

第一章

国内外水资源和农业节水发展现状

第一节 世界水资源现状

地球上水的储量很大，但淡水只占 2.5%，其中易供人类使用的淡水不足 1%。据专家最新估计，全球陆地上可更新的淡水资源约 42.75 万亿 m^3 ，其中易于使用的约 (12.5~14.5) 万亿 m^3 。按 1995 年人口统计，全球人均淡水资源约 7450 m^3 ，其中易于使用的淡水人均约 2180~2440 m^3 ，由此可见，地球上的淡水资源是有限的。水的需求随人口增长和经济发展而迅速增加。1940~1990 年，全球总用水量增加了 4 倍。1995 年全球用水总量已达 36000 亿 m^3 ，人均用水 628 m^3 ，约占易于使用的淡水资源量的 27%~30%。据联合国调查，全球约有 4.6 亿人生活在用水高度紧张的国家或地区内，还有 1/4 人口即将面临严重用水紧张的局面。水资源紧缺已成为世界各国普遍关注的重要问题。

自从 1977 年第一次联合国水资源大会以来，水资源已成为世界性的热点问题。目前，已有 26 个联合国机构参与了与水有关的事务。影响较大的国际会议有：1992 年巴西里约热内卢联合国环境和发展会议；1997 年摩洛哥马拉喀什第一次世界水论坛；1998 年巴黎水与可持续发展国际会议；2000 年海牙第二次世界水论坛等。在 2002 年于南非召开的可持续发展会议上，全体代表一致通过将水危机列为未来 10 年人类面临的最严重挑战之一。联合国环境署在 2002 年发布的《全球环境展望》中指出：“目前全球一半

的河流水量大幅减少或被严重污染，世界上 80 个国家或占全球 40% 的人口严重缺水。如果这一趋势得不到遏制，今后 30 年内，全球 55% 以上的人口将面临水荒。”在国际会议和联合国有关机构的组织推动下 世界各国的水资源工作有了较大的进展。如在全球范围内开展了水资源评价、对水资源的评价方法进行了理论探讨和实验研究。在水资源规划研究中，由于竞争性用水问题的突出 导致了投资竞争。水资源在地区间、部门间和多目标用水间的合理分配问题已成为缺水地区在发展进程中各种矛盾的焦点，因而，各国相继开始致力于流域和区域的规划研究。

自 20 世纪 80 年代以来，水质与水环境恶化趋势加剧，已威胁到人群健康，水环境问题成为研究的热点。各国都制定了地表水和地下水的水质标准，建立了河流、湖泊与水库的各类水质模型，并试图将水质研究与水量研究联系起来，以实现水资源学科中水量与水质的统一数学描述。在可持续发展观的指导下，从发展模式已认识到：水资源开发利用和经济发展的相互关系，水资源利用与保护的相互关系，经济发展和生态环境保护的相互关系，管理在水资源开发、利用、保护中的作用，水资源管理中需水管理、供水管理、水质管理和水价管理的相互关系，以及水资源管理中的经营机制、法律机制和行政机制的作用。对上述关系的再认识和理解，导致了面向可持续发展的水资源价值观和方法论的提出与初步形成，标志着水资源学科开始步入初步成熟阶段，为缓解世界水资源紧缺的矛盾、保护水资源奠定了基础。

第二节 我国水资源状况

我国水资源总量不算少 但时空分布极不均匀 全国河川多年平均径流量约 2.7 万亿 m^3 ，地下水约 0.82 万亿 m^3 ，全国多年平均水资源总量约 2.8 万亿 m^3 但由于人口众多 人均水资源占有量为 2330 m^3 ，亩均水资源量相当于世界平均亩均的

1/2⁽²¹⁾。据有关资料⁽²³⁾，预测到 2030 年我国人口增至 16 亿时，人均水资源将下降到 1760 m³。国际上一般认为，当人均水资源少于 1700 m³ 时，将成为用水紧张的国家。因此，我国未来水资源的形势十分严峻。

另外，我国水资源时空分布很不均衡，水土资源分布不相匹配，全国十个流域可以划分为南方、北方及西北三个明显不同类型区。南方片：包括长江、珠江、华东华南沿海、西南诸河四个流域，属于人多、地少，经济发达，水资源相对丰富地区。北方片：包括长江以北的松、辽、黄、淮、海五个流域，属于人多、地多，经济发达，而水资源严重短缺地区。西北片，除额尔齐斯河外都属于内陆河流域，土地面积 337 万 km²，约占全部国土的 35%，属于地广人稀，气候干旱，生态环境脆弱地区；该地区人均水资源不算少，但水资源的开发利用受到生态环境的严重制约。各类型区水资源状况见表 1-1。

