绪　　论

绪-1　水资源的概念

水(water)：最简单的氢氧化合物，化学分子式 H_2O。无色，无味，无臭，标准大气压下，冰点 0℃，沸点 100℃，4℃时密度最大，比重为 1。

资源(resource)：生产资料或生活资料的天然来源。

——引自中国社会科学院语言研究所词典编辑室编（1999）《现代汉语词典》(修订本)

水是一切生物赖以生存的重要物质，同时也是工农业生产及可持续发展不可替代的自然资源。就所有的资源及人类环境的各种组成要素而言，除了大气中的氧气之外，水可能是其中最必不可少的。至少在太阳系中，地球是独一无二的富含丰富水资源的行星，因而地球也常常被称作“水行星”(Gleick,2000)。尽管地球上的水很丰富，达 $13.86\times10^8\ km^3$，但陆地表面的淡水量却只占地球总水量的很少一部分，约 $0.35\times10^8\ km^3$，大部分水都分布在海洋之中。由于海水含盐量太高，达 $35\ g\cdot L^{-1}$，人类及其他所有陆地上的生物都很少利用它。太阳辐射能量的作用，使地表和大气之间的水通过蒸发和降水得以不断地循环。正是这些以雨雪形式降落到陆地上，或在漫长的地质时期以地下水的形式汇集和储存的淡水，成为人类赖以生存的资源，满足了人类的各种需求。

水作为地球上最重要的自然资源之一，已获得广泛的共识。然而遗憾的是，由于对水体作为自然资源的基本属性认识程度和角度的差异，目前有关水资源的确切含义仍未有统一的定义（李广贺等，1998）。

水资源(water resources)一词的出现由来已久，随着时代的进步其内涵也在不断地丰富和发展。《大不列颠大百科全书》将水资源解释为：“全部自然界任何形态的水，包括气态水、液态水和固态水的总量”，为“水资源”赋予了十分广泛的含义。实际上，资源的本质特性应体现其“可利用性”，不能被人类利用即不能称其为资源。基于此，1963 年英国的《水资源法》将水资源定义为：“（地球上）具有足够数量的可用水”。在水环境污染并不突出的特定条件下，这一概念

比《大不列颠大百科全书》的定义赋予水资源更为明确的含义，强调了其在量上的可利用性（李广贺等,1998）。联合国教科文组织（UNESCO）和世界气象组织（WMO）共同制订的《水资源评价活动——国家评价手册》中，定义水资源为："可以利用或有可能被利用的水源，具有足够的数量和可用的质量，并能在某一地点为满足某种用途而可被利用。"这一定义的核心主要包括两个方面：其一是应有足够的数量；其二是强调了水资源的质量。有"量"无"质"，或有"质"无"量"均不能称之为水资源。这一阐述比英国《水资源法》中有关水资源的定义具有更为明确的含义，它不仅考虑了水的数量，同时还指出其必须具备质量的可利用性（李广贺等,1998）。

1988 年颁布的《中华人民共和国水法》将水资源认定为"地表水和地下水"。《环境科学词典》（1994）定义水资源为"特定时空下可利用的水，是可再利用资源，不论其质与量，水的可利用性是有限制条件的"。

之所以对水资源的概念及其内涵具有不尽一致的认识与理解，其主要原因在于（李广贺等,1998）：水资源是一个既十分简单又非常复杂的概念。它的复杂内涵表现在：水的类型繁多，具有运动性，各种类型的水体具有相互转化的特性；水的用途广泛，不同的用途对水量和水质具有不同的要求；水资源所包含的"量"和"质"在一定条件下是可以改变的；更为重要的是，水资源的开发利用还受经济技术条件、社会条件和环境条件的制约。正因为如此，人们从不同的侧面认识和体会水资源，造成对水资源一词认识和理解的差异。

为此，李广贺等(1998)将水资源界定为："水资源可以理解为人类长期生存、生活和生产活动中所需要的各种水，既包括数量和质量含义，又包括其使用价值和经济价值。水资源的概念具有广义和狭义之分。狭义上的水资源是指人类在一定的经济技术条件下能够直接利用的淡水；广义上的水资源是指能够直接或间接使用的各种水和水中物质，在社会生活和生产中具有使用价值和经济价值的水都可称为水资源。"

除非特别提及，本书中所论述的水资源仅限于狭义水资源的范畴。

绪-2 变化中的世界之水[①]

几千年来，全球水资源的开发方式千姿百态，人类一直在寻求各种方法，如调水、储存和疏通等，以增强对恣意泛滥的河流或变化莫测的降水的抗拒能力。早期的农业文明，主要分布在降水丰富和河网发达的地区。灌溉渠道的出现，才

