第1章 概 述

水资源日益紧缺已经成为全球性问题，节约用水并实现高效用水是人类生存与发展的需求，也是全球经济社会发展的需求，很可能水资源会成为继石油资源之后人类所面临的又一紧缺资源，这是我们不容回避的现实。我国作为贫水国家之一，加之人口众多，又正值经济建设发展初期，对水资源的需求日益增多，实施节水战略更为迫切。从用水的客体来讲，农业是用水大户，自建国以来，我国政府与人民经过艰苦卓绝的努力，使得农业用水由 1949 年的占全国总用水量的 97% 降低到目前的 70% 左右，但与发达国家相比仍有较大差距，灌溉用水效率仍很低，仅维持在 0.4 左右，而一些发达国家则高达 0.7～0.8，伴随着我国经济建设的发展，工业、生活用水还将会有较大的增长，农业用水这种“高消费”的不合理局面已经不可能再持久下去，为此国家提出了要把节水灌溉当做一项革命措施来抓的战略。农田灌溉是农业用水大户，以提高农业用水效率为目的的节水灌溉技术的推广与应用，已经成为我们目前的一项重要工作。强化节水灌溉技术科学研究、提升节水灌溉技术科技含量，是确保该项工作顺利开展的前提和支撑。将先进的、且在其他行业已基本成熟的技术应用到节水灌溉领域也是提升节水灌溉技术水平的一项重要工作，这也正是我们编写这部《节水灌溉与自动控制技术》一书的基本思想。

1.1 我国水资源现状与用水结构分析

水资源日益紧缺已经对我国经济社会发展构成了严重威胁，甚至成为经济社会发展的“瓶颈”。我国多年平均降水总量为 6.2 万亿 m^3，除通过土壤水直接利用于天然生态系统与人工生态系统外，可通过水循环更新的地表水和地下水的多年平均水资源总量在 2.8 万亿 m^3。按 1997 年人口统计，我国人均水资源量为 2 220m^3，预测到 2030 年我国人口达到 16 亿时，人均水资源量将降低到 1 760m^3。按国际上一般承认的标准，人均水资源量小于 1 700m^3的为用水紧张国家。因此，未来我国整体上水资源面临的形势是非常严峻的。

1.1.1 我国水资源基本现状

我国水资源空间分布很不均匀，北方水资源贫乏，南方水资源相对丰富，南北相差悬殊。长江及其以南地区流域面积占全国总面积的 36.5%，却拥有占全国 80.9% 的水资源总量，长江以北地区流域面积占全国总面积的 63.5%，拥有的水资源量仅占全国的 19.1%。即使在北方地区，水资源的空间分布和土地资源也极不相配。黄河、海河、淮河三流域的土地面积占全国的 13.4%，耕地占 39%，人口占 35%，国民生产总值（GDP）占 32%，而水资源量仅占 7.7%，人均水资源量约 500m^3，耕地每公顷水资源少于 6 000m^3，是我国水资源最为紧张的地区。西北内陆河流域的土地面积占全国的 35%，耕地占 5.6%，人口占 2.1%，GDP 占 1.8%，水资源量占 4.8%，该地区属干旱区，但因人口稀少，人均水资源量约 5 200m^3，耕地每公顷水资源量约 24 000m^3。据统计，1997 年我国水资源开发利用率平均为 19.9%，而黄河流域超过 50%，海河流域接近 80%，已经超过 40% 的水危机标准。因此，我国部分地区已经进入严重的水危机状态，水的问题到了不得不引起人们高度重视的地步。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

我国不但水资源紧张，而且用水效率又极其低下，用水浪费现象更是普遍存在。我国目前的用水量和美国相等，但 GDP 仅为美国的 1/8，全国农田灌溉水利用系数仅为 0.4 左右，而先进国家为 0.7～0.8。1997 年全国工业万元产值用水量为 136m^3，是发达国家的 5～10 倍。工业用水的重复利用率据统计为 30%～40%，实际可能更低，而发达国家为 75%～85%，全国多数城市用水器具与自来水管网的浪费损失率估计在 20%以上。以全球 6%的可更新水资源，9%的耕地资源，保障了占全球 22%人口的温饱和经济发展，一直是我们引以为荣的状举。面对 21 世纪我国发展的战略目标，我国的水资源能否支持将来 16 亿人口的食物安全，能否支持经济社会的可持续发展，引以为荣的壮举能否保持下去等，一直是党和政府，乃至全国人民非常关心的大事。

1.1.2 我国用水结构与发展态势

上述分析表明，我国水资源已经十分紧张，如果不实施节水战略则很难维持经济社会的可持续发展，那么，我们国家到底每年能用多少水？用在什么地方？我们每年能提供多少水等？则是一个非常重要的问题，这也是研究节水灌溉的基础。纵观我国水概况，用水结构以及发展趋势，概括起来，大致有以下 3 个特点。

(1) 近期我国年供水量将基本维持在 5 600 亿 m^3，不会有过大的增长。建国 50 多年来，党和政府领导全国人民进行了规模空前的水利建设，全国累计修建加固堤防 25 万 km，建成大中型水库 8 万余座，初步控制了大江大河的常遇洪水，形成了 5 600 多亿 m^3 的年供水能力，全国用水量从 1949 年的约 1 000 多亿 m^3 增加到 1997 年的 5 566 亿 m^3。灌溉面积从 0.16 亿公顷扩大到近 0.53 亿公顷（包括农、林、牧），并为城市和工业的发展提供了水源，人均综合用水量从不足 200m^3 增加到 458m^3，这些巨大成就为保障我国经济迅速发展和社会长期稳定创造了条件。但 5 600 亿 m^3 的年供水能力在未来 20 年内不会有过大的增长。

增加供水量不外乎有以下途径，一是建设蓄水、引水和提水工程；二是在技术经济合理与生态环境无害的前提下，合理开发地下水资源；三是废污水处理回用；四是开发替代水资源，如海水替代淡水，山区雨水集流工程等。研究结果表明，扣除生态环境用水后，全国实际可能合理利用的水资源量约为 8 000 亿～9 500 亿 m^3，这也是我国可合理利用水资源量的极限值。我国地下水资源的合理利用量大约在 1 300 亿 m^3 左右，但目前实际开采地下水量以达到 1 030 亿 m^3（1997 年），而且西北和华北地区多年平均超采地下水量约 80 亿 m^3，依靠开采地下水来增加供水量是非常有限的。废污水处理回用和开发替代水资源受技术因素限制，也不会有大的增长，增加供水量将主要依靠蓄水、引水和提水工程，但投资巨大。据有关研究资料表明，到 2030 年、2050 年，我国年供水量将有可能分别达到 6 640 亿 m^3 和 7 500亿 m^3。因此，在近期内，甚至 10～20 年之内，我国年供水量将基本维持在 5 600 亿 m^3，这是我们思考我国节水灌溉战略的前提。

(2) 我国农业年用水量将基本控制在 4 000 亿 m^3 左右，但必须满足 16 亿人口的食物安全问题。农业用水主要包括农田、林业、牧业的灌溉用水及水产养殖业、农村工副业等用水。农田灌溉用水是农业的主要用水和耗水对象，农田灌溉用水占农业用水量的比例始终保持在 90%以上。目前农业用水占总用水的比重较高，但其发展趋势是不断降低，从 1949 年的 97.1%逐步降低到目前的 70%左右。尽管总用水量有所增加，而农业用水量近 20 年来基本稳定在 4 000 亿 m^3 左右，但粮食总产却逐步增加。1980 年全国粮食总产 3.2 亿吨，1996 年首次达到 5 亿吨，之后，基本稳定在 5 亿吨左右。即 20 年来粮食总产在农业用水量基本稳定在 4 000 亿 m^3 左右的前提下增加了 1.8 亿吨，其主要贡献在于技术进步，投入与管理

等因素。按此速度，伴随着科学技术的进步，投入的增加，以及管理水平的提高，到 2030 年，经过 30 年的发展预计我国仍可能做到在农业用水总量零增长的前提下，增产 2 亿吨粮食，使粮食总产达 7 亿吨，满足 16 亿人口的食物安全需求。

