

水资源评价

张明泉 曾正中 编著



兰州大学出版社
LANZHOU UNIVERSITY PRESS

TV211.1
Z145.1

水资源评价

张明泉 曾正中 编著

兰州大学出版社

(甘)新登字第 08 号

水 资 源 评 价

张明泉 曾正中 编著

兰州大学出版社出版发行

兰州市天水南路 222 号 电话:8912613 邮编:730000

E-mail:press@onbook.com.cn

<http://www.onbook.com.cn>

兰州大学出版社激光照排中心照排

兰州军区空军印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16

印张:25.75

1995 年 2 月第 1 版

2006 年 8 月第 2 次印刷

字数:603 千字

ISBN7-311-00845-X/P·9

定价:42.00 元

前 言

水资源短缺和水质恶化问题已成为严峻的世界性问题，由此而引起的不良环境效应已危及到地球上的生态平衡和社会经济的正常发展，也危及到人们的身体健康，它已引起世界各国政府部门和科技界的高度重视。人们愈来愈清楚地认识到，要解决水资源问题，缓解可能出现的全球性水危机，就必须强化研究水资源，合理开发利用水资源，有效地保护水环境。

水资源评价是水资源研究的主要内容，是制定区域经济、社会发展规划和制定水资源合理开发利用规划不可缺少的工作任务，也是实现水资源管理或水环境保护的基础性工作。地球上的水资源主要包括降水资源、地表水资源和地下水资源，他们之间相互联系、相互依存、相互转化，永远处于不停留的水循环之中。因此，对水资源的评价必须用系统学的观点和方法，既要评价处于不同环节不同水体的水资源的特点，又要考虑各种水体间的联系；不仅要对不同水体的质和量作出评价，而且要对区域性水资源总量和各分量的组合转化关系及其相互影响作出评价。只有这样才能便于对水资源进行统筹规划、合理利用和优化管理。

为适应我国的水资源研究正在由降水、地表水、地下水的分割研究逐步向综合化、系统化研究发展，及时向有关水资源评价研究的专业教学提供教材，我们编写了水资源评价一书。该书既对降水资源、地表水资源和地下水资源进行了讨论和单独评价，又对区域水资源进行了综合论述和系统评价。评价内容既涉及水资源的量，又涉及水资源的质；既考虑了水资源的开发利用，又考虑了水资源的保护和管理。本书第一章、第四章、第五章、第六章、第七章、第九章、第十章由张明泉同志编写；第二章、第三章、第八章由曾正中同志编写。全书由两人商讨定稿。

在本书编写过程中，我们参考了国内外有关文献和资料，在此谨向各位作者致谢。北京大学城市与环境学系邵庆山副教授为本书提出了宝贵的意见，兰州大学教材工作委员会对本书的编写、出版给予了大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

鉴于综合性的水资源评价教科书在我国还未曾有出版，并且这种教科书涉及比较广泛的多学科领域。限于编者水平，该教材难免存在不足之处，望广大读者批评指正，以便使教材更加完善。

编 者

目 录

前言	(1)
----	-----

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 水资源的概念	(1)
1.1.1 水资源的含义	(1)
1.1.2 水资源的基本特征	(1)
§ 1.2 地球上水资源的分布	(2)
1.2.1 地球上的水储量	(2)
1.2.2 地球上的水循环	(3)
1.2.3 世界各大洲水资源概况	(5)
§ 1.3 水资源供需问题	(6)
1.3.1 全世界的水资源供需问题	(6)
1.3.2 中国的水资源供需问题	(8)
§ 1.4 水资源评价概述	(10)
1.4.1 水资源评价的基本内容与目的	(10)
1.4.2 水资源评价的基本原则	(11)
1.4.3 水资源评价的工作程序与主要方法	(12)

第二章 大气降水资源评价	(14)
§ 2.1 大气降水资源特点	(14)
2.1.1 降水及其要素	(14)
2.1.2 大气降水在时间、空间上的分布	(14)
2.1.3 大气降水的成分特征	(16)
§ 2.2 大气降水的分配	(18)
2.2.1 大气降水分配方程式	(18)
2.2.2 蒸发	(19)
2.2.3 入渗	(21)
2.2.4 径流	(23)
§ 2.3 大气降水资源的合理利用	(25)
2.3.1 降水转化的区域结构规律	(25)

