农业节水灌溉技术及应用实例

崔　毅　主编

化学工业出版社
“三农”读物出版中心
·北京·

需要全本请访问 www.ertongbook.com

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

农业节水灌溉技术及应用实例 崔毅主编 . —北京:
化学工业出版社, 2005. 2
ISBN 7-5025-6654-6

Ⅰ. 农… Ⅱ. 崔… Ⅲ. 节约用水-灌溉-技术
Ⅳ. S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 011154 号

农业节水灌溉技术及应用实例
崔 毅 主编
责任编辑: 郑叶琳
文字编辑: 麻雪丽
责任校对: 蒋 宇
封面设计: 于剑凝
*
化 学 工 业 出 版 社
“三农”读物出版中心 出版发行
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010)64982530
http: // www. cip. com. cn
*
新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订
开本 787mm×1092mm 1/ 16 印张 33 字数 830 千字
2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-6654-6/ S · 153
定 价: 68. 00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前　　言

人类及所有其他生命体能够在地球环境中生存繁衍，除阳光、土壤等因素外，一个必不可少的因素就是地球上水的存在。水是生命之源，水是维持生态系统生存并支撑人类社会经济系统发展不可替代的资源。然而，随着人类社会的发展，水资源危机和水资源质量的下降已悄然降临到人们的周围，世界范围的水问题日趋严重。

我国是一个水资源短缺，水旱灾害频繁的国家，出现这种情况除地理与自然因素外，在很大程度上是人们对水资源的过度开发利用，农业灌溉用水效率低下和人为污染造成的。

我国是农业大国，农业用水占总用水量的 61.4%（2002 年统计），但农业用水效率平均不到 50%。其主要原因是农业节水灌溉技术的推广应用面积少，人们节水意识不够，一些地方在严重干旱的情况下，仍然采用大水漫灌的方式进行灌溉，给本已紧张的水资源造成了更大的浪费。

本书编者本着提高全社会的节水意识，为从事农业生产活动的人们提供一些科学适用的节水农业技术和农业节水灌溉技术，整理编写了此书。书中涵盖了我国水资源的自然分布状况，农业用水现状，对农业用水的管理，各种节水农业技术及设施化节水灌溉技术以及农业节水灌溉用设备和部分应用实例。书中各部分内容坚持取材新颖，深入浅出，理论联系实际，重视应用的基本原则，可以使读者在短时间内从一定的深度和广度学习和了解水资源和水权、地面灌溉技术、农艺节水技术、设施化节水灌溉技术、集雨灌溉技术、渠道防渗技术、污水和咸水在农业上的利用技术、灌溉管理技术等。

全书分三篇，共十三章，其中第一章、第二章由章光新、卢晓宁（中国科学院东北地理与农业生态研究所）编写，第三章、第四章、第五章由崔毅（中国科学院长春应用化学研究所）编写，第六章由王国英（中国科学院长春应用化学研究所）、崔毅编写，第七章由李小雁（北京师范大学）、崔毅编写，第八章由杨剑锋（中国科学院东北地理与农业生态研究所）、崔毅编写，第九章、第十章由崔毅编写，第十一章由王国英、崔毅编写，第十二章由王国英编写，第十三章由崔毅、严晓红（中国科学院长春分院）、刘兴斌（中国科学院长春应用化学研究所）编写。本书引用了许多国内外文献资料，在此谨向文献资料的作者致以深深的谢意。

由于作者水平有限，不足之处，真诚欢迎节水农业科学界的专家和广大读者批评指正。

编者

2005 年 1 月

目　　录

第一篇　水资源现状与节水灌溉途径

第一章　我国水资源的特点及分布状况 …… 1
第一节　我国水资源的特点 …… 1
第二节　我国水资源分布概况 …… 4
主要参考文献 …… 8
第二章　农业用水现状及对策 …… 9
第一节　农业用水现状 …… 9
第二节　农业用水战略对策 …… 13
主要参考文献 …… 19
第三章　农业节水灌溉途径 …… 20
第一节　节水灌溉技术体系 …… 20
第二节　加强全民节水灌溉意识 …… 22
第三节　对作物实施科学的高效节水灌溉（精确灌溉） …… 23
第四节　因地制宜开展节水农业技术 …… 27
第五节　研究推广新型节水灌溉技术 …… 34
第六节　加强管理，提高水资源的有效利用率 …… 37
主要参考文献 …… 50

第二篇　节水灌溉实用技术

第四章　地面灌溉节水技术 …… 53
第一节　平整土地 …… 54
第二节　畦灌 …… 58
第三节　波涌灌溉 …… 66
第四节　膜上灌水技术 …… 75
主要参考文献 …… 80
第五章　农艺节水灌溉技术 …… 81
第一节　耕作保墒技术 …… 81
第二节　化学节水技术 …… 93
第三节　水肥耦合提高水资源利用率 …… 106
主要参考文献 …… 109
第六章　设施化节水灌溉技术 …… 111
第一节　喷灌技术 …… 111
第二节　滴灌技术 …… 134
第三节　微喷灌技术 …… 148
第四节　渗灌技术 …… 160
第五节　自动化控制灌溉技术 …… 169

主要参考文献 …… 174
第七章　雨水资源高效利用 …… 176
第一节　概述 …… 176
第二节　雨水资源的开发前景 …… 179
第三节　集雨工程 …… 181
主要参考文献 …… 207
第八章　土壤水的有效利用 …… 208
第一节　土壤水利用理论基础 …… 208
第二节　土壤水调控和利用技术 …… 214
第三节　土壤水调控非充分灌溉技术 …… 225
主要参考文献 …… 230
第九章　其他水资源利用技术 …… 232
第一节　咸水灌溉技术 …… 232
第二节　污水灌溉技术 …… 241
第三节　大气水的有效利用 …… 250
主要参考文献 …… 255
第十章　输水过程中的节水措施 …… 256
第一节　渠道输水过程中的防渗问题 …… 256
第二节　渠道防渗施工技术 …… 260
第三节　管道输水 …… 279
主要参考文献 …… 292
第十一章　设施化节水农业用设备 …… 293
第一节　喷灌系统设备 …… 293
第二节　滴灌系统主要设备 …… 325
第三节　微喷灌系统设备 …… 340
第四节　渗灌系统主要设备 …… 342
第五节　喷灌与微灌自动控制设备 …… 345
主要参考文献 …… 348
第十二章　设施化灌溉用辅助设备 …… 349
第一节　喷灌系统用管材附件 …… 349
第二节　微灌体系用管材附件 …… 360
主要参考文献 …… 366

第三篇　应 用 实 例

第十三章　节水灌溉工程与应用实例 …… 367
第一节　地面节水灌溉实例 …… 367
第二节　农艺节水应用实例 …… 375
第三节　滴灌节水技术应用实例 …… 389
第四节　渗灌节水技术应用实例 …… 439
第五节　设施化喷灌技术应用实例 …… 450
第六节　集雨灌溉技术应用实例 …… 487
主要参考文献 …… 518