① 选编自 Gleick,2000

使得日趋干旱地区作物的正常生长及生长季节的延长成为可能。随着城市化进程的加快，供水水源的距离越来越远，相应地，土木工程与水文水资源等学科也随之得到了长足的发展。 19 世纪的工业革命与 20 世纪的人口剧增，导致了水文圈循环规律的极大改变。最近的几十年中，许多史无前例的巨型工程，如防洪工程、供水工程、水电站工程和灌溉工程等，也一一在地球上安家落户。

20 世纪末开始，人们考虑管理淡水资源及需求的方式已在逐渐改变。尽管传统的规划方法与过于依赖基础设施解决问题的方法仍占主导地位，但许多新方法正被逐步开拓，这些新方法的宗旨即是充分利用现有的基础设施以满足急剧增长的人口的需要，而不是另外再大兴土木或从一个区域到另一个区域实施大规模地调水。为了减少现有工程的供水差距，满足未来的需求，越来越多的供水机构及规划机构，正逐步将其工作的中心转移到开发有效的改进方法，选择合理的管理方案，以及用户间水资源的重新配置等方面上来。尽管这种转变还未被广泛接受，但是，这种思维方式与方法的显著变化，将会对水问题的解决产生深远的影响。

1. 20 世纪水资源的发展

20 世纪的水利基础建设急剧扩展，其主要原因包括：人口增长、工业发展和农业灌溉面积的扩大。整个世纪中，以上三种因素均增长迅猛。 1900 年至 1995 年,全球人口从 16 亿增至近 60 亿；灌溉土地面积从世纪初的约 $5\times10^{7}\ hm^{2}$ 增至目前的 $2.5\times10^{8}\ hm^{2}$。这些因素及其他原因使得淡水资源的提取量从 1900 年的约 $580\ km^{3}\cdot a^{-1}$ 增至 1990 年的 $3\ 580\ km^{3}\cdot a^{-1}$。Postel 等(1996) 撰文指出，人类已利用了地球上可利用径流量的 54% ，随着人口的增长及经济的发展，预计到 2025 年，人类对可利用径流量的利用比例将超过 70% 。

20 世纪水资源规划方案的制订主要依据未来人口总数、人均需水量、农业生产能力以及经济生产力水平等几方面。由于上述几个变量一直被预测为处于不断上升的趋势，因而规划的需求水量总是不断增加。这样，传统的水资源规划势必将得出未来水的需求总量会大大超过可供应量的结论，于是水管理的问题就变成了寻求填补这种预期差距的实践。 80 年代前，这些实践使得规划设计人员更重视与供给来源有关的解决办法，他们期望修建更多的水利基础设施以开发更多的自然水资源，来满足这种短缺的需要，其措施通常包括兴修蓄水水库、架设输水渡槽、铺设输水管道等。毫无疑问，这类基础设施需要巨大的经济投入。整个世纪中，绝大多数国家水利的发展都依赖于政府投入和管理。在水利投资巨大的国家,如美国、中国、前苏联和印度等,只有政府才有足够的财力和物力建设想要兴建的工程。

① 20 世纪水的规划 现状

一个尚拥有未被利用的水资源而又持续发展的社会，为适应社会的发展，只得不断规划新的基础设施，就像 20 世纪 50 至 70 年代期间，能源规划部门在电力事业方面所做的工作那样。结果导致许多水务部门总是致力于工程措施，规划提供更多的水。之后的发展仍与电力工程类似，突然之间，水利规划部门同样也遇到了诸如资源约束、经济限制以及由于其前期行为所导致的日积月累的环境影响等问题。即便忽略预测未来人口增长与经济发展水平等困难，传统的水资源规划也存在许多局限性，其最大的毛病可能在于，根据不合理的结论按部就班地制定方案，这些结论包括：水的需求大大地超过其供给，水的提取不受环境、生态或经济条件的限制等等。如加利福尼亚，自 1957 年以来,每隔几年,加利福尼亚水资源署（The California Department of Water Resources, CDWR）都会发布《加利福尼亚水规划》（The California Water Plan），对加利福尼亚水供给与需求计划进行更新，尽管其中常常使用大量的模型与方法来对未来的需求状况进行预测，但规划的水需求总量超过可供水总量的结论却几乎从未改变。有关未来的这种洞察可能是准确的，但越来越多的迹象表明，变化的方向已经发生了实质性的改变，作为一种依据，未来与过去相似的假定似乎不再恰当（Gleik 等，1995）。

困扰水资源规划的主要难题不仅仅只在加利福尼亚，还存在于更多其他地方，这些难题包括：无法准确分析究竟水将被用于干什么，以及究竟需要多少水才能满足各种不同类型的需求。在水资源开发过程中，政府的水资源规划，通常很少寻求存在于冲突双方或多方之间的共同利益，也很少就解决有关水纠纷达成原则性的协议。当前，对于水政策的指导性道德标准尚缺乏统一的认识，这无疑会导致片面决策与诸多变化，其结果是受影响的各个团体无一满意。