2.3.2 大气降水资源的合理利用	(27)
§ 2.4 大气降水量的计算	(28)
2.4.1 区域平均降水量的计算	(28)
2.4.2 区域多年平均降水量的计算	(30)
第三章 地表水资源评价	(32)
§ 3.1 河流	(32)
3.1.1 河流的水情要素与水量补给	(32)
3.1.2 水文统计的基本知识及方法	(37)
3.1.3 河流年正常径流量的计算	(61)
3.1.4 河流径流量的年内分配	(64)
3.1.5 河流径流量的多年变化	(65)
3.1.6 河流水资源的开发利用	(68)
§ 3.2 湖泊	(70)
3.2.1 湖泊水资源的特点	(70)
3.2.2 湖泊水量平衡	(71)
3.2.3 湖泊水资源量的计算	(72)
3.2.4 湖泊水资源的利用与保护	(73)
第四章 地下水资源评价	(76)
§ 4.1 概论	(76)
4.1.1 地下水资源在供水中的地位	(76)
4.1.2 地下水资源评价的主要内容	(76)
4.1.3 地下水资源评价发展简史	(77)
4.1.4 地下水资源评价的主要方法	(78)
§ 4.2 地下水均衡法	(79)
4.2.1 水量均衡法的基本原理	(79)
4.2.2 用水均衡法评价地下水资源计算方法	(81)
4.2.3 均衡项目和有关参数的确定方法	(83)
4.2.4 用水量均衡法评价地下水资源的实例	(96)
§ 4.3 有限差分法	(103)
4.3.1 有限差分的基本概念	(103)
4.3.2 有限差分法的基本原理	(104)
4.3.3 稳定流问题的有限差分法	(106)
4.3.4 承压水一维非稳定流问题的有限差分法	(112)
4.3.5 承压水二维非稳定流问题的有限差分法	(127)
4.3.6 无压非稳定流问题的有限差分法	(139)
4.3.7 任意多边形网格有限差分法	(142)
4.3.8 有限差分法计算中有关问题的处理	(144)

§ 4.4 迦辽金有限单元法	(147)
4.4.1 迦辽金有限单元法的基本原理	(148)
4.4.2 三角形单元剖分与基函数的构造	(151)
4.4.3 三角形单元有限元方程	(155)
4.4.4 有限元方程组的解法	(166)
4.4.5 有限元法评价地下水资源的技术问题	(190)
第五章 水资源总量计算与系统分析	(195)
§ 5.1 大气降水、地表水、地下水的相互转化	(195)
5.1.1 三水转化的研究内容	(195)
5.1.2 不同地貌类型区的三水转化	(196)
5.1.3 相邻地貌类型区的三水转化	(198)
5.1.4 人类活动对三水转化的影响	(199)
§ 5.2 区域水资源总量的计算	(199)
5.2.1 多年平均水资源总量计算	(200)
5.2.2 不同频率水资源总量计算	(202)
5.2.3 地下水开采条件下水资源总量计算	(204)
§ 5.3 水资源系统分析	(204)
5.3.1 系统的概念	(204)
5.3.2 水资源的组成与水资源系统	(206)
5.3.3 水资源系统分析简例	(207)
第六章 水化学成分与水污染	(211)
§ 6.1 天然水的化学成分	(211)
6.1.1 水的化学成分及其挟带物	(211)
6.1.2 天然水化学成分的形成	(212)
§ 6.2 天然水的化学分类和水质表示法	(216)
6.2.1 天然水的化学分类	(216)
6.2.2 天然水的水质直观表示法	(219)
6.2.3 水质直观表示法实用计算机程序	(221)
§ 6.3 各类天然水体的化学特征	(225)
6.3.1 降水的化学特征	(225)
6.3.2 河水化学成分的特点	(226)
6.3.3 湖水化学成分的特点	(228)
6.3.4 地下水化学成分的特点	(230)
6.3.5 海水化学组成的特点	(232)
§ 6.4 水污染的形成原因与主要类型	(234)
6.4.1 水污染形成原因及途径	(234)
6.4.2 水污染的主要类型及污染物	(235)