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第一篇　水资源现状与节水灌溉途径

第一章　我国水资源的特点及分布状况

第一节　我国水资源的特点

水是生命之源，水是维持生态系统功能和支撑地球社会经济系统发展不可替代的资源[1,2]。随着水资源危机的加剧和水资源质量的下降，世界范围的水问题日益严重。我国是一个水资源短缺，水旱灾害频繁的国家，出现这种情况的根本原因是我国所处的经度、纬度位置及大的地貌构造格局导致的季风气候特点，从而水资源在时空的分布上极不均匀，变异系数 C_v 值普遍较大。水资源是水量和水质的高度和谐的统一，一个特定区域内水资源的量并不完全取决于水资源的数量，还决定于水资源的质量。改革开放以来，随着工业生产的开展和人民生活水平的提高，在单纯追求高速度的经济发展模式及高享受的生活价值观的推动下，人们从环境中大量地攫取水资源，输给环境的是重污染的工业废水和有机污染严重的生活污水，造成我国水环境质量恶化，更进一步加剧了水资源短缺的局势。总结我国水资源的特点大体如下。

一、水资源总量丰富

我国水资源总量为 $28255\times10^8\ m^3$，占全球水资源的 6%，仅次于巴西、俄罗斯和加拿大，居世界第四位。根据 2002 年《中国水资源公报》，当年全国地表水资源量为 $27243\times10^8\ m^3$，折合年径流深 287mm，比常年多 4.2%；全国地下水资源量为 $8697\times10^8\ m^3$，大部分与地表水资源量重复，不重复的只有 $1012\times10^8\ m^3$。扣除地表水与地下水的重复量，全国水资源总量为 $28255\times10^8\ m^3$，比常年少 2.2%。河川径流量是水资源的重要组成部分，占我国全部水资源总量的 94.4%。与世界各国的河川径流量比较，我国河川径流量居世界第 4 位，低于巴西、俄罗斯、加拿大，约占全球河川径流量的 5.8%，平均径流深度为 284mm，为世界平均值的 90%，低于日本、巴西、印度、美国和加拿大，而高于俄罗斯，居世界第七位。从水资源总量上看我国属于富水国[3]。

水资源不仅指水资源的数量，而是水资源数量与质量的高度统一。劣质的水不仅不能带来效益，相反还会产生负效益，对生产、生活及生态环境造成危害，因此不能称其为水资源。由于生活水平的提高和工业生产规模的扩大，我国日排放废水量呈逐年递增趋势，加上城市污水处理能力远远未达到需求水平，从而导致水环境质量下降，河流、湖泊污染严重。1999 年全国废污水排放总量达 606×10^8 t（不包括火电直流冷却水），其中工业废水占 67%，生活污水占 3%。输出到环境中的污水超过环境的自然净化能力，造成水环境恶化，水问题突出。根据全国水环境监测网 2002 年的水质监测资料和国家《地面水环境质量标准》（GB 3838—88），全国九大流域片的 700 多条河流的水质评价结果如下。

河流水质在 12.3×10^4 km 评价河长中，Ⅰ类水河长占 5.6%，Ⅱ类水河长占 33.1%，Ⅲ类水河长占 26.0%，Ⅳ类水河长占 12.2%，Ⅴ类水河长占 5.6%，劣Ⅴ类水河长占

17.5%。全国符合和优于Ⅲ类水的河长占总评价河长的 64.7%，比上年（61.4%）增加了 3.3 个百分点。2002 年重点评价的 24 个湖泊中，6 个湖泊水质符合或优于Ⅲ类水，6 个湖泊部分水体受到污染，12 个湖泊水污染严重。国家重点治理的“三湖”情况如下。太湖 16.5%的面积为Ⅱ、Ⅲ类水，75.3%的湖面为Ⅳ类水，8.2%的湖面为Ⅴ类水；中营养水平的水域占太湖总面积的 16.5%，富营养水平的占 83.5%。云南滇池水质为Ⅴ类和劣Ⅴ类，处于富营养状态。巢湖东半湖水质为Ⅳ类，西半湖水质为Ⅴ类和劣Ⅴ类，东半湖处于中营养状态，西半湖处于富营养状态。

二、人均及地均占有水量少

中国以占全球约 6%的可更新水资源、9%的耕地支持了占全球 22%人口的温饱和经济发展[4]。如此比例差距，导致我国在世界排名第四的水资源总量按耕地面积和人口数平均却显得相当的小，使我国从富水国转变成贫水国。

据国土资源部 4 月 3 日公布的《2002 年中国国土资源公报》显示，2002 年全国耕种的耕地为 $12593\times10^4\ hm^2$，林地 $23072\times10^4\ hm^2$，牧草地 $26352\times10^4\ hm^2$。每公顷耕地占有水资源量为 $21622m^3$，相当于世界平均每公顷耕地占有量的 1/2 左右。按 1997 年人口统计，我国人均水资源量为 $2220m^3$，仅为世界平均水平的 1/4、美国的 1/5，在世界上名列第 121 位，是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。预测到 2030 年人口增至 16×10^8 时，人均水资源量将降到 $1760m^3$。按国际上一般承认的标准，人均水资源量少于 $1700m^3$ 的为用水紧张的国家。因此，我国未来水资源的形势是严峻的。

我国目前有 15 个省、区市严重缺水，有 7 个省、区（宁夏、河北、山东、河南、山西、辽宁、江苏）人均水资源量低于起码的生存线。目前，全国已有 600 多座城市缺水，每年城镇缺水 $200\times10^8\ m^3$ 以上，而农业用水每年亏缺 $300\times10^8\ m^3$，农村有 8000 万人口饮水困难。旱灾已成为我国覆盖面最广、成灾损失最大的灾害，而且受灾面积逐年扩大。据统计，20 世纪 50 年代全国农作物受旱面积为 $0.13\times10^8\ hm^2$，60 年代达 $0.2\times10^8\ hm^2$，进入 70 年代以后扩大到 $0.27\times10^8\ hm^2$。目前，全国耕地实际灌溉面积仅 40%，每年有 60%的耕地无水灌溉。来自水利部门的调查和统计还表明，全国平均每年旱灾面积约为 $0.27\times10^8\ hm^2$。今后，随着我国经济的高速增长以及工业化和城市化水平的提高，已经明显不足的水资源还要不断地向工业等非农产业转移，而且未来 30 年内，我国人口还将不断增加，人口的增加一方面会直接扩大用水需求，另一方面又会加大对农产品需求的压力，进而加剧农业用水短缺的矛盾。干旱缺水已经成为制约我国农业稳定发展和粮食安全供给的主要因素。

三、水资源时空分布不均

我国水资源的时间分布受季风气候的影响，降雨年内分配极不均匀，年际变化也很大，一年里降雨集中在夏季，而其他月份旱情较重；大部分地区汛期连续 4 个月降雨量占全年总降雨量的 70%左右。具体的分布情况如下：长江以南及云贵高原以东的地区为 60%左右，多出现在 4～7 月；长江以北为 80%以上；海河平原高达 90%，多出现在 6～9 月；西南地区为 60%～70%，出现于 6～9 月或 7～10 月。径流年内分配的均匀程度，即变率大小还可以用集中度来表示，即连续最大 4 个月径流率（KI）。径流集中度在全国分布的总趋势是：自东而西、自南而北逐渐增高。我国南方月径流集中度一般为 40%～50%，北方为 60%～70%，最高的地区为山东和辽东半岛，东北内流区和新疆的阿尔泰山、昆仑山区，达 70%以上。汛期，即水资源集中期，有 2/3 左右是洪水径流量，形成江河的汛期洪水，华南及东

