



普通高等教育农业部“十二五”规划教材  
全国高等农林院校“十二五”规划教材

SHUIZIYUAN GUIHUA JI GUANLI


# 水资源规划 及管理

## 及 管理

第二版

何俊仕 栗晓玲 付强 主编



 中国农业出版社

普通高等教育农业部“十二五”规划教材  
全国高等农林院校“十二五”规划教材

---

# 水资源规划及管理

第二版

---

何俊仕 栗晓玲 付强 主编

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

水资源规划及管理/何俊仕, 粟晓玲, 付强主编  
·—2 版. —北京: 中国农业出版社, 2014. 4  
普通高等教育农业部“十二五”规划教材 全国高等  
农林院校“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-109-18986-7

I. ①水… II. ①何… ②粟… ③付… III. ①水资源  
管理—高等学校—教材 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 048557 号

中国农业出版社出版  
(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)  
(邮政编码 100125)  
策划编辑 薛 波  
文字编辑 李兴旺

---

北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行  
2006 年 8 月第 1 版 2014 年 6 月第 2 版  
2014 年 6 月第 2 版北京第 1 次印刷

---

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 17  
字数: 400 千字  
定价: 34.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

# 目 录

第二版前言

第一版前言

<b>第一章 概论</b> .....	1
<b>第一节 水资源概述</b> .....	1
一、水资源的定义 .....	1
二、水资源的基本特性 .....	2
<b>第二节 我国水资源开发利用现状及存在问题</b> .....	2
一、我国水资源概况及分布特点 .....	2
二、我国在水资源利用方面取得的重大进展 .....	4
三、我国水资源开发利用所面临的问题 .....	5
四、水资源可持续开发利用的基本思路 .....	7
<b>第三节 可持续发展与水资源</b> .....	8
一、可持续发展的定义及其评述 .....	8
二、可持续发展理论对水资源发展有重要作用 .....	9
三、水资源可持续发展评价指标体系 .....	9
<b>第四节 水资源规划管理的研究内容及发展趋势</b> .....	10
一、水资源规划的研究内容 .....	10
二、水资源管理的研究内容 .....	11
三、水资源规划及管理所面临的挑战与发展趋势 .....	12
<b>思考与练习</b> .....	13
<b>第二章 水资源评价</b> .....	14
<b>第一节 水资源评价的概念</b> .....	14
<b>第二节 地表水资源量计算</b> .....	15
一、降水量 .....	15
二、蒸发量 .....	19
三、河川径流量 .....	21
四、山丘区地表水资源量计算方法 .....	25
五、平原区地表水资源量计算方法 .....	26
<b>第三节 地下水资源数量评价</b> .....	26
一、地下水资源量评价的概念及类型 .....	26

二、地下水资源量评价的内容 .....	26
三、地下水资源评价的一般程序及水量计算方法 .....	28
四、地下水水量计算方法 .....	30
五、地下水资源评价的精度与分级 .....	34
<b>第四节 水资源重复量的分析与水资源总量的计算</b> .....	<b>35</b>
一、地表水与地下水相互转化的影响因素 .....	35
二、不同区域相互转化重复计算量及水资源总量的计算 .....	36
三、“转化水量”的讨论与处理 .....	38
<b>第五节 水资源质量评价</b> .....	<b>39</b>
一、水资源的质量分类 .....	39
二、供水水质的评价 .....	41
三、水环境质量评价 .....	46
<b>第六节 水资源开发利用现状及其影响评价</b> .....	<b>52</b>
一、社会经济及供水基础设施现状调查 .....	52
二、供用水现状调查 .....	53
三、现状供用水效率分析 .....	55
四、现状供用水存在问题 .....	57
五、水资源开发利用对环境的影响评价 .....	57
<b>第七节 水资源评价基本程序及实例</b> .....	<b>58</b>
一、水资源评价基本程序 .....	58
二、陕西省关中地区水资源评价实例 .....	59
<b>思考与练习</b> .....	<b>65</b>
<b>第三章 水资源供需预测及平衡分析</b> .....	<b>66</b>
<b>第一节 需水预测</b> .....	<b>66</b>
一、需水的概念及分类 .....	66
二、生活需水预测 .....	68
三、生产需水预测 .....	69
四、生态需水预测 .....	79
五、综合需水分析与计算 .....	85
<b>第二节 可供水量预测</b> .....	<b>86</b>
一、可供水量的概念与影响因素 .....	87
二、水利工程可供水量计算 .....	88
三、区域可供水量的计算 .....	94
<b>第三节 水资源供需平衡计算与分析</b> .....	<b>98</b>
一、供需平衡分析概述 .....	99
二、区域水资源供需平衡分析 .....	101
三、供需平衡宏观控制 .....	102
<b>第四节 水资源供需预测案例分析</b> .....	<b>103</b>

