

高等学校教材

普通水文学

(第二版)

邓绶林 主编

高等教育出版社

高等学校教材

普通水文学

(第二版)

邓绶林 杨秉赓 黄锡荃
张朴民 李慧珍 吴国元

普通水文学

(第二版)

张朴民 李慧珍 黄锡荃
杨秉赓 邓绶林 吴国元

地质部地质研究所编

地质出版社北京出版

地质部地质研究所编

地质出版社北京出版

地质出版社北京出版

地质出版社北京出版

地质出版社北京出版

林 恩 文 学 高

学 文 水 通 普

(第二版)

高等学校教材

普 通 水 文 学

(第二版)

邓绶林 杨秉庚 黄锡荃

张朴民 李慧珍 吴国元

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京顺义县印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 字数 320,000

1979年8月第1版 1985年8月第2版 1985年6月第1次印刷

印数 00,001—10,240

书号 12010·047 定价 2.40 元

目 录

绪 言	1
-----------	---

第一章 地球上的水分循环与水量平衡	4
-------------------------	---

第一节 地球上的水资源	4
-------------------	---

第二节 地球上的水分循环	6
--------------------	---

一、水分循环的类型	6
-----------------	---

二、影响水分循环的因素	7
-------------------	---

三、我国水分循环的路径	8
-------------------	---

第三节 地球上的水量平衡	8
--------------------	---

一、通用水量平衡方程式	9
-------------------	---

二、全球水量平衡方程式	9
-------------------	---

三、流域水量平衡方程式	10
-------------------	----

第二章 海洋	12
--------------	----

第一节 海洋概述	12
----------------	----

一、海陆的分布	12
---------------	----

二、海洋的分类	12
---------------	----

第二节 海水化学成分与盐度	13
---------------------	----

一、海水的化学组成	13
-----------------	----

二、海水的盐度	14
---------------	----

第三节 海水的物理性质	18
-------------------	----

一、海水温度	18
--------------	----

二、海水密度	23
--------------	----

三、海水的其他性质	23
-----------------	----

第四节 波浪	25
--------------	----

一、波浪及其要素	25
----------------	----

二、波浪的余摆线理论	26
------------------	----

三、波浪的主要类型	28
-----------------	----

四、近岸浪及其作用	30
-----------------	----

第五节 潮汐	31
--------------	----

一、潮汐及其类型	31
----------------	----

二、潮汐的成因	32
---------------	----

三、潮汐的变化规律	35
-----------------	----

四、潮流	38
------------	----

第六节 洋流	38
--------------	----

一、洋流、水团和环流的基本概念	38
-----------------------	----

二、洋流的成因类型	41
-----------------	----

三、世界大洋表层环流系统	43
--------------------	----

第三章 河流	47
--------------	----

第一节 水系和流域	47
-----------------	----

一、水系	47
------------	----

二、流域	49
------------	----

三、河流的纵横断面	52
-----------------	----

第二节 河流的水情要素	54
-------------------	----

一、水位	54
------------	----

二、流速	56
------------	----

三、流量	60
------------	----

四、泥沙	62
------------	----

五、水化学	62
-------------	----

六、水温与冰情	64
---------------	----

第三节 河流的补给	66
-----------------	----

一、河流的补给	66
---------------	----

二、流量过程线的分割	70
------------------	----

三、河流的分类	72
---------------	----

第四节 河川径流的形成和影响因素	76
------------------------	----

一、影响河川径流形成和变化的因素	80
------------------------	----

二、河川径流的形成过程	80
-------------------	----

第五节 河川径流的变化及计算	88
----------------------	----

一、径流的特征值	88
----------------	----

二、水文统计方法	90
----------------	----

三、相关分析	99
--------------	----

四、河川径流的变化和计算	102
--------------------	-----

五、洪水和枯水	109
---------------	-----

第六节 河水的运动	112
-----------------	-----

一、河水的运动状态	112
-----------------	-----

二、河水的纵向运动	114
-----------------	-----

三、河水的环流运动	118
-----------------	-----

四、河流的泥沙运动	121
-----------------	-----

五、水流、泥沙与河槽的相互作用	125
-----------------------	-----

第七节 河口	126
--------------	-----

一、河口概述	126
--------------	-----

二、河口区的潮汐现象	128
------------------	-----

三、河口泥沙运动	131
----------------	-----

第四章 湖泊与沼泽	134
-----------------	-----

第一节 湖泊与水库	134
-----------------	-----

一、湖泊形态特征	134
----------------	-----

二、湖泊的分类	135
---------------	-----

三、湖水的性质	137	一、地下水的物理性质	176
四、湖泊水量平衡	141	二、地下水的化学性质	177
五、湖水的运动	142	第四节 地下水的主要类型	180
六、湖泊的演化	144	一、按埋藏条件划分的地下水类型	181
七、人工湖泊——水库	145	二、按含水层性质划分的地下水类型	189
第二节 沼泽	148	第五节 几种特殊的地下水	191
一、沼泽的形成与类型	148	一、地下热水	191
二、沼泽的水文特征	150	二、矿水	193
三、沼泽的水化学特征	151	三、肥水	193
第五章 冰川	153	第六节 泉	194
第一节 冰川的形成及其类型	153	附 录	196
一、雪圈与雪线	153	海洋水文测验	196
二、冰川冰的形成	154	河流水文测验	197
三、冰川的类型	155	一、水位观测	197
第二节 冰川的运动与消融	156	二、流量测验	198
一、冰川的运动	156	三、泥沙测验	202
二、冰川的积累	157	课堂作业	205
三、冰川的消融	158	一、确定海洋蒸发量减降水量与盐度的相关程度	
四、冰川的前进与后退	160	及回归方程	205
第三节 冰川对自然环境的影响	161	二、绘制海水温度随水深变化关系图	206
一、冰川对气候的影响	161	三、分析风速与波高的关系	207
二、冰川对基面变化的影响	162	四、填绘世界各大洋洋流图	208
三、冰川融水对河流水情的影响	162	五、水系及流域特征的测定与计算	208
第六章 地下水	164	六、利用适线法推求设计洪峰流量	210
第一节 地下水概述	164	七、应用相关分析法延长资料系列推求正常年径	
一、地下水形成条件	164	流量	211
二、岩石空隙	165	八、用等流时线法计算出口断面流量过程	212
三、岩石的水理性质	168	九、推求单位线	213
第二节 地下水的运动	170	十、河流水文特征的综合分析	214
一、线性渗透定律	171	十一、潜水等水位线图的绘制与分析	214
二、非线性渗透定律	172	附表	218
三、渗透系数的测定	173	雷布京表 $X_0=1, C_r=1$ 时 $K=\Phi C_r+1$ 时的 Φ 值	
第三节 地下水的理化性质	176		

