

361181

成都工学院图书馆

基本馆藏

高等学校试用教科书

陆地水文学原理

施成熙 梁瑞驹 主编



中国工业出版社

高等学校試用教科书



陆地水文学原理

施成熙 梁瑞駒 主編

中国工业出版社

本书为高等工业学校陆地水文专业的試用教科书。

本书內容共四篇二十五章。第一篇为总論，介紹本課程有关的基本知識。第二篇为河川水文部分，介紹河流特征、水量补給、降雨径流、融雪径流、枯水径流、径流情势、冰情及泥沙。第三篇为湖沼及冰川水文部分，介紹湖泊水庫的形态特征、水量平衡、水位变化、湖水运动、湖岸演变及沼澤及冰川水文。第四篇为海洋水文部分，讲述海洋形态、潮汐、海流、海岸泥沙运动及河口水文現象。

本书亦可供水文工作者作为学习材料。

陆 地 水 文 学 原 理

施成熙 梁瑞駒 主編

*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京阜成門外路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本787×1092¹/₁₆·印张18¹/₈·字数429,000

1964年4月北京第一版·1964年12月北京第二次印刷

印数1,356—4,015·定价(科五)2.10元

*

統一书号: K15165·2904(水电-395)

序 言

本书是作为陆地水文专业陆地水文学原理的教科书而编写的，以华东水利学院水文系陆地水文教研组和成都工学院水利系水文教研组共同制订的教学大纲为依据，参考了华东水利学院历年使用的讲义改编而成。

本书对基本理论部分给予了很大的注意，力求深入详尽地加以阐述。

本书初稿完成于1961年9月间。此后，根据华东水利学院水文系陆地水文教研组陆地水文学原理教学小组全体成员逐章讨论的意见，以及1961学年试用结果，作了修改。尽管如此，限于水平及时间，书中的缺点和错误一定不少，热诚希望读者指出，俾再版时更正。

本书由华东水利学院陆地水文教研组与海洋水文教研组合编，由施成熙、梁瑞驹主编，谢金赞、赵知梅、沈秀国、关孟儒、陈国祥、张瑞芳以及成都工学院侯宇光参加编写，崔广柏整理资料。

目 录

第一篇 总 论

第一章 绪论	1	§2-3 水量平衡	8
§1-1 陆地水文学的对象、分科及本课程的 任务和內容	1	§2-4 热量平衡	12
§1-2 陆地水文学对国民經济的意义	2	第三章 降水和蒸发	16
§1-3 我国水文工作发展簡史	2	§3-1 降水特征及其表示方法	16
§1-4 水文現象的基本特点和研究方法	4	§3-2 区域平均降水量的計算	20
第二章 自然界的水分循环与水 热平衡	5	§3-3 影响降水量地区分布的因素	22
§2-1 地球上水的分布	5	§3-4 水面蒸发(包括冰、雪蒸发)、土壤 蒸发和植物散发	23
§2-2 自然界的水分循环	6	§3-5 区域总蒸发	34

第二篇 河川水文

第四章 河流特征	37	§7-2 融雪径流	93
§4-1 流域特征	37	第八章 枯水径流	101
§4-2 河系特征	42	§8-1 枯水径流的特征值及枯水径流 的形成	101
§4-3 河流的纵横断面	45	§8-2 枯水径流的影响因素	102
第五章 河流的水量补給	48	§8-3 枯水径流的消退規律	103
§5-1 河流水量补給的形式	48	§8-4 河流的干涸	106
§5-2 地面水补給	49	第九章 径流情势	106
§5-3 地下水补給	53	§9-1 径流的特征值	107
§5-4 流量过程綫的分割	57	§9-2 影响径流变化的因素	108
第六章 降雨径流	63	§9-3 径流年内分配和年际变化的概念	112
§6-1 降雨径流形成过程概述	61	第十章 河流冰情	113
§6-2 植物截留	66	§10-1 河水温度	114
§6-3 下渗	67	§10-2 河流的冻结、封冻及解冻	117
§6-4 填洼	76	第十一章 河流泥沙	123
§6-5 降雨損失小結	77	§11-1 河流泥沙的来源	123
§6-6 坡地漫流	78	§11-2 河流泥沙特性及其运动的概念	127
§6-7 河槽集流	84	§11-3 含沙量和輸沙量	130
§6-8 流域汇流計算的概念	90	§11-4 泥石流	132
§6-9 影响雨洪流量过程的因素	94	§11-5 河流的溶解质	134
第七章 融雪径流	95		
§7-1 积雪	95		