② 20 世纪水的规划：终结

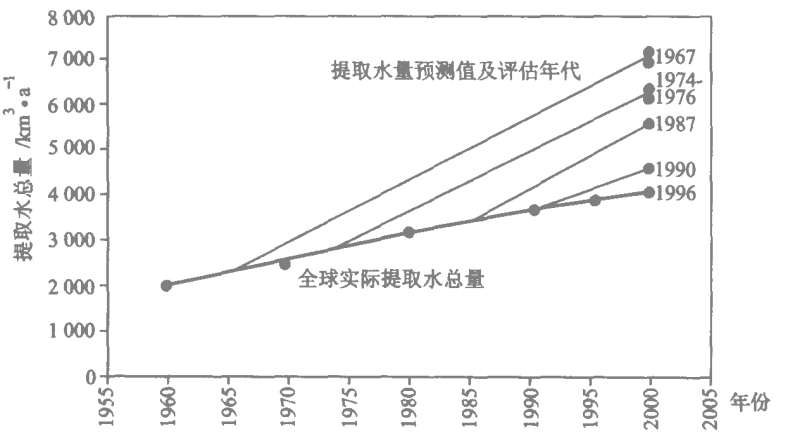
由于社会价值、政治、经济等条件的改变，原来一直由不断增长的标准所左右的 20 世纪水资源规划模式，现已停滞不前，越来越多的人开始更多地注重维持水资源的完整性，以及保护开发区周边的植物群、动物群和人类社会。日益增强的呼声包括：将水管理和开发的成本与利润以更公平、更公正的方式进行分配；注重满足人类对水的基本需求；更进一步地，应尽可能了解、满足所有相关投资者的不同利益与需求。

传统的水规划方法，尽管仍被许多规划机构固守，但现在正开始发生变化，引起这种变化的因素包括：水工建筑的高额费用、日益紧张的财政预算、更深层次的环境忧虑、技术革新、水管理措施各类改进方法的开发等等。一些地区，尤其是北美和西欧，水需求性质的改变也正在促进对新的水资源规划方法的探索。

· 正在变化的需求性质：20 世纪中，全球淡水开采量增长了约 5 倍。在工业超级大国——美国，这种增长趋势更为明显：1900 年，各种用途水的总开采量

估计为 56 $km^3 \cdot a^{-1}$;至 1970 年，这一总量已超过 500 $km^3 \cdot a^{-1}$;1980 年达到顶峰,逾 610 $km^3 \cdot a^{-1}$,约为世纪初的 10 倍，而人口的增长仅为原来的四倍。世界其他各国同美国一样，水需求增长的速度大大超过了其他因素的增长速度，其结果便是导致了水利基础设施的建设以令人不可置信的速度飞速增长。自 20 世纪 80 年代中叶、90 年代初期开始，尽管人口和经济仍保持持续增长的势头，但美国的用水量已停止了上升的趋势，开始逐步回落，完全与水利规划部门的预期结果和实际经验背道而驰。到 1995 年，水的开采总量同巅峰时的 1980 年相比，已下降了近 10 个百分点，仅为 554 $km^3 \cdot a^{-1}$ 。由于美国工业用水效率的提高和工业格局的改变，其工业用水量的下降幅度更是惊人，与高峰期的 1970 年相比，下降了近 40 个百分点，而工业产出和生产力水平则持续猛增。这一现象清楚地表明，改变用水量和工业生产产出的这种正比关系是完全可能的。

尽管各地区的持续发展需要更多的水，但未来全球长期规划的水需求量已开始呈稳步下降的趋势。过去的 25 年中已有不少研究者应用传统的水规划方案,对 2000 年水的需求总量进行了预测预报，其中几个规划方案的预测值绘于图绪-1 ,图绪-1 还标出了实际提取水量的变化过程。图示表明：由于假定用水量按历史的速度（点线）持续增长，因而早期的规划方案大大过高估计了未来水的需求量。全球 1995 年实际提取水量估计介于 3 500 到 3 700 km^3 之间,仅仅只是 30 年前预测值的一半左右。



图绪-1 2000 年全球提取水总量预测图（引自 Gleick, 2000）

水的需求量如果达不到年持续增长 3～4 个百分点的速度，增建水利基础设施的压力就会消失，因为现有的水源可在各个用户之间重新分配。毫无疑问，这种正在转变的思维模式同样也受到另外两个重要因素的影响：其一是越来越强烈的有关水利工程对环境影响的忧虑，其二是日益增长的经济成本。

· 环境运动的作用：20 世纪 70 年代末、80 年代初之前，水资源规划与管理

很少考虑大型水利工程的环境效应，也很少顾及维持自然环境资源与价值所需要的水分。最近一段时期以来，由于环境问题的广泛宣传以及大众认识的变化，即便从前愿意承担新型水利工程费用的人们，也不愿意接受由此所带来的环境成本。