一、基本概况 .....	103
二、计算分区与水平年 .....	103
三、水资源总量及可利用量分析 .....	103
四、需水量的计算 .....	104
五、水资源供需平衡分析 .....	106
思考与练习 .....	107
<b>第四章 水资源优化配置 .....</b>	<b>108</b>
<b>第一节 水资源优化配置的概念 .....</b>	<b>108</b>
一、水资源优化配置的目标 .....	108
二、水资源优化配置的原则 .....	109
三、水资源优化配置的手段 .....	109
<b>第二节 基于经济效益的水资源优化配置 .....</b>	<b>111</b>
<b>第三节 基于宏观经济的水资源优化配置 .....</b>	<b>114</b>
一、国民经济各部门划分 .....	115
二、投入产出模型 .....	115
三、基于宏观经济的水资源配置模型 .....	121
<b>第四节 面向可持续发展的水资源优化配置 .....</b>	<b>123</b>
一、生态用水调控 .....	124
二、水资源优化配置的多目标决策模型 .....	125
<b>第五节 水资源配置模式 .....</b>	<b>126</b>
思考与练习 .....	127
<b>第五章 水资源规划的原理与方法 .....</b>	<b>128</b>
<b>第一节 水资源规划概述 .....</b>	<b>128</b>
一、水资源规划的概念 .....	128
二、水资源规划的类型 .....	130
<b>第二节 水资源规划的基本理论及步骤 .....</b>	<b>131</b>
一、水资源规划的学科基础 .....	131
二、水资源规划的方法要点 .....	135
<b>第三节 水资源规划方法 .....</b>	<b>142</b>
一、水资源规划优化技术 .....	142
二、水资源规划模型的建立及求解 .....	149
<b>第四节 水资源规划方案的优选方法 .....</b>	<b>156</b>
一、线性规划 .....	156
二、动态规划 .....	163
思考与练习 .....	167

<b>第六章 流域水资源综合利用规划</b> .....	169
<b>第一节 流域水资源规划的特点、任务与方案拟订原则</b> .....	169
一、流域水资源规划特点 .....	169
二、流域水资源规划任务的确定 .....	169
三、拟定流域水资源规划方案的原则 .....	170
<b>第二节 流域水资源规划方案筛选</b> .....	172
一、单一综合利用水库枢纽规划模型 .....	172
二、确定性流域规划模型 .....	178
三、模型求解与方案初选 .....	183
<b>第三节 流域水资源规划方案模拟调度</b> .....	184
一、模拟调度模型的特点 .....	184
二、模拟调度模型与筛选模型的区别 .....	184
<b>第四节 流域水资源开发程序的确定</b> .....	187
一、投资项目选择原则 .....	188
二、选择工程投资项目的序列模型（动态扩展模型） .....	189
<b>第五节 选择工程投资项目实例</b> .....	191
<b>思考与练习</b> .....	193
<b>第七章 水资源专项规划</b> .....	195
<b>第一节 地表水与地下水联合利用灌溉供水规划</b> .....	195
一、地表水与地下水联合利用灌溉供水规划的意义与原则 .....	195
二、地表水与地下水联合利用灌溉供水规划的方法 .....	196
三、地表水与地下水联合灌溉优化供水模拟调度 .....	204
<b>第二节 城市水资源规划</b> .....	207
一、城市水资源规划的意义、特点和任务 .....	207
二、城市供水水源规划 .....	209
三、城市供水系统规划 .....	213
四、城市排水系统规划 .....	215
<b>第三节 水环境规划</b> .....	218
一、水环境规划的目的、原则与程序 .....	218
二、水环境功能区划 .....	220
三、水环境容量与水环境保护目标 .....	221
四、流域水污染控制措施 .....	225
<b>思考与练习</b> .....	226
<b>第八章 水资源管理</b> .....	228
<b>第一节 水资源管理概述</b> .....	228
一、水资源管理的目标 .....	228

---

二、水资源管理的技术与方法	229
第二节 水资源管理的组织与实施	233
一、水资源管理的组织体制	233
二、水资源管理的法规体系	237
三、水资源管理的经济体制	242
四、水资源管理的技术体系	251
第三节 水资源管理决策支持系统	251
一、水资源管理决策支持系统的含义	252
二、水资源管理决策支持系统的发展	252
三、水资源管理决策支持系统的基本组成及功能	252
四、水资源管理决策支持系统存在的问题	253
五、水资源管理决策支持系统的发展趋势	254
思考与练习	254
主要参考文献	255



# ■ 第一章 概 论 ■

## 第一节 水资源概述

水，是生命之源，是人类赖以生存和发展不可缺少的一种宝贵资源，也是自然环境的重要组成部分，是可持续发展的基础条件。

### 一、水资源的定义

水资源作为地球自然资源的一种，是指地球所属范围内的、可作为资源的水，包括地球表面地层中的和围绕地球的大气中的水分。因此，有一种非常广义的水资源定义，即指地球包括其所有圈层中一切形态的水都是水资源。由于这个定义来自《不列颠百科全书》，具有一定的权威性，因而这种解释较普遍地被引用。1998年由联合国教科文组织和世界气象组织给出的水资源定义比较有影响力，其定义是：“作为资源的水应当是可供利用或有可能被利用，具有足够数量和可用质量，并可适合对某地用水的需求而能长期供应的水源。”因此，水资源可以理解为人类长期生存、生活和生产过程中所需要的各种水，既包括了它的数量和质量，又包括了它的使用价值和经济价值。许多国家在谈到水资源时，常常把通过全球水文循环而不断获得补充的淡水作为水资源。