北地区的河流春季会出现桃汛或春汛，大多数河流为夏汛或伏汛。受台风影响，东南沿海、岛屿及台湾东部河流会出现秋汛。汛期洪水造成河流水位暴涨，水资源白白流失，不仅如此，汛期洪水还对社会经济发展及人民生命财产造成严重的损失。而非汛期又干旱缺水，旱灾严重，影响农业生产。对我国农业来说，无论是从受灾面积和发生灾害的频率及危害程度上，旱灾都甚于水灾。1959 年至 1961 年是全国范围的三年连旱，长江、淮河、黄河和汉水流域等广大地区遭受了严重的干旱，这次旱灾是我国建国以后最严重的一次自然灾害，三年共减产粮食 600×10^8 kg 以上，全国粮食产量直到 1966 年才恢复到 1958 年的水平。1997 年，仅华北地区各城市因缺水造成的工业和农业损失达 200 亿元，相当于当地当年 GDP (国民生产总值) 的 3%。从全国水旱灾害统计来看，1997 年，我国水旱灾害的成灾面积达 0.27×10^8 hm^2，其中水灾面积约 0.07×10^8 hm^2，旱灾 0.2×10^8 hm^2[5]。水旱灾害严重地制约着我国农业发展和国民经济的增强。

水资源在极端年情况下造成的严重的洪涝灾害，在正常年情况下水资源变差系数大的特点也不利于其利用和调节。正常年的最大和最小年径流的比值，长江以南的中等河流在 5 以下，北方河流多在 10 以上。我国北方大多数河流春季径流量少，与灌溉作物春季大量需水形成矛盾。夏季短期径流丰富，造成水资源的白白流失。为调节水资源年内的分配不均，修建了大量的蓄水工程，汛期放水，非汛期蓄水，在一定程度上缓解了洪涝灾害对我国的影响。

我国水资源的空间分布极不均匀，总体表现是东多西少，东西差距较大；北方水资源贫乏，南方水资源相对丰富，南北相差悬殊。长江及其以南地区的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，西北地区及额尔齐斯河流域面积占全国的 63.5%，而拥有的水资源量仅占全国的 4.6%。根据 2001 年《中国水资源公报》，长江以南及青藏高原地区的水资源量占全国的 87%，而其他地区仅占 13%，华北和晋、陕、甘地区人均水量不足 500m^3，华北地区仅有 204m^3，水资源严重不足。如按面积平均，北方各大流域的水资源量均低于全国平均水平。如海滦河片仅为全国平均值的 1/2；黄河片还不到全国平均值的 1/3。据水利部水资源调查评价估算，我国各省、自治区和直辖市的水资源量最多的西藏、四川、云南和广西等省区，每年拥有的水资源量均在 1800×10^8 m^3 以上，宁夏、天津、上海、北京、山西、河北、甘肃等省市区，每年拥有的水资源量均在 280×10^8 m^3 以下，其中宁夏最低，年当地水资源量仅为 11.6×10^8 m^3。根据我国水资源供需矛盾在地区上的差别，将我国划分为 10 个流域分区，以 1956～1979 年的数据（表 1-1）计算不同分区多年水资源量，绘出曲线如图 1-1 所示。从图 1-1 中对比得出结论：10 大分区表现出 3 种不同的形式。Ⅰ-Ⅴ和Ⅹ区为一类，特点是水资源总量和单位面积水资源量都很低；Ⅵ、Ⅶ为一类，特点是水资源总量和单位面积水量都最多，尤其是Ⅵ区——长江流域，无论是总量还是单位面积水量在 10 个分区中都达到最大值；Ⅷ、Ⅸ为一类，特点是水资源总量较多，单位面积水资源量较少。

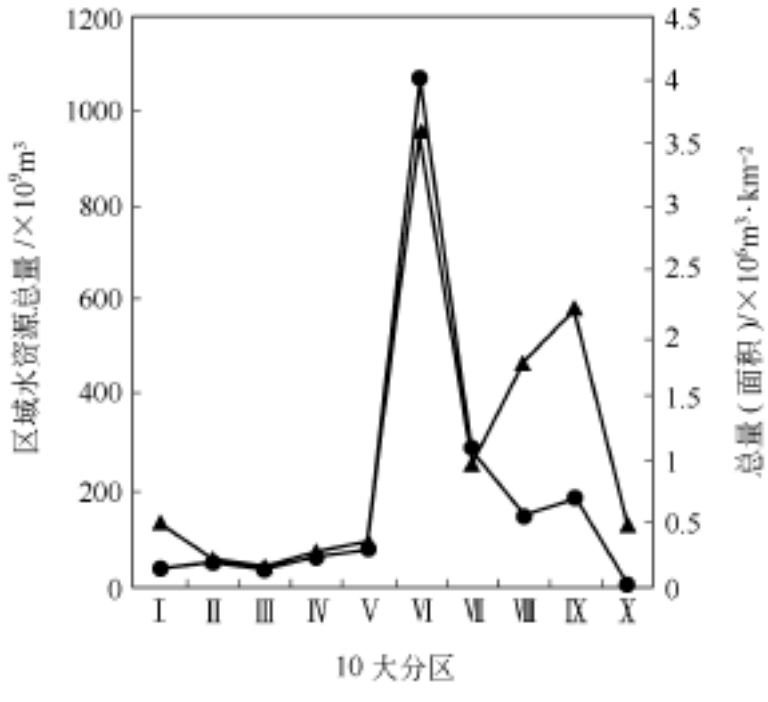

图 1-1　分区多年平均水资源量及水量与面积的比例

表 1-1　10 个流域水资源分布状况

分　　区	计算面积/ 10^3 km^2	水资源总量/ 10^8 m^3	分　　区	计算面积/ 10^3 km^2	水资源总量/ 10^8 m^3
Ⅰ黑龙江	903	135	Ⅶ东南沿海诸河	240	259
Ⅱ辽河及其他河流	345	57.7	Ⅷ珠江及华南诸河	581	471
Ⅲ海滦河	318	42.1	Ⅸ西南诸河	851	585
Ⅳ黄河	795	74.4	Ⅹ内陆河	3374	130
Ⅴ淮河及山东诸河	329	96.1	全国	9545	2811.3
Ⅵ长江	1809	961			

四、水土资源配置不合理

我国水资源受降水的影响，时空分布极为不均。南方降雨在 800～2000mm，北方降雨在 200～800mm。长江流域及其以南地区耕地面积占全国的 36.5%，而水资源总量占全国的 80.9%，长江以北地区水资源总量仅占全国的 19%。足可看出，南北水资源量相差十分悬殊，与农业耕地分布极其不匹配（见表 1-2）。

