第一章　绪论——水资源与可持续发展

§1.1　可持续发展的涵义与实质

1.1.1　可持续发展涵义

自从 1992 年里约热内卢世界环境与发展大会通过的《21 世纪议程》及我国 1994 年 3 月 25 日国务院第 16 次常务会议讨论通过的《中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书》发表以来，可持续发展理论已成为世界各国和我国制定国民经济发展战略的中心议题和理论基础。早在两个“议程”发表前，我国已重视在发展经济过程中控制人口和保护环境，并把它们定为国策。第八届全国人大四次会议通过了“我国实施经济体制和经济增长方式的根本转变、实施科教兴国和可持续发展战略方针”的决议，正式宣告了我国实施可持续发展战略的开始与决心[1~2]。

可持续发展是人类社会发展的新阶段、新模式，是对过去传统经济发展模式的挑战和创新。可持续发展比较公认和广泛性的定义是：“既要满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”。这个定义有两层含义：其一是首先满足当代人需要，尤其是世界上贫困人民的基本需要，即满足衣、食、住、行和受教育、就业、社会保障等基本生存权利的需要；其次是在生态环境可以维持的前提下满足人类目前与长远的需要，即发展经济，提高人民生活水平，保护生态环境基础，为后代人生存发展创造条件，使人类社会永续地发展下去。

走可持续发展之路，现在已为全世界人民所共识，并形成了声势浩大的共同呼声。发达国家的人民是如此，发展中国家的人民也同样具有强烈愿望。我国是世界上最大的发展中国家，目前人口最多，压力最大；人均资源相对紧缺，资源消耗大和浪费严重；环

境污染不减，生态系统质量下降。尤为严峻的是：人口还在继续增长，环境总体形势仍在恶化，资源利用前景令人堪忧。在此形势下,要发展经济,提高人民生活水平,且要世世代代发展下去,除走可持续发展道路，别无选择。

1.1.2 可持续发展实质

实施可持续发展是一个复杂的战略过程，不是一蹴而就的。可持续发展的实质是要处理好人口、资源、环境与发展之间的协调关系，并使之持续发展下去，以保障这代人和后代人永续健康的生存与发展。

发展经济是人类社会永恒的主题。只有发展经济，才能提高人民的物质生活水平、文化素质和科学技术水平，促进人类社会不断进步。自改革开放以来，我国经济成就令人瞩目，到 1996 年国内生产总值已达 67 700 亿元，按可比价格计算，较上年增长 9.7%；粮食总产量在 4.8×10^{11} kg 以上；城镇居民人均生活费收入达 4 300 多元,实际增长 3.3% 农村居民人均纯收入 1 900 多元,实际增长 9% 钢铁生产突破 1 亿 t,外汇储备超过了 1 000 亿美元,……等等①,实在令人震惊。然而,与发达国家相比,差距还很大。

控制人口数量，提高人口素质，是实现可持续发展战略的棘手问题。我国现在人口 12 亿多，2000 年控制在 13 亿，下个世纪中叶将达到 16 亿左右，可望实现人口的零增长。随着人口增长和生活水平的提高，人均资源消耗水平在不断地成倍增长；从国情出发，着眼未来，选择节约型的社会消费方式，应该提到议事日程上来了。

资源是人类生存发展的物质基础，是可持续发展的重要保障。人类社会的一切进步与发展，都是来自自然资源的物质转换和供给，而自然资源无论是再生的和非再生的都是有限的。因此，走合

① 李鹏总理，政府工作报告(1997 年 3 月 1 日),光明日报,1997 年 3 月 16 日。

理利用资源和节约使用资源的路子，是可持续发展的必然选择和基本要求。保护生态环境和资源是可持续发展的重要前提，保护环境实际上就是保护人类赖以生存发展的自然资源环境，从而为经济社会发展提供坚实的物质基础。

§1.2 水资源与可持续发展的关系

可持续发展是以人为中心，以资源环境保护为条件，以经济社会发展为手段，谋求当代人与后代人共同繁荣、持续发展的目的。作为一种宝贵自然资源的水资源，在可持续发展过程中与人口、资源、环境和经济有着密不可分的关系，其作用就如同血液对人体生命一样的重要。

