集蓄利用工程子系统为基础，使之与节水农艺耕作种植技术子系统综合配套，并推动建立适应市场经济条件的现代社会经

济与管理子系统，通过三大子系统的科学集成，组装配套，综合开发应用，形成农业高效用水模式，实现水资源利用效率显著提高、经济产值明显增加、生态环境得以改善和农业现代化发展的综合效益，推动干旱半干旱山区农民脱贫致富步伐。

4.3.1 农户庭院雨水集流工程模式

该模式以农户庭院屋面为主集流场，在田间或闲散场地建立辅集流场，在院落（日光温室和塑料大棚）的出水口处，根据集水面大小，修建相应容积的集水窖，蓄积的雨水除解决人畜饮水外，主要用于发展高产高效的塑料大棚、日光温室等设施农业，种植蔬菜、中药材、花卉，栽培食用菌；发展家庭养殖业，如养羊、猪等；发展节水林业、如种植花椒、枸杞、核桃、杏等林木；用于小型农副产品加工，如小型薯类加工、食醋酿造、面粉加工和榨油等。

4.3.2 公路沿线带状雨水集流节灌工程模式

该模式在公路沿线兴建高位蓄水池，采取人工引流收集路面产流；发展高效农田灌溉，村庄道路收集的雨水主要用于农田补充灌溉。在有条件修建果园和日光温室的地方，作为果树和蔬菜的补充供水。公路沿线带状雨水集流节灌工程需要村、社道路建设和居民点规划改造配套实施，因此，一般布局在生产生活条件相对较好的沟河谷或沿川的乡镇地区，在一定程度上促进了这些地区交通条件的改善，推进了乡镇道路、电力等基础设施建设。

4.3.3 小流域雨水集蓄节灌工程模式

该模式配合以小流域为单元的生态环境综合治理开发工程建设，将雨水集蓄利用技术与传统水利、水保工程技术（修梯田、条田等）有机结合，合理规划布置沟、渠、管、道网络，收集坡面、道路、人工集流场的径流，集蓄在水窖、塘坝等小型蓄水设施中。集蓄的雨水主要用于发展节水林业，有效地提高了造林成活率；直接补灌周围低处的农田，改善农田生产条件；利用自然落差，临时贮存在连环涝池和小水坝中，或引入附近薄壁水窖，用于缓解干旱时的缺水问题。这种集雨模式中，需要将坡地地表覆膜或硬化处理作为集流区，可以有效地防止雨水侵蚀，控制水土流失。

4.3.4 降水田间就近富集迭加利用模式

该模式主要是指在田间通过修建小弓型土垄，在垄埂上覆盖塑膜产流，小垄

沟接纳雨水向土壤深层入渗，增加土壤水分入渗量，减少流失或无效蒸发损失，直接提高降水利用率，促进作物生长。在实践中，把这种方式结合夏收后闲地时期，及时耕翻麦地，耙耱整地，促进降水田间富集，使下茬作物产量明显提高。

农艺和灌溉技术要点：选育抗旱作物品种、高效施肥等农艺栽培技术，蓄水保墒、适雨种植等农业耕作措施，合理使用保水剂、抗旱抑蒸剂等生物化学节水技术，以及利用地膜、秸秆或其他材料覆盖土壤，抑制土壤水分无效蒸发等技术；按照不同地貌类型和地形部位的生态条件，采用水平梯田、隔坡梯田、水平沟、鱼鳞式、漏斗式集流坑等不同形式的集雨技术，并与植物措施对位配置，选育树(草)种和作物，适地种植。在研究试验的基础上，选择作物生长需水关键期和缺水严重期进行适量补充灌溉；在有条件的地方，积极采用先进高效的喷灌、微灌设施技术，以及膜下滴灌、大棚滴灌等多种方式提高用水效率。

管理措施要点：管理措施是实现集雨节灌高效农业顺利发展的保障措施。总体上包括三个方面的内容：①因地制宜，合理布置，使雨水集流、调蓄、灌溉体系与荒山承包开发、以梯田为主的农田基本建设、退耕还林(草)生态建设工程协调推进，综合开发，既提高农业的总体效益，又促进生态环境的恢复与改善；②以集雨节灌工程为龙头，大力调整农业生产结构，压缩传统的耗水量大的夏粮种植比例，大力发展耗水量相对较小而经济效益相对较高的经济作物种植和经济林建设，以地膜栽培、塑料大棚、节能温室等现代农业实用科技为手段，大力发展畜牧养殖、马铃薯、中药材、蔬菜、食用菌、花卉等高效优质产业，并带动加工业发展，实施“贸、工、农”，“产、加、销”产业化经营；③调动农民的积极性，实施“四荒承包”、“反租倒包”等土地利用机制改革，使农民成为实施节水高效农业的主体。

节水、增产、增效综合效果：集雨节灌地膜小麦增产约 42.4%，地膜玉米增产约 44.5%，果园增产约 40%。截止到 2000 年，甘肃省的水窖工程已使 20 多万贫困户脱了贫，有 5 万多户致了富，并提高了主动抗旱和战胜干旱的能力。

适用地区：适用于甘肃省中东部干旱山区，也可为我国北方地区其他省份借鉴。

4.4 南方模式

4.4.1 玉米集雨节水膜侧栽培技术

其核心是将地膜覆盖与集雨种植技术有机结合，实现节水和开源的统一。

技术要点：（1）规范开厢。秋季小麦播种时，规范预留 83 厘米玉米种植带。

（2）沟施底肥和底水。玉米播种或移栽前，在玉米种植带正中挖一条深 20 厘米的沟槽（沟两头筑挡水埂），按每公顷施过磷酸钙 750 千克、尿素 157.5 千克、原粪 15000 千克兑水 7500 千克作底肥和底水全部施于沟内。（3）小垄双行。结合沟施底肥和底水后复土，挖一个高于地面 0.2 米，垄底宽 0.4~0.5 米的垄，垄面呈瓦片型。（4）等雨盖膜。在春季降雨后，立即将幅宽 0.4~0.5 米的超微膜盖在垄面上，并将四周用泥土压严，保住降水。（5）膜侧栽苗。将符合要求的玉米苗移栽于盖膜的边际，每垄 2 行玉米。

节水、增产、增效综合效果：水分利用效率达到 1.16 千克/立方米，比全膜覆盖提高 7.4%，比露地栽培提高 28.9%，一般集雨节水 585 立方米/公顷；玉米平均产量达到 8317.5 千克，比全膜覆盖平均增产 8.02%，比露地栽培平均增产 17.65%；每公顷比全膜覆盖节约地膜和引苗出膜用工成本 825 元，合计增收节支 1752.9 元，比露地栽培增收 1498.5 元。

适用条件：适宜于四川盆地浅丘区及西南类似地区，且土层厚度不低于 40 厘米的地块。目前，已在四川省简阳、乐至、安岳等市、县示范推广应用。

4.4.2 山丘区集雨节灌技术

技术要点：采用微小型水利工程集雨开源技术，该技术结合坡改梯工程和土壤改良，进行坡面水系治理，根据地形和集雨面积，系统地搞好“三沟”（截流沟、边背沟、排洪沟）、以及“三池”（蓄水池、积肥池、沉沙池）、山平塘等微、小型水利工程为重点的坡面水系治理配套工程；应用低压管道输水技术，在有条件的地方可根据旱情需要，通过提灌将低处的集水抽到高位蓄水池，再采用固定的低压管道对各位置相对较低的蓄水池进行水源补充，能有效地解决土渠输水损失大和山丘区“土高水低”的问题；田间采用高效节灌技术，在微、小型水利工程集雨开源技术基础上，针对不同作物，可根据自然水压因地制宜采用微灌、喷灌和浇灌等不同的节灌方式，也可采用移动式多功能喷灌机，充分利用山丘区各种小水源进行移动式喷灌和浇灌。同时，还可与中、大型养殖场的沼气建设相结合，将沼液提灌到蓄水池中稀释后进行灌溉，可有效缓解养殖场的污染问题，还能减少化肥和农药的用量。

节水、增产、增效综合效果：该技术可使坡耕地径流每公顷减少约 450~750 毫米，增加灌溉用水 300~450 立方米，输水损失降低 40%以上，节水 30%~50%，增产 10%~30%，节约劳力 50~60 元，增收 70~90 元，节支增收 1800~2250 元/公顷。

适用条件：适用于年降雨总量较丰富，但季节性干旱突出、地形条件复杂和水土流失严重的山丘区，特别是集约化条件下的高效益经济作物。

五期 节水灌溉综合技术模式(续)

1. 北方干旱内陆河区节水灌溉综合技术集成模式

北方干旱内陆河灌区深居欧亚大陆腹地，平原降水量仅 25~200 毫米，年蒸发量高达 2000~3000 毫米，没有灌溉就没有农业，并且水资源总量不足，水资源开发利用程度较高，个别地方已出现面积较大的地下水降落漏斗，生态用水量亟待增加，因此在这些地方实施节水灌溉具有重要的现实意义。根据不同经营者及其效益的不同以及不同作物的耗水特性，总结提出了以下节水灌溉综合技术模式。

