

中等专业学校交流讲义

陆地水文学原理

陕西省武功水利学校等编

只限学校内部使用



中国工业出版社

本教材系根据水利电力部1961年4月于重庆召开的教材工作会议的要求，按中技陆地水文专业四年制教学大纲编写的。

本教材的主要内容有：自然界中的水分循环与水量平衡、河流与流域、河流的水情动态、影响径流的主要气候因素、径流的形成、洪水与枯水、泥沙的运动与河床演变、湖泊与水库、沼泽、冰川、河口与海洋等。

本教材由武功水利学校、重庆水利水电学校、江苏水利学院共同编写。

陆地水文学原理

陕西省武功水利学校等编

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092¹/₁₆·印张11⁵/₈·字数273,000

1962年1月北京第一版·1962年1月北京第一次印刷

印数001—600·定价(9-4)1 10元

*

统一书号：15165·1212(水电-191)

目 录

第一章 緒 論	3
第一节 水文学研究的内容及分类	3
第二节 水文现象的特点及研究方法	3
第三节 水文学在国民經济建設中的作用	4
第四节 我国水文事业发展簡况	5
第二章 自然界中的水分循环与水量平衡	7
第一节 自然界中的水分分布	7
第二节 自然界中的水分循环	8
第三节 水量平衡及平衡方程式	10
第三章 河流与流域	14
第一节 河系	14
第二节 流域	19
第三节 河槽	31
第四章 河流的水情动态	35
第一节 河流的水源	35
第二节 水位	35
第三节 流量	38
第四节 径流的变化	43
第五节 河水的温度与冬季状态	49
第五章 影响径流的主要气候因素	56
第一节 概述	56
第二节 降水	56
第三节 暴雨	67
第四节 蒸发	73
第六章 径流的形成	80
第一节 径流的形成过程	80
第二节 植物截留	83
第三节 下渗	84
第四节 地面洼陷停蓄	90
第五节 坡面漫流	92
第六节 河槽集流	95
第七节 河槽調节	103
第八节 人类活动对径流形成过程的影响	104
第七章 洪水与枯水	108
第一节 洪水的概念	108
第二节 洪水的成因	108
第三节 洪水的运动	110
第四节 枯水	114

第八章 泥沙的运动与河床演变	116
第一节 河流的能量	116
第二节 河流泥沙的形成和分类	116
第三节 悬移质	118
第四节 推移质	122
第五节 河床演变	125
第六节 泥石流	131
第九章 湖泊与水库	132
第一节 湖泊的形成和分类	132
第二节 湖泊形态特性和形态度量	134
第三节 湖水的物理与化学性质	139
第四节 湖泊的水量平衡	146
第五节 湖水的运动	147
第六节 湖泊水库的淤积与岸变	154
第七节 湖泊水库对河流水文情势的影响	157
第十章 沼泽	158
第一节 沼泽的形成和分布	158
第二节 沼泽的水文动态	161
第十一章 冰川	165
第一节 冰川的形成和分类	165
第二节 冰川的水文动态	167
第十二章 河口与海洋	168
第一节 河流、海洋与河口	168
第二节 海洋潮汐及其他	171
第三节 河口潮波	178
第四节 河口水位	180
第五节 潮水河的流速、流量与含沙量	182
第六节 潮水河的含盐量	185
第七节 河口区的风与浪	186

第一章 緒 論

第一节 水文学研究的内容及分类

水文学是研究水在自然界中的各种现象、性质、内在联系及其运动变化规律的科学。自然界中的水，不仅存在于地表的江、河、湖、海之中，也以水汽的形式存在于空中，另有一部分渗入地下成为地下水。以研究地表水为主的科学称为陆地水文学。本书包括：江河、湖泊、沼泽、冰川等，其中以江河为主。

为了充分利用水利资源，减少水的灾害，必须掌握水的变化规律。因此，陆地水文学需要研究降水及有关要素的性质，搞清各种水体的来源和数量，进而研究水的去向及有关动态，如地面、水面、植物叶面的蒸发，地面上水分的下渗，地下水的运动，地面径流的变化，河流中泥沙的运动与河床演变等问题。