§ 6.5 有机物在水体中的迁移转化	(242)
6.5.1 有机物在水体中的生化作用	(242)
6.5.2 有机污染物在河流中的迁移转化模式	(246)
6.5.3 有机污染物对水体的“富营养化”作用	(253)
§ 6.6 重金属在水体中的迁移转化	(254)
6.6.1 水体中重金属迁移的基本形态	(254)
6.6.2 水体中重金属迁移转化的主要影响因素	(255)
6.6.3 几种主要重金属污染物在水体中的迁移转化	(257)
第七章 水质评价	(264)
§ 7.1 水质评价的类别	(264)
§ 7.2 水质评价的一般程序	(265)
§ 7.3 水样采取与保存	(265)
7.3.1 水样采取	(265)
7.3.2 水样保存	(266)
§ 7.4 水质评价的因子选择与评价标准	(266)
7.4.1 评价因子的选择	(266)
7.4.2 评价标准	(268)
§ 7.5 水质评价的主要方法	(269)
7.5.1 感官性评价	(285)
7.5.2 常量元素评价	(286)
7.5.3 水质指数法	(287)
7.5.4 水质标准级(类)别法	(291)
7.5.5 模糊数学评价法	(294)
第八章 特殊类型的水资源	(299)
§ 8.1 地下热水资源	(299)
8.1.1 地下热水的分类和成因	(299)
8.1.2 地下热水的气体 and 化学成分	(300)
8.1.3 我国地下热水资源的分布	(301)
8.1.4 地下热水资源的开发利用	(301)
8.1.5 地下热水资源评价	(303)
§ 8.2 矿泉水资源	(304)
8.2.1 矿泉水的概念	(304)
8.2.2 医疗矿泉水	(304)
8.2.3 饮用矿泉水	(306)
8.2.4 饮用矿泉水的评价	(308)
8.2.5 我国矿泉水的开发利用前景	(309)
8.2.6 工业矿泉水	(310)

第九章 水污染控制与废水利用	(312)
§ 9.1 水污染控制的基本内容	(312)
9.1.1 水体污染和自净规律	(313)
9.1.2 城市污水处理	(313)
9.1.3 工业废水治理	(313)
9.1.4 饮用水源的污染控制	(314)
9.1.5 流域或区域污染综合防治	(315)
§ 9.2 污水处理厂技术	(315)
9.2.1 物理处理	(316)
9.2.2 化学处理	(317)
9.2.3 物理化学处理	(318)
9.2.4 生物处理	(322)
§ 9.3 污水处理的级别	(325)
9.3.1 废水在工厂内的预处理	(325)
9.3.2 污水一级处理	(325)
9.3.3 污水二级处理	(327)
9.3.4 污水三级处理	(328)
§ 9.4 污水处理塘	(328)
9.4.1 兼性塘	(329)
9.4.2 厌氧塘	(330)
9.4.3 好氧塘与最终净化塘(熟化塘)	(330)
9.4.4 水生植物塘	(332)
9.4.5 生态系统塘	(334)
9.4.6 污水处理塘设防地的几点要求	(334)
§ 9.5 污水土地处理系统	(336)
9.5.1 土地处理系统的特点	(336)
9.5.2 土地处理系统的类型	(337)
9.5.3 土地处理系统的净化机理和效能	(339)
§ 9.6 城市污水的回收利用	(341)
9.6.1 中水回用	(341)
9.6.2 工业冷却水回用	(342)
9.6.3 重金属废水的封闭循环系统	(343)
第十章 水资源管理概论	(344)
§ 10.1 水资源管理措施	(344)
10.1.1 进行水资源综合规划	(344)
10.1.2 建立水资源保护区	(345)
10.1.3 植树造林补充水源	(345)

10.1.4	节约农业灌溉用水	(346)
10.1.5	降低城市与工业用水	(346)
10.1.6	控制污染源,发展污水资源化技术	(347)
§ 10.2	水资源管理手段	(347)
10.2.1	制定水资源管理政策	(347)
10.2.2	建立水环境保护制度	(348)
10.2.3	制定水环境质量和排污控制标准	(349)
10.2.4	对水资源动态进行监测	(349)
10.2.5	进行水污染综合防治	(350)
10.2.6	建立健全水环境统计指标体系和信息体系	(351)
§ 10.3	水资源管理机构与法规	(352)
10.3.1	水资源管理机构	(352)
10.3.2	水资源管理与环境保护法律	(352)
主要参考文献		(354)
附录 1	皮尔逊第Ⅲ型曲线离均系数 Φ 值表	(356)
附录 2	皮尔逊第Ⅲ型曲线的模比系数 K_p 值表	(357)
附录 3	P -Ⅲ型曲线三点法 S 与 C_s 关系表	(358)
附录 4	有关水资源保护的法规	(360)