绪 言

一、水文学研究的对象及其分科

水文学是研究地球上各种水体,如海洋、河流、湖泊、沼泽、冰川、地下水等的形成、时空运动及其变化规律以及地理分布的科学。

地球表面上的水与大气圈中的水、地壳中的水,彼此间有着密切的关系。因此,水文学直接与气象学、地质学、地貌学、自然地理学以及其他研究大气圈和岩石圈的科学有关。例如大气降水的形成与降落,海洋、河流、湖泊的水面蒸发,土壤水蒸发及植物水散发,都是水文学与气象学的共同问题。在地球表面发生的侵蚀过程及淤积过程则是水文学与地貌学共同研究的问题。

水文学按自然界水体存在范围和活动过程可分为三大门:即水文气象学、地表水文学和水文地质学。

由于发生于海洋中各种过程与发生于河流、湖泊和沼泽中的过程有着显著的区别,因而对它们的研究方法也不同,所以地表水文学又可分为海洋水文学和陆地水文学。海洋水文学研究海水的物理性质和化学成分、海洋中波浪、潮汐、洋流和泥沙运动等。

陆地表面水的现象、物理化学性质与运动变化规律最为复杂,对于人类经济活动关系也最为密切。为了深入认识陆地各种水体的规律,以便利用各水体为人类生产服务,陆地水文学又可分为下列几门学科:

河流水文学:研究河流中水流的变化规律、泥沙的运动状况、河水的温度情况及结冰现象、河水化学成分等。

湖泊水文学:研究湖泊的形态、湖水的物理性质与化学性质、湖水的运动、湖泊对河流的调节作用等。

沼泽水文学:研究沼泽地区地下水位的变化、地下水的运动及蒸发等变化、沼泽水文情况与植物的关系等。

冰川水文学:研究冰川的成因和动态、冰川的消长、冰川与径流的关系等。

以上各学科虽然研究对象各不相同,但它们之间有着密切的关系。对于每一水体,根据工作需要、任务性质,可按不同的目标进行研究。

二、水文现象的基本特点

(一) 地区性

不同地区的水体,因为受地区气象、气候、地质、地貌、土壤、植被等影响,其水分条件是不相

同的。有水分丰沛的湿润地区,有水分缺乏的干旱地区。如我国南方降水丰沛,河流水量充足,而西北内陆河流,蒸发渗漏强烈,水量贫乏。从洪水方面看,我国河流以夏季雨洪为主,而苏联河流则以春季雪洪为主。从产流方式看,我国北方平原地区以超渗产流为主,南方湿润地区以蓄满产流为主。岩溶地区,已证实既不是蓄满产流型,也不是超渗产流型,而是第三种类型。可见水文现象受地区影响是很大的。

(二) 不重复性

影响水文现象的因素很多,由于各个因素本身多变化以及它们之间的组合随时间而不同,因此水文现象的变化规律极为复杂,它们在数量上的变化过程不会完全重复出现。由实测资料可知,任一河流不同年份的流量过程不会完全一致,不同时间发生的洪水过程也不会完全相同。

(三) 周期性

由于决定水文现象的天体运动和气候条件有以日、年及多年为周期的变化,因此水文现象亦具有明显的周期性变化。如海洋潮汐的日周期变化,河流水位、流量的年周期变化,旱涝的长周期变化等。

三、水文学的研究方法

由于各地气象要素及各河流流域的地貌、地质、植被等情况千变万化,所以水情变化异常复杂。为了寻找它的变化规律,必须采取各种有效的研究方法。要了解一个地区的水体,通常采用考察法,即通过对一个地区的考察和调查,收集该地区的水文地理资料。这些资料,多半是关于调查区的水体的描述和水情的主要定性特征等。

为了了解水体长时间内发生的变化,需要采用长期观测法,即在测站观测水体的水位、水温、水化学性质、流速、波浪及冰凌等。各测站都按照统一规范进行观测,这种测站称为水文站。水文站的观测资料十分重要,因为只有根据这些资料才能表示出水体中各水情要素随时间变化的特征,描绘出整个水体的动态。水文站的长期观测资料须经过专门整编,才能确定水体各水情要素的平均值和极值,才能表示出水体的特征。

水文学的任务不仅在于对水体特性作一般的定性和定量的描述,还要阐明支配水文变化过程的规律,这就要运用成因分析法,即以物理学和化学的基础理论,对水文现象的要素与影响这些要素的因素进行定量及定性分析。

在水文研究工作中经常采用的另一种方法是数理统计法。它是把水文现象特征值的出现作为偶然现象,以机率理论为工具,根据长期的水文资料,进行频率计算,以求得水文现象特征值的统计规律,或对主要水文现象之间或水文现象主要因素之间的近似关系——相关关系——进行分析。

近年来,在研究水文过程中,广泛采用实验法。通过实验,就能在人为条件下从大量因素中挑出最主要的因素,并以因素的不同组合来研究它们对某过程的影响。例如,在实验室河床模型上研究河床演变过程时,可以定出不同的比降、流速、水深、流量等。