表 1-1 全国分片水资源状况

分 区	占 全 国 比 重 (%)				人均水资源 (m ³)	亩均水资源 (m ³)
	水资源	人口	耕地	GDP		
南方片	80.4	53.6	35.2	55.5	3481	4317
北方片	14.7	44.3	59.2	42.8	747	471
其中黄淮海流域片	7.7	34.7	39.1	32.4	500	400
西北片	4.6	2.1	5.7	1.7	4876	1589

黄淮海平原是我国最大的平原，黄、淮、海三河总流域面积约 144 万 km²。2000 年人口 4.37 亿人，占全国 34.8%；GDP 3.13 万亿元，占全国 32.3%；灌溉面积 2307 万 hm²，占全国 42%；农业产出，约占全国 40%。20 世纪 80 年代初，京、津、冀第一次出现水危机，2000 年，京、津、冀再次出现水危机。80~90 年代持续干旱、水资源衰减造成华北严重缺水 and 生态环境恶化。80 年代，海河、山东半岛来水明显偏少。90 年代，黄河、海河、山东半岛来水均明显偏少。1980~1999 年，黄淮海

平原人口由 3.34 亿增加到 4.3 亿 增幅 29% ;人口增长和经济高速发展,用水由 1980 年的 1274 亿 m^3 增加到 1999 年的 1429 亿 m^3 。在用水增长、来水减少的状况下,主要依靠超采地下水、增量利用黄河水、引用不达标的污水满足工农业生产用水、生活用水。水资源供需矛盾和水环境恶化问题十分突出。

第三节 山东省水资源状况和特点

一、山东省水资源状况

按 1956~1999 年实测降水资料分析,山东省多年平均降水量 676.5mm,折合水量 1037 亿 m^3 , 50%、75%、95% 水平年年降水量分别为 665.5、571.1、451.6mm。山东省多年平均河川径流量为 222.9 亿 m^3 ; 50%、75%、95% 水平年年径流量分别为 193.9 亿、120.4 亿、51.3 亿 m^3 。地下水资源计算分山丘区与平原区进行。平原区以总补给量扣除井灌回归补给量作为地下水资源量,平原区多年平均地下水资源量为 89.98 亿 m^3 ,资源模数为 16.1 万 m^3/km^2 ; 山丘区多年平均地下水资源量为 67.42 亿 m^3 资源模数为 8.6 m^3/km^2 ; 扣除山丘区与平原区 4.83 亿 m^3 的重复计算量,全省多年平均地下水资源量为 152.57 亿 m^3 。全省多年平均淡水资源总量为 305.82 亿 m^3 。

二、山东省水资源特点

(一) 水资源总量不足

山东省水资源总量仅占全国水资源总量的 1.1% ,人均水资源占有量 344 m^3 , 仅为全国人均占有量的 14.7% ,为世界人均占有量的 4% ,位居全国各省倒数第三位,属于人均占有量小于 500 m^3 的严重缺水地区。按 2000 年末耕地面积计算,亩均占有水资源量 307 m^3 , 仅为全国平均亩占有量的 16.7%。水资源总量不足,是造成全省水资源供需矛盾突出的主要原因。

(二) 水资源年际年内变化剧烈,开发利用难度大

山东省各地降水量存在明显的丰枯交替现象,连续丰水年与

连续枯水年交替出现，年际之间降水差别较大，1964年丰水年降水量1169.3mm，年径流量690亿 m^3 ，而1981年枯水年降水量仅445.5mm，年径流量53.9亿 m^3 。长系列资料分析表明：山东省具有60年左右的丰枯变化周期。水资源年内分配还具有明显的季节性，全年降水量70%以上集中在汛期（6~9月），春秋季节干旱少雨，春灌期仅占全年降水量的14%，秋灌期仅占8%。天然径流量90%集中在汛期，主要集中在7、8月。鲁西北平原地区缺少拦蓄雨水条件，汛期易涝，而胶东半岛降雨量大，但源短流急，难以拦蓄利用。年际和年内水资源丰枯不均、变化剧烈的特点是造成山东省洪涝、干旱等自然灾害的根本原因，给水资源利用带来很大困难。