1.1 大田低收益作物低成本降耗简化节水灌溉综合技术模式

技术原理：以粮食作物为主，将节水品种、农艺措施，免耕秸秆覆盖与机械化畦植沟灌技术融为一体，进行集成。适宜作物为小麦、小麦玉米带田和啤酒大麦；其主体技术为减免冬灌机械化免耕秸秆覆盖技术和机械化畦植沟灌技术；配套的农艺技术为节水品种，精量播种，节水灌溉制度，配方施肥与化学保水剂等。

技术要点：

(1) 当采用免耕减免冬灌秸秆覆盖保护性耕作节水技术时，以少耕或少耕替代常规耕作，以高茬收割后压倒替代传统的秸秆移出农田或切碎还田方式，以减免冬灌替代传统冬泡地方式，形成以限量灌溉、覆盖耕作、机械化硬茬播种为特色的保护性耕作技术。采用永量 4 号、张宁 2000、酒春 3 号、93 鉴 105、甘春 01-6、西早 1 号等节水型品种，播种量为 375 千克/公顷，灌溉定额 5100 立方米/公顷，灌溉制度为冬灌量 1050 立方米/公顷，苗水、拔节水、灌浆水和麦黄水分别为 1050、1350、1050、600 立方米/公顷；种肥尿素 75 千克/公顷，磷二胺 225 千克/公顷，拔节期追施尿素 150 千克/公顷；小麦苗期和灌浆前期，分别喷施水型牌保水剂 3 千克/公顷。主要配套机具为甘肃农业大学研制的 2BF-5/10 免耕播种机。

(2) 当采用草膜双覆盖小麦间作玉米少耕轮作节水时，将带田中不同作物

带在年际间进行轮换，形成系统内的轮作模式，减小连作危害；根据作物间套复合群体共生期“弱化竞争、强化互补”的基本原则，通过地膜覆盖方式促进小麦早熟，利用秸秆覆盖早期地温相对较低，玉米发育相对较慢的特点，创造适宜的异质微生态系统；在不同年度轮换耕作玉米带，小麦带留茬免耕；种植时玉米带内形成免耕秸秆覆盖节水系统、小麦带内形成地膜覆盖节水系统，能在一定程度上解决带田用水量过大的矛盾，同时可形成有利于理化性状改良的生态环境，有利于提高耕地的持续生产能力。具体做法为：地膜小麦以 13 厘米行距用专用地膜小麦穴播机播种，穴距 10 厘米，每穴保证 8~12 粒种子，带幅 70 厘米，玉米两行，行距 25 厘米，株距 20 厘米，每穴 2~3 粒种子，与小麦带间距 25~27 厘米，占地 70 厘米。小麦带：玉米带为 70 厘米:70 厘米。

(3) 当采用机械化垄作沟灌节水技术时，借鉴立体种植增产的边行效应原理、节水农业技术的局部灌溉原理，将垄作技术集成到小麦、大麦等密植类作物的栽培。该技术通过对地面结构的改变，创造了间套作中由株型不同作物构建的立体结构，形成作物生长时的立体受光、通气结构，优化了光合作用环境，使垄面边行作物产量较传统栽培技术显著提高，弥补播种面积减小造成的产量下降，在灌溉定额降低和总蒸发量降低的情况下，水分利用效率显著提高。

(4) 当采用春小麦垄作沟灌技术时，选择分蘖力强、边行效应明显的品种，播种量为 325~412.5 千克/公顷，垄作沟灌机械开沟起垄播种，适宜垄宽 75 厘米，种植 4 行，沟宽 25 厘米，沟深 15~20 厘米，灌溉定额 4500~5550 立方米/公顷，灌溉制度为冬灌量 1200 立方米/公顷，三叶水 900~1200 立方米/公顷，拔节水 1200 立方米/公顷，开花水 900~1200 立方米/公顷，灌浆水 900 立方米/公顷，施肥量为农家肥 60~75 吨/公顷，尿素 450 千克/公顷，磷酸二胺 450 千克 /公顷，小麦苗期、灌浆前期分别叶面喷施化学保水剂 3 千克/公顷。

啤酒大麦垄作沟灌的技术要点为：选择分蘖力相对较强的品种（8812，甘啤 2 号），播量 225 千克/公顷，总灌溉定额为 5550~4000 立方米/公顷，其中冬储灌 18000 立方米/公顷，生育期每公顷每次灌溉量 975~1200 立方米，灌溉次数 4 次，灌水时期为 3 叶 1 心至分蘖、拔节期、抽穗之灌浆期。灌浆期施肥制度为底肥过磷酸钙 600~750 千克/公顷、磷酸二胺和尿素各 15 千克/公顷，3 叶 1 心时追施尿素 300 千克/公顷。苗期和灌浆初期分别按 3 千克/公顷，剂量叶面喷施化学保水

剂。适宜垄宽 60 厘米，高 20 厘米，种植 4 行，垄畦间距 30 厘米。

节水、增产、增效综合效果：甘肃省张掖等地实施该模式后，农田春季 0~20 厘米地面高度平均输沙量 0.0018 克/(最小·厘立方米)，仅为传统耕作裸露农田的 1.59%，输粉尘量 0.0123 克/(最小·厘立方米)，为传统耕作的 21.18%，播前 0~10 厘米的土壤含水量高于传统耕作 5.96 个百分点，0~120 厘米土层储水量较传统耕作多 27.58 毫米，免耕秸秆覆盖小麦产量达到 6225 千克/公顷，比传统耕作冬灌节水 1200 立方米/公顷，纯收入提高 1575 元/公顷，产投比提高 58%。通过实施草膜双覆盖小麦间作玉米少耕轮作节水技术可使 WUE 提高 0.32 千克/立方米，增加了 24.61%。通过采用机械化垄作沟灌技术，春小麦成穗数可提高 0.9%~12.8%，穗粒数提高 3.7%~17.1%，千粒重提高 1.9%~11.2%，最大可增产 465 千克/公顷。啤酒大麦边行穗长增加 0.4 厘米，有效分蘖多 0.7 个，主穗粒数多 0.8 粒，单柱粒数多 17.9 粒，单柱粒重高 1.01 克，千粒重高 1.03 克，平均产量达到 9800 千克/公顷，水分利用效率达到 1.31 千克/立方米。

适用条件：适用于农户分散经营的大田粮食作物。

1.2 大田高收益作物增投增效节水灌溉综合技术模式

技术原理：将垄膜沟灌技术、膜下滴灌技术、喷灌技术、渗灌技术和节水品种、地膜覆盖、平衡施肥和节水灌溉制度等有机集成。适宜作物为制种玉米、加工甜椒、加工番茄、啤酒花、酿酒葡萄和苜蓿；其主体技术为膜垄沟灌技术、膜下滴灌技术、喷灌技术、渗灌技术，配套技术为节水品种、地膜覆盖技术、全降解地膜、平衡施肥与育苗技术，节水灌溉制度、田间闸管灌与分根交替灌溉。

技术要点：

(1)当制种玉米采用以垄膜沟灌技术为主的节水综合技术时，垄宽 40 厘米，垄高 20 厘米，种植密度母本为 8.25 万株/公顷，父本采用满天星种植方式，种植于窄行（两行母本之间），株距依据所选组合父本散粉量的多少而定，一般为 40~50 厘米为宜。灌溉定额 6300 立方米/公顷，灌溉制度为冬灌 1200 立方米/公顷，拔节前灌头水，灌水时间可视玉米长势作适当调整，灌量 1200 立方米/公顷为宜，大喇叭口期灌二水，灌量 1500 立方米/公顷，母本去雄后灌三水，灌量 1200 立方米/公顷，间隔 20 天后灌四水，灌溉量 1200 立方米/公顷。施肥制度为农家肥 60 吨/公顷，尿素 300 千克/公顷、磷酸二胺 600 千克/公顷作基肥，母本大喇

喇叭口期追施尿素 225 千克/公顷，吐丝期追施尿素 150 千克/公顷。玉米种子均进行包衣，并在喇叭口期喷施保水剂 3 千克/公顷。

(2) 当加工甜椒采用以膜垄沟灌技术为主的节水综合技术时，选择适宜品种如茄门甜椒、世纪甜椒王。垄宽 55 厘米、沟宽 35 厘米，灌溉定额 5100~5400 立方米/公顷，灌溉制度为定植时于沟内浇定植水 1050 立方米/公顷。约 20 天后浇缓苗水，灌溉量 600 立方米/公顷。50%门椒坐果时浇第三水，约浇水 900 立方米/公顷。以后约 15 天浇水一次，每次浇水 900 立方米/公顷，约浇 2~3 次，施农家肥 60~90 吨/公顷，尿素 375 千克/公顷，磷酸二胺 375 千克/公顷，硫酸钾 150 千克/公顷作底肥。从第三水开始，每次追施尿素 225 千克/公顷、磷酸二氢钾 75 千克/公顷。