四、本教材的内容和目的要求

普通水文学是阐明自然界中水及水体的一般性状、水体中发生的水文现象和过程以及决定这些现象和过程的基本规律的科学。因此,本教材首先从总体上叙述全球水分分布和水分循环,说明降水、蒸发和径流三者的密切关系;然后分别叙述各水体的水文现象及其运动变化规律。其排列次序先海洋水后陆地水,先地表水后地下水。其中以河流为重点,海洋和地下水为次重点。

水文现象在自然地理环境的研究中占有重要的地位。在自然地理各要素的互相作用、互相制约中,水文现象和变化极为活跃。例如水文和气候的关系密切,有许多水文现象是由气候因素形成的;反过来,水文运动的特性又对当地气候产生了深刻的影响。水文和地貌的关系也是如此,不少的水文现象和运动特性是由于局部地貌因素形成的;反过来,水的运动与变化,又对地貌的塑造起了深刻的作用。因此通过水文现象的研究,使我们对自然地理各要素间的相互作用和相互制约有进一步的了解,加强了对自然地理基础理论的学习。

水文现象中降水、蒸发和径流各具特征,又是一个整体,各个水体不断变化和发展,而且在各水体之间又相互作用和相互制约,海洋水和陆地水互相转换,地表水和地下水互相渗透,从而使我们对客观世界的基本规律有进一步的认识和了解。

从地理学的观点看,水文学是自然地理学的一门基础理论科学,从生产实践的观点看,水文学又是一门能在工农业生产中发挥较大作用的应用科学。因此,学习水文学应注意水文现象的具体分析和简易水文计算,以及野外勘察等方面的技术技能的训练,使理论和实践更好的结合起来。在讲授时,各校也可根据当地自然地理特点,适当增补和删减某些章节。

表 1-1 水文要素的相互关系

水文要素	水文要素	(mm/d) 量级水	类 别	备 注
1.00	0.00	1.00	水气相	1
0.00	0.00	0.00	水汽相	2
0.00	0.00	0.00	水汽相	3
0.00	0.00	0.00	水汽相	4
0.00	0.00	0.00	水汽相	5
0.00	0.00	0.00	水汽相	6
0.00	0.00	0.00	水汽相	7
0.00	0.00	0.00	水汽相	8
0.00	0.00	0.00	水汽相	9
0.00	0.00	0.00	水汽相	10
0.00	0.00	0.00	水汽相	11
0.00	0.00	0.00	水汽相	12
0.00	0.00	0.00	水汽相	13
0.00	0.00	0.00	水汽相	14
0.00	0.00	0.00	水汽相	15
0.00	0.00	0.00	水汽相	16
0.00	0.00	0.00	水汽相	17
0.00	0.00	0.00	水汽相	18
0.00	0.00	0.00	水汽相	19
0.00	0.00	0.00	水汽相	20
0.00	0.00	0.00	水汽相	21
0.00	0.00	0.00	水汽相	22
0.00	0.00	0.00	水汽相	23
0.00	0.00	0.00	水汽相	24
0.00	0.00	0.00	水汽相	25
0.00	0.00	0.00	水汽相	26
0.00	0.00	0.00	水汽相	27
0.00	0.00	0.00	水汽相	28
0.00	0.00	0.00	水汽相	29
0.00	0.00	0.00	水汽相	30
0.00	0.00	0.00	水汽相	31
0.00	0.00	0.00	水汽相	32
0.00	0.00	0.00	水汽相	33
0.00	0.00	0.00	水汽相	34
0.00	0.00	0.00	水汽相	35
0.00	0.00	0.00	水汽相	36
0.00	0.00	0.00	水汽相	37
0.00	0.00	0.00	水汽相	38
0.00	0.00	0.00	水汽相	39
0.00	0.00	0.00	水汽相	40
0.00	0.00	0.00	水汽相	41
0.00	0.00	0.00	水汽相	42
0.00	0.00	0.00	水汽相	43
0.00	0.00	0.00	水汽相	44
0.00	0.00	0.00	水汽相	45
0.00	0.00	0.00	水汽相	46
0.00	0.00	0.00	水汽相	47
0.00	0.00	0.00	水汽相	48
0.00	0.00	0.00	水汽相	49
0.00	0.00	0.00	水汽相	50
0.00	0.00	0.00	水汽相	51
0.00	0.00	0.00	水汽相	52
0.00	0.00	0.00	水汽相	53
0.00	0.00	0.00	水汽相	54
0.00	0.00	0.00	水汽相	55
0.00	0.00	0.00	水汽相	56
0.00	0.00	0.00	水汽相	57
0.00	0.00	0.00	水汽相	58
0.00	0.00	0.00	水汽相	59
0.00	0.00	0.00	水汽相	60
0.00	0.00	0.00	水汽相	61
0.00	0.00	0.00	水汽相	62
0.00	0.00	0.00	水汽相	63
0.00	0.00	0.00	水汽相	64
0.00	0.00	0.00	水汽相	65
0.00	0.00	0.00	水汽相	66
0.00	0.00	0.00	水汽相	67
0.00	0.00	0.00	水汽相	68
0.00	0.00	0.00	水汽相	69
0.00	0.00	0.00	水汽相	70
0.00	0.00	0.00	水汽相	71
0.00	0.00	0.00	水汽相	72
0.00	0.00	0.00	水汽相	73
0.00	0.00	0.00	水汽相	74
0.00	0.00	0.00	水汽相	75
0.00	0.00	0.00	水汽相	76
0.00	0.00	0.00	水汽相	77
0.00	0.00	0.00	水汽相	78
0.00	0.00	0.00	水汽相	79
0.00	0.00	0.00	水汽相	80
0.00	0.00	0.00	水汽相	81
0.00	0.00	0.00	水汽相	82
0.00	0.00	0.00	水汽相	83
0.00	0.00	0.00	水汽相	84
0.00	0.00	0.00	水汽相	85
0.00	0.00	0.00	水汽相	86
0.00	0.00	0.00	水汽相	87
0.00	0.00	0.00	水汽相	88
0.00	0.00	0.00	水汽相	89
0.00	0.00	0.00	水汽相	90
0.00	0.00	0.00	水汽相	91
0.00	0.00	0.00	水汽相	92
0.00	0.00	0.00	水汽相	93
0.00	0.00	0.00	水汽相	94
0.00	0.00	0.00	水汽相	95
0.00	0.00	0.00	水汽相	96
0.00	0.00	0.00	水汽相	97
0.00	0.00	0.00	水汽相	98
0.00	0.00	0.00	水汽相	99
0.00	0.00	0.00	水汽相	100