（三）水资源地区分布不均

山东省各地区之间降水量、径流量差别大，水资源分布不均。总的趋势是山脉南麓大于北麓，山丘区大于平原区，从东南沿海向鲁西北内陆递减，从胶东半岛东南部向半岛西北部递减。多年平均降水量从鲁东南沿海的850mm向鲁西北递减到550mm，从胶东半岛800mm向莱州湾递减到600~650mm，降水的高值区比低值区大60%以上。地区之间年径流的变化更突出，东南沿海及泰沂山南麓多年平均径流深在260~300mm之间，高值区达350mm以上，而鲁西北、鲁西南平原，多年平均径流只有30~60mm。

（四）黄河水可用不可靠

黄河水是鲁西北和鲁西南平原区农业的主要水源，黄河水的高效利用将关系到今后山东省水资源能否可持续利用。黄河水的开发利用为山东省国民经济和社会发展发挥了巨大作用。由于流域内降水减少，中上游的开发加快，进入20世纪80年代以来，黄河经常断流，1997年利津站断流达226天，尽管2000年以来，由于采取了多种措施，黄河山东段未发生断流，但随着黄河上中游引水量大幅度的增加，山东黄河取水量将继续减少，每年分配的70亿 m^3 引黄水量难以保证，黄河水“可用而不可靠”

的状况日趋明显。

第四节 国外农业节水发展动态

世界上各国农业发展情况大致可分为四种类型。第一种类型以美国、澳大利亚等西方经济发达、水资源比较丰富的发达国家为代表；第二种类型以经济发达、水资源紧缺的以色列为代表；第三种类型为经济不发达、水资源比较丰富的发展中国家；第四种类型以中国、印度等经济欠发达而水资源紧缺的国家为代表。由于各国经济、水资源及管理方式的不同，农业节水发展进程也各有差别。美国以雄厚的国力及得天独厚的自然地理条件，使与农业相关的诸多领域处于世界领先地位；澳大利亚人少地多，虽然降雨量较少，年降雨量仅 470mm，但人均水资源占有量较丰富，农业节水水平处于世界领先地位；以色列是世界少雨极度干旱的国家，农业节水发展的特色对于世界干旱地区农业发展具有借鉴作用；印度的人口、水资源、气候条件与我国相似，农业的发展与我国具有可比性。

一、水资源开发利用状况

各国用水量及各部门用水量见表 1-2。

表 1-2 各国用水量与用水结构对比

国 家	人均用水量 [m ³ /(人·年)]	水资源 开发利用 率 (%)	单位 GDP 用水量 (m ³ /万元)	占总用水量比重 (%)			
				农业	工业	生活	其他
中 国	458	19.8	1041	75.3	20.2	4.5	
印 度	630	29	2448	83	3.3	5	8.7
以 色 列	328	95	27	72	5	16	
美 国	1719	18.8	80	42	46	12	
澳 大 利 亚	800	4.3	54	73	2	25	

注 数据来源：ICID: watersave scenario, FAO 数据库 (1997), 《中国可持续发展水资源战略研究》。

由表 1-2 数据可分析出以下结论：美国、中国、印度人均用水量为 $458 \sim 1719 \text{m}^3/\text{年}$ ，而以色列人均用水量为 $328 \text{m}^3/\text{年}$ ，澳大利亚人均用水量为 $800 \text{m}^3/\text{年}$ ，美国人均用水量是中国的 4 倍，而水资源可开发率却基本接近，中国、美国水资源开发率分别为 19.8%、18.8%。美国的水资源非常丰富，有非常大的开发潜力，而以色列水资源开发率已达到 95%，利用程度之高，世界上绝无仅有。印度水资源开发利用率达到 29%，高出我国 50%，澳大利亚水资源开发率仅 4.3%。除美国农业用水占总用水量的 42% 以外，其余各国都是以农业用水为主，农业用水量为 72%~83%。单位国民经济生产总值耗水量，印度最高，中国次之，中国是美国的 13 倍、澳大利亚的 19 倍、以色列的 38 倍、印度的 1/2 由此可以看出，中国目前仍处于水资源消耗的发展阶段，主要表现在农业上，印度农业用水则更加浪费。