根据水分在自然界中存在的位置，水文学可分为以下几类：1. 水文气象学，以研究空中水为主；2. 陆地水文学，以研究陆地水为主，又可分为：(1) 河川水文学；(2) 湖泊水文学；(3) 沼泽水文学；(4) 冰川水文学；(5) 河口水文学；3. 海洋水文学，以研究海洋水为主；4. 水文地质学，以研究地下水为主。

按研究的任务不同，水文学又可分为以下几门学科：

1. 水文测验学 研究各种水文要素（如水位、流量、含沙量、冰情、水温、水化学等）的测验和整编方法，求得各要素在数量方面的特征；

2. 水文地理学 描述水体的位置、水流动态、不同地区水文要素的变化与分布规律等；

3. 水文实验学 用实验室或野外实验的办法，研究各种水文现象的观测方法、内在联系及其变化的物理成因等；

4. 水文水利计算 根据长期实测水文资料加以统计，结合成因分析，推求水文要素在时间上、地区上的分布与数量上的多寡，并提出改造利用的措施；

5. 水文预报 根据过去实测的水文资料，找出其演变规律，对未来的水文情势作先期的推测或预告。

由上可知，陆地水文学是水文学中一个重要组成部分，并与上列各学科有着密切的关系。本课在水文专业计划中是作为一门基础技术课开设的。因此，它的主要任务是对陆地各水体（主要是江河与湖泊水文学）的水文现象进行定性分析，搞清各个水文要素的物理成因、相互间的关系、影响因素等。至于定量的分析计算，本课不予详细介绍；通过本课程的学习，将为专业课如水文测验、水文水利计算、水文预报、水文水利调查等打下良好的理论基础。

第二节 水文现象的特点及研究方法

水文现象受着气候、地形、土壤、地质、植被及人类活动等因素的綜合影响，其变化过程是多种多样的。要掌握水的运动变化过程规律，必须了解水文现象的几个特点：

1. 不重复性 表示某一周期內(如一年、一月、或一日)河流的水文現象不会完全重复出現。例如河流某一年的流量变化过程, 就不可能与另一年的完全一致。

2. 区域性 表示水文現象随地区而异, 每一地区都有一定的特性。例如我国南方河流的汛期比北方河流要早些, 山区河流洪水多是陡漲陡落, 而平原河流的洪水則比較平緩。区域性的另一含义是地貌条件相似地区, 水文現象具有相似性。因此, 可以通过对典型地区的調查研究, 来揭露相似地区的水文規律。

3. 周期性 表示水文現象具有周期的循环变化的性质。例如黄河下游每年大致在7月进入汛期, 11月以后进入冰期, 2月以后开始解冻, 3~4月間发生春汛洪水。这正說明了水文現象具有周期变化的規律性。

上述三个特点是人們对过去水文現象观察認識和分析作出的总结。对某一地区來說, 这些特点并不是永恒不变的, 随着河流自然条件的改变, 也会发生相应的改变。因此不能机械地来对待这些特点, 而必須結合人們对河流改造的情况进行全面的分析, 才能得出正确的判断。

根据水文現象的基本特点, 結合我們当前的实际情况, 水文現象多从以下两方面加以分析研究:

1. 綜合归纳法 将实测的水文資料加以綜合归纳, 按照地理分区, 寻求水文現象在地区上的分布規律。如徑流等值綫图、水文比拟法等, 便属于此类型。

不論水文資料的长短及精度如何, 这一方法不能完滿地分析水文現象的物理成因。但目前我国有些地区实测資料尚不够充足, 徑流試驗也不多, 而社会主义事业对水文成果又迫切地需要, 因此綜合归纳法在目前对于解决实际生产問題仍占有相当地位。