第三篇 湖沼与冰川水文

第十二章 湖盆形态特征	135	§15-2 湖泊的增温冷却与热量平衡	179
§12-1 湖盆形态概述	135	§15-3 湖水温度	183
§12-2 湖盆的形态特征	137	§15-4 湖水结冰现象	186
第十三章 湖泊、水库水量平衡及 水位变化	140	第十六章 湖水化学与生物学	190
§13-1 水量平衡方程式	140	§16-1 湖水化学	190
§13-2 水量平衡收入项目的确定	142	§16-2 湖水生物学	193
§13-3 水量平衡支出项目的确定	144	第十七章 湖岸演变及湖泊沉积	196
§13-4 湖泊、水库蓄水变量的确定	148	§17-1 沙量平衡	196
§13-5 湖泊水位变化	152	§17-2 湖岸与库岸演变	197
第十四章 湖水运动	156	§17-3 水库库岸演变预测	201
§14-1 波浪	156	§17-4 湖泊沉积	209
§14-2 波漾	163	第十八章 沼泽水文	213
§14-3 湖流	164	§18-1 沼泽的形成与发展	213
§14-4 增水和减水	171	§18-2 沼泽的水文动态	215
§14-5 湖水混和	173	第十九章 冰川水文	219
第十五章 湖水的光学及热学	176	§19-1 冰川的运动与消融	219
§15-1 湖水透明度及水色	176	§19-2 冰川的水热平衡	222
		§19-3 冰川对河流的补给	224

第四篇 海洋与河口水文

第二十章 海洋形态及海水的主要 理化性质	227	§22-5 潮汐理论概述	257
§20-1 海洋形态	227	§22-6 潮汐不等现象	258
§20-2 海水的成分及盐度	229	§22-7 调和和分析概述	259
§20-3 海水的密度、比重和比容	231	§22-8 特殊地形的潮汐	260
§20-4 海水的热学性质	233	第二十三章 海流	261
§20-5 海水的光学特性	235	§23-1 密度流	261
§20-6 海水的声学现象	238	§23-2 潮流	263
§20-7 海水混和	239	第二十四章 海岸泥沙	267
第二十一章 波浪	239	§24-1 海岸及海岸泥沙的性质	267
§21-1 短波理论	239	§24-2 泥沙的横向运动及平衡剖面	269
§21-2 长波理论	245	§24-3 泥沙的纵向运动	272
§21-3 内波	247	§24-4 泥流	274
§21-4 海啸	249	第二十五章 河口水文	277
第二十二章 潮汐	250	§25-1 河口类型	277
§22-1 海面升降	250	§25-2 河口潮汐现象	278
§22-2 天文知识	251	§25-3 河口潮位	279
§22-3 潮汐现象	253	§25-4 河口潮流速及流量	281
§22-4 潮汐的成因	253	§25-5 河口泥沙及河床演变	282
		主要参考文献	283

第一篇 总 論

第一章 緒 論

§1-1 陆地水文学的对象、分科及本課程的任务和内容

水文学，从广义來說，是研究地球上水体情况的科学。水体是以一定形态存在于自然界中的水的总称，如在大气中的水汽，在地面上的江水、河水、湖水、海水，在地下的地下水。狭义的水文学，就是陆地水文学，它专门研究大陆表面上的各种水体，如河川、湖泊、沼泽和冰川等。

大陆表面上各种水体，在形成和发展过程中，各具有不同的特点。随着近代科学的发展，对这些水体的研究，形成了下列各个独立的学科：

1. 河川水文学：也叫做河流学，研究河流特征、河流水量补给、径流形成过程 and 变化规律、河水的结冰现象、河水的化学成分、河流泥沙的形成和运动规律、河床的演变过程等。

2. 湖泊水文学：或叫做湖泊学，研究湖泊的形态、湖水的理化性质、湖水的运动、湖水性质与水生物的关系等。

3. 沼泽水文学：或叫做沼泽学，研究沼泽的形成与发展、沼泽的含水性、地下水位的变化、地下水的运动、径流及其蒸发等的变化、沼泽的物理性质等。

4. 冰川水文学：也叫做冰川学，研究冰川的成因与消融、冰川的运动、冰川对河流的补给、冰川的物理性质等。

5. 河口水文学：也叫做河口学，研究河口水流变化规律、河口潮汐现象、河口水体的理化性质及泥沙运动状况、河口的河床变迁过程、河口三角洲的形成等。

陆地水文学按研究的目的和方法又可分成下列学科。

1. 水文测验与水文查勘：研究如何通过定位观测，收集和整理精确的具有代表性的基本水文资料，以及如何组织水文查勘队在较短的时期内搜集对水文要素有影响的自然地理、气候等特征，以及水利资料。

2. 水文地理：又称水象学，是把水文作为一种景观要素，以地理综合的观点来解决水文问题的一门学科，它研究一定地区内水体的分布及其水文现象在时间上与地球表面上的分布规律，并确定它们与自然条件的相互联系和作用。

3. 水文实验研究：阐明水文现象的室内与野外实验研究方法，目的是对水文现象进行单项因素的研究和综合分析，以探求其物理规律。

4. 水文分析与计算：在研究自然界水文现象变化发展规律的基础上，预估未来长时期内(几十年甚至几百年)的水文情势，为水利建设的规划设计拟定合理的标准。

5. 水利计算与规划：在水文分析计算的基础上，对水文情况、用水需要、调节方法、经济论证等问题进行分析研究，对各种水利设备的大小、位置及其工作情况提出经济合理的设计，以满足综合利用水利资源的要求。

6. 水文預報：在研究自然界水文現象的變化規律的基礎上預報未來短時期內（幾天、幾個月）的水文情勢，為水利建設的施工、管理，以及為有計劃的調度運用水利資源提供依據。