第一章 地球上的水分循环与水量平衡

第一节 地球上的水资源

自然地理环境是由大气圈、水圈、岩石圈和生物圈所构成。水圈包括地球上所有形式的水，如海洋水、河流水、湖沼和水库水、冰川水、地下水、土壤水、大气水等。水圈同其他圈层之间处于相互联系、相互渗透、相互作用之中。水是宝贵的自然资源，是保证人类生活和发展工农业生产的重要物质条件之一。

地球上的水资源从广义来说是指水圈内的所有水体。通常说的水资源主要是指陆地上可利用的淡水资源。广义上的水资源是极其丰富的，地表约有四分之三被水所覆盖，水圈的总水量约为138.6亿亿立方米，但其中有96.5%是海水(见表1-1)。海水的含盐量较高，目前还不能作为淡水资源为人类大量地直接利用。地球上淡水资源约有3.5亿亿立方米，占总储水量的2.53%。而淡水资源中，深层地下水、两极与高山的冰川、永久雪盖以及不能利用的永冻层底冰三项占淡水总储量的99.86%，其余0.34%(即104.6万亿立方米)的河水、湖水和浅层地下水资源，与人类生活最密切，这些只占总水储量的十万分之七。随着人类社会经济的发展和人口的激增，特别是

表 1-1 地球上各种水储量

序 号	类 别	水储量(万亿m ³)	占总储量的%	占淡水储量的%
1	海洋水	1338000	96.5	
2	地下水	23400	1.7	
	其中1. 地下咸水	12870	0.94	
	2. 地下淡水	10530	0.76	30.1
3	土壤水	16.5	0.001	0.05
4	冰川与永久雪盖	24064.1	1.74	68.7
5	永冻土底冰	300.0	0.022	0.86
6	湖泊水	176.4	0.013	
	其中1. 咸水	85.4	0.006	
	2. 淡水	91.0	0.007	0.26
7	沼泽水	11.47	0.0008	0.03
8	河网水	2.12	0.0002	0.006
9	生物水	1.12	0.0001	0.003
10	大气水	12.9	0.001	0.04
	总计	1385984.61	100	
	其中淡水	35029.21	2.53	100

据联合国会议有关文件, 1977

近代社会生产力的巨大发展,人类对水的需要量日增,不少地区出现了淡水资源紧张的局面。人们开始认识到,淡水资源并不象以往所想的那样取之不尽,用之不竭了。

自然界存在着水分循环。各种水体都在不断地更替和自身净化。冰川、深层地下水和海水的更替周期很长,都在千年以上(表 1-2),河水的更替较快,平均约 16 天改变一次。其中以大气

表 1-2 地球各种水体的循环更替期

水 体 类 型	循环更替期(年)	水 体 类 型	循环更替期
海 洋	2500	湖 泊	17 年
深层地下水	1400	沼 泽	5 年
极地冰川	9700	土壤水	1 年
永久积雪高山冰川	1600	河川水	16 天
永冻带底冰	10000	大气水	8 天
		生物水	几小时

据联合国会议有关文件, 1977 年

水和河川水最为活跃,并逐年可以得到更替,在较长时间内又可以保持动态平衡。其每年循环水量的多少,通常以多年平均降水量与河川径流量进行统计。根据联合国统计资料,全球多年平均降水量为 1130 毫米,全部陆面上平均降水量为 800 毫米,全部陆面上多年平均河川径流量为 47 万亿立方米,折合径流深为 315 毫米。因此,河川年径流量约为河槽水静态储量 2.12 万亿立方的 22 倍。这就是说,全球河水每年可以交换 22 次,平均每 16 天更替一次。水的这种及时恢复更替及通过水循环在河流中川流不息的运动,使水在一定范围和限量内成为用之不竭的资源。但是有的自然水体已遭到污染,水质恶化,水资源利用价值降低,甚至破坏了水体环境中的生态平衡。

地理位置和自然条件决定了我国水资源在地区分布和时空分配上的不均匀性。全国年平均降水量为 633 毫米,小于全球陆面年平均降水量(800毫米);多年平均径流总量为 26,600 多亿立方米,居世界第五位;平均径流深为 275 毫米,低于全球陆面平均径流深。若以人均占有水量来计算,我国每人每年只有 2700 立方米,相当于全球人均占有河川年径流量的 1/4,相当于苏联的 1/7,美国的 1/5,略高于人口众多的印度(见表 1-3)。

表 1-3 年径流总量、年径流深及人均径流量比较表

国 家	平均年径流总量 (亿 m ³)	平均年径流深 (mm)	人均径流量(m ³ /人) (人口按1979年统计数)
巴 西	51,912	609	42,200
苏 联	47,140	211	17,860
加 拿 大	31,220	313	130,080
美 国	29,702	317	13,500
日 本	5,470	1,470	4,716
印 度	17,800	541	2,625
中 国	26,600	275	2,700