1.2.1 水资源与人口的关系

水是生命之源。水是人类和一切生物赖以生存和发展的物质基础。原始的生命起源于水，通过进化从水生到陆生，它们随时随地离不开水。水是一切生命新陈代谢活动的介质，生命活动的整个联系和协调、营养物质的运输、代谢物的运送、废物的排泄、激素的传递都与水密切相关。在生命过程中，通过水的蒸发将生命体不断产生的热量散发到体外，以保持体温的恒定。一个重 60 kg 的成年人，每天通过呼吸和体表散发出 1000 mL 的水，带走约 539 kcal 的热量。水分的不足或无水便会导致生理上的不协调，正常生理的破坏，甚至引起死亡。

在现代社会中，人类对水的需要越来越大，每年消耗的水资源增量远远超过对其他资源的消耗增量。随着人们生活水平的提高，人均需水量不断增加。据说公元前每人一天耗水 12 L，中世纪增加到 20～40 L，18世纪增加到 60 L，当前欧美一些大城市每人每天耗水为 500 L，最高在 600 L 以上。

我国城市人均生活用水量约为 90 L/d。据各地调查分析：一般大城市目前的人均用水量为 100～150 L/d，最高为 200～500

L/d,最低为 70～100 L/d。中小城市用水量较低，一般为 50～70 L/d,最低在 30 L/d 左右。北方用水标准明显低于南方。近年来，随着我国城市人口增加和生活水平提高,生活用水急剧增长,全国平均每年增长速度在 3%～5% 或以上。为了说明生活用水增加的前景，以深圳特区为例①,从 1990～1993 年人均实际生活用水为 320 L/d,计划 2000 年为 400L/d,2010 年为 420L/d。这些数据说明经济发展、人口继续增加、生活水平日益提高,对水资源供给的压力是巨大的。

1.2.2 水资源与生态环境的关系

水资源是生态环境的基本要素，是生态环境系统结构与功能的组成部分。水以其存在形态与系统内部各要素之间发生着有机联系，构成生态系统的形态结构；水以其运动形式作为营养物质和能量传递的载体，不停顿地运转，逐级分配营养和能量，从而形成系统的营养结构；水在生态系统中永无休止地运动，必然产生系统与外部环境之间的物质循环和能量转换，因而形成系统功能。水在生态系统结构与功能中的地位与作用，是其他任何要素无法替代的。

水是可恢复再生的自然资源，通过水循环，往复于陆地、海洋、空间和陆地之间，支持物质循环、能量转换和信息传递的运转。在生生不息的生物圈中，生物地质化学循环（Blogeochemical Cycle）也是靠水的运动和调节进行的。总之，生物圈内所有物质虽以不同形式进行着无休止的循环运动，但在任何物质循环过程中，都离不开水的参与和水的独具作用。

水在自然界中，以其形态的存在构成环境的重要要素。没有水的自然环境是不堪设想的，就是在荒漠化的环境中，水也是有份的，而且在一般环境中水也是最易被污染的。为了保护环境，维持

① 深圳市水务局，深圳市水中长期供求计划报告(1996－2000－2010)，1996 年 10 月。

生态平衡，必须保持河川水环境的正常水流和水体自净能力，以满足水生生物和鱼类的生长，维持江河湖泊的生存与演化，以及保证水上通航、水上运动、旅游观光等各项环境功能。

水资源的开发利用可以改变环境状况：开发合理得当，能使环境由荒野状态变成文明秀丽；开发利用不当，则会造成环境恶化和污染。环境（自然的和人文的）的优劣也能制约或影响水资源开发的难易，但一旦开发好了，环境的潜在资源价值也可变成可贵的现实资源,如旅游资源等。

1.2.3 水资源与经济社会发展的关系

“发展”一词,人们通常是按经济学概念,理解为经济的增长，即发展是指经济的发展；而按可持续发展要求，发展则包括整个社会经济、资源和环境都要协调发展，发展的涵义是大大拓宽了。这里我们论述水与发展的关系，主要是针对社会和经济的发展。

水资源是一个国家或地域发展的重要条件，尤其在低级和中级发展阶段更是如此。人类发展的历史表明，古人是逐水栖居的，人类最早的文明起源是在埃及的尼罗河、中国的黄河、印度的恒河和古巴比伦的两河流域发生和发展的；近代世界和我国的一些著名大城市也都是依水滨海而建的。这就实证了水资源对地区和城市发展的重要性。