表 1-2　中国水资源与农业耕地组合状况

区　　名	水资源总量 / 10^8 m^3	水资源总量占全国比例/ %	耕地面积总量 / $\times 10^4$ hm^2	耕地面积总量占全国比例/ %
东北区	1529.0	5.56	1623.8	16.97
华北区	1685.2	6.14	2984.4	31.19
西北区	2235.1	8.14	1147.0	11.99
西南区	12751.8	46.44	1381.7	14.44
东南区	9259.2	33.72	2430.5	25.41

在全国耕地每公顷水资源占有量不足 1.5×10^4 m^3 的 15 个省区中，北方地区占了 13 个。耕地每公顷水资源占有量超过 3×10^4 m^3 的 11 个省区中，北方地区仅有 1 个，耕地每公顷水资源占有量为 1.5×10^4～3×10^4 m^3 的有 3 个省区，北方地区占了 1 个。

从流域上看，黄河、淮河、海河三大流域，土地面积占全国的 13.4%，耕地占 39%，人口占 35%，GDP 占 32%，而水资源量仅占 7.7%，人均约 500m^3，耕地每亩均少于 400m^3，是我国水资源最为紧张的地区。西北内陆河流域，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%。该地区虽属干旱区，但因人口稀少，水资源量人均约 5200m^3，耕地每亩均约 1600m^3。

在各自然分区中，西南区耕地每公顷水量高达 92292m^3，而最少的华北只有 5464m^3，前者是后者的 16 倍多。华北地区土地平坦、肥沃，土地垦殖率达到 16.2%，而西南区仅为 5.4%。华北地区中除内蒙古自治区外，其他各省市是全国单位耕地每公顷水量最少的地区。

在各省区中，耕地每公顷水量超过 6×10^4 m^3 的有西藏、青海、福建、云南、广西、广东、海南和江西。其中每公顷耕地水量超过 150×10^4 m^3 的有西藏，该自治区单位耕地水量高于全国平均值的 70 倍。然而在西藏耕地集中的雅鲁藏布江支流楚河流域，因降水量偏少，流域内每公顷耕地水量也只有 28425m^3，还低于全国平均水平[3]。

我国这种水土资源在空间分布上极不匹配的状况，要求在科学指导下，合理开发利用水土资源，并安排相适应的经济结构和控制人口的增长，以支持发展的需要，但必须十分注意保护包括天然绿洲在内的荒漠生态环境。

第二节　我国水资源分布概况

水资源主要是指与人类社会用水和生态环境保护密切相关而又能不断更新的淡水，包括

地表水和地下水，其补给来源主要是大气降水。

一、降水

我国年降水总量约为 62000×10^{8} m^3，折合降水深 660mm，低于全球陆地平均降水量约 20%[6]。受气候条件制约，我国水资源具有明显的地区分布差异，由东南沿海向西北内陆递减。我国北方旱区年总降水量，除滨海和大致在黄河以南等少部分地区外，均在约 600mm 以下，由东向西，显著减少。600mm 以上降水量等值线大致沿燕山山脉、太行山、秦岭南侧向西南走向。400mm 年降水量线经内蒙古草原上的锡林浩特、呼和浩特，走向兰州。其中黄淮中部和南部、陕西南部、吉林东部等地为 800～1200mm，新疆南部及内蒙古、甘肃、青海三省区的西部不足 50mm，塔里木和柴达木盆地不足 25mm。全国有近一半国土处于降水量不足 400mm 的干旱和半干旱少雨缺水带；南方地区一般为800～1600mm，其中浙江南部、福建、江西、湖南东部、广东大部、广西东北部及海南大部等地为 1600～2000mm，局部地区达 2000mm 以上，台湾全省平均降雨为 2535mm。青藏高原年降雨量一般为 100～800mm。图 1-2 和图 1-3 为降雨量在不同流域及不同省级行政区的分布，图中数据很清楚地显示了降雨量在我国的区域分布情况。从流域分区上看，最大值出现在东南沿海诸河分区，其次为珠江华南诸河分区，最小值出现在内陆河流域分区，降雨量为 158mm，黄河的降雨量值也相当小，仅仅为 464mm。从行政区划分上看，降雨量极端高值为海南省 2170.4mm；其次为福建省 1853.5mm；最低值出现在新疆和内蒙古，分别为 166.6mm，215.8mm。