7. 河床演變：研究河道水流、泥沙運動、河床形成及河床演變、水工建築物對河床的影響、河床演變的人工控制等。

8. 水文化學：研究一定地區水的化學成分的變化和分布規律，以及研究水質預報及水化學成分的分析方法。

9. 水文物理：研究各種水體的热動態和光、聲、電等方面的特性。

本課程——陸地水文學原理，是闡明自然界中水及水體的一般特性、水體中發生的水文現象和過程、決定着這些現象和過程的基本規律以及其他必需的基本知識。本課程的內容包括河川水文、湖泊水文、沼澤水文和冰川水文等幾個部分，由於專業上的需要，又增添了海洋水文部分。

§1-2 陸地水文學對國民經濟的意義

我國的水利資源，包括江、河、湖、海、冰川及地下水，儲量極為豐富。在優越的社會主義制度下，它們被廣泛地利用於社會主義建設，以促進工農業生產的發展。

水文工作是水利工作的先行，是它不可分割的一個重要部分。它通過對水體水文情勢的研究，為水利建設提供可靠的依據。流域水利規劃和水利工程的設計、施工、運用和管理，都要求對水體作深入詳盡的研究，提供出足以說明水體水情規律的各種資料和數據。否則，這些工作將不能達到預期的要求，造成浪費，甚至可能使工程失事，釀成災害。例如在建設水電站時，如果缺乏可靠的水文依據，水電站的設計可能根據過大的水量，因而不能得到預期的電能，也可能根據過小的水量，而使水能未被充分利用。在建造水庫時，需要正確地設計水庫的蓄水量和詳細研究建庫的條件，否則得不到預期的水量，或者水庫容納不下來水，或者最大流量估計偏小，溢洪道不能滿足宣洩水流的要求而可能造成失事。國民經濟的其他部門，諸如農業、城市 and 工礦建設、交通運輸等也都需要了解水體的水情規律。農業灌溉排水工程，必須了解河流水量的大小、變化規律和水質情況。鐵路公路往往通過江河，因而就要修建橋梁，因此河流的最大流量及最高水位是必需的基本數據。航運更需要知道河流之情勢，特別是水位和流量的變化情勢。

綜合上述，要使各項水文工作滿足國民經濟各部門特別是水利建設的要求，必須深入地掌握陸地水文學的全部知識。

§1-3 我國水文工作發展簡史

我國河流湖泊眾多，蘊藏着豐富的水利資源，幾千年來在與大自然水旱災害作長期艱苦的鬥爭中，積累了很多經驗。在紀元前二千多年，我們的祖先為了防止黃河的洪水，就經常注意水位漲落和天氣變化。到紀元前幾百年，已具有初步的水文知識，在各種文獻書籍上，對河流的徑流變化、洪水、冰情等已有定性的描述和記載。著名的《水經》一書於東漢問世，經過後人不斷加工校訂，發展成《水經注》四十卷，系統描述了黃河、淮河和長江三水系的源流、干支流及灌溉航運水力情況。至清代，傅澤洪綜合了歷代水利的文獻和書籍，編纂了《行水金鑑》一書，詳述四瀆分合、運道沿革和水利興廢情況。此書約略概括了

數千年間水道變遷情況。公元前250年，李冰父子在都江堰中設立石人測量水位，用以了解灌溉水量，後來又改成石刻水則。其後，各地灌溉、航運和江河修防等工程，也多加仿效，安設水則測量水位，作為閘壩啟閉、河堤防汛的標準。應用雨量器觀測雨量始於明朝永樂末年。1912年成立江淮水利測量局，在淮河測驗水位和流量。這是我國自行設站進行測驗的開始。隨後在1919年，順直水利委員會在陝縣、滎口設站觀測黃河的水位、流量和含沙量。華北各河分別於1918、1919年開始設站觀測。在1937年抗日戰爭前夕，全國共有水文站378處，水位站486處，雨量站1470處（其中未包括當時被日本帝國主義佔領下的東北和台灣的測站）。以後由於日本侵略戰爭及國民黨反動派人民的內戰的破壞，水文工作長期處於停滯的狀態。

我國近代水文科學從一開始就遭受封建制度、帝國主義侵略和國民黨反動統治的束縛，發展極其遲緩。在舊中國，水文科學處在極其落后的狀態。

中華人民共和國成立以後，國民經濟經過了三年的恢復以及兩個五年計劃，得到了很大的發展。大規模的經濟建設特別是水利建設，大大促進了水文工作的發展，為水文科學开辟了無限廣闊的前途。

建國以來，陸地水文學中幾個主要方面的發展情況，分述如下：

1. 水文測驗：建國以後，各級水文測站在數量上有了很大的增長，到1962年底，已達一萬餘處。測站遍布全國各地，過去是空白區的雅魯藏布江和柴達木盆地等目前都已設立了水文站。全國基本站網業已大部建成，這就為陸地水文學的研究奠定了基礎。水文測驗項目不僅包括水位、流量、泥沙、蒸發、水化學，還根據需要進行水溫、冰雪、潮汐、地下水、波浪、土壤含水量等要素的測驗。1954年開始編制全國通用的水文測驗規範，並于次年開始執行。從此全國水文技術標準得到了統一。建國初，前華東水利部在南京成立水文資料整理委員會，配合水文機構把解放前歷年積存的江淮水文資料加以整編。目前全國各地基本上做到了當年資料次年整編完竣。水文資料整編方法有不少的改進和創造，整編技術標準也已基本統一。