水资源是国民经济和社会发展的一项重要物质基础。工农业生产活动像生命系统一样离不开水的供给，而且随着生产力的发展,需水量将大大增加。

(1) 城市工业用水

随着我国经济迅速发展，工业产值不断增加，用水量也日趋加大。1952 年我国工业产值为 343 亿元,用水 79 亿 m^3;1979 年工业产值 4591 亿元,用水 263 亿 m^3 产值增加了 13.4 倍,用水量增加了 3.3 倍（该年工业用水量占全国总水量的 5.5%）[4]。1995 年利用水利设施向城市工业供水 428 亿 m^3[5],比 1979 年增加了

1.63倍，表明工业发展是需要大量水资源供给的。

工业用水的增加与工业产值增长率有一定的关系。根据1979年工业产值及用水量推算，该年万元产值用水量为573m^3，单位产值用水量是相当高的。全国各地工业用水随产品、定额、规模耗水与非耗水工业类型、供水条件、技术条件和管理水平等而有很大的差异。一般说，我国北方和沿海缺水地区、工业较发达和管理水平较好的城市，万元产值的综合用水量一般在300m^3左右；重工业比重大、管理水平差、耗水型工业多的城市，万元产值综合用水量在500m^3以上，如北京、天津(1980年)分别为370m^3/万元和289m^3/万元。南方多水地区如福建、广东、广西等不少地区的用水量达800m^3/万元～1000m^3/万元。工业发达的上海工业用水重复利用率达60%，万元产值的用水量为300m^3左右。新兴工业城市深圳特区1993年万元产值用水量，除电力行业为188.5m^3/万元外，其他行业为27.6m^3/万元(水的重复利用率近58%)。

我国工业用水定额普遍偏高。电炉炼钢每生产一吨钢需水18～25m^3 每生产一辆汽车要46m^3 用草浆造纸每生产一吨纸需水130～165m^3 生产一吨粘胶长丝需水656m^3 生产一吨人造丝需水2000～2100m^3(包括空调及棉浆用水)生产一吨维生素E需水36万m^3等[3]。电力工业也是个用水大户。到1994年底全国电力装机容量达1.99亿kW，年总发电量为9278亿kW·h[6]，其中火电装机占总装机的75%，发电量占总电量的81%(水电装机为4810万kW，核电为210万kW，风电为3万kW，共5023万kW)。一台60万kW的火电机组每小时就需要循环水2 945～3 926m^3。尽管工业单位产品的用水定额不同，但随其发展供水量要不断增加。

(2) 农业及农村用水

根据80年代末和90年代初的估算，全国农业及农村每年用水量约为4400亿m^3，该期总供水量为5 000亿m^3左右。其中：农业灌溉4 500万hm^2(折合为67 500万亩)，用水量为4 200m^3

亿，约占全国总用水量的 84%，每公顷平均用水量为 10 000m^3（折合亩均 667m^3），年产粮食数量约占全国总产量的 2/3；农村人口用水，北方农村人均生活用水为 15～25L/d，南方为 25～40L/d 或更多，全国农村生活用水每年约 80 亿 m^3，人均日用水为 28L；大牲畜（牛、马、骡、驴等约 1 亿头）每头每天用水 25～35L，中牲畜（猪、羊约 5 亿头）每头每天用水 8～25L，全国牲畜每年用水约 57 亿 m^3，平均每头每天用水 26L；牧业、草场、渔业等用水共约 63 亿 m^3，计灌溉草场 43hm^2 灌水定额为 2 250～3 000m^3/hm^2，用水约 9～13 亿m^3，灌溉苗圃 40 万 hm^2，灌水定额 3 750～5 250m^3/hm^2，用水约 15～21 亿 m^3，其他用水量 20 多亿 m^3。

由于我国人口仍在继续增长，生活水平也在提高，灌溉的田亩和可开垦的耕地必然还要增加，农业和农村用水总量照此用水水平估算还要大大增加。

§1.3 我国水资源及其特点

1.3.1 水资源数量

水在地球上无处不有，无孔不在，但现实世界上人们所称的水资源，是指水循环周期内可以恢复再生的、能为一般生态和人类直接利用的淡水资源。这部分资源是由大气降水补给，由江河湖泊、地表径流和逐年可恢复的浅层地下水所组成，并受水循环过程所支配。

我国多年平均降水总量 6.2 亿 m^3（见表 1.1）[7]，折合平均降水深 650mm，低于全球陆面降水的 834mm 和亚洲陆面降水的 740mm。全国降水量地区分布极不均匀，分布趋势由东南向西北递减。我国的降水落地后，约有 56%的水量为陆面蒸发和植物蒸腾所散发，只有 44%的水量形成地表径流。