另据《全国中长期供水计划研究报告》，从长远发展分析，尽管总供水量可能有所增加，但农业用水量将基本保持在 4 000 亿 m^3 左右，增幅有限。中国工程院研究结果表明，我国用水的高峰将在 2030 年左右出现，但农业用水总量与现在规模相仿，为 4 200 亿 m^3 左右。考虑到工业的飞速发展，以及城市化过程的加快，将农业用水总量控制在 4 000 亿 m^3 左右是比较合理的。

(3) 农业、工业、生活用水比重在近期内将基本维持在 7:2:1 的水平，其发展态势为农业用水的比重逐渐降低，而工业、生活用水比重逐渐增加，2030 年农业用水比重有可能降低到 60%。

农业、工业、生活用水比重从一个侧面可以反映一个国家或者地区经济发展与文明的程度，也是科技水平的反映标志之一。一般来讲，工业用水比重大，说明工业化程度发达；生活用水比重大，说明文明程度较高；而农业用水比重大，不仅说明其是以农业为主要产业，而且也从侧面反映农业科技较为落后。建国 50 年来，虽然我国农业用水比重一直过高，但随着我国经济建设的发展，一直呈递减趋势，由 1949 年的 97.1%，逐步下降到 1980 年的 88.2%，由 1993 年的 78.0%，一直到 1997 年的 69.1%，1998 年的 69.3% 和 1999 年的 69.1%。基本上从 1997 年以后处于稳定状态，如表 1-1 所示。

表 1-1 近期我国用水构成

年份	用水总量/亿 m^3				用水量构成/%		
	农业	工业	生活	总计	农业	工业	生活
1997	3 920	1 121	525	5 566	70.5	20.1	9.4
1998	3 766	1 126	543	5 435	69.3	20.7	10.0
1999	3 869	1 157	565	5 591	69.2	20.7	10.1

注：数据来源于中国水资源公报。

由表 1-1 可明显看出，自 1997 年后，我国农业、工业、生活用水比重基本保持在 7:2:1 的水平，考虑到近期我国供水量不会有过大增长，这一比例还将维持一定时间。我国农业用水将基本控制在 4 000 亿 m^3 左右，后续增加水量将主要用于工业和生活，农业用水的比重其发展态势是逐渐降低，但与供水量的增加关系密切。预计到 2030 年可供水量达到 6 640 亿 m^3 时，按农业用水 4 000 亿 m^3 考虑，农业用水可降低到 60%。

1.2 我国节水灌溉技术的发展现状

节水农业就是以节约用水、提高农业用水效率为核心的农业，是现代化农业的重要内涵。其核心是在有限的水资源条件下，通过采用先进的工程技术、适宜的农业技术和用水管理等综合技术措施，充分提高农业用水利用率和水的生产效率及效益，保证农业持续稳定发展。面对 WTO 的挑战，节水农业更应赋予其新的内涵，其内涵应扩展为节水、高产、高效、优质的农业。节水灌溉技术是节水农业的核心技术，也是确保节水农业健康发展的关键技术。

节水灌溉技术是发展节水农业的基础性工作，选择适当的技术有助于节水农业的发展；研究开发节水灌溉技术，有助于提高节水农业的效益。因此，我们非常有必要对现状节水灌

溉技术，技术的水平以及技术的适应性，发展现状及存在问题做一认真分析，为真正实现提高农业用水效率和水的生产效率打好基础。

结合我国北方地区特点，认为适宜于北方地区推广应用的节水农业技术主要有，渠道防渗技术、低压管道输水技术、地面灌水技术、喷微灌技术、雨水利用技术、农业节水配套技术、劣质水利用技术及农业节水管理等技术等。

1.2.1 渠道防渗技术

渠道是渠灌区输水的通道，其主要作用在于把灌溉水从水源处安全、快速、高效地输送需要灌溉的田间地头。这是提高灌溉水的一个重要环节，也是减少灌溉水损失的重要措施之一。我国每年因渠道输水渗漏损失的水量高达 1 500 亿 m^3，相当于 3 条黄河的年水量。渠灌区在我国北方占有很大的比重，渠灌区控制面积约占我国北方地区灌溉面积的 2/3 左右，因此，在我国北方地区大力应用推广渠道防渗技术，仍是节水农业发展的一项主要技术措施。

土渠道输水渗漏损失约占引水量的 50％～60％，一些较差的高达 70％。与土渠相比，混凝土护面可减少渗漏损失 80％～90％，浆砌石衬砌可减少 60％～70％，塑料薄膜防渗可减少 90％以上。据有关资料，混凝土衬砌渠道仅 20～30 元/m^2，Φ50U形渠道造价 30～40 元/m^2，砌石类衬砌由于采用当地材料，造价还低于混凝土类。因此，该项技术应为我国北方地区重点应用推广的节水农业技术。

渠道防渗技术是我国应用推广面积较大的一项技术，据统计，我国防渗渠道衬砌总长度 55 万 km，占渠道总长度的 18％，控制面积 0.1 亿 hm^2[1]。纵观目前渠道防渗技术与方法，依据所使用的防渗材料大致可划分为土料压实防渗、三合土料护面防渗、石料衬砌防渗、混凝土衬砌防渗、塑料薄膜防渗和沥青护面防渗等 6 种，其中混凝土衬砌防渗是使用最为广泛的一种渠道防渗措施，可分为现场灌注和预制装配两种施工方式，防渗效果好，使用寿命长，特别是使用混凝土“U”形渠槽防渗还可以提高渠道流速和输沙能力。

我国渠道防渗已经形成了一套相对配套的技术体系，但与世界先进水平相比，仍存在以下问题。(1) 衬砌技术成本较高。(2) 高寒地区渠道衬砌防冻胀技术有待进一步完善与深化。(3) 西北地区一些特殊土如湿陷性黄土，盐胀土或膨胀土等的渠道衬砌尚需要解决适应大变形问题。(4) 我国中、小型渠道开挖与衬砌施工机械性能差，型号少，满足不了生产实际的需要。

1.2.2 低压管道输水技术

低压管道输水技术，简称“管灌”。是利用低压输水管道将水直接输送到田间沟畦灌溉作物，以减少输送过程中水的渗漏和蒸发损失的节水技术。它具有省水、节能、节地、易管理，且省工省时等优点。同时，投资相对较低，采用聚氯乙烯（PVC）管道，每公顷投资 3 750元。以管代渠，可使渠系水利用系数提高到 92％～95％，可使单位面积毛灌水定额减少 30％左右，节约能耗 25％以上。低压暗管输水可减少占地，提高土地利用率，一般在井灌区可减少占地 2％左右，在扬水灌区可减少占地 3％左右；由于输水管道埋于地下，便于机耕及养护，耕作破坏和人为破坏大大减少，加之管道输水速度明显高于土渠，灌溉速度大大提高，可显著提高灌水效率，因而管理方便，省工省时。

我国自 20 世纪 50 年代就开始对管道输水灌溉技术试点应用，至 1997 年，我国北方地

[1] $1hm^2 = 1$ 公顷

区该项技术已推广 266.7 万 hm^2。该技术除在井灌区得到推广应用外，近年来，在渠灌区和扬水灌区也取得了一定进展。管道输水灌溉技术是北方井灌区未来相当长的一段时间内需要加以推广的主导输水技术。

1.2.3 地面灌水技术

我国灌溉面积大约有 97%采用地面灌溉，地面灌溉技术是我国目前应用面积最广的一种灌水技术，也是世界上应用最广的一种灌水技术。如美国 1994 年地面灌溉面积也高达 73.6%；韩国达 99.5%。