世界上水资源的分布是不均匀的,而且季节和年际变化也很大,有些国家和地区水资源较丰

富,有些国家和地区水资源则不足。据估计,到2000年,全世界每年总需水量将增加到6000立方公里,相当于可更新的水资源总量的13%左右。其中农业用水量约占58%,工业用水量约占32%。为了解决水资源供需不平衡的矛盾,目前世界上对水资源的开发利用,采取节流与开源的办法。节流即重视节约用水,合理用水,保护水源,防止污染;开源即充分利用各种水源,积极开展海水淡化,勘探新地下水源,寻找地下水库,进行人工回灌,合理利用污水灌溉。为解决区域性的水资源分布不平衡,还采取了跨流域调水措施,例如我国的南水北调工程,即将长江的水调到华北地区,使地区间水资源达到供需平衡。大规模的跨流域调水是一项十分艰巨而复杂的任务。它不仅涉及到许多重大的工程技术问题,而且还与国民经济的各方面发展有密切联系,调水后将会对自然地理环境产生各种影响。水是地球上分布最广泛、最活跃的物质之一,水在其循环过程中沟通了各种水体,各种水体的运动、变化又改变了自然地理环境。

第二节 地球上的水分循环

地球上的水,在太阳辐射能的作用下,不断地从水面、陆面和植物表面蒸发,化为水汽升到高空,然后被气流带到其他地区,在适当的条件下凝结,又以降水的形式降落到地表形成径流。水的这种不断蒸发、输送、凝结、降落的往复循环过程,就叫做水分循环。水分循环是地理环境中最重要、最活跃的物质循环之一。

形成水分循环的内因,是水的三态(气态、液态、固态)在常温条件下的相互转化;水分循环的外因,是太阳辐射和地心引力。水在自然界沿着复杂的循环路径不断地运动着和变化着。此外,由于地表性质的不同和地形结构的差异,也能影响水分循环的强度、规模和路径。

一、水分循环的类型

地球上的水分循环是由大循环与小循环组成的。大循环(即海陆间循环)就是从海洋上蒸发的水汽,被气流带到大陆上空,在适当的条件下凝结,又以降水的形式降落到地表,其中一部分渗入到地下转化为地下水,一部分又被蒸发而进入天空,还有一部分则沿地表流动形成江河而注入海洋。这样,就完成了地球上的水分大循环或称全球性的水分循环(图1-1)。大循环是由许多小循环所组成的复杂的水分循环过程。小循环,又分为两种:一是海洋小循环(海上内循环)就是,从海洋表面蒸发的水汽,在海洋上空成云致雨(雪),然后再降落到海洋表面上,这样的局部水分循环过程,称为海洋小循环;一是陆地小循环,就是从陆地表面蒸发的水汽或从海洋输向内陆的少量水汽,在内陆上空成云致雨(雪),然后再降落到大陆表面上,这样的局部水分循环过程,就叫做陆地小循环或叫内陆循环(图1-1)。

在水分循环过程中,水的物理状态、水质、水量等都在不断地变化。水分循环通常由四个环节组成:水分蒸发、水汽输送、凝结降水和径流。天空与地面、地下之间通过蒸发、降水和入渗进行水分交换。海洋与陆地间也进行着水分交换,海洋向大陆输送水汽,大陆则向海洋注入径流,大陆上蒸发的水汽也可随气流被带到海洋上空,但总的来说,水汽是从海洋输向大陆的。

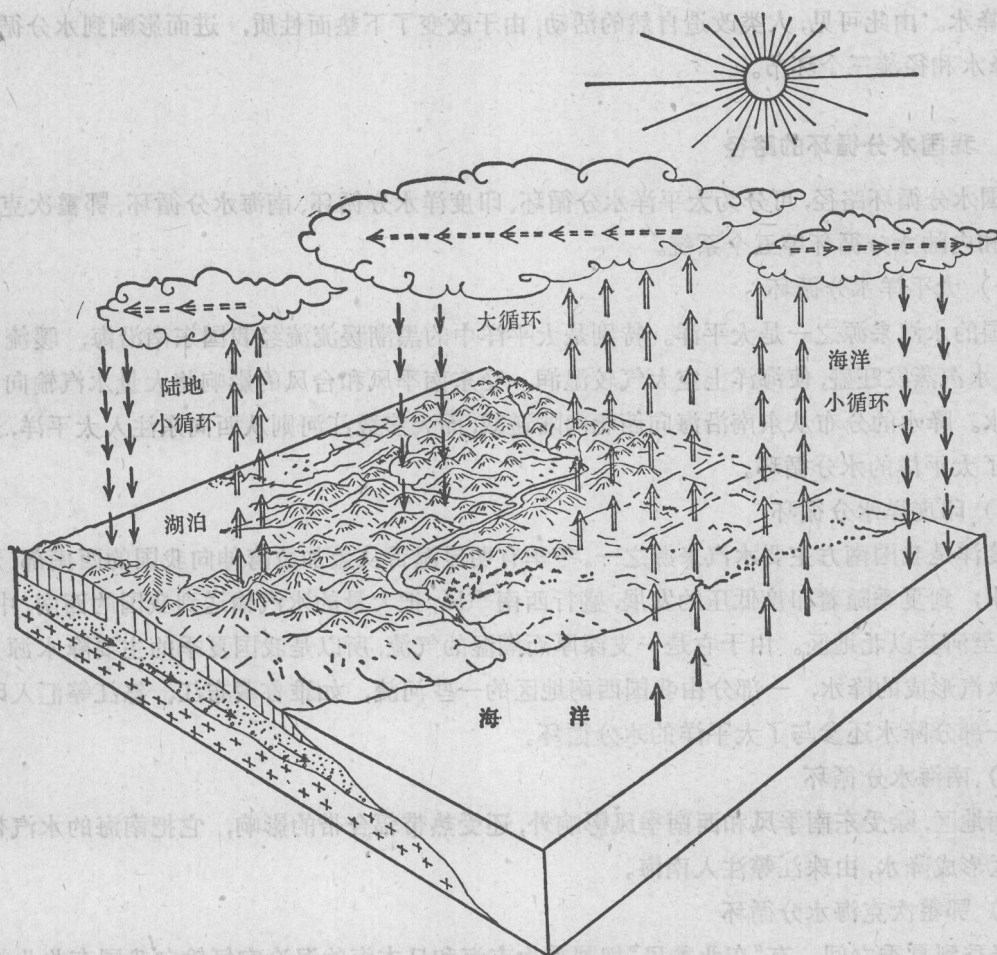


图 1-1 水分循环示意图

二、影响水分循环的因素

影响水分循环的因素很多,归纳起来有两大类,即自然地理因素和人类社会因素。

在影响水分循环的自然地理因素中,气象因素是主要的,是起主导作用的因素,这是因为在水分循环的四个环节中,有三个环节(即蒸发、水汽输送、凝结降水)取决于气象过程。径流虽受地理环境中的地质、地貌、土壤和植被等条件的影响,但其形成过程和变化规律仍受气象过程及其变化规律的影响。