我国地表（河川）径流总量 2.71 万亿 m^3，约占全球年径流总量 47.0 万亿 m^3 的 5.8%，仅次于巴西、加拿大、美国和印尼，位居第五位。人均占有径流量 2258m^3（以 12 亿人计），为世界人均占

有量的 1/4(世界人口以 53 亿计),美国人均的 1/5,印尼人均的 1/7,加拿大人均的 1/50 耕地亩均占有水量为 1 800～1 700m^3(按 15亿～16亿亩计),占世界亩均径流水量的 75%～71%(世界亩均径流量为 2 400m^3)。

全国浅层地下水平均年资源量约为 8 287.7亿 m^3,其中山丘区地下水年资源量为 6 762 亿 m^3,平原区为 1 873 亿 m^3,但需扣除其中山区与平原区地下水重复计算部分约 348亿 m^3。地矿部门统计数字表明,全国山丘区地下水年资源量为 6 743亿 m^3,平原为2 503亿 m^3,山区与平原重复计算量为 530亿 m^3,因此地下水年资源量为 8716 亿 m^3[14]。两个统计数字在地下水部分有差异,误差约在 5%左右。从地域看,适宜地下水开发的大平原多集中于北方,加上北方地区地表径流短缺,仅占全国地面径流的17%,所以形成北方地区大量开采地下水资源的格局。

全国水资源总量为地表径流量与地下水资源量的和。依水利部水文局资料[7],全国总水资源量为 2 8124.4亿 m^3。按地矿部门统计,地下水资源量略有不同。在国家未有新的资料公布前,可作为参考。

我国水能资源量位居世界第一。据 1977～1980 年全国水能资源普查结果,水能理论蕴藏量(10 万 kW 以上河流 3019 条,10 万 kW 以下河流统计不完全)为 6.76亿 kW,电能 5.92 万亿 kW·h 实际可开发的资源量为 3.78亿 kW。目前仅开发利用了 13%(按 1994年底水电装机 4 810 万 kW计)。

1.3.2 水资源时空分布变幅大,水土差异突出

我国地域辽阔,地形复杂,大陆性季风气候非常显著,因而造成水资源的下列特点:

(1) 时间上分布不均,年际年内变幅大

我国大部分地区冬春少雨,多春旱 夏秋多雨,多洪涝。东南部各省雨季早,雨季长,6～9月降水量占全年降水量的60%～70%。

表 1.1　全国各省、自治区、直辖市水资源总量*

各省（区、市）名称	平均年降水量	地表水年均量	地下水年均量	平均年水资源总量	各区水资源的比（%）	各区可耕地的比（%）
	（$\times 10^8 m^3$）					
北京	105.0	25.3	26.2	40.8	0.145	0.24
天津	68.3	10.8	5.8	14.6	0.05	0.16
河北	1 034.0	167.0	145.8	236.9	0.84	2.67
山西	831.0	115.0	94.6	143.5	0.51	2.33
内蒙古	3 183.0	371.0	248.3	506.7	1.80	13.58
辽宁	1 000.0	325.0	105.5	363.2	1.29	2.11
吉林	1 140.0	345.0	110.1	390.0	1.39	2.86
黑龙江	2 481.0	647.0	269.3	775.8	2.76	6.86
上海	65.1	18.6	12.0	26.9	0.10	0.11
江苏	1 017.0	249.0	115.3	325.4	0.16	1.50
浙江	1 597.0	885.0	213.3	897.1	0.32	1.53
安徽	1 590.0	617.0	116.6	676.8	0.24	2.07
福建	2 023.0	1 168.0	306.4	1 168.7	4.16	1.08
江西	2 660.0	1 416.0	322.6	1 422.4	5.06	2.50
山东	1 110.0	264.0	154.2	335.0	1.19	2.23
河南	1 290.0	311.0	198.9	407.7	1.45	2.40
湖北	2 160.0	946.0	291.3	981.2	3.49	2.81
湖南	3 020.0	1 620.0	374.8	1 629.6	5.78	3.23
广东	3 757.0	2 111.0	545.9	2 134.1	7.59	3.12
广西	3 621.0	1 880.0	397.7	1 880.0	6.68	3.16
四川	5 889.0	3 131.0	801.6	3 133.8	11.14	8.15
贵州	2 094.0	1 035.0	258.9	1 035.0	3.68	2.54
云南	4 824.0	2 221.0	738.0	2 221.0	7.90	5.64
西藏	7 132.0	4 482.0	1 094.3	4 482.0	15.93	–
陕西	1 371.0	420.0	165.1	441.9	1.57	3.00
甘肃	1 297.0	273.0	123.7	274.3	0.10	3.17
青海	2 064.0	623.0	258.1	626.2	2.23	5.68
宁夏	157.0	8.5	16.2	9.9	0.04	0.65
新疆	2 429.0	793.0	579.5	882.8	3.14	3.66
台湾	874.0	637.0	138.7	664.1	2.36	–
全国总计	61 889.0	27 115.2	8 287.7	28 124.4	100.0	–