二、农业产出效率及灌溉发展状况

各国农业产出效率及灌溉发展状况见表 1-3、表 1-4。

表 1-3 农业产出效率的对比分析

国 家	农业总产值 (亿美元)	农业总产值 占国民生产 总值的比重 (%)	人均农业产值 (美元/人)	农业用水量 (亿 m^3)	单位农业产值 耗水量 ($\text{m}^3/\text{美元}$)
中 国	1716	26.6	141	4191	2.44
印 度	833	28	87	5021	5.88
以色列	34	4	5764	13.7	0.40
美 国	1404	2	5172	1961	1.39
澳大利亚	120	3.7	6653	106	0.88

注 中国的农业产值数据来源于《中国农业年鉴》(1998)。

由表 1-3 可知，发达国家农业总产值仅占国民生产总值的 2%~4%，而中国、印度却占到 27% 左右，是发达国家的 13 倍。但发达国家人均农业产值均在 5000 美元以上，是中国人均产值的 40 倍以上，是印度的 60 倍以上。其中重要原因是发达国

家种植结构中粮食作物所占比例仅为 21.8%~35.1%，另外，人口相对较少也是主要原因。发达国家单位农业产值耗水量为 0.4~1.39m³/美元，而中国为 2.44 m³/美元，印度更高；中国粮食作物水分生产率仅 1.0kg/m³ 左右，印度为 0.4kg/m³，而以色列则为 2.3 kg/m³。以上说明，发达国家高产值作物占主要比例，而且灌溉水利用率高；我国粮食作物占主要比例，灌溉水浪费严重、灌溉水利用效率低，这是人均农业产值低的主要原因。

表 1-4 各国的灌溉发展状况表

国 家	耕地面积 (亿亩)	灌溉面积 (亿亩)	灌溉面积占 耕地面积的 比重 (%)	灌溉定额 (m ³ /亩)	灌溉粮食 产量占粮食 总产量比重 (%)	灌溉水的农业 产出效率
中 国	19.50	7.8	40	477	73.5	0.9美元/m ³
印 度	24.23	8.6	35.5	583	91	0.4kg/m ³
以色列	0.053	0.03	56.6	395	54 *	1.54美元/m ³ , 2.30kg/m ³
美 国	26.54	3.2	12.1	366	—	—
澳大利亚	8.23	0.41	5	—	—	—

注 1. 中国的资料来源于《中国可持续发展水资源战略研究》，其他国家的数据来源于 FAO数据库(1997)。ICID: Watsave Scenario 和 Annual Statistical Abstract of Israel (1996)。

2. 带“*”者表示灌溉作物产值占农业总产值的比例。

发达国家农业节水工程标准高。如美国，虽然水资源丰富，但农业实行农场主管理，人少地多，采用喷灌技术、激光平整土地等先进的节水技术，降低了劳动强度，同时提高了农业用水的生产效率。美国的喷灌面积占有有效灌溉面积的 45% 以上，先进的沟畦灌技术占地面灌溉面积的 80% 以上，采用激光平整的土地面积占地面灌溉面积的 30%，平整精度比人工平地提高 10~50 倍。喷灌面积大，设备先进。农业基本上实施规模经营，农业现代化水平高，节水灌溉技术含量高。以色列属于水资源短缺和经济发达的国家，有条件采用高效的输水方式和现代化节水灌

溉技术，园艺作物和经济作物种植面积大。在 20 世纪 70 年代中期，喷灌面积已占全部灌溉面积的 90%。近 20 年来又把发展重点转向微灌，目前，微灌占有效灌溉面积的 75% 喷灌占 25%，主要是采用现代化控制技术和工厂化生产模式。因此，水的利用率和水分生产率是世界最高水平。以色列的北水南调工程利用地下管道把各区域性供水系统通过泵站与国家输水工程连成整体，形成了统一调度、联合运用的巨大管网，为以色列发展现代化大农业奠定了基础。德国、英国、奥地利、日本等国旱地灌溉面积的 80% 以上采用喷灌，日本的灌区干管输水工程全部衬砌，配套完善，大部分采用了自动化控制技术。前苏联的喷灌面积也发展到占总灌溉面积的 40% 以上。相比之下，中国的喷灌、微灌面积仅占总灌溉面积的 3% 左右，印度喷灌、微灌面积占总灌溉面积的 1.6%。

三、发达国家农业节水的几个特点

(一) 节水设备产业化水平高

世界上灌溉技术先进的国家同时也是先进节水灌溉设备的生产国家，如美国、以色列、澳大利亚、法国等国生产的喷灌、微灌设备以及土壤水分监测、计算机控制、气象观测及田间供水自动化等设备，集成工艺先进，使用性能好，质量高，成为世界名牌，形成了技术密集型的出口产业，占据了世界各地市场，也占领了我国很大市场。