此外, 由于影响水文現象的因素复杂, 水文現象本身具有不重复性的特点, 因此可把水文現象視为偶然事件, 应用机率理論作为寻找变化規律的工具。这种借用数理統計来处理水文問題的方法, 只能凭过去的现象来推测未来的变化, 而不能闡明内部的因果关系。因此数理統計法, 只能认为是研究的一种数学工具, 不能孤立地应用而必須与物理成因結合起来。

2. 成因分析法 系研究水文現象的形成过程和揭露水文現象的本质及其相互关系的一种方法。正因为它是揭露事物的本质及其內在联系的, 因此它是水文研究的重要方面。例如实验研究法便是其中的一种。但目前研究成因分析法的条件有限, 而社会主义建設对水文工作提出迫切的任务, 如果摒弃前一种方法, 仅仅采用成因分析法是不能滿足建設要求的。

总之, 成因分析法是今后研究的重要方面, 数理統計法应避免形式主义的应用, 必須把上述各种方法結合起来进行研究, 才能使水文科学在現有的基础上大大前进, 更好地为社会主义建設服务。

第三节 水文学在国民經济建設中的作用

水是人民生活不可缺少的物质, 也是国家一項宝贵的資源。在国民經济建設特别是水利建設中, 無論水力发电、农田灌溉与排水、整治河道、防洪排澇、水土保持、发展水运、繁殖水产、城市工矿用水、修建鐵路公路桥涵, 以及国防建設等等, 都需要利用和控制雨水, 但天然水流状况往往与这些建設的要求不相适应, 如枯水期水流断絕, 而

洪水期又泛濫成災。為了解決這些矛盾，充分利用水利資源，必須採取工程措施（如修建各種水工建築物）將天然水流加以調節、治理和利用。但這些工程措施的类型、方案的選擇、基本尺寸的大小等，都必須以水文分析計算成果作依據。所以水文學的基本任務就在於將實測水文資料加以系統地整理分析，找出特征與規律，為規劃設計這些工程提供可靠的水文資料，以便正確地施工和管理運用。

前已指出，水文現象變化過程複雜，如不加以縝密的分析研究，對未來的演變過程估算錯誤，則對各項工程的規劃、設計、施工、管理運用都帶來不利的後果。例如提供的水文數據比實際可能發生的過高過大，就會使工程的規模偏大而不經濟，浪費人力物力。如提供的數據過低過小，不但使水利資源不能得到充分利用，而且使工程規模偏小而不安全。在施工時如對施工期的水文情勢估計不足，盲目安排施工計劃，會遭受不可估量的損失。在工程管理運用時，如無正確的水文數據作依據，便不能適時地合理地調度，以發揮預期的最大效益。

第四節 我國水文學事業發展簡況

一、我國歷史上的水文學事業

我國是世界文化發達最早的国家之一。水文學事業也具有悠久的歷史。據傳說遠在四千二百多年以前，在大禹的領導下，我國勞動人民已經開始與黃河的洪水進行鬥爭，因此有關水文記載以黃河兩岸為最早。在公元前2297年，黃河曾發生了洪水，“書經”中之“堯典”篇內記載了當時洪水的情形。關於各河流的歷史水文資料，在歷代史冊以及各地方的“府志”、“縣志”中都有所記載。至於洪水水位的高低，常被沿河地區的廣大居民記錄下來。尤其是对那些特大洪水，人民受害最重，因之對它記憶最深，常在河岸岩石上、重大建築物上及碑石上，刻上最高水位的印記。關於黃河的泥沙問題，几千年来我国人民對其含沙量的多少，也曾進行過研究。如漢大司馬史張仲功說：“河水濁，清澄一石水六斗泥。”

遠在古代，我國人民就已注意對河流水文特性的觀察，並結合物候來表征水情在一年內的季節變化情況，如在漢代對黃河的桃汛即有“三月桃花水至，則河決”之說，在“宋史河渠志”中更有詳細的記載。