自 20 世纪 60 年代开始，在广大北方地区开展地面灌水技术研究与推广工作； 70 年代，提出了小畦灌、长畦灌分段灌及细流沟灌等多种改进后的地面灌水技术，并在河北、河南、山东、陕西等省推广应用； 80 年代后期从美国引进了波涌灌技术，并结合地面覆盖，开发了膜上灌水技术，节水增产效果显著。但我国目前灌溉水利用系数只有 0.4 左右，个别地区甚至更低，田间水利用系数只有 0.6～0.7。据有关研究结果表明，如果操作得当，畦田、沟的规格适宜，田间水利用系数可达到 0.8 以上，灌溉定额可大幅度下降。可见地面灌溉节水潜力非常大。膜上灌较一般地面灌溉可节水 30%以上，最高可达 50%～70%，波涌灌（包括畦灌、沟灌）可节水 10%～30%， 灌水均匀度及储水效率均明显提高，分根交替灌溉可节水 10%～30%。这足以表明地面灌水改进提高应用后的节水潜力。地面灌水技术仍是今后相当长一段时间内，我国北方平原地区应大力应用推广的主要田间灌水技术。

纵观我国目前地面灌溉技术研究水平，不仅与国外先进水平差距较大，而且与生产实际需求也有较大差距，难以满足生产之需要，尚需下大力气加以改进、提高。具体表现在以下几个方面。（1）对地面灌水技术的研究重视不够且研究不深入。（2）对农田水利基本建设投入不足，地面灌溉没有相应的田间工程相配套。（3）管理落后。

1.2.4 喷灌技术

喷灌是喷洒灌溉的简称，是利用专门的系统将水加压后送到田间，通过喷洒器将水喷射到空中，并使水分散成细小水滴后均匀地洒落到田间进行灌溉的一种灌水方法。同传统的地面灌水技术相比较，它具有适应性强，控制性强，且不易产生地表径流和深层渗漏等优点。据有关研究结果表明，喷灌与传统地面灌水技术相比，可节水 30%～50%，甚至更高，且灌溉均匀，质量高；减少占地，能扩大播种面积 10%～20%；不需平整土地，省时省工；并能调节田间的小气候，提高农产品的品质，以及对某些作物病虫害起到防治作用。而且实施喷灌技术，有利于促进灌溉机械化、自动化。但喷灌技术的发展也有其局限性，如受风的影响大，且能耗大，一次性投资高，这是影响喷灌技术快速发展的主要障碍因素。固定式喷灌系统每公顷投资 15 000～18 000 元、半固定式 12 000～15 000 元/hm^2，移动式轻小型机组 3 000 元/hm^2，大型喷灌机 3 000～6 000 元/hm^2。因此，建议喷灌技术的发展一定要和经济效益挂钩，对于那些附加值较高的经济作物，可以提倡发展喷灌，但对于大田作物，则要视经济状况而定，特别是对于那些经济尚不太发达的北方山区、丘陵区更需认真考虑。

尽管如此，由于喷灌技术本身的优点，以及水资源的短缺，经济社会的发展，世界各国均对这项技术非常重视。 1987 年全世界喷灌面积发展到 3 000 亿 hm^2， 1998 年，我国喷灌面积已发展到 86.73hm^2。

我国自 20 世纪 70 年代开始发展喷灌技术，喷灌设备生产已具备一定的规模，生产能力基本上可以满足我国现阶段喷灌发展的需求，甚至还有部分出口。但在产品种类、材质、性能等方面与发达国家仍有相当大的差距。其主要差距在于：（1）关键设备耐久性能差，从而

需要全本请访问 www.ertongbook.com

影响设备的寿命。（2）山丘区喷灌设备配套性能差，还没有形成适合山丘区的喷灌技术体系。（3）节能喷灌设备与设备的系列化标准化程度低。从总体上讲，我国喷灌技术水平正处在从数量型向质量、效益型转变的关键过程，产品数量可满足生产需要，但质量亟待提高。

1.2.5 微灌技术

微灌技术是一种新型的节水灌溉技术，包括滴灌、微喷灌和涌泉灌。微灌具有节水省能、灌水均匀，灌溉可达 80%～90%，并且具有水肥同步、适应性强、操作方便等优点。微灌一般比地面灌省水 30%～50%，甚至超过 60%，比喷灌节水 15%～20%，比喷灌能耗低。由于采用压力管道输水，可适用于山区、坡地、平原等各种地形条件。微灌系统不需平整土地和开沟打畦，可实现自动控制灌水，大大减少了灌水的劳力强度和劳动量。微灌的不利因素在于系统建设的一次性投资太大，且灌水器易堵塞等。对于果园固定式向灌每公顷投资 12 000～15 000 元，大田固定式微灌每公顷投资 9 000～12 000 元，保护地栽培微灌每公顷投资 15 000～18 000 元。因此，其适宜作物尚需同喷灌技术的选择应用一样，要因地、因作物、因区域经济而定，同时，又要考虑微灌本身属局部灌溉的特点。

我国微灌技术自 1974 年开始发展以来，大致经历了引进、消化和试制（1974～1980 年）、深入研究和缓慢发展（1980～1990 年）及快速发展（1990 年以后）三个阶段。目前，在微灌技术领域，我国先后研制和改进了等流量滴灌设备、微喷灌设备、微灌带、孔口滴头，压力补偿式滴头、折射式和旋转式微喷头、过滤器和进排气阀等设备，总结出了一套基本适合我国国情的微灌设计参数和计算方法，建立了一批新的试验示范基地，发展了 3.3 万公顷微灌面积，建立了一批微灌设备企业。初步估计，我国微灌设备产品的生产能力，从数量上讲，完全可以满足我国发展微灌的需要，但从质量上比较，仍与国外先进水平存在较大差距，这也是我国目前大量微灌产品依靠进口的主要原因。具体表现在以下几个方面。（1）微灌设备种类少，性能差、工艺水平落后，材质不耐老化。（2）水净化技术未彻底解决。（3）对微灌技术的适应作物尚有一定争议。（4）管理水平差。

1.2.6 雨水利用技术

雨水利用技术实质是雨水资源化的过程，它是以降雨地表径流调控为手段，提高雨水的利用率和利用效率的一项技术。从实现的手段来看，它可以划分为大气降水调控（如人工增雨技术）、地表径流调控（如雨水汇集利用技术）和土壤入渗调控技术（如强化土壤入渗技术）。从利用的方式上看，可分化雨水就地利用技术（将雨水就地直接转化为土壤水）、叠加利用技术（将多个地块雨水叠加于某一地块之上）和异地利用技术（通过提高地表产流能力，将径流引入人工存储设施中备用）。是一项投资低廉、发展迅速的技术，特别是 20 世纪 80 年代后期以来，在干旱频发、水资源日益紧缺的情况下，这项技术得到了迅猛发展。

雨水利用技术具有非常明显的区域特征。目前，我国雨水利用技术主要集中在干旱半干旱地区的山丘区，巴山地区、喀斯特地区，且主要应用于生活用水和农业用水。比较成功的范例有甘肃的 121 集雨节灌工程、内蒙的 112 集雨工程、宁夏的窑窖农业，以及陕西的窖灌农业工程等。主要采取硬化路面，或修筑人工集雨场，强化地表产流强度，修筑存水设施存储地表径流，采用先进灌水技术灌溉农田，提高水的利用率和利用效率。工程实施多采用政府资助、群众投资的方式，大约每窖政府补助 300～500 元。该项技术效益十分显著，根据中国科学院水利部水土保持研究所在甘肃省定西县 3 年田间试验结果，对于春小麦在苗期和拔节后期采取滴灌技术补灌 2 次，次灌水 150～450m^3/hm^2，增产 23%～62%，灌水利用效率达到 3.25～4.8kg/m^3，膜下滴灌条件下，玉米抽雄扬花期补充灌水 225～300m^3/hm^2，灌

水利用效率达到 3.25～6.88kg/m^3。

从总体上看，这项技术有很大的应用前景，但尚有诸多问题未得到深入解决，具体表现在（1）雨水资源的适宜开发程度。（2）不同区域雨水资源的开发利用模式。（3）雨水利用技术与设备。（4）雨水利用的应用基础研究。（5）雨水利用工程的管理。