(3) 当加工番茄采用以膜垄沟灌技术为主的节水综合技术时，选用适宜品种如里格尔 87-5, 新番 13 号, 红杂 10、16 和 18 号。全生育期灌溉定额 3000~3300 立方米/公顷，定植时于沟内浇定植水 1050 立方米/公顷，；第一穗果实约小枣大时灌第二水，灌水量 600 立方米/公顷；果实膨大期视土壤和降水情况灌水 2~3 次，每次灌水量 375 立方米/公顷。施肥制度为农家肥 90~150 吨/公顷，尿素 450 千克/公顷，磷酸二胺 375 千克/公顷，硫酸钾 300 千克/公顷作底肥，从第三水开始，每次追施尿素 300 千克/公顷，磷酸二胺 150 千克/公顷，硫酸钾 150 千克/公顷。

(4) 当加工甜椒采用以膜下滴灌技术为主的节水综合技术时，选用适宜品种茄门甜椒、世纪甜椒王。灌溉定额 3375~3600 立方米/公顷，定植时大沟内灌定植水 1050 立方米/公顷。约 20 天后用滴灌浇缓苗水 300 立方米/公顷，此后约 10 天灌溉一次，共灌 3 次，每次灌溉水量 150 立方米/公顷。50%门椒坐果时灌第六水，灌溉水量 450 立方米/公顷，以后约一周灌水一次，每次灌水 225 立方米/公顷，约灌 5~6 次。施肥制度为每公顷施农家肥 60~90 吨，尿素 375 千克，磷酸二胺 375 千克、硫酸钾 150 千克作底肥，第五水追施尿素 75 千克/公顷，磷酸二胺 45 千克/公顷，硫酸钾 15 千克/公顷。

(5) 当加工番茄采用以膜下滴灌技术为主的节水综合技术时，选用适宜品种和底肥管理同加工番茄垄膜沟灌技术。灌溉定额 2100~2310 立方米/公顷，定植时灌定植水 600 立方米/公顷。5~7 天后，灌一次缓苗水，灌溉水量 150 立方

米/公顷；此后每 10 天灌溉一次，共 3 次，每次 120 立方米/公顷。第一穗果实小枣大时灌第六水，灌溉水量 300 立方米/公顷，以后视土壤和灌水情况灌水 4~6 次，每次灌水 150 立方米/公顷，保持膜下土壤湿润。定植时每公顷施农家肥 90~150 吨，尿素 450 千克，磷酸二胺 375 千克，硫酸钾 375 千克作底肥；第六水时追施尿素 150 千克/公顷，磷酸二胺 75 千克/公顷，硫酸钾 60 千克/公顷，以后每次灌水追尿素 90 千克/公顷，磷酸二胺 30 千克/公顷，硫酸钾 30 千克/公顷。

（6）当啤酒花采用以滴灌技术为主的节水综合技术时，选用适宜品种如青岛大花、卡斯卡特。灌水量 3975 立方米/公顷，采用水肥一体化技术，灌溉制度为冬储沟灌 1500 立方米/公顷，5 月中旬~6 月中旬每 7~10 天滴灌一次，6 月下旬~7 月下旬每 3~5 天滴灌 1 次，8 月份每 4~6 天滴灌 1 次，每次滴灌水量 90~120 立方米/公顷，灌溉周期随天气情况作灵活调整。施肥制度为：割芽期施农家肥 30 吨/公顷，油渣 450 千克/公顷，过磷酸钙 750 千克/公顷，尿素 300 千克/公顷作基肥，扩权期追施尿素 150 千克/公顷，现蕾期分别追施尿素、磷酸二胺和硫酸钾 150、150、75 千克/公顷，初花期分别追施尿素和硫酸钾 150 和 75 千克/公顷。

节水、增产、增效综合效果：甘肃省张掖等地实施该模式后，制种玉米产量可达 7689 千克/公顷，水分利用率 1.49 千克/立方米，比传统平作节水近 1500~3525 立方米/公顷，水分利用效率提高 0.21 千克/立方米。加工甜椒运用该模式每年节水 1650~2200 立方米/公顷，节水率达 23.9%~40.0%。加工番茄运用该模式，每年节水 1350~2190 立方米/公顷，较传统灌溉技术节水 36.0~48.7%。啤酒花实施该模式与常规比较，膜下滴灌鲜（干）花产量可提高 2205 千克/公顷和 490 千克/公顷，增产 13.22%和 4.73%。较传统灌溉可节水 2250 立方米/公顷，节约成本 600 元/公顷，可提高酒花中甲酸含量 0.5%。

适用条件：适用于加工企业、订单农业或农场或者规模经营的农户。

1.3 以膜下滴灌为主的棉花节水综合技术模式

技术原理：将地膜覆盖技术与滴灌技术有机结合，在降低滴灌技术成本的基础上，达到了节水增产的双重目标。它将有压水源通过滴灌管道系统变成细小的水滴在作物根系范围内进行局部节水灌溉；同时，由于覆膜可大大减少作物的棵间蒸发，使得作物根系在滴头附近集中发育，使水、肥作用更直接，效率更高。

膜下滴灌还可在根系范围内形成一个低盐区，加之地膜覆盖使棵间蒸发甚微，盐分不易返回地面，在盐碱地上也可获得较高产量。

技术要点：采用膜下滴灌技术需要对水源进行加压和净化处理，需要配置相应的机械、设备、管材等。内镶式滴灌带和管上补偿式滴灌管为目前国内研制和生产出的产品，可广泛应用于膜下滴灌，产品质量及使用效果与国外同类产品基本相似。大田作物膜下滴灌系统的结构为：水源—水泵—离心式砂石过滤器—施肥罐—网式过滤器—主干管—分干管—支管—毛管—灌水器。膜下滴灌系统在田间的铺设过程是：使用改装后的播种机，在拖拉机牵引下，将系统的末级毛管与铺膜、种子三者同时一次作业铺设完成，然后将末级毛管再与相应的支、干（分干）管及设备相连接，组成膜下滴灌网络。水通过毛管上的灌水器在膜下均匀地为作物供水。膜下滴灌系统的设计应按照部颁标准 S 升 103—95《微灌工程技术规范》执行。

节水、增产、增效综合效果：膜下滴灌节水 50%，减少深层渗漏，能较好地防止土壤次生盐碱化。膜下滴灌棉花增产 20% 以上，按籽棉价 3.5 元/千克，每公顷增收 2850 元。节省水、肥、农药、人力、机力，每公顷平均节支 1425 元，除去工程投资年折旧费和年运行费每公顷 3225 元，则每公顷净增收 1050 元。滴灌随水施肥、施药，既节约了化肥和农药，又减少了对土壤和环境的污染。

适用条件：大田膜下滴灌技术适用于经济价值较高的蔬菜、花卉、果树和其他大田经济作物。目前，在新疆生产建设兵团的大田中，主要使用在棉花、甜菜、加工用番茄及蔬菜等作物上。该项技术已经在新疆地区得到广泛应用，据统计，我国目前大田膜下滴灌技术应用面积已经达到 133 万公顷，成为世界大田应用滴灌技术面积最大的国家。

2. 节水抗旱灌溉工程技术模式

我国无论是北方或是南方地区，均存在着许多季节性缺水地区，这类地区在农作物播种季节或某个生育阶段经常性的发生干旱，而在其他生长季节或生育阶段则降雨可满足需水要求，如不采取抗旱灌溉，轻者减产，重者绝收。在这些地区可采取的节水灌溉综合技术模式为：将节水抗旱品种、节水高效种植模式、节水高效栽培技术、田间雨水就地利用技术与抗旱补灌技术如坐水种、软管灌溉、轻小型移动式喷灌机组等和平整土地、修建梯田、植树种草培肥土壤、覆盖保墒、

合理耕作、采取节水灌溉制度相结合。

2.1 坡耕地集雨抗旱灌溉工程集成模式

以提高水资源的利用率和生产效率为核心，围绕“集雨、抗旱”两个基本点，积极开展水资源保护与高效利用，通过工程措施与生物措施、农耕措施与化控措施、集雨措施与水土保持措施、灌溉措施与抗旱措施的四结合，实现农业节水、农业发展、农民增收，达到水资源保护和高效用水的目的，促进农业生态良性循环。

技术要点：

(1) 坡耕地实施坡地改梯田：根据地形条件，利用块石沿等高线修筑堡坎，不勾缝、不用浆抹面等砌砌工程，块石码砌；在开展堡坎修建的同时，应挖高填低，把地势高的土壤分层填补到地势较低的地方，改坡土为平地；根据地形、坡度和土层厚度等因素综合考虑梯田地块的宽度，一般 3~7 米。

(2) 采用生物措施与工程措施防止水土流失：采用香根草、象草、黄花菜等多年生草本植物或灌木为栅篱，沿等高线环坡栽植，在石质山区可与坡改梯工程措施相配套实施，在石质堡坎上栽植植物篱，利用其强大的根系，盘根错节地将土壤牢牢地固住。土质山区直接在坡耕地上沿等高线栽植等高植物篱，2~3 年内形成致密的植物篱墙，有效拦截土壤冲刷，减缓径流速度，提高农田土壤含水量；通过水平耕翻土地，上挖下垫，3~5 年内可逐步将坡地变为梯田。具体做法是：在土质坡耕地上，每隔 5~8 米沿等高线栽植一带由灌木或多年生草本植物组成的栅篱植物条带，带宽 30~50 厘米，双行或单行种植，行株距 15~30 厘米，带间采用等高种植法种植常规粮油作物或果树，耕作时也采用等高耕作法。