在工业化社会中，大部分理想坝址以及诸多不理想的坝址，都已被不断开发，且经常以牺牲环境为代价，其结果便导致了诸多自由流淌的河流、自然水系以及水生物种的日益稀少和珍贵。目前，保护全球环境和所剩无几的自然资源的意识正在与日俱增。尽管一些发展中国家抱有种种顾虑，即环境的限制仅仅只是照顾到了发达国家的利益，却约束了本国经济的发展，但因为过于沉重的地方成本，这些国家中平民百姓反对修建大型工程的呼声仍然越来越高。在激化这种反对呼声的各项因素中，文化与社会因子同样也起了重要的作用，尤其是在发展中国家，许多大坝工程必然会导致淹没区人口的迁移。最近几年来，伴随着当地各类团体的反对呼声，已有好几个大型工程被搁置或中止。

• 大型水利工程的经济原则：环境因素并非新水利工程惟一的约束因子，在变更水开发性质方面，经济因素同样也发挥重要的作用。与非工程性选择相比，新的水供给系统已变得越来越昂贵。首批大坝工程实施时，其经济合理性相对并不重要，建造这些大坝常被视为努力支持地方经济的一部分，因为它是扩大耕地面积与农业安居政策的途径，还能给城市社会提供电能。当这些因素不再那么紧迫时，新的工程就变得难以依据正当的理由，于是便引入了成本一效益分析的概念。1936 年“美国防洪法”规定：“只有当可能产生的利益自然增长超过估算的成本时”，工程项目才能上马。原则上来讲，这一要求是合适的，但苦于没有现成的标准方法能用于大型水利工程的经济评估，于是便导致了一系列的经济效益分析只能建立在不完整信息与有缺陷假设的基础之上，然后又被用于验证某些边缘项目的合理性。比如说，由于所有非市场性的环境与社会成本均未定量或均无法定量，因而都被简单地剔除在外。

当最好的或最有经济价值的坝址或水域被开发殆尽时，新规划的项目就变得越来越难以评估，而且与之相关的巨额成本也越来越难以得到满足。Itaipu 大坝花费了 190 亿美元，给巴西财政制造了一个不小的窟窿；印度境内 Bhagirathi 河上 Tehri 大坝的建造费用直线上升，已远远超出了其原定 10 亿美元的预算，由于民众的强烈抗议，该工程于 1997 年后期被迫停工；马来西亚的 Bakun 大坝——东南亚最大且最有争议的项目之一，一直面临着严重的财政困难；1998 年早期，在印度河上修建 Kalabagh 大坝的财政预算高达 120 亿美元，但这笔费用至今尚未落实；尼泊尔规划的工程项目，其建设成本超过全国全年财政预算若干倍，显然尼泊尔不可能独立地承担该项目的建设，而来自于当地的抗议呼声又可能阻止国际资助。

这些新的经济约束的另一方面在于：从前几乎所有的水利基础设施都得到补贴，或全部费用均由政府和国际金融机构承担。可以预见，在亚洲和许多其他地区，政府的财政预算将处于持续增长的压力之下，大型水利工程的上马无疑会受到经费的严重制约。同时，这样的压力也存在于社会的各个部门和地区，在改变国家水政策方面，它起着尤其重要和直接的作用，其途径便是限制中央政府卷入新的大型资金密集型工程，而将更多的责任转移到地区和地方政府。经历过大规模开发的过去，承受了诸多由于开发所引起的资金短缺的压力，许多机构和个人现已不再愿意投资新修各类水利工程。国际社会对于大型水利工程项目持续增长的反对呼声，促使国际援助机构不得不考虑以各种不同的方式管理水资源(World Bank,1993)。作为新基础设施建设的替代产物，人们正努力重新思考全球水资源规划与管理的方法。许多国家也在重新思考本国的水政策，并着重强调能够反映环境、社会与文化价值的发展原则。

2. 迎接 21 世纪水需求的挑战

毫无疑问，一些新的大坝、渡槽和水利基础设施仍要建造，尤其是在许多发展中国家，其人类基本需水量还未得到满足。但即便是在这些地区，新方法正在被逐步开发——或老方法又有了新的发现，采用这些方法只需使用较少的资源和资金、破坏更少的生态环境，就可满足对水的需求。成功地满足 21 世纪人类对于水的需求，将越来越依靠于非设施性方法与全新的规划管理方法，这种新思路最重要的一个目的即为：以提高利用水的生产力为目标，重新思考水利用的问题。达到这一目的需采用如下两种方法：其一，提高目前已被满足需求的水的使用效率；其二，提高不同用户间水的分配效率。新的大型水利工程同样也将面临革新性的微型工程的挑战，如微型坝、天然水电站、土地管理与保护方法以及其他因地制宜的管理措施等。除此之外，非传统意义上的供给来源也将起日趋重要的作用，如经过处理或循环的水、某些限制条件下经淡化处理的微咸水或海水等。