第一章 绪 论

§ 1.1 水资源的概念

1.1.1 水资源的含义

《中国大百科全书·气海水卷》中水资源的定义为：“地球表层可供人类利用的水，包括水量（质量）、水域和水能资源。”同时又指出“一般指每年可更新的水量资源”。

《中国水资源评价》书中定义水资源为：“当地降水形成的地表和地下的产水量。”

《简明不列颠百科全书》定义为：“世界水资源包括地球上所有的（气态、液态或固态）天然水。”其中可供我们利用的为海水、河水和湖水；其他可利用的为潜水和深层地下水、冰川和永久积雪。

联合国教科文组织和世界气象组织制定的《水资源评价活动——国家评价手册》定义水资源为：“可供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被利用。”

总起来看对水资源有广义和狭义两种定义：广义的水资源是泛指地球上的天然水，属于自然资源的范畴，此处水体与水资源是同义词。

狭义的水资源是对人类社会而言的，应当包含两种属性：一是自然属性，一是社会属性。水资源危机不是指自然界水少了，而是指对人类可用的部分少了，所以这里讲的水资源是指：“在一定时段内能被人们直接开发与利用的那一部分水体。这种开发利用不仅在技术上可以做到，经济上也是合理的，而且开发后所造成的生态环境影响也是可以接受的。”可以开发利用的水体一般是指一定区域内逐年可以恢复、更新的淡水量，包括江河、湖沼以及地下淡水资源。

由于地球上的各种水体通过水循环彼此联系，相互渗透，相互转化，海水可以转化为陆地淡水，地表水可以转化为地下水，淡水通过蒸发浓缩又可以转化为咸水。也就是说，能被人们直接利用的水和不能直接利用的水是可以互相转化的。因此，我们认为，对人类有直接或间接使用价值的水体都可视为水资源。水资源的使用价值由水量、水质和水能三个要素来决定。水资源的量是指在一定时间、一定空间范围内可供人们开发利用，并可以得到恢复的水量；水质是以满足某种用途的水质要求为标准，以水中各种物质的含量多少来衡量；水能主要指水的机械能、热能，水能的大小由水量、水势、水温等因素决定。

1.1.2 水资源的基本特征

水资源有着许多与其他自然资源不同的特性，这些特性主要表现为补给、排泄的循环

性，变化的复杂性，利用的广泛性，利与害的两重性。

(1) 补给、排泄的循环性：可供人类开发利用的水资源，是整个自然界水循环的组成部分，可在参与水循环的过程中不断地得到恢复和更新。水循环过程的无限性，赋予水资源补给、排泄的无限性。由于水循环受太阳辐射等条件的制约，每年更新的水量又是有限的，而且自然界中各种水体的循环周期不一。因此，在评价水资源时，随着计算时段的不同，水资源的恢复量也不同，这不仅反映出水资源是有限的，而且反映出水资源是动态资源的特点。

(2) 变化的复杂性：主要表现为水资源在时空变化上的不均一性和不稳定性。水资源的变化既表现在水量上，也表现在水质上。影响水资源变化的因素有自然的，也有人为的。自然因素最主要的是指气候的变化使地表水、地下水具有年内变化和年际变化，这种变化既具有一定的周期性，又具有不重复变化和随机变化的特点。另外，地质灾害的出现也会影响水资源发生急剧性的变化。人为活动对水资源的直接影响主要有跨流域调水、修建水库、开采地下水及“三废”对水体造成的污染等；间接影响是指人为活动通过对生态环境、大气环境的影响而对水资源产生影响。由于引起水资源变化的影响因素是复杂多变的，有时甚至是难以预测的，因此，水资源的变化也是复杂的。这一特性给人类开发利用和管理水资源带来一定的困难。

(3) 利用上的广泛性：水资源在工农业各部门和人类生活上利用极为广泛。从利用水资源的形式来看，可分为耗用水量和借用水体两种。工业生产用水、农业灌溉、生活用水等，都属于消耗性用水，其中有一部分回归到河道或地下含水层中，但量已减少，而且水质发生了变化。水资源利用的另一种方式为非消耗性的（相对前一种形式就水资源的量而言），如养鱼、航运、水力发电等。水资源的这种综合效益是其他任何自然资源都无法替代的。