水资源一词其内涵是随着社会和技术的进步而在不断扩展的，到目前为止，关于水资源的观念和准确定义仍有不同见解。

《中国大百科全书》是国内最具有权威性的工具书，但在不同卷册中对水资源给予了不同解释。

在大气科学、海洋科学、水文科学卷中，水资源被定义为“地球表层可供人类利用的水，包括水量（水质）、水域和水能资源，一般指每年可更新的水量资源”。

在水利卷中，水资源则被定义为“自然界各种形态（气态、固态或液态）的天然水”，并将可供人类利用的水资源作为供评价的水资源。

《中华人民共和国水法》对水资源的表述是：地表水和地下水。这里指的是能够参与水循环，在陆地上逐年可以得到恢复和更新的淡水资源。地表水包括河流、冰川、湖泊、沼泽等水体；地下水是地下汇水量的动态水量，用地下水的补给量来表示。地表水与地下水可以相互转化，不能分割。

从上述众多的水资源定义中我们可以发现，水资源的定义是随着社会的发展而发生变化的，它具有一定的时代烙印，并且出现了从非常广泛外延向逐渐明确内涵的方向演变趋势。由于其出发点不同，相对于特定的研究学科领域而言，它们都具有合理的因素。从各个有关水资源学科出发，水资源涵义非常明确，研究对象十分清楚，但是如果从宏观角度系统地认识水资源，水资源定义又很模糊，让人感到五花八门，难以掌握。同时我们还必须注意到，上述各种水资源的定义，基本上都是围绕着水的形态、利用、水量等展开论述，很少涉

及水资源的质即水质，然而，水质对于水资源而言，是十分重要的，如果不考虑水质而研究水资源，必将导致水资源开发利用的失误。

## 二、水资源的基本特性

水资源有其独特的性质，只有充分认识它的特性，才能合理、有效地利用。

**1. 循环性和有限性** 水圈中的水由于相互之间不断循环，使得地表水和地下水不断得到大气降水的补给，开发利用后可以恢复和更新，这是地球上水资源具有的特征。但各种水体的补给量是不同的和有限的，为了可持续供水，多年平均的利用量不应超过补给量。循环过程的无限性和补给量的有限性，决定了水资源在一定数量限度内才是取之不尽、用之不竭的。

**2. 时空分布不均匀性** 水资源在地区分布上很不均匀，年际年内变化大，给开发利用带来许多困难。地球表面淡水资源分布的不均匀性，表现为降水多的地区，淡水资源比较充足；反之，淡水资源则很贫乏。为了满足各地区、各部门的用水要求，必须修建蓄水、引水、提水、水井和跨流域调水工程，对天然水资源进行时空再分配。

**3. 用途广泛性** 在国计民生中，水资源的用途十分广泛，各行各业都离不开水，水不仅用于农业灌溉、工业生产和城乡生活，而且还用于水力发电、航运、水产养殖、旅游娱乐等。这些用途又具有较强的竞争性。随着人们生活水平的提高、国民经济和社会的发展，用水量不断增加是必然趋势，不少地区出现了水源不足的紧张局面，水资源短缺问题已成为当今世界面临的重大难题之一。

**4. 经济上的两重性** 由于降水和径流时空分布不均，形成因水过多或过少而引起洪、涝、旱、碱等自然灾害；由于水资源开发利用不当，也会造成人为灾害，如垮坝事故、土壤次生盐渍化、水体污染、海水入侵和地面沉降等。水的可供利用及可能引起灾害，决定了水资源在经济上的两重性，既有正效益也有负效益。水资源的综合开发和合理利用，应达到兴利、除害的双重目的。

## 第二节 我国水资源开发利用现状及存在问题

### 一、我国水资源概况及分布特点

我国处于中低纬度、海陆位置，季风气候显著，使我国水资源形成以下特点：

**1. 我国水资源总量多、人均少、单位面积少** 2010年全国水资源总量为30 906.4亿 $m^3$ ，比常年值偏多11.5%。地下水与地表水资源不重复量为1108.8亿 $m^3$ ，占地下水资源量的13.2%，也就是说，地下水资源量的86.8%与地表水资源量重复。北方6区水资源总量为6049.5亿 $m^3$ ，比常年值偏多15.0%，占全国的19.6%；南方4区水资源总量为24 856.9亿 $m^3$ ，比常年值偏多10.7%，占全国的80.4%。全国各流域片水资源总量见表1-1。

但我国人口众多，耕地面积不少，按2011年统计，我国人均水资源量为2063.6 $m^3$ （2000—2010年），人均、单位面积水量都低于世界平均水平。人均水量为世界人均水量的1/4，美国的1/5，加拿大的1/48。

**2. 地区分布不均，南涝北旱** 我国水资源的地区分布十分不均，由东南向西北递减，

且与人口、耕地的分布不相适应。从全国来说,南方水多、人多、地少,北方地多、人多、水少,形成了南方水量有余、北方缺水的局面。南方水资源总量占全国的 81%,人口占全国的 54.4%,耕地只占全国的 35.9%;北方(不含内陆区)水资源只占全国的 14.4%,耕地却占全国的 58.3%,人口占全国的 43.2%。