①提高水的利用效率

水资源管理非设施性方法的一个关键因子就是：更为有效地利用水和重新调整水在各种用途中的分配。通过实施合理的蓄水措施和需求管理程序、安装新的高效率设备、在水用户中应用合适的经济与法律杠杆等方法，可大大地避免开发新水源；技术、经济和立法的进步，会提高水的利用效率。在人类利用水资源几乎所有的活动中，可供选择的利用方式多种多样，当以高效水分生产力作为一项重要指标时，减少新水源需求的潜力十分巨大。

水利用效率几乎在所有用水环节都可得到很大的改进。许多发展中国家，大量的水都损失在分配系统、有缺陷或陈旧的设备、设计或维护不完善的灌溉系

统之中。如约旦，由于供水网络的缺陷，全国供应的水至少有 30% 无法抵达用户，尤其是其首都安曼，这种损失达 50%；墨西哥城供水系统损失的水量，估计可以足足保证像罗马这样大小城市的水的供应。发达国家的供水系统同样可以得到大大的改进：如美国加利福尼亚，尽管其用水量已经受到多年反复详查结果的限制，仍存在降低用水量的巨大潜力，而毋须以牺牲经济生产力或个人收入为代价。最近一份有关加利福尼亚水政策与规划的评估结果表明，通过更好地应用现有技术，更好地贯彻经济与价格政策，重新调整现有的制度和水的分配，未来 25 年加利福尼亚的水需求完全可以得到满足（Gleick 等，1995）。

· 工业用水：从生产产品及其服务到产出商品的每一个用水环节，技术革新都将起重要的作用。在所有的经济活动中，水的需求均依赖下列两个因素：要生产什么以及以什么样的效率进行生产。于是，工业用水总量即随社会需求的商品与服务以及生产这些商品、提供这些服务的过程而发生变化。在水资源充足的地方，水显得不太珍贵，几乎无法产生提高水利用效率的动力。但在许多缺水地区，采用不同的技术方法所导致的需水量差异正日益得到关注，水利用方式的变化已越来越明显。

20 世纪 30 年代，生产 1 t 钢材要消耗 60～100 t 水，今天，所消耗的水量已少于 6 t，而生产 1 t 铝仅需 1.5 t 水。显然，以新的炼钢技术替代原有的炼钢技术可以减少水的消耗，同样，若用铝材代替钢材，也可减少水的消耗。许多年前，这种替代现象即已在汽车工业领域出现，只不过其发生的缘由并非因为水。1965 年，日本每 100 万美元的工业产出要消耗近 48 000 m^3 水，至 1989 年，每 100 万美元（按实际比价）的工业产出所需消耗的水量降至 13 000 m^3——水的工业生产力水平翻了近 3 倍。

· 生活用水：技术革新具有不改变生活方式而大大减少生活用水量的潜力。如美国，20 世纪 90 年代初以前，大部分抽水马桶每次冲洗都要用去约 23 L 水；1992 年，国会通过了“国家能源政策法令（NEPA）”，NEPA 的一节着重强调：自 1994 年一月起，市面上只能出售高效率、低流量、每次冲洗耗水量仅需 6 L 的马桶。于是，在未改变任何生活方式的条件下，技术上的一个小变革便使冲洗厕所的耗水量下降了 70% 以上。

水分生产力同样也可在室外花园、公共草地、高尔夫球场和其他城市景观等地方得到提高。一些地区的户外市政和公益事业景观，其灌溉用水正逐步由经处理的污水来替代，以完全杜绝饮用水的使用。

· 农业用水：水的最大用户当属农业，且其中大部分用水效率低下——在分配给农民及供给作物生长的过程中，或损失于漏水的输水管路，或损失于未砌衬的渠道。一些分析家估计全球农业的水利用效率仅为 40%，也就是说，分配给农业的用水有一半以上不可能生产粮食。尽管这部分所谓损失的水大部分都返

回到河流或地下含水层，可再次被利用，但毫无疑问，大幅度提高灌溉效率仍然是可能的。

在水资源短缺的地区，新技术与新工艺正在改变灌溉的面貌。新型的喷头设计，如低耗能精确应用(LEPA)技术,即可将喷头的效率从60%～70%增加到95%。发明于以色列的滴灌，当初主要用于解决缺水和盐渍化问题，现已在世界各地得到广泛地推广应用，以色列的灌溉土地已有半数以上应用滴灌方式进行灌溉。在加利福尼亚，滴灌的推广面积已逾40×10^4 hm^2,且其发展势头正越来越旺。在高效经济作物相对长久种植的地方，如果园、葡萄园，滴灌已成为主要的灌溉方式,即便对于某些条播作物,如草莓、龙须菜、辣椒、甜瓜、番茄、棉花和甜菜等，滴灌系统的应用也正变得日益普遍。