(4) 利与害的两重性：水资源利与害的两重性是有别于其他自然资源的又一特点，这主要是水资源在时空分布上的不均匀造成的。水资源分布的不均一又使人类居住、社会发展表现为不平衡。纵观世界各大城市的分布，绝大多数是沿着江河发展，即使沿海城市，也多位于入海河口，这不仅是江河提供了航运交通方便，更重要的是因为这些江河提供了丰富的淡水资源。尽管水资源是人类生存和发展不可缺少的物质基础，但在一个地区、某一时段内若水资源过多，也会给人类带来灾难，洪水泛滥会冲毁田园村舍，农田积水会造成严重减产；反之，水资源缺乏又会给人类带来旱灾，严重影响工农业生产的发展。在干旱或半干旱地区，旱灾的发生是频繁的，但干旱引水提水灌区的大水漫灌，会造成地下水位超过蒸发临界深度，可使土壤产生次生盐渍化，同样给农业发展带来灾难。因此，对水资源的有效开发和利用，要全面考虑兴利除害的双重目的。

§ 1.2 地球上水资源的分布

1.2.1 地球上的水储量

水是在地球上分布最广泛的物质之一，它以气态、液态和固态三种形式存在于空中、

地面与地下，成为大气水、海洋水、陆地水（包括河水、湖水、沼泽水、冰雪水、土壤水、地下水），以及存在于所有动、植物有机体内的生物水，组成了一个统一的相互联系的水圈。

地球上的水总储量为 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，其中海洋储存水量 $13.38 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占全球总储水量的 96.5%；其他各种水体储量只占 3.5%，地表水和地下水储量各占一半左右。在地球水总储量中，含盐量不超过 1.0g/L 的淡水仅占 2.5%，即 $0.35 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，其余 97.5% 的均为咸水。在这 $0.35 \times 10^8 \text{ km}^3$ 淡水中，约有 68.7% 被固定在两极冰盖和高山冰川中，约有 31.9% 储存在地下含水层和永久冻土层中，而河流、湖泊、沼泽、土壤中所容纳的淡水还不到 0.5%。地球上的各种水体储量见表 1-1。

表 1-1 全 球 水 储 量 表*

类 别	水 储 量 (10^{12} m^3)	占总储量的百分数 (%)	占淡水储量的百分数 (%)
海洋水	1 338 000	96.5	
地下水	23 400 ^①	1.7	
其中淡水	10 530 ^②	0.76	30.1
土壤水	16.5	0.001	0.05
冰川和多年积雪	24 064.1	1.74	68.7
多年冻土底冰	300	0.022	0.86
湖泊水	176.4	0.013	
其中淡水	91	0.007	0.26
沼泽水	11.5	0.000 8	0.03
河网水	2.1 ^③	0.000 2	0.006
生物水	1.1	0.000 1	0.003
大气水	12.9 ^③	0.001	0.04
水储量总计	1 385 984	100	
其中淡水储量	35 029.2	2.53	100

（根据联合国水会议文件汇编，1978）

* ① 地面以下 2 000m 以内，不包括南极洲的地下水量（估计为 $2 \times 10^{15} \text{ m}^3$ ，其中一半为淡水）。

② 绝大部分在地面以下 600m 深度内。

③ 河网和大气中的水储量是指某一瞬时存在于其中的水量。

1.2.2 地球上的水循环

地球上的水储量是指某一瞬间储存于地球上各种水的体积。实际上这些水并不是静止的，而是在太阳辐射与地心引力的作用下，不断地运动循环，往复交替着。

海洋是地球上水分的主要源地，在自然条件下，地球上水的循环是从海洋蒸发开始，蒸发的水汽进入大气圈，并被气流输送到各地，一部分深入内陆，一部分留在海洋上空，在适当的条件下，因凝结而形成降水。落在陆地表面的降水，除固体水分布区以外，一部分沿地形坡度从高处向低处流动，汇入河流，称为地表径流；另一部分渗入地下变为地下水，在透水层中由水头高处向水头低处运动，称为地下径流。地表径流和地下径流最后都

汇入海洋。这种从海洋出发最后又回到海洋，周而复始的水分运动称为水分循环。

实际上，由于水循环过程中蒸发、水汽输送、凝结降水、入渗以及径流等环节交错并存，所以实际情况要复杂得多。再加上人类活动对地表径流的截蓄引用，对地下水的大量开采等，使能够完成从海洋到大气、到陆地，再回到海洋整个循环过程的水分只有一小部分。大部分水分从海洋蒸发、冷凝变成降水在落到海洋，或者是从陆地表面水体、土壤、植被蒸发进入大气，然后再变成降水降落到大陆。这种从海洋→大气→陆地→海洋的循环称为大循环；从海洋→大气→海洋或者陆地→大气→陆地的循环称为小循环。见图 1-1 所示。