**3. 年际和季节变化大,水旱灾害频繁** 季风气候地区的降水具有夏秋降水多、冬春降水少、年际降水变化大的特征。我国大部分地区受季风影响明显,降水量、径流量的年际和季节变化很大,而且干旱地区的变化一般大于湿润地区。南部地区最大年降水量一般是最小年降水量的 2~4 倍,北部地区一般是 3~6 倍。南部地区最大年径流量一般也为最小年径流量的 2~4 倍,北部地区一般是 3~8 倍。在我国水资源量中,大约有 2/3 是洪水径流量。降水量和径流量年际间的差别大和年内高度集中的特点,不仅给开发利用水资源带来了困难,而且是水旱灾害频繁的根本原因。

表 1-1 2010 年各水资源区水资源量

水资源区	降水总量 (亿 m <sup>3</sup> )	地表水资源量 (亿 m <sup>3</sup> )	地下水资源量 (亿 m <sup>3</sup> )	不重复计算量 (亿 m <sup>3</sup> )	水资源总量 (亿 m <sup>3</sup> )
全国	65849.6	29 797.6	8417.0	1108.8	30906.4
北方 6 区	22155.1	5084.3	2699.5	965.2	6049.5
南方 4 区	43694.5	24713.3	5717.5	143.6	24 856.9
松花江	4946	1433.2	476.4	206.8	1640.0
辽河	2260.2	702.3	235.1	110.5	812.8
海河	1705.6	149.0	224.4	158.2	307.2
黄河	3571.3	568.9	385.2	111.0	679.8
淮河	2756.8	709.8	412.2	253.1	962.9
长江	20686.4	11146.1	2619.1	118.0	11264.1
其中:太湖	451	187.2	46.7	22.7	209.8
东南诸江	4368.3	2858.2	559.9	10.8	2869.0
珠江	9377.0	4921.3	1115.9	14.8	4936.1
西南诸江	9262.7	5787.7	1422.7	0	5787.7
西北诸江	6915.2	1521.0	966.1	125.7	1646.7

**4. 地下水分布广泛,是北方地区重要的供水水源** 由于地下水分布相对比地表水均匀且相对稳定,年际和季节变化较小,水质较好,不易污染,在北方地表水资源相对贫乏的地区,地下水对工业、农业和城镇供水有着重要的意义,有些地方,地下水甚至成为唯一的供水水源。北方平原区地下水资源比较丰富且容易开发利用,往往成为大型水源地。东北诸河、海河、淮河和山东半岛、内陆诸河等地区的地下水开采量,约占总供水量的 1/3。其中,海河地下水开采量占全流域供水量的 53%。许多城镇供水全部开采地下水。

**5. 水土流失,河流泥沙含量大** 近年来我国自然灾害不断,生态环境受到严重破坏,水土流失严重。高速增长的公路、铁路、矿山开采以及水利建设给自然生态环境造成巨大破坏。根据国土资源部、水利部和环保部的统计,我国水土流失面积达 356 万 km<sup>2</sup>,占国土面积的 37%,每年 50 亿 t 土壤遭侵蚀(2010 年)。长江、黄河、淮河、海河、珠江、松花江、辽河、钱塘江、闽江、塔里木河和黑河 11 条河流的多年平均输沙 16 亿 t。其特征值见表 1-2。

表 1-2 2011 年主要河流代表水文站与实测水沙特征值

河流	代表水文站	控制流域面积 (万 km <sup>2</sup> )	年径流量 (万 m <sup>3</sup> )		年输沙量 (万 t)	
			多年平均	2011 年	多年平均	2011 年
长江	大通	170.54	8964	6671	39000	7180
黄河	潼关	68.22	341.2	259.6	105000	13200
淮河	蚌埠+临沂	13.16	290.9	112.7	1110	30.8
海河	石匣里+响水堡+张家坟+下会	5.22	15.55	3.698	1740	3.11
珠江	高要+石角+博罗	41.52	2833	1773	7160	1270
松花江	佳木斯	52.83	632.0	449.0	1260	793
辽河	铁岭+新民	12.76	31.90	17.24	1540	71.1
钱塘江	兰溪+诸暨+花山	2.30	198.9	148.3	267	407
闽江	竹岐+永泰	5.85	573.9	320.6	637	49.7
塔里木河	阿拉尔+焉耆	15.04	71.97	82.58	2250	2680
黑河	莺落峡	1.00	16.02	18.57	209	43.2
合计		388.4	13969.34	9856.28	60173	25 727.91