* 摘自水利部水文局，中国水资源评价，水利电力出版社，1987 年。其中各省区水资源量占全国总量的比重为笔者所填；各区可耕地的百分比抄自《管理世界》，1987 年第 4 期，32～34 页。

北方黄、淮、海、松辽流域 6～9月的降雨量一般占全年总降水量的 85%，有的年份一天暴雨量可超过多年平均降水量。不管南方或北方雨季汛期中，降水多以暴雨形式出现，往往造成严重的洪水灾害。

降水量年内分布不均，年际变幅大，势必引起径流变化也大。例如黄河和松花江在近 70 年内出现过 11～13 年的连续枯水年，也出现过 7～9 年的连续丰水年，造成水旱灾害频繁，影响农业稳定生产。又如长江宜昌站的最大流量为 11 万 m^3/s(历史洪水调查)，而实测最小流量仅为 2 770m^3/s，洪枯径流相差 40 倍 黄河三门峡站的最大流量为 36 000m^3/s(历史洪水调查)，而实测最小流量仅为 145m^3/s，洪枯相差 248 倍。径流量在时间上的分布不均与要求获得稳定的供水量之间形成了尖锐矛盾。

(2) 地区间分布不均，水土之间矛盾突出

水资源地区分布不均，主要是全国降水不均造成的。我国降水量从东南沿海向西北内陆递减，依次可划分为多雨、湿润、半湿润、半干旱和干旱五个地带。全国有 45% 的土地面积处于降水量小于 400mm 的干旱和半干旱地带。由于降水不均的影响，造成了全国水土资源严重不平衡的现象，如长江及其以南耕地只占全国耕地的 36% ，而水资源却占全国总量的 80% 黄、淮海流域水资源仅占全国的 8%，而耕地却占全国的 40%。水土资源相差悬殊，造成了我国水资源配置的难度和天然水环境的不利状况。

我国西北地区中有 3.09 万 km^2，储有冰川约 3万亿 m^3，平均年融水量 250 亿 m^3，是西北内陆河流的主要径流补给源。由于全球生态环境恶化，近年来西北地区气温升高，冰川融水速度加快，冰川储量以每年 1.25% 的速度衰减，更加剧了西北地区地表水资源的紧缺。

我国地下水资源与地表水分布同样不均衡。全国山丘地区平均地下水资源，北方地区为 3.06 万 m^3/km^2，南方地区为 16.5 万 m^3/km^2，二者相差 4.2 倍。

全国各地区的水能资源量（指蕴藏量）分布差别也很大。京广铁路以西竟占全国水能资源量的 90% 以上。其中以西南区最多，占全国的 70%，其次为中南区及西北区。按省、市、自治区统计，西藏为全国之冠，约占全国水能蕴藏量的 30%，其次为四川、云南、贵州等省。这是由于我国地势西高东低、主要大江大河顺势自西向东流动、中上游河流坡度大、汇流面积大而形成的。

1.3.3 河流天然水质差异明显，含沙量大

由于地质条件不同，河流的水化学性质差异明显。我国河川径流矿化度分布与降水分布相反，由东南向西北递增。西北大部分河流矿化度在 300mg/L 左右，东南湿润带最小，在 50mg/L 以下。我国水流的总硬度分布与矿化度分布相同，淮河、秦岭以南硬度普遍小于 3，以北大部分地区总硬度为 3～6，高原盆地超过 9 度。我国河流年总离子径流量为 4.19×10^8 t，相当于每平方公里面积上流失盐类 43.6t。