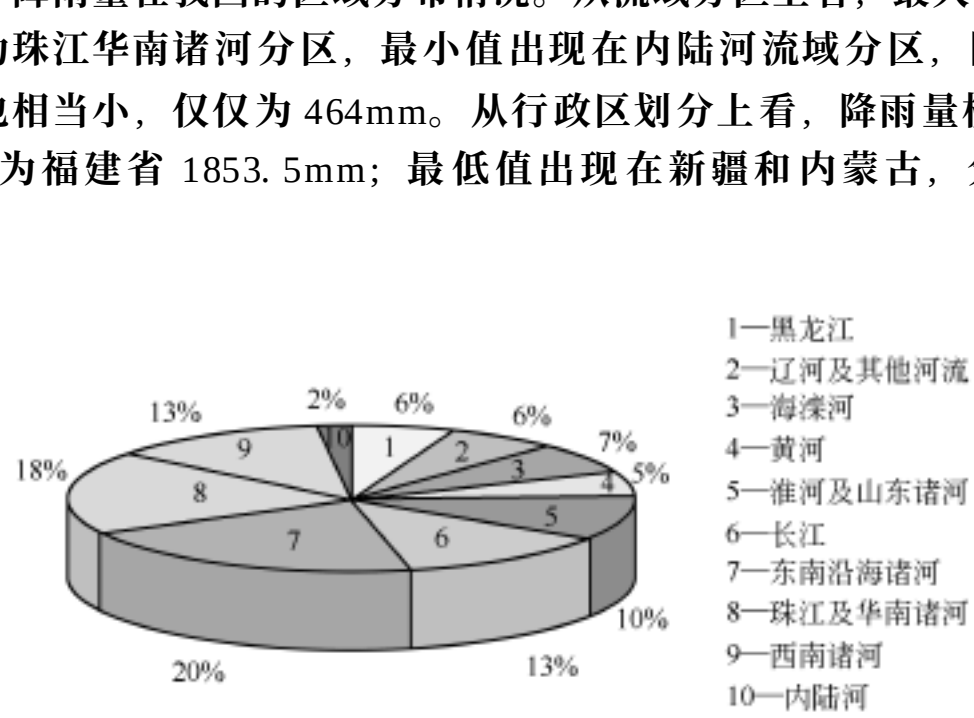

图 1-2　十大流域分区降雨量分布图

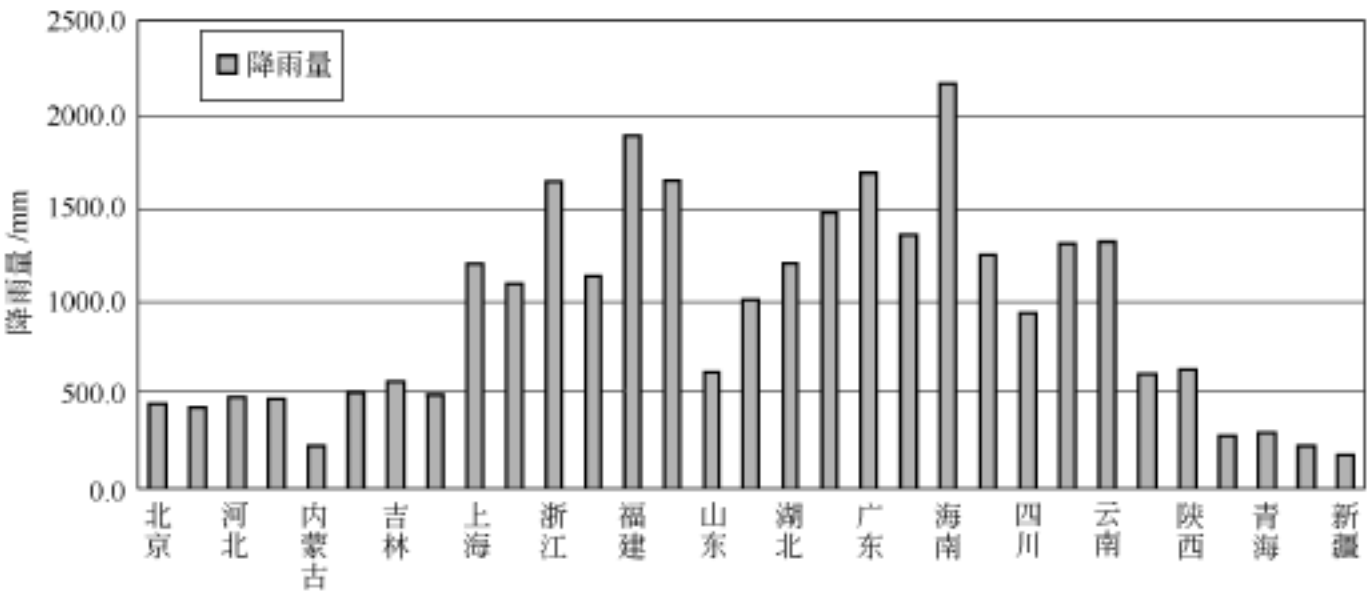

图 1-3　全国省级行政区降雨量柱状图

二、地表水

地表水资源量是指河流、湖泊、冰川等水体的动态水量。我国河川径流众多，流域面积在 100km^2 以上的河流约 1500 条以上，河川径流总量约 2630×10^8 m^3。外流区域占全国土地总面积的 65%，内陆河区域占全国土地总面积的 35%。中国湖泊面积在 1km^2 以上的有 2300 多个，湖泊总面积为 7.2×10^4 km^2，约占全国总面积的 0.8%。全国湖泊储水总量为 7088×10^8 m^3。根据 2002 年水资源公报，地表水资源总量为 27243×10^8 m^3，折合年径流深 287mm。由于我国地表水资源主要来源于大气降水，因此其分布状况与降水的分布基本一致，总体表现是由东南沿海向西北内陆逐步递减，在内陆河区甚至还有大面积的无流区，其地区间的差异比降水更为显著。

我国的水系主要有七大水系，分别为松花江、辽河、海滦河、黄河、淮河、长江、珠江等，其径流量占全国总径流量的 35%（见表 1-3）。湖泊从地域上分为五大湖区，分别为青藏高原湖区、东部平原湖区、蒙新湖区、东北平原和山地湖区以及云贵高原湖区。下面可以从各水系及湖区水资源量的分布状况来看地表水在我国的分布。

表 1-3　中国七大江河水资源分布

河流	流域面积 / ×10^4 km^2	多年平均径流总量 / ×10^8 m^3	河流	流域面积 / ×10^4 km^2	多年平均径流总量 / ×10^8 m^3
松花江	55	762	淮河	27	622
辽河	23	148	长江	180	9513
海滦河	32	292	珠江	45	3380
黄河	75	658			

按照多年平均年降水深、年河川径流深的地区变化，可将全国划分为 5 个地带。

(1) 干旱-干涸带　年降水深在 200mm 以下，年径流深在 10mm 以下，其范围大致包括内蒙古、宁夏、甘肃的荒漠和沙漠，青海的柴达木盆地，新疆的塔里木盆地和准噶尔盆地以及藏北高原的大部分地区。这些地区属于没有灌溉就没有农业的地区。

(2) 半干旱-少水带　年降水深在 200～400mm，年径流深在 10～50mm 的地区，包括东北西部，内蒙古、宁夏、甘肃的大部，青海、新疆部分山区和西藏部分地区。这一带气候干燥，水资源十分缺乏，有些地区生活用水都很困难，农作物一般需要灌溉给予补充水量。中国牧区位于这一带。

(3) 半湿润-过渡带　年降水深在 400～800mm，年径流深在 50～300mm，即由干旱向湿润的过渡带。这一带包括华北平原，东北、山西、陕西的大部，甘肃、青海东南部，新疆西北部山区，四川西北部和西藏东部。该地带的黄淮海平原降水集中，变率大，容易遭受旱涝威胁，是中国主要的旱作农业区。

(4) 湿润-多水带　年降水深在 800～1600mm、年径流深 300～1000mm 的地带，大致包括沂沭河下游，淮河两岸至秦岭以南，长江中下游，云南、贵州、广西和四川的大部分地区。该地带人口十分密集，农业发达，是中国主要农作区。

(5) 多雨-丰水带　该地带年降水深大于 1600mm、年径流深大于 1000mm，包括浙江、福建、广东等省的大部和广西东部、云南西南部、西藏东南隅以及江西、湖南、四川西部的山地。这一带降水量大，无霜期长，为中国主要双季稻产区和热带、亚热带经济作物区。

三、地下水

水资源是人类生存必需的重要自然资源之一，地下水资源在我国水资源中占有举足轻重

需要全本请访问 www.ertongbook.com

的地位，由于地下水分布广、水质好、不易被污染、调蓄能力强、供水保证程度高等，已经被广泛地开发利用。根据国土资源部最近组织开展的新一轮全国地下水资源评价成果显示，全国地下淡水天然资源量多年平均为 $8800\times10^8\ m^3$，约占全国水资源总量的 1/3，地下淡水可开采资源多年平均为 $3500\times10^8\ m^3$。全国每年开采利用地下水量达 $1100\times10^8\ m^3$，约占总用水量的 1/5。

我国地下水资源的补给主要受大气降水的影响，分布极不均匀，与降水量和地表水的分布趋势大体相似，南方多，北方少。南方 4 个流域的地下水资源，约占全国地下水资源总量的 71%，而占全国国土面积 60%的北方 5 片流域，地下水资源量仅占全国的 29%。其中，约占全国面积 35% 的西北地区，地下水天然资源只占全国的 13%，开采资源只占全国的 14.8%。平原区地下水资源模数一般大于周边山区的地下水资源模数；平原区地下水资源量主要分布在北方，山丘区地下水资源量主要分布在南方。北方 5 个流域片的平原区地下水资源量占全国平原区地下水资源总量的 78.4%，南方 4 个流域片的山丘区地下水资源量占全国山丘区地下水资源总量的 77.6%[7]。