## 二、我国在水资源利用方面取得的重大进展

经过近 60 多年的规划建设，目前我国已初步形成了较为完善的水资源减灾和保障体系。截至 2011 年年底，全国共修建加固堤防 30 万 km，建成各类水库 88 605 座，总库容 7201 亿 m<sup>3</sup>，其中，大型水库 567 座，总库容 5602 亿 m<sup>3</sup>，占全部总库容的 77.8%；全国有效灌溉面积万亩\*以上的灌区共 5824 处，有效灌溉面积 2974.8 万 hm<sup>2</sup>；累计治理水土流失面积 110 万 km<sup>2</sup>，实施生态修复面积 72 万 km<sup>2</sup>，发展水电装机 2.3 亿 kW。以大江大河堤防为重点的防洪工程建设、病险水库除险加固、解决人畜饮水困难、大型灌区节水改造等取得历史性突破，并通过南水北调、三峡工程、治黄工程等工程的建设，实现了水资源的更合理的配置。水利在保障饮用水安全、防洪减灾、粮食生产、经济发展、生态建设和环境保护等方面发挥了巨大作用。表 1-3 列出了 2006 年到 2011 年全国水利发展情况。

表 1-3 全国水利发展主要指标 (2006—2011 年)

指标名称	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
1. 灌溉面积 (万 hm <sup>2</sup> )	6255.9	6341.3	6412.0	6516.5	6635.2	6774.3
2. 农田 (有效) 灌溉面积 (万 hm <sup>2</sup> )	5707.8	5778.2	5847.2	5926.1	6034.8	6168.2
其中: 本年新增 (万 hm <sup>2</sup> )	134.3	134.4	131.8	153.3	172.2	213.0
3. 机电井灌溉面积 (万 hm <sup>2</sup> )	1679.9	1689.4	1716.3	1748.0	1780.7	1825.0
4. 机电排灌面积 (万 hm <sup>2</sup> )	3756.3	3871.5	3927.7	4001.6	4075.1	4146.5
其中: 提灌面积 (万 hm <sup>2</sup> )	3309.1	3426.5	3465.9	3558.1	3640.1	3707.9
5. 节水灌溉面积 (万 hm <sup>2</sup> )	2242.6	2348.9	2443.6	2575.5	2731.4	2917.9

\* 亩为非法定计量单位，1 亩=666.7m<sup>2</sup>。

(续)

指标名称	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年
6. 万亩以上灌区(处)	5894	5869	5851	5844	5795	5824
其中: 30万亩以上(处)	285	294	325	335	349	348
万亩以上灌区(有效)灌溉面积(万hm <sup>2</sup> )	2802.1	2834.1	2944.0	2956.2	2941.5	2974.8
其中: 30万亩以上(万hm <sup>2</sup> )	1461.3	1466.7	1540.1	1557.5	1565.8	1578.6
7. 当年解决农村饮水安全人口(万人)	2945	4468	5378	7295	6717	6398
8. 除涝面积(万hm <sup>2</sup> )	2137.6	2141.9	2142.5	2158.4	2169.2	2172.2
9. 水土流失治理面积(万km <sup>2</sup> )	97.5	99.9	101.6	104.3	106.8	109.7
10. 水库(座)	85249	85412	86353	87151	87873	88605
11. 全年水利工程总供水量(亿m <sup>3</sup> )	5795	5819	5910	5933	6022	6107
12. 堤防长度(万km)	28.1	28.4	28.7	29.1	29.4	30
13. 水闸总计(座)	41209	41110	41626	42523	43300	44306
14. 已配套农田机电井眼数(万眼)	437	439	444	451	458	465
15. 年末全国水电装机容量(万kW)	12847	14523	17090	19686	21157	23007
16. 农村水电装机容量(万kW)	4318	4739	5127	5512	5924	6212
全年发电量(亿kW·h)	4163	4870	5614	5055	6813	6507
17. 当年完成水利建设投资(亿元)	793.8	944.9	1088.2	1894	2319.9	3086

### 三、我国水资源开发利用所面临的问题

**1. 开发利用滞后于经济发展** 2011年全国总供水量为6107.2亿m<sup>3</sup>,占当年水资源总量的26.3%。其中,地表水源供水量为4953.3亿m<sup>3</sup>,占总供水量的81.1%;地下水水源供水量为1109.1亿m<sup>3</sup>,占总供水量的18.2%;其他水源供水量44.8亿m<sup>3</sup>,占总供水量的0.7%。2011年,全国人均用水量为454m<sup>3</sup>,万元国内生产总值(当年价)用水量为129m<sup>3</sup>。农田实际灌溉亩均用水量为415m<sup>3</sup>,农田灌溉水有效利用系数为0.510,万元工业增加值(当年价)用水量为78m<sup>3</sup>,城镇人均生活用水量(含公共用水)为198L/d,农村居民人均生活用水量为82L/d。2011年,全国人均用水量为454m<sup>3</sup>,万元国内生产总值(当年价)用水量为129m<sup>3</sup>。农田实际灌溉亩均用水量为415m<sup>3</sup>,农田灌溉水有效利用系数为0.510,万元工业增加值(当年价)用水量为78m<sup>3</sup>,城镇人均生活用水量(含公共用水)为198L/d,农村居民人均生活用水量为82L/d。