河流泥沙是反映一个流域或地区的植被和水土流状况的重要环境指标。我国每年被河流输送的泥沙约 34 亿 t。其中外流直接入海的泥沙约 18.3 亿 t，外流出境泥沙约 2.5 亿 t，内陆诸河输沙量 1.8亿 t。全国外流区平均每年有 1/3左右的泥沙淤积在下游河道、湖泊、水库、灌区和分洪区内。黄河（陕县）平均每年输沙量 16.0亿 t，年平均含沙量 36.9kg/m^3，是世界之最。长江（宜昌）年平均输沙量 5.14 亿 t，含沙量 1.18kg/m^3。海河、淮河和珠江多年平均输沙量分别为 1.7亿 t，0.27亿 t 和 0.86 亿 t。总的来说，我国诸河含沙量是大的，尤其以北方河流最为突出。水中含沙量大，淤积量大，且泥沙易吸收其他污染物，加重水的污染，增加了水资源开发利用和水环境防治的难度。

§1.4 面向可持续发展水资源开发利用中的问题

1.4.1 解放后我国水利建设三个阶段

兴水利、除水害在我国有着悠久的历史和卓越的业绩。解放

后，水利建设更加迅速发展。经过多年的努力，目前我国年供水量已达5 200亿m^3,约占水资源总量(28 124.4亿m^3)的18.5%,其中利用水利设施向城市工业供水428亿m^3,居民生活供水93亿m^3,共计供水量占总供水量的10%强。兴建了7 000多处乡镇供水工程,解决和改善了2 000多万乡镇人口的生活用水和16 000万处乡镇企业的生产用水。七大江河防御洪水能力普遍有所提高，中下游地区对于常遇洪水基本上可保障安全。农业灌溉面积约7亿亩,治理易涝田亩2.8亿亩。水力发电装机容量到1994年增加到了4 810万kW,占该年底全国电力装机19 900万kW的24.2%。内河通航里程11万多公里。淡水养殖面积7 500万亩，其中水库面积3 000万亩。治理水土流失面积46万多平方公里，约占水土流失面积的1/3。从1949～1985年全国水利投入资金（不包括大中型水力发电的投入）约为同期工农业总产值的1.1%。

水利建设的成绩是从1949年迄今经过两个建设发展阶段取得的，并且已开始进入了第三个阶段，即可持续发展的建设阶段(这三个阶段是作者划分的)。这三个阶段是：

第一阶段,从1949年至1978年的30年。水利建设的特点是“以粮为纲”,以防洪、灌溉为重点,重建设,轻管理。随着我国人口剧增和工农业发展,70年代初我国北方出现了‘水荒’,超采地下水,地面沉降,其他大城市周围的河流、湖泊等水域水质明显下降；许多地区水土流失加重，生态环境受到威胁；同时也暴露了在河流综合开发治理、合理利用水资源、科学管理水资源等方面的认识不足和政策的失当。

第二阶段，从党的十一届三中全会至1995年的17年。水利建设的特点是：从重点为农业服务的目标转向为国民经济所有部门服务的目标,强调‘加强经济管理,讲究经济效益’,制定了不少水资源开发利用政策、法律、管理措施、改革水费、颁布水法以及经济的和技术的积极措施，为水利建设注入了新的活力。水资源开发利用为经济建设服务的目标虽较明确，但对维持经济社会发展的生态环境基础认识不足，保护和治理不够自觉，致使生态环境日

益恶化。

第三阶段，是从“九五国民经济建设和社会发展”计划开始的水资源持续利用的发展阶段。其特点是：以人口、资源、环境和经济协调为指导发展，合理开发、科学管理水资源，保障当代人和后代人永续发展的用水需求。水利建设的第三发展阶段，不是传统经济发展模式下的水利建设，而是人类社会可持续发展下去的崭新阶段，即水资源持续利用的新时代。

从可持续发展模式和战略出发，目前水资源开发利用中的主要问题有下述的四个方面。

1.4.2 人口、经济增长，水的供需矛盾突出

随着人口增长、经济发展和生活水平的提高，对水的需求量大大增加。目前我国人口 12亿多，国内生产总值达 67 700 多亿元(1996 年)，实际供水能力达 5 200 亿 m^3(1995 年底)，人均用水量约 433.3m^3，用水水平是很低的，只相当于美国 1975 年人均用水量(2 340m^3/人)的 18.5%，意大利 1970 年(860m^3/人)的一半，法国 1970 年(665m^3/人)的 65%，日本 1965 年(694m^3/人)的 63%。到下世纪中叶前，我国人口可望达到零增长时，人口有 16亿。以意大利 1970 年的人均用水水平计，那时全国需要供水 13 760 亿 m^3，相当于全国总水资源量的 49%，估计是做不到的，或者说是极其困难的。