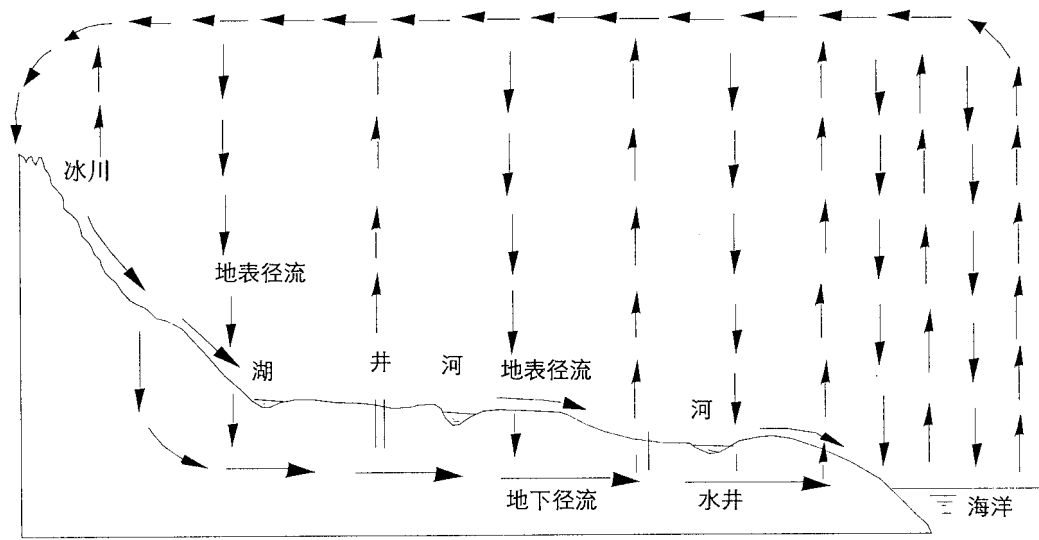


图 1-1 地球上的水分循环示意图

水分的大循环有一系列小循环组成。水分循环的强度在时空上的分布是不均一的。一般来讲，在海洋和近海区域，水循环强度大，在远离海洋的内陆，水循环强度小。在陆地河流、湖泊、沼泽等潮湿地区，局部水循环强度相对要大，而在干旱荒漠地区，局部水循环强度相对很小。

地球上的水循环作用，使各种水体处于不断的运动中，原来存在于某一水体的水不断排出，新的水又不断地补充进去，这种作用称为水体的更新。从某一时刻开始，到某一水体全部被更新所需的时间，称为该水体的更新周期。更新周期越短，水的循环就越快，水的利用率也就越高。对于遭受污染的水体来讲，更新周期短，水质的恢复就比较快；反之，水体的更新周期越长，其可开发利用率就越受到限制。通常，水体更新周期可用下式来估算：

$$Tr = \frac{\bar{V}}{Q}$$

式中： Tr —水体更新周期（a或d或h
年或日或时）；

$\bar{V}$ —水体储量（ km^3 ）；

$\bar{Q}$ —单位时间输入或输出水体的水量，从长期平均来看，输入等于输出 (km^3/a , km^3/d)。

例如：大气水的储量为 $12.9 \times 10^3 \text{km}^3$ ，全球从水面和地面平均每年有 $577 \times 10^3 \text{km}^3$ 的水汽蒸发进入大气，因此大气水的平均更新周期为：

$$12.9/(577/365) = 8(\text{d})$$

世界河网水的储量为 $2.1 \times 10^3 \text{km}^3$ ，每年入海的径流总量为 $46.8 \times 10^3 \text{km}^3$ ，平均更新周期为：

$$2.1/(46.8/365) = 16(\text{d})$$

可见，大气水每年可更新 45 次，河网水每年可更新 22 次。然而位于极地的冰川以及多年冻土或积雪区，其水体的更新速度极为缓慢，循环周期可长达万年。地球上各种水体的更新周期见表 1-2。

表 1-2 地球上各类水的更新期

类 别	更 新 期	类 别	更 新 期
海洋	2 500 年	湖泊水	17 年
深层地下水	1 400 年	沼泽水	5 年
极地冰川及多年积雪	9 700 年	土壤水	1 年
多年冻土层底冰	10 000 年	河网水	16 天
山地冰川	1 600 年	大气水	8 天