2. 水文水利計算和規劃：1950年為了治理淮河首先對淮河進行了水文水利計算。以後，配合黃河等大中流域的規劃、永定河、遼河等河流的治理，以及許多大中型水利樞紐的設計和施工，較普遍地開展了水文水利計算。在方法上，最初是把歷史上實測水文資料用於未來，並且僅僅以實測最大流量和最枯流量作為依據。其後，總結了上一階段經驗，1954年起採用頻率計算方法進行水文計算和水利計算。1956年冬召開了全國水文計算學術討論會，總結交流了水文計算特別是設計洪水計算方面的經驗，並出版了《水文計算經驗匯編》。這是總結我國水文計算經驗的重要文獻。同時在流域規劃、綜合利用水庫的水利計算方面也取得了不少經驗，其中如防洪與發電的配合、梯級水庫羣的調節計算等都得到了很大的發展。1958年以來，隨着水利建設的發展，又開始進行了農村水利規劃、中小型工程的水文水利計算，並普遍開展了小面積暴雨徑流的研究，不少省區編制了通俗易懂的水文手冊及水文圖集，以應用於中小型水利工程的設計。

3. 水文預報：建國初期，由於大江、大河防洪的需要，對個別河段進行了洪水預報。經過1954年的特大洪水，各地累積了許多洪水預報的工作經驗，根據這些經驗，水文局編寫了《洪水預報方法》一書，為我國的水文預報技術打下了基礎。從1955年起，開始制作枯水預報和試作冰情預報，在技術上具有一定的獨創性，同時枯水與冰情的區域預報在

个别地区也已开始进行。1958年以后，发布预报的单位由大中河流和大型水库开始扩展到县、水文站及中型水库，许多省以及某些专区编制了水文预报手册，供广大水文工作人员使用。随着水文预报工作广泛深入的开展，预报的内容、对象与方法也大大地丰富起来。目前，缺乏资料地区的中小河流、中小水库的预报方法，大中小相结合的区域水文预报方法，利用气象资料制作中长期水文预报等，都开始着手进行了。

4. 水文地理：水文地理的研究，大约开始于1953年。那时正值第一个五年计划时期，水利建设开始从重点工程转入到多目标的综合治理，对水文地理的调查研究的要求开始提到日程上来了。中国科学院、水文研究所和一些流域机构先后组织了水文地理研究的队伍，陆续开拓了径流、水量平衡、水化学等的研究，以及流域水文地理的研究，1958年以后，又开展了泥沙水文地理的研究，湖泊、冰川的考察研究等。

§1-4 水文现象的基本特点和研究方法

水文现象的基本特点有三，分述如下：

1. 不重复性：影响水文现象的因素众多，由于各个因素本身随时间而变化以及它们之间的组合随时不同，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。从实测资料可以发现，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。这是因为气象因素，特别是降水变化多端，它的强度、历时、过程、笼罩面积、移动方向，在任何两次降雨中都不会相同。

2. 地区性：在气候及地理条件不同的地区，水文现象具有不同的变化规律。反过来说，在气候及地理条件相似的地区，水文现象的变化规律具有一定程度的相似性。这是因为气候及地理因素具有地区性，由这些因素综合产生的水文现象也具有一定的地区性的缘故。如我国南方多雨，且雨量的四季分布较均匀，北方干旱，且降雨都集中在夏秋之间；因此南方河流的水量（单位面积的年径流量）比北方河流大，年内分配情势也较均匀。北方河流由于气候寒冷，冬春季有冰凌现象，南方河流则几乎没有冰凌现象。山区河流由于地势陡峻，洪水陡涨陡落；平原河流洪水的涨落则较为平缓。

3. 循环性：由于决定水文现象的气候条件具有以日、年及多年为周期的循环性变化，所以水文现象也具有循环变化的性质。例如黄河下游每年大致在七月进入汛期，十一月以后进入冰期，次年二月以后解冻开河，三、四月间发生桃汛。另外，在某些长期观测资料中，发现水文现象有多年周期的循环变化。

由于各地气象要素及各河流域的地形、地质、植物被复等情况千变万化，因此水情变化异常复杂。要找寻它的变化规律，首先针对所研究的水体进行调查，了解水体的气象及自然地理情况，并设立测站进行长期观测，对观测资料加以综合和分析，以深入现象本质发现其变化规律。

陆地水文学的研究方法，按不同的研究目的和要求，可归结为三种：

1. 数理统计法：基于把水文现象特征值的出现作为偶然事件，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。或者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，以求得统计规律。

2. 成因分析法：根据基本站网和室内外试验的资料，从具体现象出发，研究水文现象

的成因規律及各主要影响因素之間的內在联系。

3. 地理綜合法：认为气象要素及其他地理景观要素的分布具有地区性，同时求出各测站水文要素的特征值，繪制各种等值綫，以表示水文要素在地理上的分布規律。

以上三种方法是相輔相成、互为补充的。在实际研究中常同时应用。例如設計暴雨的計算，常用頻率計算和地理綜合的方法解决暴雨强度、历时的問題，而以頻率計算和成因分析的方法解决暴雨的时空分布問題。又如水文預报中主要是运用成因分析法，但同时以相关分析作为手段，在区域預报中又采用了地理綜合法。