2001年和2011年全国平均供水量分别为5507亿m<sup>3</sup>和6107.2亿m<sup>3</sup>,年均增长率为1.04%,而GDP年增长率都在9%以上,这个指标反映了节约用水的进展,也隐含着局部地区的供需矛盾。我国农作物平均每年受旱面积为3.3亿亩,占全部农业灾害面积的62%以上,每年因旱灾损失粮食250亿~300亿kg,占各种自然灾害损失总量的60%。近年来随着极端天气气候事件的频繁出现,农业干旱的发生频率和强度也明显增加。

**2. 北方地区缺水形势加剧** 我国北方,尤其是黄淮海流域缺水形势十分严峻。从20世纪80年代以来,海滦河、黄河、淮河流域先后进入持续干旱枯水期,河川径流量衰减十分明显。地表水源不足,导致平原地区大量开采地下水,海河平原地下水累计超采600亿m<sup>3</sup>。

不少地区地下水位大幅度下降，河湖干涸，生态环境恶化。黄河下游 20 世纪 90 年代以来断流加剧，1997 年断流 226 天。1999 年和 2000 年加强了水资源管理，黄河没有断流，但仍然岌岌可危。

**3. 城市缺水现象日益突出，挤占生态环境用水和农业用水** 随着工业和城市化迅速发展，城镇生活和工业用水也快速增长，大中城市的水资源供需矛盾日显突出。2010 年，全国 668 个大中城市中缺水的达到 400 个，其中有 110 个严重缺水，年缺水量 60 多亿  $m^3$ ，主要分布在华北和沿海地带。由于地下水超采和农业用水被挤占，生态环境恶化和农业缺水现象日益突出。

**4. 用水浪费和缺水现象并存，节水和挖潜还有较大潜力** 工农业用水紧张，同时浪费也很严重。2011 年全国农业灌溉水的利用系数平均在 0.51，和先进国家（0.7~0.8）相比，我国灌区用水效率相对低下。2011 年全国万元生产总值用水量为  $129m^3$ ，虽然有很大的提高，但与发达国家相比，仍然高出很多；工业用水重复利用率平均为 55%，而发达国家为 75%~85%，差距十分明显。全国多数城市自来水管网仅跑、冒、滴、漏的损失率至少 20%。节水、污水处理回用及雨水利用还没有很好地推广。此外，由于长期以来工程维修费用不足，供水工程老化失修，严重影响了工程供水效益的发挥。

**5. 江河湖库水污染严重** 据 2011 年《中国水资源公报》，全国废、污水年排放总量约为 807 亿 t（不包括火电直流冷却水）。2011 年，对全国 17.6 万 km 河流水质进行了监测评价，全年 I 类水河长占评价河长的 4.6%，II 类水河长占 35.6%，III 类水河长占 24.0%，IV 类水河长占 12.9%，V 类水河长占 5.7%，劣 V 类水河长占 17.2%。全国全年 I~III 类水河长比例为 64.2%，比 2010 年提高了 2.8 个百分点。主要污染项目是高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、五日生化需氧量。对全国 103 个主要湖泊的 2.7 万  $km^2$  水面进行了水质评价。全年水质为 I 类的水面占评价水面面积的 0.5%，II 类占 32.9%，III 类占 25.4%，IV 类占 12.0%，V 类占 4.5%，劣 V 类占 24.7%。对上述湖泊进行的营养化状况评价结果显示：中营养湖泊有 32 个，富营养湖泊有 71 个。在富营养化湖泊中，处于轻度富营养状态的湖泊有 42 个，占富营养湖泊总数的 59.2%；中度富营养湖泊 29 个，占富营养湖泊总数的 40.8%。河北的白洋淀，江苏的溇湖、洮湖，安徽的天井湖、巢湖，湖北的南湖、南太子湖、墨水湖，云南的滇池、杞麓湖、异龙湖富营养化程度较重。主要污染项目是总磷、总氮、高锰酸盐指数、五日生化需氧量。

**6. 干旱缺水地区水资源开发利用程度过高，生态环境恶化** 在西北内陆河流域，灌溉农业的不断扩大、绿洲农业耗水量的增大、水资源利用程度的提高，引起了下游生态环境恶化，突出表现为天然绿洲萎缩、终端湖泊消亡、荒漠化现象加剧。尤以塔里木河下游绿色走廊的萎缩、石羊河下游民勤盆地地下水超采、荒漠化发展最为明显。黄、淮、海流域因过量取水，造成河道季节性断流，河口淤积，泄洪能力下降。

**7. 地下水开采过量** 由于地下水具有水质好、温差小、提取易、费用低等特点，以及用水增加等原因，人们常会超量抽取地下水，以致抽取的水量远远大于它的自然补给量，造成地下含水层衰竭、地面沉降以及海水入侵、地下水污染等。上海、天津等城市也都发生了地面下沉问题。有些地方还造成了建筑物的严重损毁。地下水过量开采往往形成恶性循环，过度开采破坏地下水层，使地下水层供水能力下降，人们为了满足需要还要进一步加大开采量，从而使开采量与可用水量之间的差距进一步加大，破坏进一步加剧，最终引起严重的生