从人均及亩均水资源占有量上来看，以华北片、东北片占有量最小，人均地下水天然资源量占有量分别为 $351m^3$ 和 $545m^3$，亩均地下水资源量分别为 $228m^3$ 和 $219m^3$。东南和中南片地下水占有量仅高于华北、东北片。地下水资源占有量最高的是西南和西北片，西南片的人均地下水资源占有量为全国平均水平的 2 倍，亩均地下水天然资源占有量为全国平均水平的 2.7 倍。人均、亩均地下水资源平均占有量的差异对各地经济发展起至关重要的制约作用。

我国南北方在地下水资源分布和城市供水结构方面存在较大的地区性差异。在城市供水结构上，北方地区地下水所占份额较大，有的城市甚至以地下水为惟一水源。地下水开发利用程度最高的是华北地区，地下水供水量占全地区总用水量的 52%。

水资源分布不均和不合理的开采布局，使城市地下水开发利用中存在着严重问题。在许多地区和城市，局部超采现象较为普遍。北方大部分地区地下水资源处于超采或严重超采状态。其中呼和浩特市开采强度达 193.6%，已严重超采。超量集中开采地下水，已造成地下水位大幅度下降，引起地面沉降。有些地区虽然总体上地下水资源的开采量并未超过允许量，但由于地区间开采程度不平衡，造成局部开采强度分布不均，形成地下水降落漏斗。特别是城市地下水集中开采局部地段，已多处发生地面塌陷事故。在我国沿海城市地区，由于超采引起的海水入侵问题已比较严重，同时，大量农药、化肥、生活污水及工业“三废”未经处理直接排放，成为地下水的污染源。据不完全统计，目前我国发现地下水水质污染的地区及城市已有 136 座，污染较为严重的有包头、沈阳、兰州等城市。浪费地下水资源的现象也很严重，目前西北盆地有的地区每亩灌溉定额高达 $700\sim1000m^3$/ 年，有效利用率只有 30%～40%，大量宝贵的地下水资源被浪费。

四、土壤水资源

土壤水资源是相当重要的农业水资源，不管是大气降水、地表水还是地下水，都必须通过土壤载体变成土壤水才能被作物吸收利用。土壤水资源能满足作物生长发育的大部分需水要求，占全国耕地 60%以上的旱地农作物就是靠土壤水生长发育，它是陆地上一切生物最直接的水分来源。土壤既是作物生长的载体又是水分和养分贮存库，使大气间断性的、不均匀的降水、灌溉供水变为对作物连续均匀地给水[6]。据调查，在我国北方地区，土壤水资源占江水资源的 60%～70%，约 360～420mm，与保证率 $P=50\%$ 的河川径流与地下水补给

量之和大致相平。全世界每年可更新的淡水资源中数量最大的既不是地表水也不是地下水，而是天然土壤水有效补注水量。全世界降水总量的 64.8% 变为天然土壤水的有效补注量，相当于地表水与地下水总量的 1.2 倍。我国则是 54.8% 的降水转化为天然土壤水的有效补注水量，相当于地表水与地下水之和的 1.2 倍[8]。

土壤水既具有水资源的基本特征，又与重力水资源有区别，具有不可调度性，不可开采性，只能就地被植物利用和直接耗于蒸发返回大气。对土壤水的利用，目前基本上是自然利用，其不占土地、不耗能、不需要耗费昂贵的工程投资，并对满足作物全生育期总需水要求有着重要的调节作用。有试验结果表明，在小麦生育期内，土壤水利用量可占全部耗水量的 1/3，但在多数地区还没有得到充分利用。因此，我们在土壤水利用方面还有很大的潜力，有人预测，土壤水将是今后水资源开发的主要对象[9]。

主要参考文献

1　Saeijs H L F and van Berkel M J. Global water crisis: the major issue of the 21st century, a growing and explosive problem. EuropeanWater Pollution Control, 1995, 5 (4): 26～40

2　夏军，谈戈．全球变化与水文科学新的进展与挑战．资源科学，2002，24 (3)：1～7

3　刘昌明，何希吾等．中国 21 世纪水问题方略．北京：科学技术出版社，1996

4　钱正英，张光斗，王浣佐等．中国可持续发展水资源战略研究综合报告，2000

5　http://www.hwcc.com.cn

6　石玉林等．中国农业需水与节水高效农业建设．北京：中国水利水电出版社，2001

7　水利部南京水文水资源研究所 .21 世纪中国水供求．北京：中国水利水电出版社，1999

8　沈振荣，苏人琼．中国农业水危机对策研究．北京：中国农业科技出版社，1998

9　李应能．节水农业新技术．南昌：江西科学技术出版社，1998

第二章　农业用水现状及对策

第一节　农业用水现状

我国以补充灌溉为主，目前80%的粮食产于灌溉农田，灌溉面积为$0.5\times10^8 hm^2$，居世界首位，占全国耕地面积的50%，灌溉用水量约为$4000\times10^8 m^3$，占全国总用水量的61.4%左右（2002年统计），约占世界农业总用水量的17%，是用水大户，而全国95%的灌溉土地使用传统的漫灌和沟灌，水的利用率仅为30%～40%，水的浪费极为严重。在我国北方地区，水资源短缺已成为严峻的现实问题，然而，农田用水中的损失和浪费相当严重。据调查，北方灌区，渠系利用系数一般为0.4～0.5，如新疆、宁夏、甘肃和青海的灌区都在0.4～0.45之间。海河流域的渠系利用系数一般约为0.45，就是井灌区，灌溉水的利用率也不过0.6～0.7[1]。

农业用水主要包括种植业灌溉、林地和草场灌溉，畜牧水产养殖用水等大农业的生产用水，目前，全国农业用水量为$3900\times10^8 m^3/a$。农业用水在全国总用水量中的比例从20世纪50年代的90%以上，降到20世纪80年代初的80%，再降到目前的61.4%（2002年统计）。农业灌溉用水是指种植业的灌溉用水，是农业的主要用水和耗水，据2002年《农业水利公报》统计，2002年农田灌溉用水为$3375.1\times10^8 m^3$，占农业用水量的90%，占全国总用水量的61.4%，其中南方和北方农田灌溉用水量各占全国的50%。