输水系统的些微改进也会对灌溉水需求量产生巨大的影响。在绝大部分发展中国家,地面渠道系统的输水效率极低,水要么被浪费,要么分配不均,因而使输水系统末端的农户，其作物产量远低于最佳水平。寻求改善这些系统效率的技术和制度，以增加农业生产力而勿须开发新水源，仍然任重而道远。

②经济与水价

高效用水的主要障碍包括不合理的价格政策和经济补偿，它们常会怂恿恣意的大量浪费，应该说将水视为商品的努力正在不断加强。现在已有各式各样新的经济评估与价格制订方法，被用于衡量水资源开发方案。过去，广泛采用的补贴措施在鼓励供水系统迅猛发展的同时，也阻碍了水分利用效率的提高，并产生了许多并不希望发生的副作用。如中亚的补贴政策使得棉花生产迅速扩展，伴之而来的是灌溉需求量的不断增加和流入碱海（Aral Sea）的河流断流，从而更进一步地导致碱海海面的缩小、当地某些物种的灭绝和对人类健康的影响；为了种植可获得补贴的小麦，沙特阿拉伯的古地下水被过量开采，一份评估资料表明,在1980年至1995年之间，沙特阿拉伯已经消耗了其主要含水层中已探明地下水储存总量的75%；在印度，由于对抽水能源的补贴和地下水控制条例的缺乏，出现了地下水的过量超采，直接威胁到其农业的自给自足。

尤其是农业，从水补贴政策中获益匪浅。农业耗费大部分水资源，而城市用水则产生着远较农业为高的收入和财富，因而城市和环境等行业已开始质疑这类补贴的持续性问题，因为上述行业愿意而且也能够以更高的价格购买同样数量的水。在目前的经济环境下，减少用水补贴和在各用户间重新分配水量的呼声正日趋高涨。农业生产实践的些微变化，即可节约数量可观的水供给城市和环境部门，而其生产力水平却并不一定受到多大的影响。在维持农业生产相当重要的地区，无论从技术角度，还是从经济角度，允许在不同的种植者和作物间重新分配水，同样也可起到提高用水效率的作用。毫无疑问，若以提高用水效率为前提，使用相同数量（或更少）的水，即可提高农业生产力或生产出更高价值

的作物。

在纯自由市场经济条件下，农业用水量会随着城市从农民手中购买廉价水的过程而逐步下降，但这样的纯自由市场经济条件是永不可能存在的。现实的情况是，对水输运过程的法律制约、有关水权的复杂系统、水的补贴政策以及其他诸多关卡，都为农业保持了大部分用水。维持农业用水有许多理由，如必须有粮食供给世界日益增长的人口；在水资源充足的地区，农业是一个当然的和合理的产业；国家都试图鼓励农村的就业；一些文化传统和价值只能通过对农业社会团体的补贴才能得以维持等等。但过去那种盲目的、未经检验的灌溉农业补贴系统，现在必须让位给一个更为复杂与合理的体系。

从经济的观点来看，解决水资源短缺行之有效且可靠的方法就是允许水的市场化，使大量的用户能够提高水的利用效率，将节约的水出售或分配给其他用户，鼓励水的高经济价值利用。但必须注意：强调水作为经济商品可以鼓励提高用水效率，起到节约用水的目的，而纯粹的市场经济方法还不足以保护同样依赖于水的自然生态环境。依靠自然的赐予我们才得以生存，但大自然的这种赐予并不是“索取定购”，而且也不可量化，更超越于政府的经济计算之外。因而在促成水的经济合理化进程中，必须注意保留部分水以保护大自然的“赐予”，避免像传统的经济措施那样将其排斥在外。

③另供选择的水源

为了满足某些行业对水的需求，将会越来越多地使用可另供选择的水源，而不必像从前那样从遥远的地方去寻找新的水源。提供高质量可饮用水相当昂贵，在水资源匮乏地区，利用这样昂贵的水来满足所有的需求也毫无必要。实践证明,根据不同的用途,选择相应质量的水,除了经济有效外,还可以减少以越来越高的极限价格建造新水源的需求。“再生”水、循环水、咸水和脱盐水等都可针对不同的用途来使用，而且还可能具有其环境、经济或政治上的优势。再生水（污水处理）尤其具有某些相当显著的优点，如高可靠的供给保证率、较好的水质、常可在靠近城市用水中心集中成源等。