(二) 注重提高水的利用效率

发达国家在可持续发展的思想指导下，将土壤、植物、大气作为一个整体，运用“SPAC”系统的思路，开展提高水的利用效率的研究。

1. 选育耐旱作物和节水品种

选育耐旱作物品种，是充分利用生物适应环境、以生物机能提高作物水分利用效率的重要途径。如墨西哥选育的矮秆小麦品种，在不增加耗水量的情况下，产量比过去的小麦品种增加 2~3 倍。高粱品种在水分供应不足时，会停止生长，从而减少蒸

腾，一旦供水恢复，则可以继续生长。

2. 改进耕作方法与栽培技术

因地制宜，由多耕趋向于少耕、免耕；由浅耕趋向于深耕；由耕翻趋向于深松；由单一耕作连作趋向于粮草轮作或适度休闲；重视水土保持，纳雨蓄墒，合理施肥，以肥调水。在美国，随着高效除草剂的出现和免耕播种机的研究成功，现代免耕技术已被广泛地用于小麦、大麦、棉花、烟草、高粱、大豆、甜菜和饲料作物种植之中。

3. 推广地面覆盖技术

地面覆盖分有机物覆盖、地膜覆盖和化学覆盖。如在美国中部和北部大平原，休闲覆盖麦秸每公顷 6750kg，可使降雨的蓄积量达 37%，比不覆盖地高 21%；在科罗拉多州，覆盖有秸秆的休闲地蓄水量为 157mm，比无覆盖的增加 55mm。地膜覆盖是日本在 20 世纪 40 年代发明的一种用薄膜覆盖农田的技术，地膜覆盖能够提高地温，抑制蒸发。此外，保水剂、抗蒸腾剂也得到较好地应用。

4. 采用节水灌溉制度

20 世纪 70 年代以来，各国在这方面开展了大量的研究，根据水与作物生产率的关系，通过有限的水量在作物生育期内的最优分配，以提高有限灌溉水量向作物根系吸收转化和光合产物向经济产量转化的效率为目标，进而达到高产和高的水分生产率。80 年代初，许多国家的研究者放弃了传统的丰产灌溉研究。以色列通过大量的试验统计，得出最佳的灌溉模式，利用最少的水获得接近于最高的产量，即相当于最高产量 85%~95% 的产量。

5. 研究先进的节水管理技术

在灌溉用水管理方面，以色列和美国都是借助先进的田间土壤监测技术、灌溉预报技术、气象自动监测等技术为用水者提供准确的灌溉信息。在园艺种植地区，采用自动控制技术，实施水肥同步协调控制，满足作物水肥各项需求，极大地提高了水肥利用效率，发达国家的灌溉水利用系数大部分在 0.8 以上，以色列

达到 0.9~0.95。采用计算机、遥感等技术实行灌溉管理自动化是发达国家节水管理技术的发展方向。在美国,大型灌区都有调度中心,实行自动化管理。如灌溉面积达 20 万 hm^2 的全美灌区,管理人员只有 14 人;科罗拉多州的大河谷渠道采用电气化控制,仅有 1 人管理。此外,许多灌区还采用卫星遥感技术,将从卫星接收站获得的信息图片输入计算机,进行灌溉用水量估算。日本于 20 世纪 80 年代初新建和改建的灌区,大多从渠首到各分水点都安装有遥测遥控装置,中央管理所集中检测并发布指令,遥控闸门、水泵的启闭,进行分水和配水。以色列不论大小灌区,全部采用自动化控制,在灌溉季节前编好程序,灌水时按程序自动灌水。

研究农业经济用水和建立灌溉用水信息管理系统已成为一些国家关注的领域,利用现代化信息技术和优化方法,及时准确地采集、传输、存储和加工处理水资源信息,可以为管理部门提供用水决策和选择最佳运行方案。如美国加州 CIMIS 灌溉管理信息系统,包括由设在重点农业区的 70 多个气象站组成的网络,每个站的观测数据在每晚自动传输到水资源局计算中心,中心将得到的信息加工处理后存入 CIMIS 数据库,提供给各气象站使用。