态退化。

#### 四、水资源可持续开发利用的基本思路

**1. 坚持人“水”相亲、和谐共处，要正确处理人类与自然、发展与环境的关系** 在很多时候，水利和水害往往就是一线之隔。要坚持治水与规范人类自身活动相结合，既要防洪又要给洪水以出路，坚持综合治理，在加强堤防和控制性工程建设的同时，积极退田还湖（河）、平垸行洪、疏浚河湖，城市防洪与城市景观建设紧密结合。用水问题上，要把生态用水提到重要议程，防止水资源枯竭对生态环境造成的破坏。对已形成严重生态问题的河流，采取节水、调整产业结构、调水等综合措施予以修复。要重视并充分发挥大自然的自我修复能力，实施退耕还林（草）、封山育林、休牧、轮牧、禁牧等措施，加快治理水土流失。坚持按自然规律办事，在防止水对人的侵害的同时，特别注意防止人对水的侵害，重视并充分发挥自然的自我修复能力，保护生态系统，促进人与自然和谐相处。

**2. 注重水资源的节约、保护和优化配置** 水资源在我国各地时空分布极不均匀。随着经济社会的发展，水资源的开发利用达到一定程度后，水资源承载能力和水环境承载能力不足的矛盾就会突出暴露出来。缺水问题、有关水的生态环境问题，其实质就是承载能力不足。因此，要处理好近期与远期的关系，对水资源的节约、保护和合理配置是提高和改善这种承载能力的有效的、不可替代的措施。要改变对水资源“取之不尽、用之不竭”的观念。要从传统的“以需定供”转为“以供定需”；重视和加强对水资源的配置、节约和保护，努力提高用水效率和效益，提高水资源和水环境的承载能力，建设节水防污型社会。

**3. 逐步建立水权制度和水市场** 在市场经济条件下，水资源的配置、节约、保护，不仅带来水资源供需关系的调整，更会带来经济利益关系的调整，必须有一套健全的制度来规范由此而产生的经济利益关系。水资源本身也具有供水、发电、航运、旅游等多种功能。因此，要运用水权理论，加强水资源管理，提高用水效率，建设节水防污型社会。当前要认真抓好初始水权分配、用水指标、耗水定额、水价形成机制等基础工作，为建立水权市场奠定基础。实现水资源的可持续利用，必须坚持全面规划、统筹兼顾、标本兼治、综合治理，兴利除害结合、开源节流并重、防洪抗旱并举，充分发挥水的综合功能。

**4. 建立与市场经济体制相适应的投融资体制** 建立科学、良性的管理、运行、维护、发展机制，使水资源能够长期发挥应有的效益。要通过对行业分类，科学界定水管单位的性质，对不同工程实行不同的融资方式和管理体制。公益性工程的投资和管理维护经费纳入公共财政支出，经营性工程则按照市场规则来运作，探讨 BOT 等形式。

**5. 建立水资源统一管理体制** 水是以流域为单元的，要协调上下游、左右岸、干支流之间的关系，统筹考虑水的多种功能，必须以流域为单元实行水资源统一管理，统一规划，统一调度。水的开发利用，包括防洪、治涝、蓄水、供水、用水、节水、排水、污水处理及中水回用等，各环节是紧密联系的，要科学合理配置水资源，必须对各个环节进行统筹考虑，实行区域范围内地表水与地下水、水量与水质、城市与农村水资源的统一管理，有条件的地方要实现涉水事务的统一管理。坚持加强宣传，增强全社会对水的忧患意识。广泛调动各方面积极性，鼓励跨行业、跨地区的利益相关者参与水的管理。

## 第三节 可持续发展与水资源

### 一、可持续发展的定义及其评述

“可持续发展”这一术语，在世界范围内逐步得到认同并成为大众媒介使用频率最高的词汇之一。它很快拓广到一些学科，近年来有关可持续发展方面的定义很多，不同学者和不同国家对可持续发展概念的理解不同，所下的定义也各不相同。

**1. 侧重于生态方面的定义** 1991年，世界自然与自然保护联盟对可持续发展给出了这样的定义，即“改进人类的生活质量，同时不要超过支持发展的生态系统的负荷能力”。同年11月，在国际生态学联合会和国际生物科学联合会共同举行的可持续发展研讨会上，将可持续发展定义为：“保持和加强环境系统的生产和更新能力”。Forman (1990) 则认为可持续发展是“寻求一种最佳的生态系统，以支持生态系统的完整性和人类愿望的实现，使人类的生存环境得以可持续”。Robert Goodand (1994) 等人则将其定义为“不超过环境承载能力的发展”。

**2. 侧重于经济方面的定义** Edward B. Barbler (1985) 把可持续发展定义为“在保持自然资源的质量和所提供服务的的前提下，使经济的净利益增加到最大限度”；David Pearce 将可持续发展定义为“自然资本不变前提下的经济发展”；世界资源研究所 (1992—1993) 的定义则是“不降低环境质量和不破坏世界自然资源基础的经济的发展”。

**3. 侧重于技术方面的定义** James Gustave Spath (1989) 认为：“可持续发展就是转向更清洁、更有效的技术——尽可能接近零排放或密闭式工艺方法——尽可能减少能源和其他自然资源的消耗；世界资源研究所 (1992—1993) 则认为：“可持续发展就是建立极少产生废料和污染物的工艺或技术系统”。