(根据联合国水会议文件汇编, 1978)

表中所列各种水体的更新周期，是在有规律的、逐步轮换这一假设条件下所得出的平均时间，实际情况要复杂得多。如深海盆地的水需要依靠大洋深层环流才能缓慢地发生交换，而海洋表层水，因直接受到蒸发和降水的影响，其更新周期并不需要二千多年，尤其是边缘海水的更新周期更短。例如，我国渤海水储量约 $19 \times 10^3 \text{km}^3$ ，而黄河、辽河、海河每年平均入海水量达 $1.455 \times 10^3 \text{km}^3$ ，仅此一项，渤海的更新周期只需 13 年左右，如果进一步考虑蒸发和降水的影响，实际更新周期约 10 年左右。再如世界湖泊平均更新周期为 17 年，而我国长江中下游地区的湖泊，由于出入湖泊的水量大，交换速度快，一年中就可以更新几次。因此，在确定具体水体的更新周期时，要根据实际情况，首先确定水体的交换速度，再确定水体的储量，这是提高水资源评价精度的关键。

1.2.3 世界各大洲水资源概况

正是由于自然界水循环的存在，才使得各种水体不断更新，江河长流不息，使得水资源成为再生性资源。尽管地球上水储量是巨大的，但绝大多数是咸水，淡水只占总水量的 2.53%。可供人类直接开发利用的淡水则更少，只占总水量的 0.77%，这部分水主要是指自然界水循环中的大气降水、河网水、淡水湖和地下淡水。

需要指出的是，各类水体的水储量的大小和水资源量的多少是两个不同的概念，二者既有联系，又有区别。水储量是从静止的观点来考虑各种水体的体积，水资源则是从循环、

更新的观点考虑水的多次重复利用。因此，水储量大者，不一定水资源丰富。例如，河网水的储量仅 $2.1 \times 10^3 \text{km}^3$ ，地下淡水的储量为 $1.053 \times 10^7 \text{km}^3$ ，显然后者比前者要大的多，但是，河网水的平均更新周期仅 16 天，一年内可更新 22.8 次，而地下水的平均更新周期长达 1400 年，因此，地表水资源要比地下水资源丰富得多。还需要指出的是，可供人类开发利用的淡水与地球上储量巨大的咸水之间相互联系，相互作用。淡水资源是地球水储量参与水循环的表现形式，水储量是水资源的后盾。

通常所说的可利用淡水资源，主要是指降水、地表水和地下水。降水资源的量用年平均降水量表征，地表水资源量以多年平均河川径流量表征，地下水资源量是以平均年地下水更新量（或可恢复量）来表征。世界各大洲水资源量如表 1-3 所示。

表 1-3 世界各大洲水资源量

洲 别	大陆及 岛屿面积 (10^4km^2)	平均年降水量		平均年江河径流量		平均年地下水更新量	
		深度 (mm)	体积 (10^{12}m^3)	深度 (mm)	体积 (10^{12}m^3)	占江河径流 量的百分数	体积 (10^{12}m^3)
欧 洲	1 050.0	790	8.29	306	3.21	35%	1.12
亚 洲	4 347.5	740	32.20	332	14.41	26%	3.75
非 洲	3 012.0	740	22.30	151	4.57	35%	1.60
北美洲	2 420.0	756	18.30	339	8.20	29%	2.16
南美洲	1 780.0	1600	28.40	661	11.76	35%	4.12
澳洲及大洋洲	895.0	791	7.08	267	2.39	24%	0.58
南极洲	1 398.0	165	2.31	165	2.31	$\approx 0\%$	≈ 0
全球陆地	14 900.0	800	119.00	314	46.80	30%	13.32

§ 1.3 水资源供需问题

1.3.1 全世界的水资源供需问题

1.3.1.1 水资源短缺问题

世界各国的用水主要取自地表河流，其次是地下水。河流的年径流量来源于大气降水和高山冰雪融水，河网流水又与地下水密切联系，相互补给。因此，河流的径流量基本上反映了水资源的数量和特征，可以河川径流量的多年平均值来表征水资源的丰富程度。据估算，全世界河川年平均径流总量为 $46.8 \times 10^3 \text{km}^3$ ，有人居住和适合人类生活的地区拥有全部年径流量的 40%，约 $19 \times 10^3 \text{km}^3$ 。由于水资源在时空上分布不均，在最需要水的的时间和地点，并不能使供需得以平衡。据分析，每年大约有 2/3 的河川径流以洪水形式迅速流走，其余 1/3 的水量是稳定的，是每年饮水和工农业用水的可靠水源。据 1985 年联合国世界观察研究估计，全世界稳定可靠的水资源，每年约 14 万亿 m^3 ，其中包括湖泊和从水库放水增加的稳定可靠水源约 2 万亿 m^3 。如果按世界人口 50 亿计算，每人占有水资源量不足 3000 m^3 。