(3) 修建集雨节灌工程：在有自然溪沟和泉水的地方因势修筑拦坝蓄水，建设小山塘。修建容积 20~30 立方米的蓄水池，采用拦山沟、引水渠、集雨坪等拦引天然降雨、地表水和地下水。拦截天然降水时，应集中安排天然集雨坪和分级拦山沟相结合，配套修建沉沙池，减少泥沙淤积；各水窖间用 P 伏 C 管道相联，相互调剂用水，小水窖的形状以采用地埋式圆桶与长方形为佳。

(4) 选择适宜的节水灌溉技术：由于坡地地形破碎，地势起伏大，且地块成片性差，旱地灌溉方式应以软管浇灌和微型自压喷、滴灌为主，具体灌溉方式应根据地形和种植作物种类进行选择。对于多年生经济作物，利用自然地势落差，

以滴灌为主进行灌溉；蔬菜作物和常规旱地作物，利用自然地势落差，结合小型加压设备进行喷灌，经济条件差的地区可采用软管浇灌，解决季节性干旱的灌溉。

(5) 采用适宜的农艺技术：广种绿肥，增加冬季地面覆盖，保持土壤墒情，为充分利用土地与光能，旱耕地上采用 2：2 行比，在秋播时将绿肥与小麦或其它冬季作物间套作，扩大冬季绿肥的播种面积。选用如黔玉 1 号等抗旱、耐瘠的作物品种；根据当地气候条件中不良气候的出现时间规律，结合作物生长特性，在不影响作物正常生长的前提下，适当调整作物播种期，避开干旱发生时间，减少干旱对作物的影响。如贵州省西南部春旱严重，玉米可适当推迟播种时期，或采取营养育苗方式，避开春旱最严重时期；采用平衡施肥和化学抗旱措施；采用地膜覆盖或秸秆覆盖措施；采取横坡耕作和播种镇压措施，在山区，沿等高线横坡翻耕土地可避免顺坡耕整土地；在播种或移栽作物时，横坡起垄，增厚活土层，形成横向垄沟，拦截水土。播种时，先丢种后施(基)肥和播种后镇压表土可显著减少播种期土壤水分损失。按照季节降水和土壤水分周期变化动态，确定耕整土地的最佳时间，减少土壤毛管水损失；在耕作管理上选择秋、冬季加强施肥与耕作，春季避免翻耕，夏秋季宜加强中耕除草管理，秋收后及时耕翻整地，减少土壤的毛管水蒸发损耗。

节水、增产、增效综合效果：贵州省通过实施农田抗旱基础工程、农艺节水工程、集雨灌溉工程以及节水农业科技创新与服务体系建设工程，使天然降水利用率由 30%~40%提高到 50%~60%，灌溉水利用率由 30%提高到 50%，自然降水和灌溉水生产效率在原有基础上增加 3 千克/毫米·公顷，农耕区水土流失减少 30 %以上，产生良好的生态与经济效益。

适用条件：适用于南方降水资源较丰富的坡耕地。

2.2 机械化施肥铺膜打孔播种联合作业的节水抗旱灌溉综合技术模式

以机械化为主的节水灌溉综合技术模式围绕对天然降雨和灌溉用水的蓄、保、用、节四个提高水资源利用率的关键环节而形成的以农田改造、耕作保墒、抗旱栽培、补充灌溉为核心内容的完整的技术体系。

技术要点：对于坡度大于 5 度的耕地和沟壑区，要采取填沟治壑、平整土地、修筑梯田等工程措施和增加植被等生物措施相结合的办法，控制水土流失，并用

硫酸亚铁和风化煤、有机农肥等土壤改良剂，进行土壤熟化处理；农作物收获后立即进行秸秆还田，秸秆粉碎还田切碎长度要小于 10 厘米，粉碎或整株还田要用高地隙犁作业，并在耕翻入土前每公顷施氮素肥 150 千克~250 千克，最好配方一次施足底肥。秸秆覆盖率达到 90%以上，覆土厚度不少于 10 厘米；耕深应在 25 厘米以上，耕后应立即进行耙耱整地，最好是犁上配套合墒器，采取复式作业；镇压要掌握好镇压的时机和程度，一般是冬季顶凌镇压，压碎坷垃填糊裂缝，以防失墒。重点是春季返浆期与气化期的适时适度镇压，保墒提墒；种子选用发芽率在 95%以上的抗旱优良品种，采用精少量播种机播种，最好同时侧位完成配方深施化肥，高寒区采用机械施肥铺膜打孔播种联合作业机组进行；铺膜时走向要直，拉力要匀，拖展微膜，平贴地表，压实两边，膜面干净，没有破裂。密封地表，保水保肥，提高地温；农作物收获后，顺向压倒秸秆，均匀覆盖地表，次年采用硬茬播种机直接施肥、播种，隔年深松，保持秸秆长期覆盖地表，抑制土壤水分蒸发；种子要采用包衣或农药拌种，杂草处理要优先选用除草剂除草。作物生长季节既要做好适量调控，又要做好病虫害预测预报与防治；在旱作农区，要开发地下水，用足地表水，广泛开展旱井集水工程，必要时采用人工降雨措施，广开水源，在严重干旱时，将有限的水以点灌、渗灌、喷灌等节水措施，及时、适量灌溉农田，用好“救命水”，调节田间小气候；引进推广优良品种，采取合理密植，深施化肥，量水栽培等农业实用新技术以获得更大的增产效果。

节水、增产、增效综合效果：山西省山地和黄土丘陵区通过发展集雨节灌，农业单产超过 3000 千克/公顷；搞好以培肥改土和蓄水保墒为中心的农田基本建设，坡耕地修梯田，挖丰产沟、水平沟和开展小流域综合治理，增施有机肥，平衡施化肥，可减少径流 70.7%，多蓄水 600~750 立方米/公顷，减少泥沙 93%，水分利用率提高 47.2%，增产 20%以上。

适用条件：适用于土壤瘠薄、降雨稀少的黄土高原地区。

2.3 以坐水种节水抗旱灌溉为主的节水模式

我国北方大部分地区，春季基本没有降雨，春播期间干土层较厚，在旱情较重的地方干土层甚至超过 15 厘米，无法按期播种，为解决这一难题，我国开发研制了机械化补水种植技术及机具，以播种机为基础，在拖拉机上加装水箱(罐)，在种沟里补水后，再播种覆土，抗旱保苗和节水的效果很好，习惯上称“坐水种”

或行走式施水播种技术。其主要特点一是机动灵活，不受地形限制，可充分利用各种水资源，提高了水资源的利用率；二是可根据作物的农艺要求及生长期的需求规律，与相应的农机具配套使用；三是结构简单、投资少、成本低、易操作，符合农民的技术水平和经济实力。

技术要点：先进行浸种，使种子吸足水，然后再播种；也可以用保水剂或包衣处理、以加速种子的吸水、萌发速度，提高出苗率和提早出苗；在田块上根据种植作物的不同要求，用锄或锹等工具开挖种子坑，亦可同时在坑中施底肥；在每个种子坑中灌入 2 千克左右的水（称坐水），如按每坑灌 2.5 千克水则相当于 10 毫米的降水量，可抗旱 30 天左右。将浸好的种籽逐坑点种或按行播种，随即覆盖 2~3 厘米的干土，如需用地膜，在播种后即按常规法覆盖地膜。应与沟播、铺膜等技术相结合应用，一次完成开沟、注水、播种、施肥、覆土覆膜等多道工序，以降低生产成本。“坐水种”须保证作物种子能够发芽出苗；水源宜近不宜远。

节水、增产、增效综合效果：机械化一条龙坐水种，仅需 2 人就可以一次完成开沟、注水、施肥、播种、覆土作业。具有播种质量好、节省种子、增墒抗旱、作业效率高等优点。春播用水量 90 立方米/公顷，相当于一场 20 毫米降水，可比喷灌节约用水 300 立方米/公顷，比漫灌节约 750 立方米/公顷。在 20 天内不降雨可保证出全苗。苗期苗侧机械开沟施水又解决了苗期“卡脖旱”有苗无收的问题，完成了土、种、水、肥之间的有机结合。2000 年，吉林省乾安县示范区所有作物全部实施了坐水种，玉米、高粱等大宗作物全部实施了苗侧补水灌，总面积达 1333.3 公顷以上，玉米平均产量达到 6771 千克 /公顷。

适用条件：适用于春旱严重，土壤含水量不能保证全苗或出苗的地区。主要用于玉米、大豆、甜菜的抗早点灌。目前，在黑龙江省西部、吉林省西部、辽宁省北部和西部、内蒙古东部地区，已把坐水种作为农业生产中最重要的一环，每年坐水种面积高达 4670000 公顷以上。