1.2.7 农业节水配套技术

为了充分、高效利用农作物根层的水分，达到作物增产的目的，采用的所有农业技术，称之为农业节水配套技术。主要包括节水增产的水肥综合管理技术、蓄水保墒的耕作技术、适雨种植的作物合理布局，提高作物抗旱能力的栽培技术、秸秆、地膜覆盖的增温保墒技术，采用化学药剂抗旱、保墒技术，保水剂的应用技术以及节水抗旱作物品种的选育、选用技术等。

在以传统工程概念为主要手段，依靠工程技术方法所产生的节水技术的基础之上，所发展起来的农业节水增产配套技术，充分发挥综合优势，实现节水、高产、高效是当今世界各国研究的一个重点，也是重要发展方向之一。技术的核心在于，通过水肥综合管理实现水肥综合利用效率的同步提高，达到节水增产的目的，这些已经受到世界各国的普遍重视。

近年来，随着生物技术的发展，生物节水调控技术也迅速发展，并开始在节水农业中应用。如通过根源信号传输水分，调节控制作物有效光合，增加蒸腾，依靠水分的供给实现上述调控过程，以达到节水、增产，实现高水分生产效率的目的。

如何实现各种农业节水增产技术的最佳组合，形成技术整体优势，是目前世界各国家均十分重视的一个研究课题，也是至今仍没有很好解决的一个难题。

不论与世界发达国家相比，还是从农业生产实际需求以及技术的研究与应用方面，我国均有较大的差距。主要表现在以下几个方面。（1）各种节水灌溉条件下的水肥运动、吸收、转化利用规律，耕作保墒、覆盖保墒技术如何与节水灌溉技术相结合，从而形成整体优势与配套技术体系等方面研究不够深入。（2）各种单项农业节水增产技术如何在不同作物，及不同节水灌溉条件下应用，虽有研究，但尚无定论，未形成规范化、标准化技术体系。（3）生物节水调控技术理论上虽有一定研究，但如何在生产中应用尚有一定距离，特别是转基因技术在节水抗旱品种选育方面的应用研究，与国外差距甚大。（4）现有技术的组装、集成、配套，甚至在此基础上的创新，以及在生产中的应用方面，也存在诸多问题，未能很好解决。（5）化学调控技术也有较大差距。

1.2.8 劣质水利用技术

据有关统计数据，1997年全国建制市污水排放量为351亿m^3，而同期我国污水的处理能力按满负荷运算，也仅有47亿m^3，在水资源日益紧张的今天，这部分水源对于城郊节水农业的发展也不失为一笔相当大的资源。

根据我国北方地区的特点，劣质水在农田灌溉中的应用主要有以下三种。一是城市污水；二是水矿化度较高的苦咸水（矿化度大于3g/L）；三是高含沙量浑水。在劣质水开发利用方面已有较为成功的经验，如高含沙浑水淤灌技术在西北黄土高原已得到较为广泛的应用。关于城市污水灌溉问题目前研究较少，尚未发现突破性进展。从目前技术的发展水平来看，高含沙浑水淤灌技术相对成熟，苦咸水灌溉有一定研究积累，仍尚深化，而城市污水灌溉研究相对薄弱。根据生产需要，需研究下列问题。（1）高含沙浑水灌溉技术体系。（2）苦咸水灌溉技术体系的进一步完善。（3）城市污水利用灌溉问题。

1.2.9 节水灌溉管理技术

节水灌溉管理技术是指根据作物的需求规律控制、调配水源，以最大限度地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技术。包括土壤墒情监测与预报技术、节水高效灌溉制度的制订，以区域总效益最佳为目标的灌溉预报技术、输配水与灌水量的量测和调节控制技术几个方面。

节水高效灌溉制度是灌溉管理技术的基础，它是根据作物的需水规律，把有限的灌溉水量在灌区内及作物生育期内进行最优分配，达到高产、高效的目的。从 20 世纪 50 年代开始，我国在此方面研究比较深入，编制了全国主要农作物需水量等值线图，建立了全国灌溉试验资料数据库。近年来，我国又开始节水高效灌溉制度研究，总结了一些非充分灌溉技术、抗旱灌溉技术、低定额灌溉技术和调亏灌溉技术等，并在生产中发挥了一定作用。

关于灌溉预报研究，从 20 世纪 80 年代后期开始，世界上许多学者致力于此项工作。近年来国内有不少学者对作物需水量的预测方法和模型做了一些研究，有些模型的理论和实用性均较好。

就世界范围而言，许多国家，尤其是发展中国家，灌溉量水及水位调节控制是很粗糙的，甚至不可行。目前，使用和研制出的量水设备很多，但多用于实验室、城镇供水、工业系统，很少适用于灌溉系统。

纵观我国节水灌溉管理技术水平，虽在理论研究上差距不大，但应用技术研究差距尚大，具体表现在以下几个方面。（1）土壤墒情监测技术与设备，及土壤墒情预测技术。（2）非充分灌溉条件下的节水高效灌溉制度，特别是不同节水灌溉技术，如喷微灌等条件下的节水高效灌溉制度。（3）适合于我国国情的节水灌溉预报技术。（4）抗干扰和泥沙淤积能力强、水头损失小的实用量水技术与设备，尤其是智能化、自动化程度较高的量水技术与设备。

通过上述分析，我们初步可得出如下结论。

（1）渠道防渗技术、管道输水灌溉技术，以及地面灌水技术是我国北方灌区节水农业发展的三大支撑技术，必须大力推广。但目前尚有诸多问题需要深入研究，尤其是地面灌水技术。

（2）喷微灌技术无疑是节水、高效、高产的节水农业技术，也是我国北方地区节水农业技术的发展方向与重点。但不应一哄而上，贪大求洋，搞“面子”工程建设。目前应集中力量研究质优、价廉、技术性能可靠的国产设备，并尽量使其系列化、规范化、标准化，为下一步更大面积应用推广创造条件。

（3）雨水利用技术是我国北方山区、丘陵区节水农业发展的主要技术方式，但技术尚不完善，需进一步研发，形成配套技术体系，并要与生态环境建设密切结合。

（4）农业节水增产配套技术是提高作物水分生产效率的重要环节，必须引起高度重视，克服过去那种重工程节水，轻农艺节水的片面观点。但目前单项技术相对成熟，如何组装、集成、配套、凝炼，并进而创新，形成与节水灌溉技术相配套的技术体系，或技术模式仍是今后亟待加强研究的重要课题之一。

（5）节水灌溉管理技术是今后相当长时期内节水农业研发的主要技术之一。

（6）劣质水利用技术，包括苦咸水、城市污水及高含沙浑水利用，是我国北方地区亟待开发利用的水源，也是提高我国北方地区污水灌溉农田作物品质的重要手段。但此方面研究与应用较为薄弱，亟待加强。

面对 WTO 的挑战，节水农业的内涵应从节水、增产、高效，扩展为节水、增产、高效、优质。以此为目标，尽快建立符合国情的中国节水农业技术体系已成为我国当前节水发展的首要任务，也是确保我国北方地区，乃至全国节水农业健康发展的重要保证。

1.3 我国节水灌溉工作存在问题与研究工作重点

纵观我国节水灌溉工作，概括起来，大致存在以下 4 大问题，具体表现如下。

1.3.1 节水虽得到高度重视，但行业之间协调不力，缺乏整体思路

伴随着水资源的日益紧缺，节水工作愈来愈受到重视，“大力发展节水农业，把节水灌溉当做一项革命性措施来抓”已写进了党中央、国务院的文件。与此同时，国家对节水，尤其是节水农业等也投入了大力的资金，包括科学研究、技术研发以及试验示范、工程建设等，并取得了显著成绩。但就目前实际运作看，似缺乏整体思路。具体表现在，就节水农业来讲，缺乏整体的技术布局，尤其是和区域以及作物结合起来，实际状况是为了节水而节水，往往是什么技术节水效益好就首选哪项技术，而不考虑国情、区情，甚至投资与效益。这种现象在县一级最为普遍，如某市投资 200 多万元，搞了 200 多公顷移动式喷灌工程灌溉草场，但运行过程问题颇多，一是节水效益不明显；二是能耗过大，政府甚至计划将其改为管道灌溉。究其原因不外乎两个方面，如果不是技术本身有问题，就是技术的管理与灌溉的技术适宜性出了问题。产生这种现象的主要原因在于节水农业的发展尚缺乏统一的思路，也就是说节水农业到底应该如何搞？应用什么样的技术，尤其是不同区域，作物种类不同等。这是我国目前节水农业发展的最大难点，加之部门之间的协调不力，尤其是农业技术与节水技术的实质性结合仍存在缺憾，这在某种程度上制约了节水农业的发展。