这是当前可供利用的淡水资源的实际限度。

20 世纪以来,随着人口的增长和农业、工业、城市的发展,世界用水量迅速增长。据有关资料统计,从 1900 年到 1975 年全世界农业用水量增长了 5 倍(由每年 3 500 亿 m^3 增加到 21 000 亿 m^3),工业用水量增长了 20 倍(由每年 300 亿 m^3 增加到 6 300 亿 m^3),城市生活用水增长约 12 倍(从 200 亿 m^3 增加到 2 500 亿 m^3)。20 世纪 60 年代以来,不少国家都在研究和预测水的供需平衡,据《世界水平衡和地球水资源》预测,2000 年世界用水量将已 60 000 亿 m^3 ,为本世纪初 4 000 亿 m^3 的 15 倍。20 世纪后 50 年全世界用水量预测见表 1-4。

表 1-4 全世界各种用途的用水量和耗水量实测值和预测值表

年份 用途 \ 水量		1950 年 (m^3/a)	1970 年 (m^3/a)	1985 年 (m^3/a)	2000 年 (m^3/a)
公用事业	用水量	600×10^8	$1\,200 \times 10^8$	$2\,500 \times 10^8$	$4\,400 \times 10^8$
	耗水量	110×10^8	200×10^8	330×10^8	650×10^8
工 业	用水量	$1\,900 \times 10^8$	$5\,100 \times 10^8$	$11\,000 \times 10^8$	$19\,000 \times 10^8$
	耗水量	90×10^8	200×10^8	450×10^8	700×10^8
农 业	用水量	$8\,600 \times 10^8$	$19\,000 \times 10^8$	$24\,000 \times 10^8$	$34\,000 \times 10^8$
	耗水量	$6\,300 \times 10^8$	$15\,000 \times 10^8$	$19\,000 \times 10^8$	$26\,000 \times 10^8$
水 库	耗水量	40×10^8	700×10^8	$1\,700 \times 10^8$	$2\,400 \times 10^8$
总 计	用水量	$11\,000 \times 10^8$	$26\,000 \times 10^8$	$39\,000 \times 10^8$	$60\,000 \times 10^8$
	耗水量	$6\,500 \times 10^8$	$16\,000 \times 10^8$	$22\,000 \times 10^8$	$30\,000 \times 10^8$

(据朱学愚等, 1987)

世界各大洲的水资源总量与人口密度及用水量分布并不平衡,南美洲、大洋洲水资源丰富,而人口比较少,处于水多人少的状况。人口密集的欧洲、亚洲,水资源只占世界水资源总量的 35%,但人口却占世界人口的 77%,人均占有水资源量仅为南美洲人均占有量的 1/10 左右,为大洋洲人均占有量的 1/40 左右。世界水资源这种空间分布的不均匀性,以及与社会经济发展水平之间的不协调,造成了许多国家和地区水资源的供需矛盾。随着世界用水量愈来愈大,供需矛盾将日益突出。据统计,目前世界上已有 43 个国家和地区缺水,到 2000 年已有 54 个国家面临缺水,其中欧洲有 15 个,亚洲 14 个,非洲 20 个,中美 5 个。联合国已向全世界发出警告:水不久将成为一项严重的社会危机。

1.3.1.2 水源污染问题

人类活动在利用水资源的同时,又对水资源产生某种程度的污染。随着工业和城市的发展,全世界每年要排放 5 000 亿吨以上的污水,30 亿吨的各种固体废物,10 亿吨的各种烟尘。污水的排放,已造成对河流、湖泊、水库及近海区域约 55 000 亿 m^3 水的污染,烟尘的排放已使不少地区的大气降水酸化,固体废物通过淋溶作用产生较高浓度的有害有毒废液,也直接或间接的对地表水、地下水产生污染。水源污染问题已成为人类面临的重大环境问题。

1980 年世界卫生组织对 53 个国家的饮用水进行了调查,结果表明,有 14 个国家只有