6. 建立有效的农业节水运行管理机制

(1) 产权清晰、管理高效的农业用水管理体制。澳大利亚、美国对水资源开发利用严格按照水资源规划及相应的宪法和政策法规进行,任何个人和单位都无权随意开发利用水资源。以色列则是国家具有绝对的管理分配水资源的权力。而美国的国家机构负责对水资源统一规划、管理、协调,制定政策、法规、标准,由州和地方政府实施。而澳大利亚联邦政府对水资源管理开发利用起协调作用,州政府负责水资源开发、管理与供水,制定政策、收取水费。

(2) 建立有效的投入机制。近年来印度政府对微灌工程造价的 50% 进行补贴,微灌系统的运行所需资金全部由政府投入。

澳大利亚过去供水工程基础设施及灌溉系统维护所需资金的 85% 由政府负担，而近年来是谁投资、谁拥有、谁管理、谁受益，对灌溉的经营管理权可依法转让，鼓励私人和企业投资。以色列的国家供水工程投资全部由国家负担，供水系统维护费用 70% 由用水者负担，30% 由政府负担，节水田间工程由农场主和集体投资兴建和管理，美国的农业供水工程投资及运行费用几乎全部由用水者负担。通过提高产出效率、节水、省工收回投资。以色列、美国一些发达国家的用水者从田间灌溉技术现代化的投入中还获得了巨大的环境和生态效益。

(3) 制定经济激励和制约水价的政策体系。从全球范围看，灌溉水价均远低于生活及城市工业用水，即使是美国和以色列，灌溉系统虽然能够自我维持发展，但灌溉用水价格仍远低于其他用水的价格。以色列实行全国统一水价，配额供水，超额加倍收费。在最初 50% 用水时正常收费，以后的 20%、30% 分别提高水价。美国通过供水合同提高水价。联邦供水工程水价、州政府供水工程水价以及供水机构水价各不相同。澳大利亚按照成本收费，各州都有自己的水价政策，澳大利亚供水分为政府控股、政府管理、私营等三种。总体上看，美国、澳大利亚由市场制约水价，按供水成本确定农业供水价格。

第五节 我国农业节水发展现状

我国是世界上 13 个贫水国之一，且有限的水资源在时空上分布很不均匀，南多北少，东多西少；夏秋多，冬春少，占国土面积 50% 以上的华北、西北、东北地区的水资源量仅占全国水资源总量的 20% 左右。农业的季节性、区域性干旱缺水问题十分突出。全国区域性地下水降落漏斗面积区达 8.2 万 km^2 。按现状用水量统计，全国中等干旱年缺水 358 亿 m^3 。其中农业灌溉缺水 300 亿 m^3 。近年来，北方河流生态问题日益突出，缺水从北方蔓延到南方许多地区，水资源的短缺已成为制约全国国民经

济和社会发展的“瓶颈”因素。

随着工农业的迅速发展和城镇化建设的加快，我国的水资源需求量越来越大，预测全国需水总量在 2050 年达到峰值，2030 年以后，东、中、西部地带依次进入“零增长”或负增长期。预计全国农业总需水量高峰值出现在 2030 年前后，约 4260 亿 m^3 。农业灌溉新增面积的 80% 集中在我国北方地区。因此，北方地区面临着长期艰巨的农业节水任务。

1949~1999 年的 50 年中，我国的用水结构发生了显著变化，农业用水由 1949 年占总用水量的 97.1% 减少到 1999 年的 74.5%，相应地，工业生活用水量由占总用水量的 2.9% 增加到 25.5%。1980 年以来全国有效灌溉面积虽有所增加，且部分农业用水水源转向城市供水，但由于农业节水技术的发展，近 10 年来全国农业灌溉用水量变化不大。近年来，林牧渔发展较快，用水量呈增长趋势。全国人均灌溉面积和人均农业用水量由 1984 年的 0.74 亩和 375 m^3 减少到 1999 年的 0.64 亩和 307 m^3 ，呈减少趋势。

党中央、国务院对农业节水高度重视。党的十五届三中全会指出：“把推广节水灌溉作为一项革命性措施来抓，大幅度提高水的利用率，努力扩大农田有效灌溉面积。”江泽民同志在 1999 年指出：“当前要把节约用水作为一项紧迫的首要任务抓紧抓好，改变大面积漫灌这种粗放式的耕作方式，实现农业集约式发展。”温家宝同志在 1999 年指出：“发展节水农业是灌溉领域一次全面、深刻的变革，是我国传统农业向现代化农业转变的重大战略举措。”