2.4 山丘区“适水种植+集雨节灌+农艺措施”旱作农业节水模式

技术要点：加强以坡改梯为重点的基本农田建设，改变土地条件增加降水就地入渗率。大力推广耕作、覆盖蓄水保墒技术；建设土壤水库，改良土壤，增加农田贮水能力，主要包括格网式垄作、蓄水覆盖丰产沟、边坡植物篱防蚀等水土

保持耕作法和少耕、免耕为主的保护性耕作技术；选用节水优良品种，调整作物布局，适水种植，增施有机肥料，平衡施用化肥，化学调控节水；新建微型水利工程，大力推行集雨补灌技术，通过“三沟”、“三池”配套，就地蓄集降水，灌生育期关键水、保苗水和“救命水”；对于热河谷山区，在推广保墒灌溉基础上，充分利用当地资源优势，发展特色农业，如反季蔬菜、优质水果等。

节水、增产、增效综合效果：该技术可使径流量减少约 30~50 毫米，增加灌溉用水 300~450 立方米/公顷，输水损失降低 40%以上，节水 30%—50%，增产 10%—30%，节约劳力 750~900 元/公顷，增收 1050~1350 元/公顷，节支增收 1800~2250 元/公顷。

适用条件：适用于只能通过小微型水利工程集雨补灌或完全雨养的山地、丘陵旱作农业区。该模式依托旱作节水农业示范县项目、节水增效示范县等项目，在四川省的简阳、仁寿、射洪、渠县、大英、梓潼、盐亭、会东、攀枝花仁和区、南充顺庆区等地应用取得了较好效果。

3. 设施高效益农业节水综合技术模式

设施农业栽培也称保护地栽培，是利用日光温室、塑料棚等保护设施，人为地创造适于作物生长发育的环境条件。从而达到优质、高产、高效。其生产对象是高附加值的供城市居民消费的蔬菜、花卉等价格高的作物。设施高效益作物主要包括以温室大棚滴灌和无公害蔬菜示范种植为主。主体农业节水技术是地膜覆盖、膜下滴灌施肥、管道输水灌溉技术等；配套抗旱作物品种、应用化学抗旱保水剂、有机生态无土栽培、节水灌溉制度等技术。

3.1 北京郊区调整种植结构+设施农业技术+先进灌溉技术高新农业节水模式

技术要点：（1）设施农业技术。包括设施种植业，如日光温室栽培，塑料大棚栽培、无土栽培等；设施畜牧业，如畜禽舍、养殖场等。（2）现代节灌技术。采用节水效果好、自动化程度高的节水灌溉技术，如在大田作物推广喷灌和微喷灌等先进节水灌溉技术，设施农业中推广现代化的自动控制灌溉技术，并与施肥、施药结合起来。（3）调整农业种植结构、减少粮食作物种植比例，增种稀特蔬菜、瓜果、花卉等高产值园艺作物。（4）建立高标准农业节水示范园区，即把节水灌

溉、农业种植、园林技术融合为一体，发展特色农业、高效农业和休闲观光农业。

节水、增产、增效综合效果：北京市大兴县通过实施该模式，获得了年节水 150 万立方米，节电 17400000 千瓦每时，节省投工 1.6 万个，缩短轮灌周期 3~5 天，小麦、玉米两茬平均增产 18.1%，瓜菜两茬平均均增产 15%的效果。

适用条件：适用于农业与其它用水矛盾大、劳动力缺乏、经济实力强、农民素质高的城市郊区。

3.2 济南郊区高新农业农业节水技术模式

其特征是高投入、高产出，实现现代化的自动控制灌溉管理与水资源的高效利用。

技术要点：土地集约化经营，建立设施农业工程为主体的产业工程，对国内外稀、特、优蔬菜、水果、花卉良种引进与组织培育、良种繁育相结合，以大中城市科研单位、企业为依托，实现科技和资本的高投入和现代化管理的工厂化生产，形成集科技、产业化、推广为一体的现代化农业。采用公司化管理、集中供水、超计划加价，灌溉采用喷灌和微灌为主的工程措施。

节水、增产、增效综合效果：山东济南示范区实施该模式后，每年增效益 28695 元/公顷，增产 20%以上，并且果实品质得到显著改善，节水率达到 28%以上，每公顷省工 375 个以上，灌溉水利用系数显著提高，达到 0.90 以上。

适用条件：山东省内经济较发达的城市近郊。

3.3 东北地区微灌、喷灌、智能卡管理技术集成节水模式

该模式的特征是高新技术集成，不仅可降低作物灌溉用水量，增加产出，而且可扩大单井控制面积，提高灌溉设备利用率，使水利工程效益得到充分发挥。

该模式工程控制面积 333.33 公顷；单井流量 80 立方米/时。采用的种植结构为高收益作物、蔬菜；典型作物如葡萄、梨树、速生杨、茄子、辣椒等。采用的灌溉技术为滴灌、微喷、喷灌。采用的农艺措施为增施农家肥、培肥地力与生育期水肥管理。采用的工程管理措施为智能卡自动控制灌溉与用水计量，用水户自主管理应用。

技术要点：（1）设施农业技术。包括设施种植业，如日光温室栽培，塑料大棚栽培、无土栽培等；设施畜牧业，如畜禽舍、养殖场等。（2）现代节灌技术。采用节水效果好、自动化程度高的节水灌溉技术，如在大田作物推广喷灌和微喷

灌等先进节水灌溉技术,设施农业中推广现代化的自动控制灌溉技术,并与施肥、施药结合起来。(3)调整农业种植结构、减少粮食作物种植比例,增种稀特蔬菜、瓜果、花卉等高产值园艺作物。(4)建立高标准农业节水示范园区,即把节水灌溉、农业种植、园林技术融合为一体,发展特色农业、高效农业和休闲观光农业。

节水、增产、增效综合效果:灌溉定额减少到 1488.15 立方米/公顷,与对照相比节省水量达到 49.61%。净效益可达 16465.5 元/公顷,增加幅度 1.15 倍。

适用条件:适用于农业与其它用水矛盾大、劳动力缺乏、经济实力强、农民素质高的城市郊区。适用于辽西半干旱地区的林果类种植品种可选择葡萄、梨。高收益作物可选择 2 年生速生杨,生育期短,见效快。蔬菜类作物可选择辣椒、茄子等常规作物。

3.4 西北地区设施高价值作物高投高效精准节水灌溉综合技术模式

其核心是将水肥一体化技术、农户参与式水权管理与测量水技术、低压管道输水等技术有机集成。种植高附加值的温室蔬菜或花卉;采用精准灌溉制度以及农艺节水措施作为配套技术。

技术要点:

(1)当温室蔬菜采用半自控水肥一体化以膜下滴灌为主的节水综合技术时,温室黄瓜宜选用甘丰 8 号、11 号、津优 2 号、3 号新泰密刺和津杂 2 号等。9 月下旬到 10 月上旬播种,10 月下旬至 11 月上旬定植,11 月下旬至 12 月上旬始收,次年 6~7 月拉秧。每公顷施优质腐熟有机肥 150~180 吨,油渣 3000~4500 千克,过磷酸钙 3750 千克,磷酸二胺 750 千克,硝酸铵 225 千克,硫酸钾 750 千克作基肥,深翻 30 厘米,南北作畦,畦宽 80 厘米,高 20 厘米左右,沟宽 40 厘米,在垄中间开宽 10 厘米、深 5 厘米的小沟,铺设滴灌带并覆膜。移栽株距 28~30 厘米,密度 5.4~5.85 万株/公顷,灌溉定额为 4350 立方米/公顷,其中定植前 15 天灌底水 900 立方米/公顷,定植时灌定植水 225 立方米/公顷,当植株长出一片新叶时(约 12 天)灌缓苗水 120 立方米/公顷,根瓜采收后(约 15 天)灌催瓜水 150 立方米/公顷,以后每周灌水 1 次,每次 105 立方米/公顷。从催瓜水起,每灌两次水随水追肥一次,以磷酸二胺、硫酸钾、尿素为主,肥料总量配比为 N:P:K=5:3:7,每次约施纯氮 138 千克, P_2O_5 82.5 千克, K_2O 193.5 千克/公顷。