現代水文学的研究方法是还不够完善的，水文过程的观测資料还不够多，因此，在水文研究工作中还有或多或少的誤差，有許多水文要素間的关系不能以数学方法加以証明，在研究中作了很多粗略而簡化的假定，并且广泛地应用着近似的經驗公式。

第二章 自然界的水分循环与水热平衡

§2-1 地球上水的分布

地球的总面积約为509,870,000平方公里，其中，海洋的面积約为361,059,000平方公里，占地球总面积的70.8%，陆地的面积約为148,811,000平方公里，仅占29.2%。

大部分陆地分布在北半球，占北半球面积的39%，在南半球，陆地很少，只占南半球面积的19%左右。在陆地上，有79%的地区河流的徑流直接注入海洋，这些地区称为外流区；另外21%的地区，河流的徑流流入內陆湖泊、沼泽或沙漠，称为內流区。外流区可以分为太平洋坡地和大西洋坡地两个系統。世界上最大的內流区为苏联里海流域及咸海流域，我国最大的內流区为新疆的塔里木河流域。

地球上海洋和陆地面积分布情况如表2-1所示。

海洋中水的总体积約为13,703,230,000亿立方米，将其平鋪在地球表面上，水深为2,690米。

河流中的儲水量，据粗略估計，約为12,000亿立方米，湖泊及內陆海的儲水量約为7,500,000亿立方米。陆地表面上的这些水量与海洋中水量相比，不足千分之一，但是它对人类生活的影响却很巨大。

地球上各河流多年平均的年徑流总量等于370,000亿立方米(包括格陵兰和南极洲冰川融水180,000亿立方米在內)，把它平鋪在陆地上，折合成水深为247毫米。这些水量中，属于內流区的只占2.5%，其余的都属外流区。而属于外流区的水量中，56%属于大西洋(包括北冰洋)系統，44%属于太平洋(包括印度洋)系統。

除了地面水以外，还有在地层中的地下水。地下水包括三部分：潛水位以上土层內的水分，称为包气帶水；潛水位以下隔水层以上土层內的水分，称为潛水；埋藏在隔水层以下不受气象要素直接影响的水分，称为深层地下水。关于地下水儲量，若以岩石、土壤的平均空隙率为准，并假定离地面8~10公里以下的孔隙率很小可略而不計，則折合成水深約为200米(按地球表面积計)。

还有以水汽形态存在于大气中的水分，叫做空中水。空中水絕大部分在对流层大气

中。空中水汽量约为123,000亿立方米，凝結成水，折合深度为25毫米。这个数量显然很小，所以降水必須依靠地表水的不断地蒸发来接济，而主要源地就是海洋。

表 2-1 大陆和海洋的面积

大 陆	面 积 (千平方公里)	海 洋	面 积 (千平方公里)
亚 洲	42275	太平洋	179679
		白令海	2275
		鄂霍次克海	1715
欧 洲	9671	日本海	980
		渤海	83
		黄海	404
非 洲	29813	东海	755
		南海	2140
		大西洋	93363
澳 洲	7965	加勒比海	2600
		波罗的海	412
		北海	570
南美洲	17976	爱尔兰海	210
		地中海	2559
		黑 海	411
北美洲	20443	阿速夫海	58
		印度洋	74917
		紅 海	449
格陵兰及加拿大羣島	3882	安达曼海	790
		北冰洋	13100
		白 海	95
马来亚羣島	2671	巴倫支海	1400
		喀拉海	853
		拉普帖夫海	641
南极洲	14165	东西伯利亚海	849

§2-2 自然界的水分循环

水从水面和陆地表面蒸发，变为水汽，被气流带到空中，有时并向远处輸送，在适当条件下凝結为水滴，又以降水的形式落至地面，然后再經蒸发和水汽的輸送，再以降水的形式落回地面，这种往复循环的过程，叫水分循环。形成水分循环的内因是水的物理三态(气体、液体、固体)的相互轉化，外因是太阳辐射和地心引力。此外，水分循环路綫的构造和性质，如地形、地质、土壤和植被等对水分循环也有一定影响。

(1) 外循环和内循环

自然界的水分循环是由外循环和内循环組成的。从海洋上蒸发出来的水分，被气流带到大陆上空，遇冷凝結，成云致雨，降落到地面。其中，一部分經蒸发又回到空中，一部分汇为河川，注入海洋，还有很小一部分渗入土壤后，直接以地下水的形式注入海洋。这种海陆間水分循环路徑叫外循环，又称大循环。

在海洋和陆地上的水，經過蒸发、凝結和降水，还是回到海洋或陆地上，这种水分循环路徑叫内循环，又称小循环。

图2-1为地球上的水分循环示意图。

在水分循环的过程中，天空与地面和地下之间通过降水、蒸发和下渗进行水分交换。海洋与陆地间也进行水分交换，海洋向陆地输送水汽，而陆地则向海洋注入径流。但是海洋向陆地输送水汽并不是单方面的，而是水汽交换的结果：从海洋上蒸发出来的水汽借气流带向大陆，而大陆上蒸发出来的水汽也随着气流被带向海洋，前者比后者大，因此总的来说，水分是由海洋向大陆输送。有效水汽输送量为两者之差，据奥基也夫斯基的估算，这部分水汽大约只占海洋总蒸发量的8%。