20 年来，各地在推广节水灌溉方面做了大量的工作，取得了较为显著的成绩。我国节水灌溉技术从 20 世纪五六十年代开始进行试验、研究和推广，但规模不大，没有受到重视。70 年代，渠道防渗、平整土地、大畦改小畦等节水措施已大面积推广和应用。80 年代，重点推广了低压管道输水并在较大范围内进行了喷灌、滴灌和微喷灌等节水灌溉技术的试点和示范。90 年

代以来，面对日益严峻的农业干旱缺水局面，各地对节水灌溉的认识不断提高，节水灌溉得到较快发展。经过多年的实践和探索，我国在节水灌溉技术的研究、节水灌溉设备的开发和生产、节水灌溉工程的示范推广、节水灌溉技术服务体系的建立等方面做了大量工作，积累了一定的经验，初步形成了具有中国特色的节水灌溉模式和技术推广服务体系。

近年来，在党中央和国务院的高度重视和支持下，我国节水灌溉事业有了很大发展。1996年9月国务院批准“九五”期间在全国建设300个节水增产重点县，在有地下水开发利用的地区打井和建设节水型井灌区。在国家计委、财政部、人民银行、水利部、中国农业银行等有关部门及各级政府的共同努力下，在不到3年的时间里，全国共投入节水灌溉资金187亿元，发展节水灌溉工程面积428万 hm^2 ，取得了节水150亿 m^3 、增加粮食生产能力230亿 kg 的显著经济效益和社会效益。全国各地还建设了209个高标准节水增效示范区，对99个大型灌区及40个中型灌区进行了以节水增效为中心的续建配套和更新改造，建设了一批国家级节水示范市。截至1998年底，全国节水灌溉工程面积已达到1553万 hm^2 ，其中，喷灌、滴灌和微喷灌面积146.7万 hm^2 ，管道输水灌溉面积520万 hm^2 ，渠道防渗面积866.7万 hm^2 ；推广水稻控制灌溉和坐水种等非工程节水面积1333万多 hm^2 。

一、农业节水技术的发展

（一）渠道防渗技术

20世纪80年代以来，具有成本低、防渗性能好的塑料薄膜、沥青玻璃布油毡以及各种聚乙烯土工膜得到大量推广应用。近年来使用膨胀珍珠岩板、矿渣石棉板等作为防冻保温材料，收到了良好的效果。先后研制了梯形渠道边坡混凝土振动机、U形渠道开渠机、U形渠道混凝土浇筑机，也研制了一些预制混凝土U形渠槽和水泥土预制板等施工机械和技术，已经形成了初步配套的渠道防渗技术，使我国渠道衬砌从人工施工向半机械

化和机械化方向迈进了一大步。渠道防渗目前存在的主要技术问题有：

(1) 衬砌技术成本较高，影响大面积推广，急需研究成本低、防渗性能好而经久耐用的新材料与新型防渗技术。

(2) 渠道衬砌防冻胀技术有待进一步完善与深化，既要降低成本又要提高衬砌寿命，并使之系统化。

(3) 我国中小型渠道与衬砌施工机械性能差、型号少，满足不了生产实际的需要，急需改进配套。

(二) 低压管道输水灌溉技术

我国低压管道输水灌溉从 20 世纪五六十年代就开始试点，进入 80 年代以来，随着我国北方水资源供需矛盾日益加剧，为了节约农业用水，缓解北方水资源紧缺状况，这项节水技术首先在北方平原井灌区迅速发展起来。“七五”期间国家科委将其列入重点科技攻关项目，从系统规划设计、管材管件、设备安装、运行管理等方面进行了系统研究，取得了成套的技术成果，研制了适合我国国情的双壁波纹 PVC 管、薄壁 PVC 管，利用当地材料研制成功并成批投产水泥砂管、石屑混凝土管和浇灌混凝土管等低压管材和配套管件，开发出了数十种管溉用水出水口和给水栓以及安全保护装置，全国已建成低压管道输水灌溉面积 533.3 万 hm^2 。在山东、陕西等地对自流灌区和扬水灌区的低压管道输水技术进行研究试点，取得了一定的成果。但当前仍存在一些影响我国低压管灌发展的技术问题，主要有：