我国一方面水资源十分紧缺，另一方面农业用水浪费现象又十分严重，表现如下。①水资源意识淡薄。农户普遍认为水是天上落下来的，取之不尽，用之不竭，不用白不用的思想比较严重。②灌水不科学，灌水量远远地超过作物的生态需水量。在田间灌水中，我国北方灌区灌溉定额达7500～12000m^3/hm^2，高出作物实际需要的2～5倍，西北地区每年灌水定额可达16537.5m^3/hm^2，是全国平均的1.4倍。其中宁夏可高达32550m^3/hm^2，是全国平均灌水量的2.8倍，甘肃河西走廊灌区一般亩净灌水量比实际需要多出1.5倍。据有人估计，每年农业浪费用水量超过$1000\times10^8 m^3$。我国灌区由于灌溉农田不平整，习惯于大畦漫灌，造成每公顷一次的灌水量过大，也造成水的浪费。据初步调查，我国地表水灌区每公顷次灌水量为1200～1500m^3，最高达2258m^3，地下水灌区达900～1050m^3，高出应适宜灌水量的1～2倍。我国南方水稻灌区，水稻田内常流水，加上长期采用深灌、串灌、串排，不但造成水资源的大量浪费，而且使大量水、肥流失、入渗，使地下水位抬高，造成土壤潜育化、稻田冷浸，产量降低。据1991年在湖南领陵灌溉实验站的观测结果表明，田间水层深度经常维持在20～60mm的稻田，双季稻腾发量为9865m^3/hm^2，地下水渗透量可达8947.5m^3/hm^2，全年总耗水量为18813m^3/hm^2，其中地下渗透量占47.6%。③用水管理不善。绝大多数水库、灌区大部分没有较好的用水计量装置，对其承担的灌溉区域在某一灌溉期所需水量缺乏较准确的掌握，放水灌溉具有较大的任意性和盲目性。④灌溉工程经营管理不力。我国现有的大中型灌区的管理单位都属于行政系统事业管理单位，对灌区工程建设和水量调度缺乏自主权，不能通过收取水费和资产经营达到经费自给。目前，灌溉工程均亏本运行，难以维持简单再生产。⑤多部门从不同侧面管水，缺乏协调。目前，我国农业水资源

的管理涉及水利、环保、农业、林业、气象、交通等部门，部门分割，各行其是，难以协调。⑥我国现有灌区有相当一部分工程不配套，工程老化失修，个别水库还存在着严重的病险问题。⑦从灌溉设施来看，有的水库没有主干渠，靠河道输水；许多灌渠只修建了干支渠，以下的渠系不健全，配套率不到 40%。现在的设施有 50%以上需要维修和更新。工程的老化，加之大多数水库淤积严重，使水库的防洪、蓄水能力降低，灌溉面积缩小，发电量减少。

一、全国有效灌溉面积历年变化情况

大规模水利工程的建设，尤其是以增加农田灌溉面积，改善农业生产条件为重点的农田水利建设，使我国农业灌溉事业得到了迅速发展，有效灌溉面积由 1949 年的 $1540\times10^4\ hm^2$ 增加到 2001 年的 $5554.443\times10^4\ hm^2$。表 2-1 为全国各历史时期有效灌溉面积的历年变化，该变化趋势基本上反映了我国的粮食生产水平[2]。

表 2-1　全国各历史时期有效灌溉面积的历年变化

时间/ 年	有效灌溉面积/ $\times10^4 hm^2$	时间/ 年	有效灌溉面积/ $\times10^4 hm^2$	时间/ 年	有效灌溉面积/ $\times10^4 hm^2$
1949	1540	1972	4150.0	1988	4400.0
1952	1933.5	1977	4667.0	1992	4946.4
1957	2733.3	1978	4500.0	1995	4926.7
1962	2869.7	1982	4866.3	1997	5226.7
1967	3500.0	1983	4466.7	2000	5502.75
1970	3600.0	1987	4796.7	2001	5554.443

由表 2-1 和图 2-1 中可以看出全国有效面积的变化分为 3 个阶段。第一阶段（1949～1977 年），首先是恢复、改建和扩建了原有灌区，提高了灌区抗旱能力；其次是全国以兴建蓄水工程为主，建成一大批水源工程，使农业供水量增加到 $3000\times10^8\ m^3$ 以上；再次是全国大搞农田基本建设，北方地区围绕抗旱增产，大力发展井灌，使农业供水量增加到$3900\times10^8\ m^3$，灌溉面积从 1949 年的 $1540\times10^4\ hm^2$ 增加到 1977 年的 $4667\times10^4\ hm^2$，净增 $3127\times10^4\ hm^2$。第二阶段（1978～1988 年），由于水利建设投资大量减少，致使工程老化失修，效益衰减，全国灌溉面积减少到 $4400\times10^4\ hm^2$，减少了 $267\times10^4\ hm^2$。第三阶段（1989～2001 年），水利建设投入增加，据 2001 年《农业水利公报》统计，2001 年农田水利建设进一步加强，机电排灌面积达到 $0.37\times10^8\ hm^2$，其中提灌面积为 $0.33\times10^8\ hm^2$。新增配套机电井为 23×10^4 眼，达到 409×10^4 眼，井灌面积为 $0.16\times10^8\ hm^2$，井灌面积是近年来增加较多的一年。除此之外，还加大了农业综合开发和农田水利田间工程配套的力度，大力推广节水灌溉，较好地发挥了原有水利工程效益，在灌溉水量基本没有增加的条件下，灌溉面积增加到 $5554.4\times10^4\ hm^2$，净增 $1000\times10^4\ hm^2$ 以上。灌溉事业的发展，为农业增产创造了条件。