此外，节水本身是一项大的系统工程，不单单是节水农业的问题。水资源短缺是一种普遍现象，要缓解这一现象，不能仅仅依靠农业节水，各行各业均要树立节水意识，因此，从总的思路上来考虑，应该是农业、工业、生活用水均要实施节水，但目前我们的节水从农业、工业、生活节水三方面综合考虑还没有统一思路。由于农业、工业、生活用水分属不同行业管理，行业之间难以协调，即使农业用水，也因行业之间关系，水利与农业措施也未得到很好的综合，致使节水工作国家尚缺乏总体思路。

1.3.2 节水虽有一定科学积累，但未形成整体优势

我们国家在节水技术方面还是有比较雄厚的科学积累，尤其是在灌溉的理论研究方面，包括土壤-植物-大气系统中水的传输理论，甚至在国际上还处于领先地位，也有比较成熟的实用技术，并在生产中已经推广应用。但从技术本身来看，我们存在两大问题，一是单项技术相对成熟，但未形成技术体系，综合技术水平较低；二是实用技术相对成熟，但高新技术研究薄弱。具体表现在，我们所研究的任何一项技术，就其技术本身来讲，似乎都很有效益，也相对较为成熟，但在生产实际应用中，就不是那么回事，往往与实验结果相差甚远，究其原因，主要是单项技术未进行综合，未发挥出整体优势。如在节水农业技术的应用推广中，往往人们重视节水灌溉技术，而忽视农艺技术，虽然我们省水了，但由于耕作管理不善，往往并未产生出令人满意的效果。这是目前节水农业发展过程中普遍存在的问题。

我们实用技术相对成熟，尽管还未形成综合技术体系，但仍可以在生产中应用。随着科学技术的进步，技术仍在不断提升，高新技术的应用将是未来发展的主要方向，这恰恰是我们的薄弱环节，例如，污水利用技术、现代控制技术在节水中的应用等。甚至在有些方面我们的研究还滞后于生产，例如节水灌溉条件下的灌溉制度，绿地保护地的灌水方法与技术，

甚至雨水利用技术等。因此有些技术生产中已广泛应用，并大规模展开，但尚有许多科学问题与技术问题未得到彻底解决。

1.3.3 管理水平落后，缺乏用水标准

管理的核心问题实际上是确保技术规范化实施，管理水平的高低直接影响着技术效益的发挥，管理又直接与技术规范、标准等有着密切的关系。至今为止，在节水农业方面，我们虽然有了一些技术规范和标准，但大多为工程技术方面，对于农艺技术、管理技术方面仍几乎是空白。事实上管理方面有好多科学问题与技术问题，如水资源的科学调配，合理的用水量及其用水时期，用水标准等， 上述问题的实施，首先需要解决信息采集问题，但关于量水技术即用水量信息的采集技术仍未很好解决，不同行业，甚至不同行业内部的用水标准也未建立，这严重影响了我国节水工作的实施。

1.3.4 政策法规不健全，投资体系不完善，节水实施不力

节水政策体系与法律法规体系不健全，尤其水价政策，水商品政策，以及配套的法律法规等几乎属于空白，即使有一些政策，也因监督实施不力，未能发挥很好的作用。这样，就导致了产业部门及用户节水意识淡漠给节水工作的实施带来一定的影响。加之我国节水投资体系不健全，政策不配套，好多资金实际并未到位，也影响了节水工作的顺利进展。在农业节水方面，“九五”期间，国家决定在全国建立 300 个节水增产示范县，为了建设这 300 个节水示范县，全国共投入资金 250 亿元，其中地方政府及各级财政投入专项资金约 70 亿元，国家农业发展银行和中国农业银行发行专项贷款 53 亿元，群众自筹资金 127 亿元。中央和地方财政共安排了贴息资金 3.16 亿元。但资金实际到位率较低，尤其是地方资金。

前几年，国家搞高标准节水示范县工程，每省每年安排 2～4 个县，1 个县 100 万元。但这笔钱真正花到兴建节水灌溉工程上的不到 50%。如 1998 年某县，以 100 万元高标准节水示范工程款仅搞了 3.33hm^2 工程，其他钱挪作了他用。 1998 年另一个县 100 万元高标准节水示范工程款，花了 45 万元搞了 27hm^2 苹果喷灌工程，其他钱则不知去向。下拨资金缺乏健全的监督审计制度，使用效益差

上述分析表明，水资源短缺已经成为不可逆转的事实，要确保我国战略目标的实现，不走节约用水的道路肯定不行。因此，节约用水应成为我们的一项战略措施。应将节水思想贯穿于各个行业，营造一种节水氛围，构建一种新型的节水型社会，以提高水的利用率与利用效率为目标，解决我国水资源短缺问题，确保经济社会可持续发展。科学技术是第一生产力，也只有把科学技术应用到生产实际之中才能够转化为生产力。科技成果转化率的高低直接与选题有关，国际上公认的科学研究的一般规律是选题来源于市场，来源于生产实际的需求。节水已经成为威胁我国生存与发展的重大问题，科技节水又作为综合节水实施的引导和支撑，其在节水工作中所起的作用是显而易见的。因此加强科技节水工作势必会对我国节水工作的顺利进展起到一个显著的促进作用。

针对我国节水灌溉发展现状，以及节水科技水平与实际需求，近期我国科技节水工作的重点宜放在以下几个方面。

(1) 加强国家节水战略研究，理清节水思路，制定我国节水科技发展规划 以农业、工业、生活节水为主要内容的综合节水工程的实施，到底应该怎么做？需要解决哪些科技问题？如何解决上述问题等。至今仍未解决，包括政策节水中的一些战略问题也没有得到解决，这一直是我们国家相对薄弱的环节， 应亟待加强。上述问题的解决需要做大量细致的研究、分析和调研工作，但上述问题不解决，又将直接影响节水工作的进程。

（2）加强节水工作中的科学问题的研究　据所掌握的情况，节水工作中尚有诸多科学问题需要研究。过去我们研究的作物灌溉制度多是在充分灌溉条件下建立的，那么非充分灌溉条件下到底应该如何灌溉，雨水利用到底应有多大潜力，会不会对环境造成影响，新的灌水理论，经济、合理、科学且节水的区域作物种植结构，不同行业，行业内部不同机构，以及不同作物的用水定额，用水标准等诸多科学问题，均未深入研究。

（3）节水技术研究　这里包括两大问题，一是未对现有技术进行很好地组装、集成、凝练，并在此基础上创新，形成可在生产中应用的技术体系；二是对节水高新技术的研究重视不够，科技超前意识不浓。为此，我们对于节水技术的研究必须两手抓，两手都要硬。一是强化现有技术的组装、集成、凝练，并在此基础上创新，形成产业部门可直接应用，并可以产业化的平台技术研究；二是强化高新技术研究，包括现代高新技术在节水技术中的应用，以及源头创新技术研究。它要包括符合国情的节水技术体系，如农业节水应重点强化以渠道防渗技术与管道输水技术为核心的输水技术体系，以地面灌水与现代农业相结合的灌水技术体系，以喷微灌与高效栽培技术相结合的高效农业技术体系，以雨水资源利用与旱作农业相结合的特色农业技术体系，以及现代节水技术设备的研发等为重点，并进一步探讨信息技术、自动控制技术以及其他高新技术在节水中的应用，探索新的节水技术途径等。