(1) 用于低压管道灌溉的管件、安全保护装置、出水口等设备不配套，需要进一步定型配套，以逐步达到标准化、系列化。

(2) 与低压管道输水配套的田间地面移动多孔闸管以及量水设备还没有先进、实用的产品。

(3) 渠灌区低压管道输水灌溉适应条件、规划设计、优质低价大口径低压管材管件、施工安装和运行管理技术问题急需研究解决。

(4) 引黄灌区管网系统规划设计以及管道系统防泥沙淤积技

术需要进一步研究。

(三) 喷灌技术

我国从 20 世纪 70 年代开始发展喷灌技术，经 20 多年的努力，喷灌面积已发展到 200 多万 hm^2 ，取得了比较显著的节水、增产效益。当前我国喷灌设备厂家已具备一定生产能力，但在品种、材质、性能等方面，与发达国家还有较大的差距，致使有相当一部分工程由于设备不过关或因管理不善等原因，不能正常发挥效益，甚至报废。目前主要存在如下技术问题：

(1) 喷灌关键设备耐久性差。

(2) 缺乏提高喷灌均匀度的控制设备。

(3) 山丘地区喷灌设备配套性差。

(4) 推广喷灌的适应条件不明确，一些地方大面积用于粮田，致使灌溉运行管理跟不上，效益不明显。

(四) 微灌技术

我国的微灌技术发展是从 1974 年开始的。30 多年来，我国微灌技术的发展大致经历了三个阶段。1974 年到 80 年代初主要是引进、消化和试制；80 年代初至 90 年代初，针对滴灌设备品种少、不配套、质量差等问题，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、补偿式滴头、折射式和旋转式微喷头，以及过滤器和进排气阀等设备，建立了一批新的试验示范基地；90 年代初以来，改进和研制出了新的微灌设备，如脉冲滴灌设备、渗水头、调压器和施肥器等，并引进了以色列的部分先进技术和设备，在北方的果树微喷灌、瓜果滴灌，南方柑橘、茶园微喷灌等方面都有了很大发展。制定了滴灌设备技术和技术规范，开展了地下滴灌、渗灌和涌泉灌的试验研究。我国微灌技术目前存在如下主要问题和差距：

(1) 微灌设备种类少、性能差、工艺水平落后、材质不耐老化。

(2) 水净化技术研究不够深入，过滤设备种类少，性能差，堵塞问题还没有解决，对含沙量高、污水、咸水等水质的微灌技

术研究较少。

(3) 管理水平差, 工艺落后, 产品质量不稳定。

(五) 改进地面灌水技术

我国从 20 世纪 70 年代开始, 在田间采取平整土地, 大畦改小畦, 推行短沟灌和细流沟灌等措施, 节水效果十分明显。80 年代以来, 开发了一种节水型地面灌水方法——长畦分段灌溉法, 具有明显的节水节能、灌水效果高、灌水质量好等优点。在新疆等地推广了 20 万 hm^2 大田膜上灌水技术, 取得了较好的节水增产效果。与连续沟灌相比, 间歇灌是地面灌水方法的一个重大突破。在地面灌理论研究方面也取得新的进展, 根据水流连续方程、动量方程和入渗方程解非恒定流运动以确定最佳的入畦流量和畦长, 根据畦块的长度、坡度、土壤性质、灌水定额、单宽流量、改水成数等因素综合制定灌水技术方案, 可以成倍提高田间灌溉效率, 节约灌溉水量。但如下问题尚待进一步研究:

(1) 不同土壤对选择地面灌水技术类型的影响。

(2) 改进地面灌水技术的使用条件。

(3) 改进地面灌水质量评估体系和方法。

(4) 各种改进地面灌水技术要素之间的优化组合。

(5) 新型的节水型地面灌水技术。

(6) 水平畦灌在我国尚属空白, 激光控制平地技术在我国将有广阔的应用前景, 需要研究水平畦灌的关键技术问题。

(六) 综合农业节水技术

将农业措施和工程措施相结合, 发挥综合优势, 达到节水、高产、高效, 是当前世界各国研究的一个重点。我国的农业节水技术研究在提高节水工程技术水平的同时, 也将很大的注意力放在综合农业节水技术的研究上, 根据不同节水农业区的自然、经济特点, 合理施肥、采用蓄水保墒的耕作技术、地膜和秸秆覆盖保墒、化学制剂、合理调整作物的种植结构, 选用耐旱作物及节水品种, 以充分利用灌溉水、自然降水和地下水, 提高水的利用效率, 达到节水、高产、优质和低能。