人类活动(包括水利措施和农林措施)对水分循环的影响,主要表现在:调节了径流,加大了蒸发,增加了降水等水分循环环节。水利措施,如修筑水库、塘坝,开河渠,扩大灌溉面积等,能拦蓄洪水,增加枯水径流,由于水面面积的扩大和地下水位的抬高,可加大蒸发;修梯田、鱼鳞坑、谷坊、截水沟和平整土地等,能增加入渗,削减洪峰,增加土壤水分,也可加大蒸发。在农林措施中,“旱改水”、深耕细作、封山育林、植树造林等,均能增加入渗,调节径流,加大蒸发,在一定程度上

可增加降水。由此可见,人类改造自然的活动,由于改变了下垫面性质,进而影响到水分循环的蒸发、降水和径流三个环节。

三、我国水分循环的路径

我国水分循环路径,可分为太平洋水分循环、印度洋水分循环、南海水分循环、鄂霍次克海水分循环和内陆水分循环等五个系统。

(一) 太平洋水分循环

我国的水汽来源之一是太平洋。特别是太平洋中的黑潮暖流流经我国东南沿海,暖流洋面温度高、水汽蒸发旺盛,使海洋上空大气较湿润,受东南季风和台风的影响将大量水汽输向内陆形成降水。降水的分布从东南沿海向西北内陆递减,而大多数江河则从西向东注入太平洋,这样就完成了太平洋的水分循环。

(二) 印度洋水分循环

印度洋是我国南方主要水汽来源之一。冬季有明显湿舌从孟加拉湾伸向我国的西南部,形成冬季降水;到夏季随着印度低压的发展,盛行西南季风,把大量的水汽输送到我国的西南、中南、华东,以至河套以北地区。由于它是一支深厚而潮湿的气流,所以是我国夏季的主要降水源泉。印度洋水汽形成的降水,一部分由我国西南地区的一些河流,如雅鲁藏布江、怒江等汇入印度洋;另一部分降水还参与了太平洋的水分循环。

(三) 南海水分循环

华南地区,除受东南季风和西南季风影响外,还受热带辐合带的影响,它把南海的水汽带到华南地区形成降水,由珠江等注入南海。

(四) 鄂霍次克海水分循环

在春季到夏季之间,有“东北季风”把鄂霍次克海和日本海的湿冷空气输向我国东北北部地区,降水后由黑龙江注入鄂霍次克海。

(五) 内陆水分循环

我国新疆地区,主要是内陆水分循环系统,但大西洋的少量水汽随盛行西风和气旋的东移,也能参与内陆水分循环。

第三节 地球上的水量平衡

地球上的水不断地运动着、变化着和循环着。根据物质不灭定律,对于任一地区,任一时段内,收入的水量与支出的水量之间的差额必等于其蓄水量的变化,这就叫做水量平衡,即水分循环过程中,水分收支平衡。水量平衡原理,是现代水文学中基本的理论之一,依此原理可以列出水量平衡方程式,并在水文学中得到广泛应用。

一、通用水量平衡方程式

假定在陆地上,任取一个三度空间的闭合柱体,作为研究水量平衡的区域,其上界为地表,下界为无水分交换的深度。这样,对任一闭合柱体,任一时间内的水量平衡方程式为:

$$X + Z_1 + Y_1 + W_1 + U_1 = Z_2 + Y_2 + W_2 + U_2$$

或

$$X = (Y_2 - Y_1) + (Z_2 - Z_1) + (W_2 - W_1) + (U_2 - U_1) \quad (1-1)$$

式中收入的水量(毫米): X 为降水量, Z_1 为水汽凝结量, Y_1 为地表水流入量, W_1 为地下水流入量; 支出的水量(毫米): Z_2 为蒸发量, Y_2 为地表水流出量, W_2 为地下水流出量。 U_1 、 U_2 分别为研究时段始末的蓄水量(毫米)。

二、全球水量平衡方程式

地球上多年水量并无明显的增减现象。对于海洋上,多年平均蒸发量($Z_{\text{洋}}$)应等于多年平均降水量($X_{\text{洋}}$)和河流流入海洋的多年平均径流量(Y)之和,其水量平衡方程式为:

$$Z_{\text{洋}} = X_{\text{洋}} + Y \quad (1-2)$$

对于陆地上,多年平均蒸发量($Z_{\text{陆}}$)等于陆地上的多年平均降水量($X_{\text{陆}}$)与河流流出的多年平均径流量(Y)之差,其水量平衡方程式为:

$$Z_{\text{陆}} = X_{\text{陆}} - Y \quad (1-3)$$

大陆内流区的多年平均水量平衡方程式为:

$$Z_{\text{内}} = X_{\text{内}} \quad (1-4)$$

此式表示内流区的多年平均降水量($X_{\text{内}}$)等于多年平均蒸发量($Z_{\text{内}}$),但内流区并不是没有径流,内流区的径流最终也消耗于蒸发而不注入海洋。