（4）加强技术示范与成果转化　科技的作用在于引导、示范，并尽而转化，形成产业。节水工作近期还应强化技术的引导与示范作用，要将成套技术进行示范，形成模式。对产业进行引导，但示范工程一定要精，而且符合国情，不必过分追求面积的大小，要有可操作性，形成模式。可以在不同区域建立符合区情的区域示范工程，还可在技术密集区建立综合节水示范工程。同时，要加快科技成果的产业化步伐，积极引导企业投入到节水产业行列，培育扶持一批节水科技企业，振兴民族工业。

（5）强化政策节水力度，建立健全节水政策与法律法规体系，营造节水型社会氛围政策节水一直是我们国家的弱项，事实上好的政策是事情成败的关键。为此，我们必须强化政策节水力度，进一步提高水权、水价与水商品意识，强化政策节水研究力度与实施力度，不同行业，不同区域实施不同的水价政策，并对节水制定相关的法律法规，战略节水、效益节水与强制性节水并重，营造一种节水型社会氛围。从某种程度来讲，政策节水是我们国家节水工作中最迫切，也最为重要的一项工作，政策节水力度的大小将直接取决于节水效果的好坏，应引起高度重视。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第 2 章　节水灌溉技术

节水灌溉技术是指灌溉水（包括降水）进入农田后，通过采用良好的灌溉方法，最大限度地提高灌溉水利用率和利用效率的灌溉技术。好的灌水技术不仅灌水均匀，而且节水、节能、省工，使土壤保持良好的物理化学性状，提高土壤肥力，从而获得最佳效益。

节水灌溉技术一般包括地面节水灌溉技术、喷灌和微灌等新的灌水技术，其中地面节水灌溉技术包括小畦“三改”灌水技术、长畦分段短灌、宽窄式畦沟结合灌溉、薄膜覆盖灌溉、涌流灌溉等；新灌水技术包括喷灌和微灌，其中微灌又包括滴灌、微喷灌、涌泉灌溉（小管出流灌溉）和脉冲灌溉等。由于喷灌、微灌技术大多通过管道输水，并需要一定压力而进行，也称压力灌。

2.1　地面节水灌溉技术

地面灌溉是最古老的，也是目前世界上采用最普遍的农田灌溉技术措施。据统计，全世界采用地面灌水方法进行灌溉的面积占总灌溉面积的 90％左右；我国现有灌溉面积的 98％也是采用地面灌水方法。

地面灌水方法是使灌溉水通过田间渠沟或管道输入田间，水流在田面上呈现连续薄水层或细小水流沿田面流动，主要在重力作用兼毛细管作用下下渗、湿润土壤的灌水办法，所以也称重力灌水办法或全面灌水办法。

根据灌溉水向田间输送的形式和湿润土壤的方式，地面灌水方法可以分为畦灌、沟灌、漫灌和淹灌等四种。它们具有灌水方便、成本低、节能等优点；但同时也存在灌水定额大、均匀性不高、深层渗漏严重、劳动强度较大等问题。

旱作物对地面灌溉节水技术有一些基本要求。

（1）保证实现定额灌水　采用的地面灌水方法应能满足作物生长发育对水分的需求，遵循科学的灌溉制度，按照计划灌水定额，适时适量地对作物进行灌溉。

（2）田间水的有效利用率高　采用的地面灌水方法应能控制田间灌水全过程中各种水量的损失；合理而有效地利用灌溉水。严禁田面水流跑水、串灌、流失、废泄；避免产生深层渗漏，尽量减少灌水后表层土壤强烈蒸发。

（3）田间灌水均匀度高，灌水质量高　采用的地面灌水方法应使田面受水均匀，计划湿润层的深度大致相同；避免计划湿润层内水分过多或者不足；维持适宜的土壤溶液浓度，避免土壤养分流失；尽量不冲刷田间表层土壤，不破坏土壤结构，保持土壤疏松。

（4）高效低耗，灌水成本低

（5）方便与农业技术措施密切配合。

（6）简单经济，便于推广。

十多年来，我国广大灌区为了杜绝大水漫灌、大畦和大块漫灌，节约灌溉水，提高灌水质量，降低灌水成本，推广应用了许多先进的节水型地面灌溉技术，取得了明显的节水和增产效果。

2.1.1 小畦“三改”灌水技术

小畦“三改”灌水技术，即“长畦改短畦，宽畦改窄畦，大畦改小畦”的灌水方法，其关键是使灌溉水在田间分布均匀，节约灌溉时间，减少灌溉水的流失，从而促进作物生长健壮，增产节水。

2.1.1.1 小畦灌的技术要点

小畦灌灌水技术的要点是确定合理的畦长、畦宽和入畦单宽流量。小畦灌“三改”灌水技术的畦田宽度，自流灌区为 2～3m，机井提水灌区以 1～2m 为宜。地面坡度在 1/400～1/1 000 范围时，单宽流量为 0.12～0.27m^3/min，灌水定额为 300～675m^3/hm^2。畦长，自流灌区以 30～50m 为宜，最长不超过 80m；机井和高扬程提水灌区以 30m 左右为宜。畦埂高度一般为 0.2～0.3m，底宽 0.4m 左右，地头埂和路边埂可适当加宽培厚。

2.1.1.2 小畦灌的优点

小畦灌的主要优点如下。

(1) 节约水量，易于实现小定额灌水　大量试验证明，灌水定额随着畦长的增加而增大，因此减小畦长可以降低灌水定额，达到节水的目的。

(2) 灌水均匀，灌溉质量高　由于畦田小，水流比较集中，易于控制水量；水流推进速度快，畦田不同位置持水时间接近，入渗比较均匀；能够防止畦田首部的深层渗漏，提高田间水的有效利用率。另外，由于灌水定额小，可防止灌区地下水位上升，预防土壤沼泽化和盐碱化发生。

(3) 减轻土壤冲刷和土壤板结，减少土壤养分淋失　传统的畦灌畦田大而长，要求入畦单宽流量和灌水量大，容易导致严重冲刷土壤，使土壤养分随深层渗漏而损失。因此，小畦灌溉有利于保持土壤结构，保持土壤肥力，促进作物生长，增加产量。

2.1.2 长畦分段短灌灌水技术

小畦灌灌水技术需要增加田间输水渠沟和分水、控水装置，畦埂也较多，在实践中推广应用存在一定的难度。近年来，我国北方干旱缺水地区开始采用长畦分段短灌灌水技术，即将一条长畦分成若干个没有横向畦埂的短畦，采用地面纵向输水沟或塑料薄壁软管将灌溉水输送到畦田，然后自上而下依次逐段向短畦内灌水，直至全部短畦灌完为止。布置如图 2-1 所示。

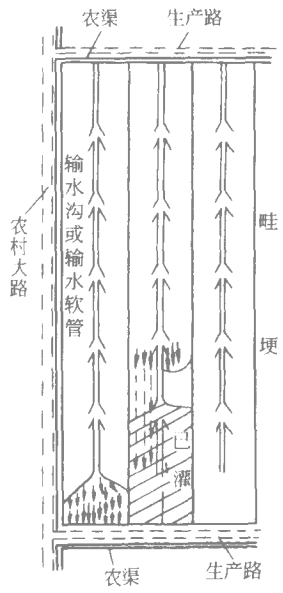


图 2-1　长畦分段短灌示意图

长畦分段短灌若用输水沟输水和灌水，同一条输水沟第一次灌水时，应由长畦尾段的短畦开始自下而上分段向各个短畦内灌水。第二次灌水时，应由长畦首端开始自上而下向各分段短畦内灌水，输水沟内一般仍可种植作物。长畦分段短灌若用低压薄壁塑料软管输水、灌水，每次灌水时均可将软管直接铺设在长畦田面上，软管尾端出口放置在长畦的最末一个短畦的上端放水口处开始灌水，该短畦灌水结束后可采用软管“脱袖法”脱掉一节软管，自下而上逐个分段向短畦内灌水，直至全部短畦灌水结束为止。