绪—3　我国的节水农业与水资源的可持续利用

有关水资源开发和利用管理的基本概念和思维方式正在经历根本性的转变,无论是在水资源充足的地方,还是在水资源紧缺的区域,环境、财政和社会等限制性因子都将阻滞大型工程的建设，使得规划设计者只能通过水资源的重新分配和其利用效率的提高来拓宽有限的供给。即使是在基本人类水需求还存在问题的地区，节水计划仍是实际解决途径中不可缺少的一部分，因为其宗旨便是

利用更少的资源、更低程度地减少对生态系统的损坏、花费更少的资金来满足全部的水需求。以下就我国农业水资源的现状及可持续发展对其利用的要求作一简要概述。

我国干旱、半干旱地区土地面积占国土面积的一半以上，其中年降水量 250 mm 以下、没有灌溉就没有农业的干旱区占国土面积的 1/3。水资源短缺，人均占有量、耕地亩均占有量分别为世界平均水平的 1/4 和 3/4。现有耕地中近一半没有灌溉设施,收多收少"听天由命"有灌溉设施的 0.52×10^{8} hm^{2} 耕地中约 1/3 供水不足，北方不少灌区每年只能灌 1～2 次（冯广志,1999）。工业与农业争水，城市与农村争水，使得许多原本为灌溉服务的供水"农转非"。随着农业栽培技术变革，复种指数增加，新品种应用和产量大幅度提高，农作物对缺水的敏感程度增大。20 世纪 80 年代以后，全国受旱面积比 70 年代以前明显增加，每年受旱 $0.20\sim0.27\times10^{8}$ hm^{2}，其中一半面积成灾。全国粮食产量的波动与农业受旱灾情密切相关。干旱缺水不仅直接影响农业生产，还影响农民生活，目前仍有 5 千万农村人口饮水困难没有解决。随着新世纪的到来，我国农业面临更为严峻的形势：一方面是人口不断增加、耕地逐年减少、后备耕地资源有限和水资源短缺；另一方面是国民经济持续发展、人民生活水平对粮食等农产品的需求不断增长，矛盾越来越尖锐。在农业受干旱缺水困扰的同时，各地又普遍存在着灌溉用水效率不高，浪费严重的现象。许多地区粗放的灌溉方法和落后的灌溉技术已不再适应现代农业持续发展的要求，部分地区过量用水造成生态环境恶化，已经危及到农业的可持续发展。

大量事实表明（冯广志,1999），我国北方地区已经出现严重的水荒，局部地区生态环境恶化已经相当严重。黄河下游多年出现冬春季节断流，许多中小河流出现断流情况比黄河还早得多。河流湖泊水域已经污染，不少河道常年流的是污水、臭水。河流入海水量减少，造成河道淤高、河口淤积。地表水不够用就转向超采地下水。河北、山东、辽宁、山西和北京等省市每年超采地下水达数十亿 m^{3}，河北中南部平原地区地下水位平均每年下降 1～1.5 m,机井井深从二三十米发展到三四百米；超采地下水造成水质变差、地面沉降、沿海地区海水入侵、良田变成盐碱地等诸多严重问题。甘肃省河西走廊的石羊河，由于上游过量用水，减少了对下游地区地下水的补给，使得民勤县绿洲萎缩，大面积沙枣树枯死，植被退化,土地沙化、碱化,造成腾格里沙漠向南进逼,撂荒耕地已逾 0.67×10^{4} hm^{2}。同样是河西走廊的黑河流域，也出现了类似情况。上游用水量剧增，流入下游内蒙古额济纳旗的水愈来愈少，居延海已经干涸，大片的绿洲萎缩，当地农牧民基本生存条件已成问题。新疆塔里木河上中游不断扩大灌溉面积，天然草场大水漫灌，造成流入下游的水量愈来愈少，过去 40 年河道流程缩短 200 多千米,下游湖泊水位下降,矿化度增大,局部已经干涸 而下游绿色走廊地下水位下

降，植被也失去了相应的生存条件：20 世纪 50～80 年代，胡杨林面积减少 6.7×10^4 hm^2 以上，土地沙化面积从 60% 多上升到超过 80% 。与此同时，上中游灌区渠道防渗比例小，田间灌水定额大，排水系统不健全，地面蒸发强烈，又导致灌区地下水位抬升，引起大面积土壤次生盐渍化的发生。

造成生态环境恶化的原因不完全是灌溉引起的。如造成地下水位降落漏斗的直接原因可能是许多城市膨胀过快、工矿企业大流量和高强度连续取水的结果。但不可否认，灌溉是用水大户，灌溉用水不合理与生态环境恶化有着密切的关系（冯广志，1999）。推广节水灌溉，是缓解当前农业用水供需矛盾，增加农业产量、发展农村经济的需要；是加快我国农田灌溉现代化和农业现代化进程的需要；是改善生态环境，实现水资源可持续利用、农业可持续发展的需要。