温室茄子选用快圆茄、二茺茄、兰竹长茄、纸阳长茄等。适宜砧木品种有托鲁巴姆、CRP（金理一号）等。7月底8月初播种育苗，10月初嫁接，11月初定植，元旦前开始采收，可收到翌年6月。每公顷施优质腐熟有机肥150吨，油渣4500千克，尿素450千克，磷酸二胺450千克作基肥，深翻30厘米，以南北向作垄，垄宽70厘米，高20~25厘米，沟宽60厘米，在垄中间开宽10厘米、深5厘米的小沟，铺设滴灌带并覆膜。定植株距37~42厘米，密度3~3.3万株/公顷，灌溉定额为3150立方米/公顷，其中定植前15天灌底水900立方米/公顷，定植时灌定植水225立方米/公顷，约15天后灌缓苗水150立方米/公顷，门茄采收后（约35天后）灌催果水150立方米/公顷，11月~2月每10天灌水一次，3~6月每7天灌水一次，每次90立方米/公顷。从灌催果水起，每灌两次水随水追肥一次，实行配方施肥，以磷酸二胺、硫酸钾、尿素为主，每次约施纯氮103.5千克/公顷，氧化磷25.5千克/公顷，氧化钾78千克/公顷。食用仙人掌选用适宜品种米邦塔，春秋季日光温室内扦插，行距80~95厘米，株距30~35厘米，栽植密度3万株/公顷左右，一次栽种可连续采收15年，栽下后7~15天开始生根发芽，芽多在2~4片，2~3个月基本长好第二层，第二层每片又同样长出第三层，如此呈几何倍数增长，一年可多次采收，菜片每隔15~35天采收一次，种片每隔4~6个月采收一次，生长旺季每隔7天采收一次，产量可达150吨/公顷，最适宜温度为25~35摄氏度，40摄氏度左右进入半休眠状态。扦插前每公顷施腐熟牛粪或猪粪40~60吨作基肥，在种片萌芽长到6厘米左右时追肥一次，在采收后为促进仙人掌继续萌芽再追肥一次，实行配方施肥，将磷酸二胺150千克，硫酸钾150千克，尿素450千克混合，前一次约施肥300千克/公顷，后一次约施肥450千克/公顷，休眠期不施用任何肥料。幼苗期需水量小，营养生长旺盛期需水量大，衰老期需水量下降，休眠期需水量最小。滴灌年灌溉定额为2250立方米/公顷，扦插前不灌水，种植15~20天长根后灌水300立方米/公顷；7~9月每月灌水一次，每次120立方米/公顷；其他时间约15~20天灌水一次，每次灌水135立方米/公顷。

（2）当采用智能温室自动化水肥一体化膜下滴灌技术时，种植作物以观赏百合为主，其品种可选用西伯利亚、索蚌等；以富含腐殖质、疏松的泥炭土为栽培基质，种球在定植前进行充分的冷藏处理，取周径在12~14厘米的大鳞茎，先在13~15摄氏度条件下处理6周，然后在8摄氏度条件下处理4~5周。基肥每公

顷施优质腐熟有机肥 18 吨，油渣 3000 千克，过磷酸钙 2250 千克，磷酸二胺 300 千克、硝酸铵 150 千克、硫酸钾 750 千克。9 月下旬采用带状定植，带宽 120 厘米，行宽 20 厘米，带内 6 行，带间距 40 厘米，株距 15 厘米，种植密度 22.5 万株/公顷，灌溉定额 1950 立方米/公顷，其中定植前 15 天灌底水 450 立方米/公顷，定植时灌定植水 150 立方米/公顷，以后每周灌水一次，每次 90 立方米/公顷，灌定植水时不追肥，以后每 3 次水随水坠一次肥，实行配方施肥，以磷酸二胺、硫酸钾、尿素为主，肥料总量配比为 N:P:K=5:10:10，每次约施纯氮 120 千克/公顷，氧化磷 250 千克/公顷，氧化钾 250 千克/公顷。

节水、增产、增效综合效果：甘肃省张掖等地实施该模式后，温室黄瓜较膜下暗灌可节水 1350 立方米/公顷，可使温室相对湿度控制在 70%左右，病虫害减少，产量提高 20%以上；温室茄子较膜下暗灌可节水 1200 立方米/公顷，可使温室相对湿度控制在 65%左右，病虫害减少，产量提高 15%左右；食用仙人掌较沟灌节水 1650 立方米/公顷，增产约 20%；观赏百合较畦灌节水 1800 立方米/公顷，产值达到 75 万元/公顷。

适用条件：适用于科技富裕型农户、租赁经营农户或企业。

3.5 中部地区以滴灌自动化灌溉为主的保护地节水高效综合技术模式

该模式是将滴灌供水技术、自动化控制技术有机结合，可以根据蔬菜生长期所需水分，自动以水滴的形式对作物供水，仅湿润部分土壤，可节水 20%-30%。

技术要点：运用计算机实施农田节水灌溉管理，微机由设置在田间的各类传感器不断获取信息，并依赖土壤物理和灌溉管理、作物需水规律的知识和模型为依据的软件支撑，它及时地提供管理者关于农田实时水分状况、通气状况、储水数量、灌溉日期及灌水量预报，并通过操纵机构实施灌溉自动化。根据水资源状况及产量目标，计算机可协助人们确定科学的灌溉制度，减少灌溉水的浪费。可根据土壤湿度(吸力)及相应的作物灌溉指标来确定何时需要灌溉。如小麦乳熟期以前，根系密集土层土壤吸力达到 50 千帕即需灌溉；也可采用温度与相对湿度传感器，当二者测定值同时分别满足>25 摄氏度和<30%时为干热风天气，这时应开启喷灌若干时间，以减轻干热风对作物危害。

节水、增产、增效综合效果：据河南省长葛市资料，采用该模式后，试验区

增产效益为 87 万元，年省水 39 万立方米，年节省电费为 24 万元，省地约 18.7 公顷，则全年效益约为 43 万元，省工效益为 16128 万元，试验工程的年效益为 170.28 万元。

适用条件：适用于科技富裕型农户、租赁经营农户或企业。

3.6 南方地区果园节水节肥一体化技术模式

技术要点：根据果园的地理位置和水源状况，选择滴灌、微喷灌、喷水带等灌溉方式。滴灌系统最节水，应用时每行一条滴灌管，滴头间距在 60~80 厘米，滴头流量 2~4 升/时。应用微喷灌一般每株一个微喷头，流量 50~80 升/时为佳。喷水带只适用于地面平整的香蕉园，一般每两行布置一条喷水带，配套地膜覆盖或秸秆覆盖。采用滴灌、微喷灌时，可利用加压泵或重力自压式施肥法进行施肥。磷肥和有机质肥作基肥施用，氮和钾通过灌溉系统施用。肥料品种主要为尿素、硝酸钾、硝酸铵、氯化钾、硫酸镁等水溶性肥料。氮、磷、钾三要素配比范围为 1:0.2~0.5:1.1~2.0。施肥掌握少量多次的原则，生育期施肥次数为 15~20 次。前期（苗期和生长期）10~15 天施一次，花芽分化期 5~7 天一次，断蕾后 2~3 次，间隔 10~15 天。灌溉肥液适宜浓度控制在 500~1200 毫克/升之间。滴灌施肥后要保证继续滴 30 最小的水，防止滴头堵塞。

节水、增产、增效综合效果：香蕉节水节肥一体化技术可以使灌溉水利用率达到 90%以上，化肥利用率达到 85%以上，比传统的灌溉技术节水 50%（每公顷节水 9000~12000 立方米），节省肥料 40%~50%，节约肥料成本 3000~4500 元/公顷，节省人工 80%以上，增产 15%~20%。由于该项技术降低了农药和化肥的用量，对土壤结构及生态环境的改善也起到了一定的促进作用。

适用条件：该模式可适用于南方大部分香蕉园，特别适于丘陵坡地。

4. 机电提水灌区节水技术模式

我国机电提水灌区普遍存在泵站布局不够合理，泵站设施老化失修，机泵装置效率低，能耗高，输水损失大，田间工程标准低，灌水方法落后的问题。根据机电提水灌区水资源和灌溉方式及成本费用有别于其它灌区的特殊情况，节水灌溉发展的重点放在节水、增效、降耗等方面，通过调查研究，筛选适合技术，提出了节水技术的模式为：对泵站合理布局，进行节能更新改造；对输水土渠改造

为低压输水管道或衬砌渠道；对田间水稻灌区实现格田化，采用水稻节水灌溉制度，蔬菜灌区采用喷灌或滴灌；通过合理的配水和科学的灌水制度，减少水量损失，避免大定额灌溉，提高水的利用率和生产率。通过合理的水费制度，利用经济杠杆引导农民自觉节水，间接控制水量浪费。

4.1 陕西提水灌区节水技术模式

陕西提水灌区主要分布在关中地区，该区水资源紧缺，开发利用程度相对较高，灌溉用水量面广，因此必须将工程措施、农艺措施和管理措施相结合，才能大幅度提高水资源的利用率和利用效率。

技术要点：干支渠衬砌；实施方田建设，田间实行三改两全（长畦改短畦，宽畦改窄畦，大水漫灌改畦灌，顺腰渠齐全，地头路边埂齐全）和波涌灌溉。根据作物、土壤和水源状况采用科学的灌溉制度、耕作保墒、覆盖保墒、化学制剂节水、选育耐旱节水品种、节水增产栽培、农业种植业结构调整等农艺措施与计划用水，按量计费，计算机管理等措施结合，并结合灌区实际情况，建立科学的农业水价体系，加强灌区内部管理，精简机构，落实各种形式的经营管理责任制，降低运行成本，最终实现水资源的高效利用。

节水、增产、增效综合效果：陕西省礼泉县是典型的渭北旱塬区，县内年均降水量不足 550 毫米。近年来，该县通过实施节水灌溉综合技术，取得了较大的经济效益和社会效益，年节水总量 1340 万立方米，增产粮食 680 万千克，增加果品产量 6450 万千克，增加农业产值 7100 万元。