**4. 侧重于社会方面的定义** 莱斯特布朗认为可持续发展是指人口趋于平稳、经济稳定、政治安定、社会秩序井然的一种社会发展；而 Takashi Onish (1994) 则认为可持续发展就是在环境允许的范围内，现在和将来给社会上所有的人提供充足的生活保障。

**5. 侧重于世代伦理方面的定义** 这是世界环境与发展委员会在其重要报告《我们共同的未来》中给出的定义，即可持续发展就是在满足当代人需要的同时，不损害后代人满足其自身需要能力的发展。

**6. 侧重于空间方面的定义** 杨开忠认为可持续发展不仅要重视时间维，也要重视其空间维，而且空间维是其质的规定。可持续发展的定义应该体现这一规定性。他认为可持续发展的定义可更好地定义为：“既满足当代人需要又不危害后代人满足需要能力，既符合局部人口利益又符合全球人口利益的发展”。

**7. 侧重人与自然相协调的定义** 1995年召开的“全国资源环境与经济发展研讨会”上，给可持续发展的定义是：可持续发展的根本点就是经济社会的发展与资源环境相协调，其核心就是生态与经济相协调；另一种定义则认为可持续发展即是谋求在经济发展、环境保护和生活质量的提高之间实现有机平衡的一种发展。

有关可持续发展的定义有七个方面十几种之多，尽管上述定义的侧重点不同，表述方式各异，但它们的内涵是相近的，即“可持续发展就是在满足当代人需求的同时，不损害人类后代的需要，在满足人类需要的同时，不损害其他物种满足其需要能力的一种发展”。



## 二、可持续发展理论对水资源发展有重要作用

**1. 协调发展水资源** 首先,水资源的发展,要与生产力和经济发展的要求相协调。过多开发水资源,高于经济发展需要,科技力量跟不上,会造成水资源的极大浪费。我国水资源利用水平低下,天然降水利用率仅10%,而地处沙漠的以色列高达90%。可见,我国水资源利用水平大有潜力可挖,其途径就是协调生产力发展和科技进步。第二,与人口发展相协调。现在我国城市居民每人每天用水量为90L,而人口的增长又加大了水资源需求量,加剧了水资源危机。只有将解决人口问题与实现水源可持续发展相结合,重视人口的“质”和“量”,才能解决水资源发展问题。

**2. 可持续开发** 一切社会活动和经济活动都极大地依赖淡水供应的量和质,若用水无法保证,生产生活就无从开展。历史证明:西亚美索不达米亚退化,楼兰古城没落,西部地区贫穷落后,从一定程度讲都是缺水造成的。据预测,2030年前后我国用水量将达到每年7000亿~8000亿 $m^3$ ,而我国实际可利用的水资源量为8000亿~9000亿 $m^3$ ,需水量已接近可利用水量极限。因此,对水资源的开发利用,必须保证它的可持续性,保证子孙后代有足够的能源,这是水资源可持续发展的必由之路。

## 三、水资源可持续发展评价指标体系

**1. 水资源利用可持续度** 水资源利用可持续度是表示水资源对于发展的支持程度,是水资源对于发展用水量的满足程度,它的数值等于可供给的水资源总量与发展用水总量的比值。当水资源利用持续度值大于或等于1时,表明水资源对于发展不起限制作用,水资源不是发展的限制因子,发展可以持续。当水资源持续度值小于1时,表明水资源对于发展起限制作用。水资源持续度值越低,水资源对于发展起的限制作用就越大,发展的持续程度越低。可见水资源利用可持续度是水资源与发展协同变化的前提和基础。

**2. 水资源利用可持续指数** 在利用一定量水资源的发展模式中,产出越高,进一步发展对于水资源的依赖相对就越小,在受到水资源限制时继续发展的可能性大,发展越有可能持续。相反,产出低,发展对于水资源的依赖程度相对较大,受到水资源限制时持续发展的可能性小,发展越难持续,越有可能走向衰退。水资源利用可持续指数是表示区域发展持续可能性的大小,在数值上是水资源利用的产出与用水量的比值,它既表明发展的程度,又表明水资源利用的节约程度。

**3. 发展对于水资源的响应** 发展对于水资源的响应就是一个区域的社会经济系统在其发展的基本的、不可代替要素——水短缺时对于自身的组分和要素进行全方位多层次的改变以抵消这种短缺带来的负面效应,从而减少缺水带来的消极影响,最大限度实现经济社会发展的过程。对于水资源的响应包括由于物质刺激而导致的适应和由于信息反馈而引起的主动的事前调整。信息反馈导致的事前调整具有充分的时间,因此调整的幅度大、程度深,可以最大限度地抵消不良影响。水资源的响应包括量变性响应和质变性响应。量变性响应主要是挖掘节水潜力,提高用水效率,推广节水技术。质变性响应包括寻找新的水源,进行产业重组等。水资源响应时间越长,对于外界刺激的调整越充分,与外界联系越紧密,就越容易使水资源短缺造成的影响淡化。

总之,水资源对于发展的限制是在水资源范畴内对于发展能否持续的一种制约,对于这