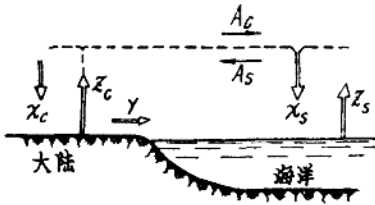


图 2-1 地球上水分循环示意图

e_s —海洋上的蒸发； p_s —海洋上的降水； e_c —陆地上的蒸发，包括土壤蒸发、植物散发、河湖蒸发； p_c —陆地上的降水； y —径流； A_s —从海洋向陆地输送的水汽； A_c —从陆地向海洋输送的水汽。

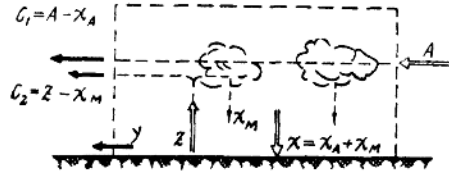


图 2-2 局部地区水分循环示意图

(2) 局部地区的水分循环

陆地上局部地区的水分循环可用图 2-2 来说明，进入该地区的外来水汽量 A ，其中有一部分成为降水，降落于该地区内，叫做外来降水 x_A ；另一部分水汽量 $C_1 = A - x_A$ 被输送到该地区以外。当地蒸发出来的水汽 z 中，一部分变为降水 x_M ，其余的水汽则被输送到该地区以外。而降水，一部分成为径流 y 流出此地区，其余水量供给当地蒸发。这种局部地区的水分循环，又称为内陆水分循环，它是全球水分循环的一部分。

局部地区的水分循环对降水的形成和分布具有相当重要的作用，对河川径流等水文现象也有一定的影响。在局部地区的水分循环过程中，水汽不断向内陆输送，但越向内陆，输送的水汽量越少，因为不断有一部分水汽变成径流，也就是说，从海洋吹向大陆的水汽将沿途损耗，越来越少。因此，远离海洋的内陆腹地往往比较干旱，降水量较小，径流量也较小。从陆地蒸发出来的水分，有一部分将借气流向内陆移运，但这部分数量往往并不大。气候潮湿水量丰富的地区，蒸发量较大，水分循环也比较频繁活跃。反过来讲，在水分循环活跃的地区，蒸发量必然较大，与不活跃的地区相比，假若外来水汽量相同，降水量将较多。活跃的水分循环不仅对于本地区的内部降水，而且对于相邻地区的水汽输送都是有利的，使水分有可能较多的深入内陆腹地，形成该处较大的河流。

(3) 影响水分循环的因素

影响水分循环的因素很多，它们是通过降水、蒸发、径流和水汽输送而起影响的，归纳起来有三类：一类是气象因素，如风、温度、湿度等；一类是下垫面因素，也就是地理条件，如地形、地貌、土壤、地质、植被等；另一类是人类改造自然的的活动，包括水利措施和农林措施等。

在这三类因素中，气象因素是主要的，因为蒸发、水汽输送和降水这三个环节，基本上决定于地球表面上辐射平衡和大气环流情况。而径流，虽然其具体情势与下垫面条件有很大关系，但基本规律还是决定于气象因素。

下垫面因素主要是通过蒸发和径流来影响水分循环。有利于蒸发而且蒸发量较大的地区，往往水分循环很活跃；而有利于径流的地区却正好相反，对水分循环往往是不利的。

改造自然的活動，改变了下垫面的情况，通过对蒸发、径流的影响間接影响到水分循环。水利措施大别为两类：一类是调节径流的水利工程，如水庫、相互沟通的渠道河网等；一类是坡面治理措施，如水平沟、魚鳞坑、谷坊等。农、林业措施，則諸如坡田改梯田、旱地改水田、深耕密植、封山育林、森林更新及种植牧草等。修建水庫拦蓄洪水，使水面面积大为增加，水庫淹没区原来的陆面蒸发变成成为水面蒸发，同时又将使地下水位抬高，在其影响范围内的陆面蒸发也随之增加。坡面措施、农、林措施等，也多有利于下渗，不利于径流，而使蒸发量有所增加。径流减少，蒸发增大，降水在一定程度上也将有所增加，也就是說，将促使水分循环加强。

(4) 我国水分循环的路徑簡述

我国地处西伯利亚干冷气团和太平洋暖湿气团进退交鋒地区，一年内水汽輸送和降水量及其变化情况，主要取决于太平洋暖气团进退的早晚、西伯利亚冷气团的强弱变化，以及七八月間太平洋西部的台风情况。

我国水汽主要来自东南海洋(太平洋)，并向西北方移运，首先在东南沿海地区形成較多的降水，越向西北，水汽量越少。来自西南方向的水汽輸入也是我国水汽的重要来源，主要是由于印度洋的大量水汽随着西南季风进入我国西南，因而引起降水，但是由于重重高山峻岭阻隔，水汽不能深入内陆腹地。西北边疆地区，水汽来源于西风环流带来的大西洋水汽。此外，北冰洋的水汽，借强盛的北风，經西伯利亚、蒙古，进入我国西北，因风力較大而稳定，有时甚至可直接通过两湖盆地而达珠江三角洲，但所含水汽量少，引起的降水量并不多。我国东北方的鄂霍夫克海的水汽随东北风来到东北地区，对該地的降水起着相当大的作用。