将(1-2)(1-3)两式相加,即得全球水量平衡方程式:

$$Z_{\text{洋}} + Z_{\text{陆}} = X_{\text{洋}} + X_{\text{陆}} \quad (1-5)$$

上式表明海洋和陆地上的蒸发量,等于降落到海洋和陆地上的降水量。

地球上的水量平衡各要素值,见表 1-4。

表 1-4 地球上水量平衡

区 域		水 量 平 衡 要 素					
		蒸 发		降 水		径 流	
		水 量 (km^3)	水层深度 (mm)	水 量 (km^3)	水层深度 (mm)	水 量 (km^3)	水层深度 (mm)
海 洋		505000	1400	458000	1270	47000	130
陆 地	内流区	9000	300	9000	300		
	外流区	63000	529	110000	924	47000	395
全 球		577000	1130	577000	1130		

三、流域水量平衡方程式

如所研究的水量平衡区,为一闭合流域,即流域的地下分水线与地面分水线相重合,没有相邻流域的地表水或地下水的流入或流出,而且河槽下切到足够深度,使地下水最终能排入河道流经出口断面,则通用水量平衡方程式中的 $Y_1=0$, $W_1=0$, 并用 Y 代替 (Y_2+W_2) , 于是(1-1)式可写成:

$$X = (Z_2 - Z_1) + Y + (U_2 - U_1) \quad (1-6)$$

地表凝结量 Z_1 一般很小,常忽略不计, Z_2 可改写为 Z 。令 $(U_2 - U_1) = \pm \Delta U$, ΔU 为蓄水变量,则上式可写成:

$$X = Z + Y \pm \Delta U \quad (1-7)$$

在多水期, ΔU 为正值,表示时段内的降水量除消耗于蒸发和径流外,还能使流域蓄水量增加;在少水期, ΔU 为负值,表示流域内不仅消耗掉了降水,而且还消耗了流域内的部分蓄水量,故使蓄水量减少。

多年闭合流域内的蓄水变量(ΔU)因有正有负,故多年累加起来可以相互抵消,所以(1-7)式中最后一项可趋近于零。于是多年闭合流域的水量平衡方程式为:

$$X_0 = Y_0 + Z_0 \quad (1-8)$$

式中, X_0 为多年平均降水量; Y_0 为多年平均径流量; Z_0 为多年平均蒸发量。

如所研究的水量平衡区,为非闭合流域,即流域的地下分水线与地面分水线不相重合,在没有跨流域引水的情况下,通用水量平衡方程式中的 $Y_1=0$, Y_2 为出口断面的径流量,可用 Y 来代替,因 Z_1 一般很小,常忽略不计, Z_2 可改写成 Z , 于是(1-1)式变为:

$$X - Z = Y + (W_2 - W_1) + (U_2 - U_1) \quad (1-9)$$

或

$$X - Z = Y + \Delta W + \Delta U$$

式中, ΔW 为本流域与相邻流域地下径流交换量。上式适用于非闭合流域的水量平衡。

若将(1-8)式两边均除以 X_0 , 则

$$\frac{Y_0}{X_0} + \frac{Z_0}{X_0} = 1 \quad (1-10)$$

式中, $\frac{Y_0}{X_0}$ 为多年平均径流系数, $\frac{Z_0}{X_0}$ 为多年平均蒸发系数,二者之和等于1。这两个系数在不同自然地理区内是不同的,它们综合地反映了一个流域内气候的干湿程度。干燥地区蒸发系数大,径流系数小;湿润地区则蒸发系数小,径流系数大。例如我国北方河流多年平均径流系数较小,南方河流多年平均径流系数较大(表1-5)。

由于人类对淡水资源需要量的增加,人们对地区和全球性水量平衡的研究已得到了普遍的重视;特别是近年来随着地球卫星的发射和人类进入宇宙空间,卫星测量数据、宇宙图象和电子计算机等手段和方法已被用于研究地球上的水量平衡。

表 1-5 全国各流域水量平衡

流 域		面 积 (占全国%)	降 水		径 流		蒸 发		径流系数 (%)
			(毫米)	(亿立方米)	(毫米)	(亿立方米)	(毫米)	(亿立方米)	
外流流域	太 平 洋	56.71	912	49664.34	395	21525.15	517	28139.19	43.3
	印 度 洋	6.52	800	4994.80	519	3238.94	281	1755.86	64.9
	北 冰 洋	0.53	360	183.10	212	107.85	148	75.25	58.9
	全外流流域	63.76	896	54842.24	407	24871.94	489	29970.30	45.4
内陆流域		36.24	197	6852.83	33	1130.70	164	5722.13	16.5
全 国		100	643	61695.07	271	26002.64	372	35692.43	42.0