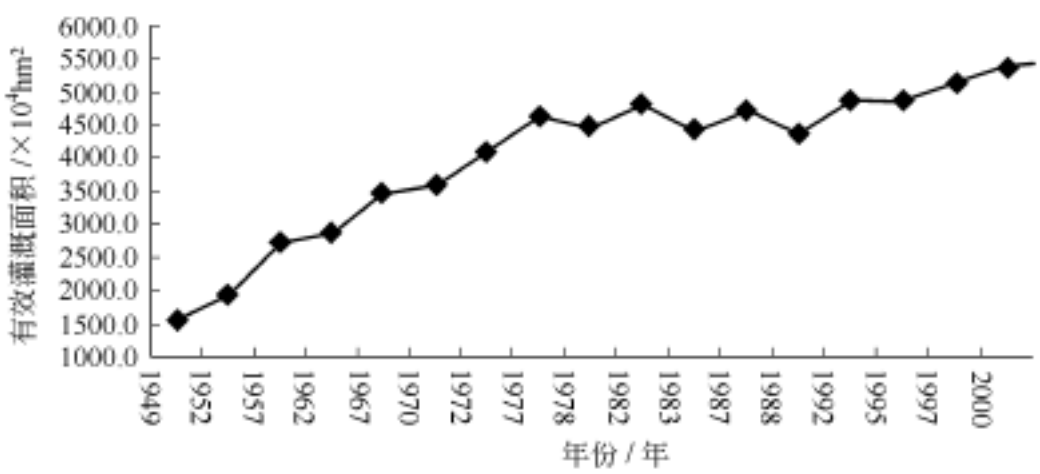

图 2-1　全国有效灌溉面积历年变化

二、农业水资源的利用率和利用效率

判定农业水利用率的指标如下。

1. 衡量输水工程的输水有效程度的渠系水利用系数

它是指由末级固定渠道放出进入田间的总水量与渠首引进的灌溉总水量之比，包含渗漏、蒸发损失，也包含泄水、退水以及工程失事后造成的跑水损失，它反映了输配水工程质量，也反映了水源调度及渠系管理运行的质量。因此，渠系水利用系数越低，则表明灌溉水从水源输送至田间过程中的水量损失越大，反之亦然；各国的实践证明，衬砌渠道是控制渗漏损失的最有效途径。由于国外的灌溉渠道大部分是衬砌的，渠系水利用系数高达 0.8～0.9 以上。据不完全统计，至今我国已衬砌的干、支渠道约 55×10^4 km，仅占其总长的 18%，渠灌区渠道衬砌率只有 1/4～1/3。而干渠、支渠以下大多渠道仍是土质渠道，在输水、配水过程中的渠道渗漏损失十分严重。用单一渠道计算，从渠首到渠尾的渗漏损失一般达 30%～40%；按整个系统计算，包括干渠、支渠、斗渠、农渠，则近一半水量是渗漏损失，即渠系水的利用系数平均为 0.5 左右。如全国灌区的年引水总量按 3445×10^8 m^3 计算，则其中有 1730×10^8 m^3 的水量是通过各级渠道渗漏损失掉了。在我国 0.52×10^8 hm^2 灌溉面积中，渠灌区面积为 0.39×10^8 hm^2，井灌区面积为 0.13×10^8 hm^2。占总灌溉面积 75%的渠灌区，渠系水利用系数一般只有 0.50 左右；提水灌区灌溉水利用系数一般为 0.5～0.6，主要灌区的渠系利用系数平均只有 0.4～0.6，即约有一半的水被浪费。北方旱区表现更为严重，海河流域渠系利用系数约为 0.45，如新疆、宁夏、甘肃和青海的灌区都在 0.4～0.45 之间。海河流域的渠系利用系数一般约为 0.45，就是井灌区，灌溉利用率也不过为 0.6～0.7。宁夏、内蒙古引黄灌区达 1.2×10^4～7.5×10^4 m^3/hm^2，豫鲁引黄灌区达 4500～6000 m^3/hm^2，分别超过农业需水量的 3～4 倍和 1～2 倍，引黄灌区下游输水损失达 30%～50%；甘肃河西走廊一些渠道，水量损失浪费竟高达 60%～80%。陕西泾、洛、渭三大灌区，每千米渠道渗漏损失率一般为 0.4%～0.5%，每年渗漏损失的水量可灌溉 10×10^4 hm^2 的耕地，相当于一个大型灌区[3]。

2. 田间水利用系数

田间水利用系数是衡量水输送过程中蒸发漂移、深层渗漏和地面径流等损失大小程度的指标，它是指同一时期内，田间实际灌水面积计划湿润层内土壤中得到的净水量与灌区末级固定渠道供给田间总水量的比值。田间水利用系数越大，则田间灌溉水损失越小；在田间工程配套齐全、质量良好、灌水技术合理的情况下，一般为 0.95～0.98。与旱田地区相比，水田地区的田间水利用系数较高。1994～1996 年，我国灌区大部分采用传统的地面水灌水技术，渠道灌区的田间水利用系数也只有 0.7 左右。造成田间水利用系数低，田间用水量浪费大的主要原因有两个。第一，田间工程不配套。斗渠、农渠以下的渠道基本没有衬砌，大多没有控制建筑物和量水设施，田间土地不平整，在水稻灌区的格田没有独立的进水、出水口，基本上是串灌串排，水、肥流失严重。第二，田间用水管理水平低。进入田间，甚至进入农渠的水量都没有一个比较精确的计量概念，许多数字都是大致估计出来的。加之水价低，又不按量计征水费，因此用水量大，浪费水量严重。

3. 灌溉水利用系数

灌溉水利用系数是衡量从水源引水到田间形成土壤水过程中，灌溉水有效利用程度的指标，它是从渠首引进灌溉水量扣除渠系和田间损失水量后与总引水灌溉水量的比值，是集中反映灌溉工程质量、灌溉技术水平和管理水平的一项综合性指标。我国渠灌区的平均灌溉水

利用系数一般仅有 0.3～0.4 左右；渠系水利用系数仅为 0.2～0.4，渠系年渗漏损失水量高达 $1300\times10^8\ m^3$，占总损失水量的 70%以上，水资源的浪费仍很严重；井灌区灌溉水利用系数一般为 0.6～0.65。近 10 年来建成的一批节水灌溉工程，灌溉水利用系数为 0.7～0.9。由于各省的灌溉利用系数差异大，通过加权平均就得出全国灌溉水利用系数现状为 0.45。1997 年全国农业灌溉用水约 $4191\times10^8\ m^3$，如农业灌溉水利用率从 45%提高到 55%，那就意味着每年可节水 $419\times10^8\ m^3$，相当于南水北调东线、中线调水量的总和。

4. 农业水资源的利用效率

农业水资源的利用效率即单位水量的产值。水分的利用效率表示的是作物对田间水分的转化效率 WUE，可用下式表示：

$$WUE = YD/WU \tag{2-1}$$

式中　YD——粮食产量，kg；

WU——田间耗水量，m^3。两者取值时的基础面积相同。

从式（2-1）中可看出，水分利用效率的高低由两方面的因子共同决定。一方面是产量水平，它与水分利用效率成正比；另一方面为田间耗水量，与水分利用效率成反比。要提高水分利用效率，就需提高产量水平，或减少田间耗水量，或是同时发挥作用。产量水平的提高涉及的因素太多，而减少田间耗水量的主要途径包括选用节水作物和品种，实行节水灌溉制度，采用地面覆盖减少无效蒸发，施用抑蒸剂等化学制剂减少叶面蒸腾等。在“全国灌溉试验资料数据库”中选取全国 22 个省（市、区），从 1980～1988 年，共 7 个大类、11 个小类的主要作物，计 4863 个样点的灌溉试验资料，对我国主要作物的水分利用效率进行了系统分析，得到全国主要作物的水分利用效率计算结果（见表 2-2）。由此计算出的水分利用效率可以代表全国目前的实际水平。

表 2-2　全国主要作物的水分利用效率

作物种类		平均水分利用效率/ kg·m^{-3}	样点数	平均产量水平/ kg·hm^{-2}
水稻	早稻	0.72	583	5881.5
	中稻	0.71	1010	7053.0
	晚稻	0.63	583	5524.5
小麦	冬小麦	1.32	1057	5032.5
	春小麦	0.80	189	4138.5
玉米	春玉米	1.70	416	7065.0
	夏玉米	1.74	418	6115.5
谷子	春谷	1.10	58	4296.0
	夏谷	0.74	10	2779.5
大豆		0.57	41	2325.0
高粱		1.91	57	6301.5
全国主要粮食作物平均值		1.10	4422	5448.0
棉花		0.23	441	1060.5

我国目前农业用水效率也很低，每单位净耗水的粮食生产效率仅为 1.10kg/ m^3，（有资料认为只能达到 0.8kg/ m^3），而与一些发达国家单位净耗水 2～3kg/ m^3 的水平相比差距很大。同时我国是个以补充灌溉为主的国家，全国平均每生产 1kg 粮食补充灌溉 1.10m^3 水，

需要全本请访问 www.ertongbook.com