适用地区：陕西关中灌区。

4.2 甘肃提水灌区节水技术模式

甘肃省提水灌区大多处于黄河两岸，提水能耗很高，节水与节能同样重要，在提高输配水利用率的同时，还要将节水工程技术、节水农艺技术与节水管理技术因地制宜进行有机结合，形成高效的节水灌溉技术体系，以特色农业和节水灌溉带动农业结构调整，全面提高水的利用率和利用效益，实现区域水资源的高效利用和农民增产增收的目标。

技术要点：采用防渗、抗冻、抗冲性能好，整体性强、造价低的弧底梯形断面现浇混凝土衬砌干支渠道。斗渠采用弧底梯形断面混凝土现浇，农渠用“U”型断面混凝土预制衬砌；田间节水工程在抓好土地平整、大畦改小畦等常规节水

的同时，有条件、有选择地发展喷灌、滴灌。加强节水工程建设的同时，积极研究和推广节水灌溉制度，根据农作物的需水、耗水规律制定动态的灌溉用水计划，以最大限度地满足农田水分调控管理。在推行科学灌水方法与技术时，要重视并合理运用农艺节水措施，这些措施包括耕作保墒、覆盖保墒、化学制剂节水、选育耐旱节水品种、节水增产栽培、农业种植业结构调整等。

节水、增产、增效综合效果：甘肃省景泰灌区通过采用综合节水技术模式，基本做到了水资源的优化配置。水的利用率较原来提高了 26.2%，灌溉轮期由调整前的 30-35 天缩短为目前的 20-25 天，单方水效益平均 2.5 元，枸杞单方水效益达到 13.5 元，促进了农业增产、农民增收。

适用条件：适用于甘肃省黄河两岸引提水灌区。

4.3 南方小型机电提水灌区节水技术模式

其特征是节灌工程与农业节水措施的紧密结合。

技术要点：对泵站合理布局，进行节能更新改造；对输水土渠改造为低压输水管道或衬砌渠道；对田间水稻灌区实现格田化，采用水稻节水灌溉制度，蔬菜灌区采用喷灌或滴灌。

节水、增产、增效综合效果：上海市嘉定区在对 185 座提水泵站重新合理布局后，对 301 台套的水泵机组进行节能更新改造，使机泵的平均装置效率从 38.45%提高到 60.8%，能源单耗从 7.43 千瓦·时/千吨·米降低到 4.5 千瓦·时/千吨·米。铺设混凝土瓦筒管 396 千米代替土明渠输水，使渠道水利用率由原来的 65%提高到 95%，节约渠道占地 315.4 公顷。

适用条件：泵站布局不合理，设施老化失修，机泵装置效率低，能耗高，输水损失大，田间工程标准低，灌水方法落后的我国南方小型机电提水灌区。

4.4 丘陵引提灌区“水资源合理利用+非充分灌溉+农业节水措施”节水综合模式

技术要点：补充修建部分骨干蓄水工程(中、小型水库)，整治病害水库、塘堰，建设防渗渠道和管道输水工程，联合调度降水、地表水、地下水、土壤水，联合运行泵站、水库、塘堰；加强灌区泵站节水改造，集成泵站优化配套与运行管理技术；利用地形落差，实行简易间歇灌和重力软管浇灌等地面节水灌溉技术；

对于经济实力强、农民文化素质和技术水平较高的地区，推广大田喷灌、果树滴灌、菜园微喷灌等先进的灌溉技术；大力推广非充分灌溉、灌关键水等节水灌溉制度；充分重视农艺节水的作用，推广秸秆还田、覆盖保墒，生物抗旱剂。

节水、增产、增效综合效果：在四川简阳示范区应用中，灌溉水利用率从63%提高到74%，平均节约灌水1.80立方米/公顷，新增集雨蓄水125立方米/公顷。在75%保证率下，灌溉面积从61%提高到90%。

适用条件：南方丘陵引提灌区。

参考文献

- [1] 朱尔明,赵广和.中国水利发展战略研究[M].北京:中国水利水电出版社,2002年7月.
- [2] 钱正英,张光斗.中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[M].北京:中国水利水电出版社,2001年3月.
- [3] 魏昌林等.中国南水北调[M].北京:中国农业出版社,2000年9月.
- [4] 杨立信等.国外调水工程[M].北京:中国水利水电出版社,2003年8月.
- [5] 左大康,刘昌明.远距离调水中国南水北调和国际调水经验[M].北京:科学出版社,1983年9月.
- [6] 陈传友,王春元,窦以松.水资源与可持续发展[M].北京:中国科学技术出版社,1999年9月.
- [7] 钱蕴璧,李英能,杨刚等.节水农业新技术研究[M].郑州:黄河水利出版社,2002年12月.
- [8] 李龙昌,王彦军,李水顺等.管道输水工程技术[M].北京:中国水利水电出版社,1998.
- [9] 李安国,建功,曲强.渠道防渗工程技术[M].北京:中国水利水电出版社,1998.
- [10] 张祖新,龚时宏,王晓玲等.雨水集蓄工程技术[M].北京:中国水利水电出版社,1998.
- [11] 庞鸿宾主编.节水农业工程技术[M].郑州:河南科学技术出版社,2000年10月.
- [12] 李寿声.灌溉经济与最优化技术[M].上海:上海交通大学出版社,1987.
- [13] 赵广和,沈佩君,王淑筠等.灌溉经济效益计算方法研究与应用[M].南京:河海大学出版社,1993.
- [14] 韩洪云,赵连阁.节水农业经济分析[M].北京:中国农业出版社,2001年12月.
- [15] 陈奇恩主编.旱地农业实用技术[M].北京:金盾出版社,2002年6月.
- [16] 王远,吴玉柏.几种主要节水灌溉技术的经济效益分析[J].水利经济,2002,(6):35-40.
- [17] 刘学军.宁南山区集雨节灌工程效益分析[J].宁夏农林科技,2003,(6):57-59.
- [18] 时光新,王相国,尹续国.山丘区果园微灌效益初步研究[J].水土保持研究,2001,(3):52-54.
- [19] 张宪维.春小麦低压管道输水灌溉工程经济效益分析[J].东北水利水电,1994,28-32.
- [20] 沈菊琴,王世军,陈枫.节水投资分析方法初探[J].河海大学学报,2001,(6):116-119.
- [21] 邹战强.喷灌技术应用效益分析[J].排灌机械,1999,(2):48-49.
- [22] 许迪,李益农,姚文成等.田间节水灌溉新技术试验示范区的建设及节水增产效益[J].北京水利,2001,(5):35-38.
- [23] 王瑞芬,赵印英,焦文斌.管灌工程技术经济指标探讨[J].山西水土保持科技,2001,(1):27-28.
- [24] 张文渊.灌溉渠道防渗处理经济可行性分析[J].防渗技术,1998,(1):43-48.
- [25] 王浩,秦大庸,王建华等.黄淮海流域水资源合理配置[M].北京:科学出版社,2003年10月.

- [26] 全国节约用水办公室. 全国节水规划纲要及其研究[M]. 南京:河海大学出版社, 2003 年 5 月.
- [27] 唐梅英, 侯晓明, 韩振强. 南水北调西线工程国民经济评价[J]. 水利经济, 1999, 1.
- [28] 李英能. 我国节水农业发展模式研究[J]. 节水灌溉, 1998, (2): 7-12.
- [29] 李英能. 黄河流域灌溉农业节水技术模式及发展对策[J]. 中国水利, 2006, (5): 24-27.
- [30] 李英能, 吴景社, 黄修桥等. 节水农业新技术[M]. 南昌:江西科学技术出版社, 1998.
- [31] 科学技术部中国农村技术开发中心. 节水农业在中国[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2006.
- [32] 石玉林, 卢良絮. 中国农业需水与节水高效农业建设[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2001.
- [33] 段爱旺, 孙景生, 刘钰等. 北方地区主要农作物灌溉用水定额[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2004.
- [34] 信乃诠等. 中国北方旱区农业研究[M]. 北京:中国农业出版社, 2002.
- [35] 姜文来, 唐曲, 雷波等. 首都圈农业种植结构调整研究[EB/OL]. 时吨吨p://www.时wcc.co米.cn/new秒天i秒play/new秒天i秒play.a秒p?I天=122674, 2005-02-25.
- [36] 贾大林, 孟兆江, 王和洲. 农业高效用水及农艺节水技术[J]. 节水灌溉, 1999, (4): 7-10.
- [37] 俞成乾. 机械深松营造“土壤水库”工程技术在兰州地区的推广研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 52-55.
- [38] 王宏亮. 深松耕作技术与抗旱保墒效果浅析[J]. 农业机械化与电气化. 2006(6): 26-27.
- [39] 张德奇, 廖允成, 贾志宽. 旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 208-213.
- [40] 海 生. 秸秆覆盖保墒技术[J]. 农村机电, 2000(4): 17-18.
- [41] 陈学仁. 保水剂在农村水利领域开发和应用的探索[J]. 中国农村水利水电, 2000, (6): 19-24.
- [42] 杜太生, 康绍忠, 魏 华. 保水剂在节水农业中的应用研究现状与展望[J]. 农业现代化研究, 2000, 21(5): 317-320.
- [43] 蔡典雄, 赵兴宝. 黄土半干旱地区果树施用保水剂技术及效果[J]. 山西果树, 2000, (2): 25-26.
- [44] 韩玉国, 杨培岭, 任树梅等. 保水剂对苹果节水及灌溉制度的影响研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22, (9): 70-73.
- [45] 徐振剑, 华珞, 蔡典雄等. 农田水肥关系研究现状[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2007, 28(1): 83-88.
- [46] 李英能, 段爱旺, 吴景社. 作物与水资源利用[M]. 重庆:重庆出版社, 2001.
- [47] 胡毓骐, 李英能等. 华北地区节水型农业技术[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1995.
- [48] 康绍忠, 蔡焕杰. 农业水管理学[M]. 北京:中国农业出版社, 1996.