据统计，目前全国水资源已经出现了严重赤字，城市缺水 60 亿 m^3，农业缺水 300亿 m^3，农村还有 6 500 万人、6 000万牲畜饮水困难。到 2000 年城市工业和人口继续增加，缺水量将达到 180 亿 m^3 农业灌溉面积在增加，缺水量将达到 400 多亿 m^3。谨慎地估计，到本世纪末或下世纪初，全国每年至少缺水 600 多亿 m^3. 这就是说，到那时的全国供水能力至少要增加到 5 800～6 000亿 m^3。目前，我国的干旱缺水地区水资源供不应求的矛盾已构成了国民经济和社会发展的制约瓶颈，尤其在北方地区，水资源短缺已成为当地经济社会发展的最大制约因素。

前些年估测资料表明[8]，到 20 世纪末全国总需水量 7 096 亿 m^3，经调整后，2000 年全国中等干旱年总需水量为 6 585 亿 m^3。1995 年底至 2000 年不到五年的时间内年供水能力要从现有的 5 200亿 m^3 再增加 1 385亿 m^3，是绝不可能的。因此用水与供水之间的矛盾还将要持续一个较长时期。

1.4.3 水环境污染严重，水资源有效利用量减弱

在水资源供需矛盾日益尖锐的情况下，江河湖泊水环境又遭污染，犹如雪上加霜，供水形势更为严峻。目前七大江河、湖泊、水库均遭到不同程度的污染，并呈加重趋势，工业较发达城镇和经济较发达地区附近水域污染程度尤为突出。据监测资料表明[5]，1995 年七大水系污染明显加重，松、辽河流域水质 4 类、5 类标准的占 67%，黄河流域占 60%，淮河流域占 51%，海河流域占 41%，长江流域占 24%，珠江流域占 22%。我国大淡水湖泊总磷、总氮污染面广，富营养化严重，使江河湖水很大部分失去了利用价值，对生产、生活和饮用水质产生严重影响，危害了人们的身体健康。现今淮河超 5 类水(废水，不能用于农业灌溉)以上的河段占全河的 78%，已成为排污大动脉，直接危害流域内人民的生命健康。流域内的最大人工平原水库——宿鸭湖，已成为无鸭可宿的脏水洼。“太湖美，美在太湖水”景色，已失去昔日的光辉，污染日趋严重。不少地区发生了大水污染事件，引起了公害，影响了人体健康，也制约了当地经济发展。

由于人口增长，经济发展迅速，生活污水和工业废水排放量增加，使地表水和地下水也受到不同程度的污染。据统计[9]，1991 年全国废污水排放总量为 336亿 t，其中工业废水占 70%，约有一半达不到排放标准 生活污水占 30%，处理率不到 10%。近十年来，工业生产虽大幅度增加，而工业废水量却未增加，外排工业废水处理率和外排工业废水达标率都有明显增长，工业废水中汞、镉、铅、砷、铬、酚、氰等 7 种主要有毒物质排放量均呈下降趋势。目前，影响我国水环境质量的主要污染物是有机污染。这些污染

物来自化工、石化、造低、食品、制革、纺织企业排放的高浓度有机废水及大量未经处理的城市生活污水。城市生活污水排放量逐年增加，污水中化学耗氧量增加也比较快，且污水处理率很低，大部分污水未经处理即排入江河湖泊中，造成了城市附近水域污染逐渐加重的局面。以地下水为主要水源的 18个大城市中已有 17个受到了污染。另外，滥用化肥、农药和严重的水土流失给水体带来了严重的面污染。水资源短缺和水污染严重已成为我国不少地区和城市生存与发展的巨大障碍。