2.1.2.1 长畦分段短灌的技术要点

长畦分段短灌技术的畦宽可以宽至 5～10m，畦长可达 200m 以上，一般均在 100～400m 左右，但其单宽流量并不增大。这种灌水技术要求正确确定入畦灌水流量，侧向分段开口的间距（即短畦长度与间距）和分段改水时间。

因此，长畦分段短灌灌水技术，主要是正确确定侧向分段开口间距。根据水量平衡原理和畦灌水流运动基本规律，在满足定额灌水和十成改水的条件下，计算分段进水口间距的基本计算公式如下：

对于有坡畦（块）灌

$$L_0=\frac{40q}{1+\beta_0}\left(\frac{1.5m}{K_0}\right)^{1/(1-\alpha)} \tag{2-1}$$

对于水平畦（无坡块）灌

$$L_0=\frac{40q}{m}\left(\frac{1.5m}{K_0}\right)^{1/(1-\alpha)} \tag{2-2}$$

式中 L_0——分段进水口间距，m；

β_0——地面水流消退历时与水流推进历时的比值，一般取值 0.8～1.2；

q——入畦（块）单宽流量，$m^3/(min\cdot m)$；

m——灌水定额，m^3/hm^2；

K_0——第一个单位时间内的平均入渗速度，m/min；

α——入渗递减指数。

长畦分段短灌灌水技术要素还可以参照表 2-1 确定。

表 2-1 长畦分段短灌法灌水技术要素参考

流量	灌水定额		畦长	畦宽	单宽流量	单畦灌水时间	长畦面积		长度×段数
$/m^3\cdot min^{-1}$	$/m^3\cdot hm^{-2}$	/mm	/m	/m	$/m^3\cdot(min\cdot m)^{-1}$	/min	$/m^2$	$/hm^2$	m×段
0.90	600	60	200	3	0.30	40.00	600	0.06	50×4
				4	0.23	53.30	800	0.08	40×5
				5	0.18	66.70	1 000	0.10	35×6
1.02	600	60	200	3	0.34	35.00	600	0.06	65×3
				4	0.26	47.00	800	0.08	50×5
				5	0.204	58.80	1 000	0.10	40×5
1.20	600	60	200	3	0.22	30.00	600	0.06	65×3
				4	0.30	40.00	800	0.08	50×4
				5	0.24	50.00	1 000	0.1	40×5
1.38	600	60	200	3	0.46	26.10	600	0.06	70×3
			200	4	0.35	34.80	800	0.08	65×3
			200	5	0.28	43.50	1 000	0.1	50×4

2.1.2.2 长畦分段短灌的优点

正确应用长畦分段短灌法，就能达到省水、省地、省工、灌水均匀度高、灌水有效利用率高的目的，具有以下优点。

（1）节水 长畦分段短灌技术可以实现灌水定额 $450m^3/hm^2$ 左右的低定额灌水，灌水均匀度、田间灌水储存率和田间灌水有效利用率均大于 80%～85%，且随畦长而增加，与畦长相等的常规畦灌方法比较，可节水 40%～60%。

（2）省工 灌溉设施占地少，可以省去 1～2 级田间输水渠沟。

（3）适应性强 与常规畦灌方法相比，可以灵活适应地面坡度、糙率和种植作物的变化，可以采用较小的单宽流量，减小土壤冲刷。

（4）易于推广 该技术投资少，节约能源，管理费用低，技术操作简单，易于推广应用。

（5）便于田间耕作 由于田间无横向畦埂或渠沟，方便机耕和采用其他先进的耕作方

法，有利于增产。

2.1.3 宽浅式畦沟结合灌水技术

宽浅式畦沟结合灌水技术，是一种适应间作套种或立体栽培作物，“二密一稀”种植的灌水畦与灌水沟相结合的灌水技术。近年来，通过试验和推广应用，已证实这是一项高产、节水、低成本的优良的节水灌溉技术。

2.1.3.1 宽浅式畦沟结合灌水技术的特点

这项灌水技术的特点如下：

（1）畦田和灌水沟相间交替更换，畦田面宽为 0.4m，可以种植两行小麦（二密），行距 0.1～0.2m。

（2）小麦播种于畦田后，可采用常规畦灌或长畦分段短灌灌水技术进行灌溉，见图 2-2（a）。

（3）小麦乳熟期，每隔两行小麦开挖浅沟，套种一行玉米（一稀）。套种玉米的行距为 0.9m。在此期间，土壤水分不足，可利用浅沟灌水，为玉米播种和发芽出苗提供良好的土壤水分条件，见图 2-2（b）。

（4）小麦收获后，玉米已近拔节期。可在小麦收割后的空白畦田田面处开挖灌水沟，并结合玉米中耕培土，把挖出的畦田田面上的土覆在玉米根部，形成垄梁及灌水沟沟埂，而原来的畦田田面则成为灌水沟沟底，见图 2-2（c）。灌水沟的间距正好是玉米的行距，灌水沟的上口宽则为 0.5m。这样既能牢固玉米根部、防止倒伏，又能多蓄水分、增强耐旱能力。

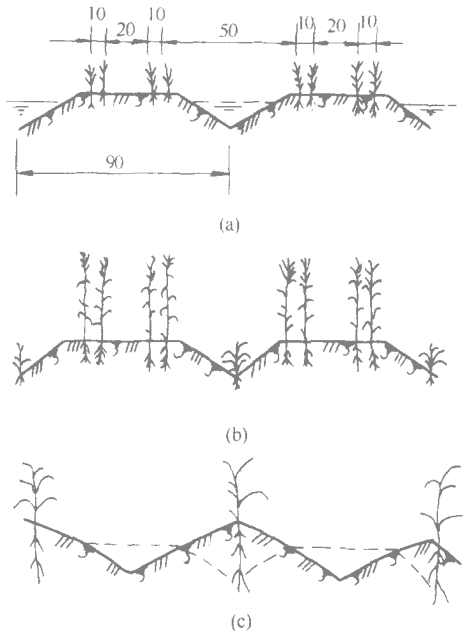


图 2-2 宽浅式畦沟结合条田轮作示意图
（a）小麦播种后畦沟位置（cm）；（b）小麦乳熟期套种玉米；（c）小麦收获后开沟培土

宽浅式畦沟结合灌水方法，最适宜在遭遇天气干旱时，采用“未割先浇”技术，以一水促两料作物。

2.1.3.2 宽浅式畦沟结合灌水技术的优点

宽浅式畦沟结合灌水技术最主要的优点如下。

（1）节水，灌水均匀度高　一般灌水定额为 525m³/hm² 左右，而且玉米全生育期灌水次数比一般玉米地减少 1～2 次，耐旱时间较长。

（2）有利于保持土壤结构　灌溉水流入浅沟后，就由浅沟沟壁向畦田土壤侧渗湿润土壤，对土壤结构破坏少，蓄水保墒效果好。

（3）能促使玉米早播，解决小麦和玉米两茬作物“争水、争时、争劳”的尖锐矛盾和随后秋夏两茬作物“迟种迟收”的恶性循环问题。

（4）施肥集中，养分利用充分，有利于两茬作物获得稳产、高产。

（5）通风透光好，培土厚，作物抗倒伏能力强。

这是我国北方广大旱作物灌区值得推广的节水灌溉技术。但该技术也存在一定缺点，即田间沟、畦多，沟和畦要轮番交替更换，劳动强度较大，比较费工。

2.1.4 地膜覆盖灌水技术

地膜覆盖灌水技术，是在地膜覆盖栽培技术的基础上，结合传统地面沟、畦灌所发展的新型节水灌水技术。它是在地面上覆膜，通过放苗孔、专用膜孔、膜缝等渗水、湿润土壤的局部灌溉技术，适宜在干旱半干旱地区透水性强的沙性土壤中应用。适宜的作物有玉米、瓜菜、甜菜、小麦、高粱和葡萄等