綜合上述可知，我国水汽主要从东南、南和西南方向輸入，水汽輸出口主要是东部沿海。

輸入的水汽，在一定的条件下凝結、降落，成为径流。其中大部分經东北的黑龙江、图門江、綏芬河、鴨綠江、辽河，华北的灤河、海河、黄河，中部的长江、淮河，东南沿海的錢塘江、甌江、閩江，华南的珠江，西南的元江、瀾滄江以及台湾各河注入太平洋；小部分經怒江、雅魯藏布江等流入印度洋；还有极小一部分径流經額尔齐斯河流入北冰洋。

§2-3 水 量 平 衡

自然界的水分循环，从多年长期的观点来看，大体上是不变的：从海洋蒸发出来向陆地輸送的水分，經過降雨，以径流的形式又回到海洋。根据物质不灭定律可知：对于任一区域，在任意时段内，来水量等于出水量与区域内蓄水变量之和。即水分循环过程中，收支平衡。这就是水量平衡原理。根据此原理可以列出水量平衡方程式。

对水量平衡的分析研究，有助于对水分循环建立不仅是定性的且是定量的概念，并了解組成水分循环各要素的作用。水量平衡方法还广泛地应用于解决其它很多水文問題，例如在已知某些要素条件下，推求另一未知的要素如径流、蒸发、下渗等。在水文分析計算中，还常常通过水量平衡計算来确定并消除某些要素在測定中的可能誤差以及約略評估計算成果的精度。

(1) 地球的水量平衡

海洋和陆地上, 在多年长期中, 水量并无明显的增减趋势。故对于海洋, 多年平均蒸发量等于多年平均降水量以及从河流流入的多年平均径流量之和, 其平衡方程式为:

$$z_s = x_s + y \quad (2-1a)$$

对于陆地, 多年平均蒸发量等于其上的多年平均降水量与从河流流出的多年平均径流量之差, 平衡方程式为:

$$z_c = x_c - y \quad (2-1b)$$

将上两式相加, 即得全球的水量平衡方程式:

$$z_s + z_c = x_s + x_c \quad (2-2)$$

此式表明, 海洋与陆地的蒸发量, 等于降落在海洋与陆地上的降水量。

地球的水量平衡各要素的数量见表2-2。

表2-2 地球的水量平衡各要素的数量

区 域	面 积 (千平方公里)	平 衡 要 素	年 总 量 (亿公方)	年 深 度 (毫米)
海 洋	361000	降水	4116000	1140
		径流	363000	100
		蒸发	4479000	1240
外 流 区	117000	蒸发	630000	540
		径流	363000	310
		降水	993000	850
内 流 区	32000	蒸发	77000	240
		降水	77000	240
		蒸发	77000	240
全 地 球	510000	海洋上蒸发	4479000	875
		陆地上蒸发	707000	140
		地球上降水或蒸发	5186000	1015

(2) 通用的水量平衡方程式

为写出通用的水量平衡方程式, 今划出地面的某一部分作为研究对象。这部分地面具有湖泊、沼泽等水体, 并纵横交错着许多进出水道, 沿这块地面的边界想象地作出一个垂直的柱体, 柱体底部为地面以下某一定的水平面, 假设该水平面上下的水量不进行交换。根据水量平衡原理可知: 在某一时段内, 进入此柱体内的水量, 减去自该柱体流出的水量, 应当等于该柱体内的蓄水变量。

水量平衡的收入部分, 包括下列各项:

- 1) 时段内的降水量 x ;
- 2) 时段内的凝结量 z_c ;
- 3) 经河流流入的径流量 y_s ;
- 4) 经地下流入的径流量 y_c ;
- 5) 柱体内时段初的蓄水量 u_1 ;

支出部分包括下列各项:

- 6) 陆地(土壤、植物)蒸发及水面(包括冰面、雪面)蒸发 z_s ;
- 7) 经河流流出的径流量 y'_s ;

- 8) 經地下流出的徑流量 y'_s ;
 9) 柱体内时段末的蓄水量 u_2 ;
 10) 用水量 q 。

上列各要素都以水深毫米表示。

由此可以得出任意柱体在任意时段的通用水量平衡方程式如下:

$$x + y_u + z_k + y_s + u_1 = z_u + y'_s + y'_s + u_2 + q \quad (2-3)$$

式中 z_k 又称为負蒸发量, 故可将 z_u 、 z_k 合并, 令 $z = z_u - z_k$, 則上式成为:

$$x + y_u + y_s + u_1 = z + y'_s + y'_s + u_2 + q \quad (2-3')$$

(3) 河流流域的水量平衡

对于河流流域, 只有一外流河道, 即 $y_s = 0$, 可将 y'_s 写成 y 。又用 Δu 代表 $u_2 - u_1$; Δu 前面冠以正負号, 当流域蓄水量增加, 即 $u_2 > u_1$ 时, 采用正号; 当蓄水量减少, 即 $u_2 < u_1$ 时, 采用負号。流域内蓄水量的变化表现为地下水位、河湖水位的升降和积雪量增减等。故水量平衡方程式可写成下式:

$$x + y_s = y + z - y'_s \pm \Delta u + q \quad (2-4)$$

如果流域閉合, 即流域的地下分水綫和地面分水綫相重合, 沒有其它流域的地下徑流流入, 而且河床下切到足够的深度, 使下渗到地下的水量最終能以地下徑流的形式汇集到河槽內并經出口断面流出, 則水量平衡方程式中的 y_s 等于零。出口断面流出的地下徑流 y'_s 可归并到徑流量 y 內, 再假設国民經济部門耗水量 q 等于零, 由此可得閉合流域任意时段的水量平衡方程式:

$$x = y + z \pm \Delta u \quad (2-5)$$

上式中, 如流域蓄水变量 Δu 前的符号采用“+”号, 表示在該时段內的降水, 不仅耗用于徑流与蒸发, 还有一部分儲存在流域內; 如采用“-”号, 则表示該时段內的徑流和蒸发不仅取源于降水, 还消耗一部分流域蓄水量, 使蓄水量有所减少。前者称多水时期, 后者称少水时期。

对多年平均而言, 則上式中蓄水变量項为 $\left(\sum_{i=1}^n (\pm \Delta u) / n\right) \rightarrow 0$, 故水量平衡方程式可簡化为:

$$x_0 = y_0 + z_0 \quad (2-6)$$

式中 x_0 、 y_0 、 z_0 分別代表多年平均降水量、徑流量和蒸发量。

我国各河流流域的水量平衡各要素的数量列如表2-3。

上述河流流域的水量平衡方程式, 主要是对地面及地面以下的柱体(即流域)而言的。現在进一步地把流域和空中联系起来, 作为一整体进行平衡的分析研究, 以便进一步了解河流流域的水分循环和水量平衡情况。

設想沿流域边界作柱体, 以流域下某一定的水平面为底, 向上延伸至大气对流层頂。对此柱体写出任意时段水量平衡方程式如下:

$$D + M_1 + u_1 = y + D' + M_2 + u_2 \quad (2-7)$$

式中 D ——输入水汽量; D' ——输出水汽量; y ——徑流量; M_1 ——时段初空中水汽含量; M_2 ——时段末空中水汽含量; u_1 ——时段初流域蓄水量; u_2 ——时段末流域蓄水量。

上式又可写成:

$$D = D' + y \pm \Delta M \pm \Delta u \quad (2-8)$$

式中 $\Delta M = M_2 - M_1$ ，如水汽含量增加，其前用正号，水汽含量减少，则用负号，其它符号同前。

表 2-3 我国各河流域的水量平衡各要素的数量

流 域	多年平均年降水量 (毫米)	多年平均年蒸发量 (毫米)	多年平均年径流量 (毫米)
1. 松花江	549	490	59
2. 辽 河	501	399	102
3. 南阳河、灤河	509	418	91
4. 华北各河	519	434	85
5. 渤海胶东各河	635	512	123
6. 黄 河	403	342	61
7. 沂沭汶泗各河	688	533	155
8. 淮 河	845	583	263
9. 汉 江	715	498	217
10. 嘉陵江	829	508	321
11. 鄱阳湖水系	1581	741	840
12. 洞庭湖水系	1538	679	859
13. 长江(东经100°以东)	1195	619	576
14. 江浙沿海各河	1520	699	821
15. 闽粤沿海各河	1567	792	775
16. 珠 江	1440	730	719
17. 台湾各河	1903	887	1016

多年平均蒸发量由布德科公式计算而得：

$$z = \sqrt{\left[z_0 \times \text{th} \frac{x}{z_0} \left(1 - e^{-\frac{z_0}{x}} \right) \right]}$$

对多年平均而言， $\Delta M = 0$ ， $\Delta u = 0$ ，平衡方程式成为：

$$D = D' + y$$

或

$$D - D' = y \quad (2-8')$$

上式表明，流域上空范围内输入与输出的水汽量之差等于流域的径流量。

兹举出郑斯中、沈建柱对长江流域部分面积(大通以西，金沙江、龙江以下，大渡河铜街子以下所包括的区间面积，面积约占全长江流域的三分之二) 1957年的水量平衡计算为例，说明河川流域水量平衡的一般情况。此算例中忽略 Δu 和 ΔM 两项，结果如下：输入水汽量为48,311亿立方米，输出水汽量为42,299亿立方米，径流量为6,012亿立方米；各季的水量平衡各要素的数量与同时期的进出水汽量对比结果，列出如表2-4。

从表中可以看出：水汽的输送量相当巨大，流域内全年降水量只占输入水汽量的31%，而全年蒸发量仅占16%，通过河流流走的径流量还不到输出水汽量的18%。

河流流域水量平衡各要素的推求方法将在以后各章中阐述。

(4) 湖泊的水量平衡

湖泊任意时段的水量平衡方程式如下：

$$x + y_s + y_r + u_1 = z + y'_s + y'_r + u_2 + q \quad (2-9)$$

或

$$x + y_s + y_r = z + y'_s + y'_r + q \pm \Delta u \quad (2-9')$$