- [49] 余开德, 胡毓骐, 李英能. 节水丰产技术问答[M]. 北京: 科学普及出版社, 1995.
- [50] 陕西工业大学水利系. 农田水利管理[M]. 北京: 中国工业出版社, 1961.
- [51] 陈炯新. 灌区量水工作手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
- [52] 水利部农村水利司等. 节水灌溉工程实用手册[M]. 北京: 中国水利出版社, 2005.
- [53] 李英能. 恒压喷灌泵站设计中的几个问题[J]. 喷灌技术, 1995, (2).
- [54] 李法虎. 田间土壤水分监测方法及原理介绍[J]. 灌溉排水, 1995, (3).
- [55] 胡占国, 赵福卿, 成兴广. 现代灌溉管理学[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1992.
- [56] 李英能. 自动调压喷灌泵站[A]. 喷灌工程设计手册[C]. 北京: 水利电力出版社, 1989.
- [57] 祖正学. 遥测遥控系统在节水灌溉中的应用[J]. 河南科技, 1989, (12).
- [58] 袁宝霞. 微机自动化在节水工程中的应用与推广探析, 河南科技, 1998, (12).
- [59] 李龙昌, 徐征和, 吕宁江等. 胶东半岛节水农业发展模式[J]. 节水灌溉, 2005, (2): 26-28.
- [60] 徐征和, 于思亭等. 按不同自然和经济条件制定节水模式[J]. 中国农村水利水电, 2001, (10): 17-18.
- [61] 王晓玲, 杜秀文, 刘丽艳, 李英能. 我国井灌建设可持续发展研究[J]. 中国农村水利水电, 2006, (08): 6-11.
- [62] 内蒙古自治区水利厅. 内蒙古小型水利工程100例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [63] 程满金等著. 高寒地区水稻田开发利用与节水灌溉综合技术[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 2003.
- [64] 陈明忠. 农业高效用水科技产业示范工程研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005.
- [65] 裴冬, 王振华, 张喜英等. 井灌区节水农业技术集成综合示范节水效益评价-以河北省三河试区为例[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 180-184.
- [66] 汪有科, 马孝义, 娄宗科等. 杨凌节水农业综合技术体系集成与示范[J]. 水土保持通报, 2005, (5): 90-93.
- [67] 汪有科, 吕雯, 王德轩等. 节水增产灌溉模式研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 153, 178.
- [68] 杨晓茹. 陕西省农业节水灌溉模式探讨[J]. 地下水, 2004, 26(2): 120-122.
- [69] 刘永红等. 现代节水农业技术[EB/OL]. [时吨吨p://www.wy秒kjj.克ov.cn/Ar吨icle/j秒j秒.时吨米](http://www.wy秒kjj.克ov.cn/Ar吨icle/j秒j秒.时吨米), 2007-05-28.
- [70] 石廷琪. 海南省主要节水灌溉模式及技术要点浅析[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(4B): 80-81.
- [71] 林道钊. 海南省水稻高产节水灌溉技术研究[A]. 李远华, 王晓玲, 段爱旺等. 2006年全国灌溉试验站网成果汇编[C]. 郑州: 黄河水利出版社, 2006, 78-88.
- [72] 马金虎, 张卫平, 杜守宇等. 宁夏引黄灌区抗旱节水实用技术选编[EB/OL].

- 升]. [2005-11-25]. 时吨吨p://www.nxkj吨. 克ov. cn/zxxx/j秒xb. 时吨米.
- [73] 陈维杰. 集雨节灌技术[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2003.
- [74] 万宝林, 肖俊青. 水资源合理调控利用发展农业节水灌溉[J]. 地下水, 2005, 27(2):81-83.
- [75] 方 生, 陈秀玲. 农业灌溉节水潜力大有可为[EB/0升]. [2007-7-20]. 时吨吨p://www.wa吨er吨ec时. cn/Exper吨/FSCX升20Jie秒时ui. a秒p.
- [76] 徐 洁, 辛鹏科, 刘建平等. 彭阳县雨水集蓄利用技术模式与集雨节灌工程类型[J]. 中国水土保持, 2006(3):31-33.
- [77] 马文林. 宁夏南部山区集雨节灌工程[J]. 水资源保护, 2002, (1):39-42.
- [78] 周华, 杜历, 周伟国. 宁夏河套灌区农业节水分区与模式[J]. 节水灌溉, 2005(2):45-46.
- [79] 杨永辉, 赵世伟, 刘娜娜等. 宁南山区雨水高效利用模式分析[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5):138-142, 158.
- [80] 武福学. 甘肃省集雨节水生产模式研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5):167-171, 235.
- [81] 董锁成, 王海英. 甘肃省定西地区集雨灌溉高效农业模式研究[J]. 兰州大学学报, 2005, 41(5):20-26.
- [82] 李元红. 甘肃中东部雨水高效富集利用模式[J]. 中国农村水利水电, 2004(7):15-16.
- [83] 马章进, 汪自胜. 谈棉花膜下滴灌设计要点[J]. 水利技术监督, 2006, 14(2):40-43.
- [84] 膜下滴灌技术[EB/0升]. [2007-8-22]. 时吨吨p://www.n克x. ne吨. cn/yuanjiao米ei吨i/天ian秒时i/jie米ujie秒时ao/吨20070822_15826. 时吨米.
- [85] 曾慧, 王嵩, 葛刚. 黔西北山区旱作农业可持续发展的现状与对策[J]. 贵州农业科学, 2005, 33(1):91-92.
- [86] 刘慙. 机械化旱作节水农业技术体系研究[J]. 农技推广, 2002(2):4-5.
- [87] 张建国, 薛增来, 刘百宁. 山西农业节水模式研究[J]. 陕西农业科学, 2005, 33(2):8-10.
- [88] 薛进杰, 许瑞虹. 山西农业节水模式探讨[J]. 陕西水利科技, 2006(2):56-57.
- [89] 节水补灌技术[EB/0升]. [2007-9-22]. 时吨吨p://www.w秒a克ri. 克ov. cn/吨ec时_米o天e1/米o天e19. 时吨米1.
- [90] 丁日升, 薛 伟, 周良臣等. 北京市高效节水设施农业典型模式分析[J]. 北京水务, 2007(1):30-33.
- [91] 周明耀. 精确灌溉技术体系研究[J]. 中国农村水利水电, 2001, (12):21-24.
- [92] 辽宁省水利水电科学研究院. 辽西半干旱地区高效节水技术集成示范工程技术研究报告[R]. 2004.
- [93] 林志宁. 灌溉及节水型农业自动化控制系统研究[J]. 甘肃水利水电技术, 2002, 38(1):59-60.
- [94] 香蕉节水节肥一体化技术[EB/0升]. [2007-5-15]. 时吨吨p://www.时ainanbanana.co

[米/qyfw/米ore_view.a秒p?ar吨icleID=3416.](#)

- [95] 吴政文, 王欣, 刘新泉. 微灌施肥技术及其在香蕉种植中的应用[J]. 中国热带农业, 2006, (2): 38-39.
- [96] 洗昌清, 王振兴, 刘丽艳等. 海南省香蕉微喷灌技术示范研究[J]. 中国农村水利水电, 2003, (12): 61-62.
- [97] 史鉴. 对陕西省节水灌溉发展思路的探讨[A]. 吴普特, 蒋定生, 汪有科等. 中国西北地区水资源开发战略与利用技术[C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001, 132-137.
- [98] 山东省水利科学研究院等. 农业节水模式研究与示范[R]. 2000.
- [99] 陕西省水工程勘察规划研究院. 陕西省节水灌溉“十五”发展计划及2015年发展规划[R]. 2000.
- [100] 孙惠民, 程满金, 郑大玮等. 北方半干旱集雨补灌旱作区节水农业发展模式[J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1072-1076.
- [101] 马孝义, 李坤. 陕西省集雨节灌工程发展模式与对策[J]. 水土保持通报, 2000, 20(5): 42-45.
- [102] 王印平. 甘肃省节水灌溉发展模式初探[J]. 甘肃农业, 201(8): 28-30.
- [103] 梁彦信. 景电高扬程灌区节水灌溉模式的选择初探[J]. 甘肃水利水电技术, 2005, 41(1): 79-81.