资料来源：水利部编，1980。

类表的水系，二

资料来源：水利部编，1980。

深度(米)	面积(平方公里)	体积(立方公里)	重量(亿吨)	盐度(‰)	温度(℃)	密度(克/厘米 ³)	透明度(米)	其他
0-100	361,000,000	3,610,000,000	36,100,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
100-200	149,000,000	2,980,000,000	29,800,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
200-300	149,000,000	4,470,000,000	44,700,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
300-400	149,000,000	5,960,000,000	59,600,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
400-500	149,000,000	7,450,000,000	74,500,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
500-600	149,000,000	8,940,000,000	89,400,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
600-700	149,000,000	10,430,000,000	104,300,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
700-800	149,000,000	11,920,000,000	119,200,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
800-900	149,000,000	13,410,000,000	134,100,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
900-1000	149,000,000	14,900,000,000	149,000,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
1000-1100	149,000,000	16,390,000,000	163,900,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
1100-1200	149,000,000	17,880,000,000	178,800,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
1200-1300	149,000,000	19,370,000,000	193,700,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
1300-1400	149,000,000	20,860,000,000	208,600,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
1400-1500	149,000,000	22,350,000,000	223,500,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
1500-1600	149,000,000	23,840,000,000	238,400,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
1600-1700	149,000,000	25,330,000,000	253,300,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
1700-1800	149,000,000	26,820,000,000	268,200,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
1800-1900	149,000,000	28,310,000,000	283,100,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
1900-2000	149,000,000	29,800,000,000	298,000,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
2000-2100	149,000,000	31,290,000,000	312,900,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
2100-2200	149,000,000	32,780,000,000	327,800,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
2200-2300	149,000,000	34,270,000,000	342,700,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
2300-2400	149,000,000	35,760,000,000	357,600,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
2400-2500	149,000,000	37,250,000,000	372,500,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
2500-2600	149,000,000	38,740,000,000	387,400,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
2600-2700	149,000,000	40,230,000,000	402,300,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
2700-2800	149,000,000	41,720,000,000	417,200,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
2800-2900	149,000,000	43,210,000,000	432,100,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
2900-3000	149,000,000	44,700,000,000	447,000,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
3000-3100	149,000,000	46,190,000,000	461,900,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
3100-3200	149,000,000	47,680,000,000	476,800,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
3200-3300	149,000,000	49,170,000,000	491,700,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
3300-3400	149,000,000	50,660,000,000	506,600,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
3400-3500	149,000,000	52,150,000,000	521,500,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
3500-3600	149,000,000	53,640,000,000	536,400,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
3600-3700	149,000,000	55,130,000,000	551,300,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
3700-3800	149,000,000	56,620,000,000	566,200,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
3800-3900	149,000,000	58,110,000,000	581,100,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
3900-4000	149,000,000	59,600,000,000	596,000,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
4000-4100	149,000,000	61,090,000,000	610,900,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
4100-4200	149,000,000	62,580,000,000	625,800,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
4200-4300	149,000,000	64,070,000,000	640,700,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
4300-4400	149,000,000	65,560,000,000	655,600,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
4400-4500	149,000,000	67,050,000,000	670,500,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
4500-4600	149,000,000	68,540,000,000	685,400,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
4600-4700	149,000,000	70,030,000,000	700,300,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
4700-4800	149,000,000	71,520,000,000	715,200,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
4800-4900	149,000,000	73,010,000,000	730,100,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
4900-5000	149,000,000	74,500,000,000	745,000,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
5000-5100	149,000,000	75,990,000,000	759,900,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
5100-5200	149,000,000	77,480,000,000	774,800,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
5200-5300	149,000,000	78,970,000,000	789,700,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
5300-5400	149,000,000	80,460,000,000	804,600,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
5400-5500	149,000,000	81,950,000,000	819,500,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
5500-5600	149,000,000	83,440,000,000	834,400,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
5600-5700	149,000,000	84,930,000,000	849,300,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
5700-5800	149,000,000	86,420,000,000	864,200,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
5800-5900	149,000,000	87,910,000,000	879,100,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
5900-6000	149,000,000	89,400,000,000	894,000,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
6000-6100	149,000,000	90,890,000,000	908,900,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
6100-6200	149,000,000	92,380,000,000	923,800,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
6200-6300	149,000,000	93,870,000,000	938,700,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
6300-6400	149,000,000	95,360,000,000	953,600,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
6400-6500	149,000,000	96,850,000,000	968,500,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
6500-6600	149,000,000	98,340,000,000	983,400,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
6600-6700	149,000,000	99,830,000,000	998,300,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
6700-6800	149,000,000	101,320,000,000	1,013,200,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
6800-6900	149,000,000	102,810,000,000	1,028,100,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
6900-7000	149,000,000	104,300,000,000	1,043,000,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
7000-7100	149,000,000	105,790,000,000	1,057,900,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
7100-7200	149,000,000	107,280,000,000	1,072,800,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
7200-7300	149,000,000	108,770,000,000	1,087,700,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
7300-7400	149,000,000	110,260,000,000	1,102,600,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
7400-7500	149,000,000	111,750,000,000	1,117,500,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
7500-7600	149,000,000	113,240,000,000	1,132,400,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
7600-7700	149,000,000	114,730,000,000	1,147,300,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
7700-7800	149,000,000	116,220,000,000	1,162,200,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
7800-7900	149,000,000	117,710,000,000	1,177,100,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
7900-8000	149,000,000	119,200,000,000	1,192,000,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
8000-8100	149,000,000	120,690,000,000	1,206,900,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
8100-8200	149,000,000	122,180,000,000	1,221,800,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
8200-8300	149,000,000	123,670,000,000	1,236,700,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
8300-8400	149,000,000	125,160,000,000	1,251,600,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
8400-8500	149,000,000	126,650,000,000	1,266,500,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
8500-8600	149,000,000	128,140,000,000	1,281,400,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
8600-8700	149,000,000	129,630,000,000	1,296,300,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
8700-8800	149,000,000	131,120,000,000	1,311,200,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
8800-8900	149,000,000	132,610,000,000	1,326,100,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
8900-9000	149,000,000	134,100,000,000	1,341,000,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
9000-9100	149,000,000	135,590,000,000	1,355,900,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
9100-9200	149,000,000	137,080,000,000	1,370,800,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
9200-9300	149,000,000	138,570,000,000	1,385,700,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
9300-9400	149,000,000	140,060,000,000	1,400,600,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
9400-9500	149,000,000	141,550,000,000	1,415,500,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
9500-9600	149,000,000	143,040,000,000	1,430,400,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
9600-9700	149,000,000	144,530,000,000	1,445,300,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
9700-9800	149,000,000	146,020,000,000	1,460,200,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
9800-9900	149,000,000	147,510,000,000	1,475,100,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋
9900-10000	149,000,000	149,000,000,000	1,490,000,000,000	35.0	15.0	1.025	10.0	大洋

第二章 海洋

第一节 海洋概述

海洋是地理环境中水圈的主体,是一个巨大的水分源地,也是大气热量和运动的能源区,同时又是改变海岸地貌的动力,因此它对地理环境中的能量交换和物质输送起着重要作用。海洋是一个巨大的“蓝色宝库”,它蕴藏着极其丰富的化学资源、矿产资源、动力资源、水资源和生物资源等,它又是各大洲、各国进行贸易往来的重要通道。

一、海陆分布

地球总面积约为 510,000,000 平方公里,其中海洋面积约为 361,000,000 平方公里,占地球总面积的 70.8%;陆地面积约为 149,000,000 平方公里,占地球总面积的