地膜覆盖灌水技术包括膜侧、膜上和膜下灌溉等三类灌水方法，并且各类地膜覆盖灌水方法都有其特征和适用范围。

2.1.4.1 膜侧灌溉

膜侧灌溉又叫膜侧沟灌。膜侧沟灌是一种 早期采用的薄膜灌水方法，是指在灌水沟垄背部位铺膜，灌溉水流在膜侧的灌水沟中流动，并通过膜侧入渗到作物根区的土壤内。膜侧沟灌的灌水技术要素与传统的沟灌法相同，适合于垄背窄膜覆盖，一般膜宽 0.7～0.9m。膜侧沟灌方法主要应用于条播作物和蔬菜。该技术虽然能够增加垄背部位种植作物根系的土壤温度和湿度，但灌水均匀度和田间水有效利用率与传统沟灌基本相同，没有多大改进，并且裸沟土壤水分蒸发损失量较大。

2.1.4.2 膜下灌溉

膜下灌溉可以分为膜下沟灌和膜下滴灌两种。膜下沟灌是将地膜覆盖在灌水沟上，灌溉水流在膜下的灌水沟中流动，以减少土壤水分蒸发。其入沟流量、灌水技术要素、田间水利用率和灌水均匀度与传统的沟灌相同。该方法主要应用于干旱地区的条播作物上 ；保护地中采用该法灌溉可以减少空气湿度，减少和防止病害的发生。

膜下滴灌即把滴灌管铺设在膜下，以减少土壤棵间蒸发，提高水的利用效率。该技术更适合于干旱半干旱地区应用。

2.1.4.3 膜上灌溉

膜上灌溉是目前应用最为广泛的地膜覆盖灌水技术。它是在地膜栽培的基础上，将原来垄背在灌水沟垄背上铺膜改为在灌水沟（畦）内铺膜，灌溉水流在膜上流动，并通过膜孔（放苗孔或专用灌水孔）或膜缝入渗到作物根部的土壤中去的灌水技术。与传统的地面沟（畦）灌相比，膜上灌改善了作物生长的微生态环境，增加了土壤温度，减少了作物棵间蒸发和深层渗漏；土壤不板结、不冲刷，可以大大提高灌水均匀度和田间水有效利用率. 有利于作物节水增产和品质提高。

(1) 膜上灌的形式

①打埂膜上灌　打埂膜上灌是将原来使用在铺膜机前的平土板改装成打埂器，刮出土表 0.05～0.08m 厚的土层，在畦田侧向构筑成高 0.2～0.3m 的畦埂，畦田宽 0.9～3.5m，膜宽 0.7～1.8m。根据作物栽培的需要，铺膜形式可分为单膜和双膜。双膜中间或膜两边各有 0.1m 宽的渗水带，如图 2-3 和图 2-4。这种灌水方法畦面低于原田面，灌水时不易外溢

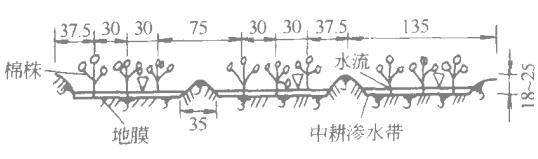


图 2-3　打埂膜上灌（单膜）（cm）

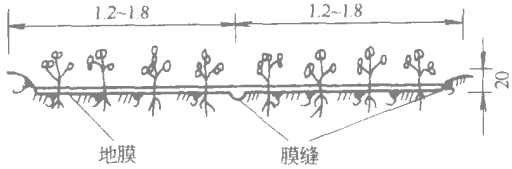


图 2-4　打埂膜上灌（双膜）（cm）

和穿透畦埂，入膜流量可以加大到 0.3m³/min 以上。膜缝渗水带可以弥补供水的不足。目前，这种形式应用较多，主要用于棉花和小麦田上。双膜或宽膜的膜畦灌溉要求田面平整程度较高，以增加横向和纵向的灌水均匀度。

②膜孔灌溉　它是指灌溉水流在膜上流动，通过膜孔（作物放苗孔或专用灌水孔）渗入到作物根部土壤中的灌水方法，可分为膜孔沟灌和膜孔畦灌两种。该法依靠膜孔灌水，无膜缝和膜侧旁渗，灌水均匀度高，对易随水传播的病害有一定的防治作用。专用灌水孔可根据土质不同打单排孔或双排孔，如在轻质土壤上打双排孔，重质土壤上打单排孔。孔径和孔距根据作物灌水定额等确定，根据试验，一般轻壤土、壤土孔径以 0.005m、孔距 0.2m 的单排孔为宜。

膜孔畦灌的地膜两侧必须翘起0.05m 高，并嵌入土埂中，如图 2-5 所示。膜畦宽度根据地膜和种植作物的要求确定，双行种植一般采用宽 0.7～0.9m 的地膜；三行或四行种植一般采用 1.8m 宽的地膜。作物需水完全依赖于放苗孔和增加的渗水孔供给，入膜流量为 0.06～0.18m³/min。这种灌水方法增加了灌水均匀度，节水效果好，适用于棉花、玉米和高粱等条播作物。

膜孔沟灌是将地膜铺在沟底，作物禾苗种植在垄上，水流通过沟中地膜上的专门灌水孔渗入土壤，在毛细管作用下浸润作物根系附近的土壤，如图 2-6 所示。膜孔沟灌特别适用于甜瓜、西瓜、辣椒等易受水土传染病害威胁的作物。果树、葡萄和葫芦等作物可以种植在沟坡上，水流可以通过种在坡沟上的放苗孔浸润土壤。灌水沟规格依作物不同而异，蔬菜一般沟深 0.3～0.4m，沟距 0.8～1.2m ；西瓜和甜瓜的沟深为 0.4～0.5m，上口宽 0.8～1.0m，沟距 3.5～4.0m。

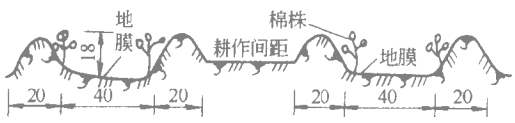


图 2-5　膜孔畦灌（cm

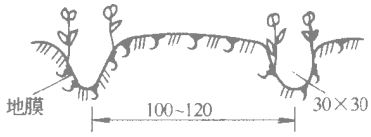


图 2-6　膜孔沟灌（cm）

③膜缝灌　膜缝灌有膜缝沟灌、膜缝畦灌和细流膜缝灌等几种形式。

膜缝沟灌是对膜侧沟灌进行改进，将地膜铺在沟坡上，沟底两膜相会处留有 2～4cm 的窄缝，通过放苗孔和膜缝向作物供水，如图 2-7 所示。膜缝沟灌的沟长为 50m 左右。该法减少了垄背杂草和土壤水分的蒸发，大多用于蔬菜，节水增产效果好。

膜缝畦灌是在畦田田面上铺两幅地膜，畦田宽度略大于 2 倍的地膜宽度，因此两幅地膜之间留有 2～4cm 的窄缝，如图 2-8 所示。水流在膜上流动，通过膜缝和放苗孔向作物供水，入沟流量在 0.18～0.30m³/min，畦长以 30～50m 为宜，要求土地平整。

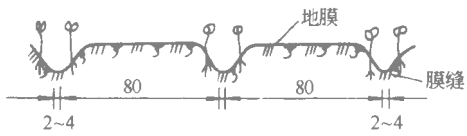


图 2-7　膜缝沟灌（cm

细流膜缝灌是在普通地膜种植下，利用第一次灌水前追肥的机会，用机械将作物行间地膜轻轻划破，形成一条膜缝，并通过机械再将膜缝压成一条 U 形小沟。灌水时将水放入 U 形小沟内，水在沟中流动，其入沟流量很小，可控制在 0.03m³/min ，适宜于地面坡降为 1%左右的大坡度地区。此外，膜上灌还有适宜于水稻作物的格田膜上灌和干旱地区的喷灌

需要全本请访问 www.ertongbook.com