针对我国农业水资源的利用现状及可持续发展的要求，山仑和张岁岐（1999）撰文对节水农业（water-saving agriculture）一词给予了界定：节水农业系指在半干旱半湿润地区充分利用自然降雨的基础上高效利用灌溉水的农业。节水农业所要解决的中心问题是：如何提高农业生产中水的利用率和利用效率，即在灌溉农业中如何做到在节约大量灌溉用水的同时实现作物高产高效，在旱作农业中则力求少量补充供水以达到显著增产。故节水农业应包括三种农业类型：节水灌溉、有限灌溉和旱作农业（包括雨水集流补灌）。节水灌溉是常规灌区最主要的农业灌溉类型。有限灌溉系指缺水地区利用补充灌溉仅能部分满足作物对水分需求的一种方法，是旱地栽培与有限供水相结合的一种管理制度。可将其定义为：根据水资源状况和作物需水规律，在充分利用自然降水的基础上进行有限补充供水的一种节水农业类型，是当前发展节水农业的一种新趋向。

本章主要参考文献

1 冯广志. 我国节水灌溉发展的总体思路. 见：科学技术部农村与社会发展司及水利部国际合作与科技司编 中国节水农业问题论文集. 北京：中国水利水电出版社，1999.11～29

2 冯尚友. 水资源持续利用与管理导论. 北京：科学出版社，2000

3 Gleick P H 著. 左强，林启美，等译. 世界之水——1998～1999 年度淡水资源报告. 北京：中国农业大学出版社，2000

4 李广贺，刘兆昌，张旭. 水资源利用工程与管理. 北京：清华大学出版社，1998

5 马军. 中国水危机. 北京：中国环境科学出版社，1999

6 山仑，张岁岐. 节水农业及其生物学基础，见：科学技术部农村与社会发展司及水利部国际合作与科技司编. 中国节水农业问题论文集. 北京：中国水利

水电出版社，1999.30～41
7 施嘉炀. 水资源综合利用. 北京：中国水利水电出版社，1996
8 吴季松. 水资源及其管理的研究与应用. 北京：中国水利水电出版社，2000
9 张岳. 中国水资源与可持续发展. 广西南宁：广西科学技术出版社，2000
10 中国社会科学院语言研究所词典编辑室编. 现代汉语词典（修订本）. 北京：商务印书馆，1999
11 Gleick P H, P Loh, S Gomez, J Morrison. California water 2020: A sustainable vision. Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security, Oakland, California, 1995
12 Postel S L, G C Daily, P R Ehrlich. Human appropriation of renewable fresh water. Science, 1996, 271: 785～788 (February 9)
13 Reisner M. Cadillac desert: The american west and its disappearing water. Penguin Books, New York. 1986 and 1993 revision
14 World Bank. Water resources management. A world bank policy paper. The World Bank, Washington D C, 1993

（中国农业大学　　左强）

第一篇

水资源概论

1

降水与地表水资源

广义地讲，以液态或固态形式覆盖在地球表面上的自然水体，都属于地表水。它包括海洋水、湖泊（水库、洼淀）水、冰川水、河流水和沼泽水。

世界上水的总储量为 $1\ 385.984\ 6 \times 10^6 km^3$，其中世界海洋为 $1\ 338 \times 10^6 km^3$，占总储量的 96.5%。；世界各大洲陆地上冰的储水量约为 $24.064 \times 10^6 km^3$，湖泊和水库的总储水量为 $0.167\ 88 \times 10^6\ km^3$，合计约占全球总储水量的 1.4% 左右。地表水域覆盖的地球面积达到了地球表面积的 75.1%，地表水的储量约占到地球总储水量的 97.9%（不包括沼泽水）。

在我国，人们通常所说的地表水并不包括海洋水，属于狭义的地表水的概念。主要包括河流水、湖泊水、冰川水和沼泽水；并把大气降水视为地表水体的主要补给源，把分别存在于河流、湖库、沼泽、冰川和冰盖等水体中水分的总称定义为地表水（surface water）（沈振荣，1992）。

我国年平均降水总量约为 $6.19 \times 10^{12}\ m^3$，平摊到 $9.6 \times 10^6\ km^2$ 的大地上，折合年降水深（也叫降水量）为 650 mm。约为全球陆面平均降水量（830 mm）的 78%；亚洲大陆陆面平均降水量（740 mm）的 88%。2000 年全国平均年降水量 633 mm，折合降水总量 $6.00 \times 10^{12}\ m^3$，比常年（多年平均）少 0.9%，属平水年（中华人民共和国水利部，2000）。

地表水资源量通常用地表水体的动态量即河川径流量来表示。河川径流量通常是由设在河道上的水文站在固定的测流断面上测量获得。水文资料观测项目通常包括降水、蒸发、水位、流量、泥沙以及水化学等。