1.4.4 水资源浪费巨大，加重供水紧缺

我国目前水资源的紧缺，除与水资源本身特性、水污染严重有关外，还与水资源的浪费有关。水资源短缺、污染和浪费并存，是水资源供需矛盾的重要原因。

我国用水大户是农业。这是农业发展及其生产特性决定的。但是农业用水浪费是巨大的。根据主要作物对气候条件要求[10]，冬小麦总生长期 180～250 天，生育期需水量 450～650mm，折合需水量 4 500～6 500m^3/hm^2，或 300～433.3m^3/亩；水稻生长期 90～150天，需水量 400～800mm，折算为 300～533.3m^3/亩；玉米(100～140 天)需水 500～800mm，折算为 333.3～533.3m^3/亩；棉花(150～180 天)需水 700～1300mm，折算为 466.6～866.6m^3/亩，…… 。按 1995 年供水能力 5200 亿 m^3 计，灌溉用水约占 82%，共用水 4200 亿 m^3，当年灌溉面积约 7 亿亩，折算亩均灌溉用水 600m^3，比小麦、玉米、水稻等需水高出 300～100m^3/亩，以平均每亩多用 200m^3 计，则浪费用水 1 400 亿 m^3 约占当年总供水能力的 27%。有文献估计，每亩灌溉用水 1 000m^3/亩，超过需水量一倍多。此外，我国目前灌溉水的利用率很低，据统计，全国大、中型灌区面积达不到设计灌溉面积的比例很大，渠系水的利用系数不到 50%.

工业工艺水平低，水的重复利用率低，单位产品的耗水量高等也是水资源的浪费。从 80 年代起，我国工业用水重复利用率已提

高到 30％以上，水资源紧张的北方城市北京、天津等的工业重复利用率已达 70％，但总的说来是比较低的。产品单位耗水量普遍偏高，例如平均每吨钢耗水量为 70～100m^3，就是比较先进的首钢和宝钢，其吨钢耗水量也分别为 25m^3 和 7m^3，而法、美、日本每吨钢耗水量分别为 3.75m^3、4.0m^3 和 2.1m^3，仅为我国平均吨钢耗水量的 1/18～1/50。

城市供水管道、排水管理的漏失也不可忽视。据有关资料分析，供水管道损失率一般在 5％～10％左右，有的城市高达 15％以上。供水损失失掉有效用水量和排水管道漏失污染地下水，都是对水资源的浪费与损害。即使一个城市的供水漏损不算大，但全国所有城市的这项损失和浪费就不少了。

1.4.5 洪涝灾害威胁着持续发展进程

自然灾害有七大类，即气象、海洋、洪涝、地震、地质、农业、林业等。它们中的任一类灾害都对实施可持续发展战略构成严重的威胁。近四十年来，我国每年自然灾害造成的直接经济损失，约占国民生产总值的 3％～5％，平均每年因灾死亡数万人[12]，尤其是对灾害高风险地区，自然灾害已构成了脱贫致富的重要制约因素。因此，防灾减灾是实施持续发展战略绝不可忽视的重要组成部分。在自然灾害中，洪旱灾害是最常遇和损失最重的。

洪涝灾害的发生一般需具备灾害源、灾害载体和受灾体三个条件，包括自然和人为两方面因素。我国的洪水灾害，除受自然条件决定外，不合理的人为活动的影响也很重要。目前我国的防洪标准低(见表 1.2)，江河洪灾隐患依然存在；河湖行洪蓄洪区泥沙淤积和人为设障严重，防洪能力普遍下降；工程老化失修，经费不足，活力减弱；还有防洪抗洪的管理不够协调。这些是造成我国目前防洪能力不高、安全保障尚未解决的主要原因。我们知道，我国有近 1/2 的人口、1/3 的耕地和 70％ 的工农业产值均集中在江河的中下游地区，普遍面临着较大洪水的威胁；不尽快地提高防洪能力，我们已经取得的经济社会发展成果和继续发展下去的前景就

表 1.2　全国 31座重点防洪城市防洪标准统计表*

序号	城市	国家防洪标准[重现期(年)]	现状防洪标准[重现期(年)]
1	北京	≥200	永定河左堤可御最大洪水
2	天津	≥200	10～20
3	上海	≥200	100
4	南京	≥200	10
5	武汉	≥200	≥20
6	合肥	200～100	20
7	芜湖	100～50	15～20
8	安庆	100～50	20
9	南昌	200～100	20～30
10	九江	100～50	10～20
11	黄石	200～100	10～20
12	荆沙	200～100	10～20
13	长沙	200～100	20
14	岳阳	100～50	10～15
15	成都	≥200	10～15
16	郑州	200～100	60
17	开封	200～100	60
18	济南	200～100	60
19	沈阳	≥200	300
20	盘锦	100～50	10
21	长春	≥200	50～100
22	吉林	100～50	15
23	哈尔滨	≥200	100
24	齐齐哈尔	200～100	50
25	佳木斯	200～100	20
26	淮南	200～100	20
27	蚌埠	100～50	40
28	广州	≥200	50～100
29	南宁	200～100	≥10
30	梧州	100～50	20 （河西片）
31	柳州	200～100	基本不设防

* 引自光明日报，1996年 12月 13日。