關於河流的水文測驗，遠在公元前250年，秦代李冰父子依靠勞動人民的力量和智慧，在四川灌縣作都江堰時，即設水則開始了水位觀測。

我國的雨量觀測工作，早在公元十四世紀時就已經開始。據明史記載，明洪熙元年（公元1425年）曾頒發了“測雨器制度”。

由於在反動的封建王朝的統治下，生產極為落后，故在很長的历史時期內，水文學工作沒有什麼進展。

自鴉片戰爭（公元1840年）後，帝國主義勢力侵入我國腹地，控制了我国的沿海和內河航運。為了便利他們的掠奪，在我国各重要商埠、港口陸續設立了一些水位站和雨量站。如北京在公元1841年開始觀測雨量，漢口在1865年開始觀測水位。但這一時期的水文測驗工作都操縱在帝國主義手中，連記錄的內容也都用外國文字書寫。

自1915年起我國才自行設置水文站，當時的江淮水利局在淮河干流上的蚌埠及里運河的碼頭鎮、六開設站進行觀測。以後陸續在華北各河、黃河、長江、珠江及其他河流

的主要市鎮設立了水文站。

抗日戰爭爆發後，我國大部分水文站遭到了破壞而停止觀測，只在西南內地發展了一些測站。抗日戰爭勝利後，由於國民黨反動派發動了反人民的內戰，致使又有許多水文站被迫停止工作。至1949年全國解放時，為我人民政府所接收的和能夠立即恢復工作的水文測站總數，僅有三百多站。

回顧解放前的水文工作，在反動政府的統治下，只作了一些簡單的測驗工作，根本談不上對水文科學的試驗研究，也沒有第一批固定的水文工作人員，所有的資料被積壓在倉庫里也無人過問，不能發揮其作用。總之我國的水文事業，在解放前很長一個時期內，是處於一種極為落後的狀態。

二、解放後我國水文事業的輝煌成就

我國的水文事業和其他科學研究事業一樣，只有在全國解放以後，在黨和毛主席的正確領導和積極關懷下，才得到了迅速的發展。十餘年來，隨着我國水利建設的飛躍發展，水文科學技術也有了迅速的進步，並已取得了輝煌的成就，主要表現在以下幾個方面：

1. 在水文站網建設方面 站網建設是水文科學技術的基礎。到目前為止由國家投資舉辦的水文站已為解放前站數的幾十倍。各種類型的實驗站已有幾百處。我國水文站網建設的巨大規模和高速發展，是由於緊密配合全面開發水利資源的需要，以及進行了全國性水文基本站網的規劃。這樣科學地規劃和布設水文基本站網是資本主義國家無法辦到的。

為了配合大規模羣眾性水利工程的修建和管理，以及滿足工農業生產的需要，除了國家興辦的測站外，還發動了羣眾，布設了羣眾水文站網。這種測站是在人民公社化的有利條件下發展起來的，全國已建有數萬個。這不但對羣眾性水利工程及農業生產起了顯著作用，並為研究中小河流水文情況提供了資料。

2. 在水文測驗工作方面 為了統一國家站網的測驗技術標準，提高測驗成果的質量，1955年在總結我國各地測驗經驗的基礎上制定了“水文測站暫行規範”。1960年又根據幾年中取得的經驗，頒發了“水文測驗暫行規範”。隨着測驗技術的發展，創造並系統地總結了一套適合我國河流特性的測驗和整編的技術經驗。水文儀器普遍地有了改進和提高，並有一些儀器已經突破了尖端技術的堡壘，向利用現代化新技術成就繼續前進。

3. 水文情報和預報方面 十餘年來也有了迅速的發展。在情報工作上，全國布設了五千餘處報汛站，掌握了各主要江河的水情。在洪水預報的技術上也有了很大的提高，小河流簡易預報方法已開始在生產上應用。預報的準確性也提高了很多。水文預報工作不僅對保障人民生命財產的安全起了很大的作用，而且對於灌溉、航運、工程管理和綜合利用水利資源也有顯著的效果。

4. 在水文、水利計算方面 十餘年來在水文年鑑的基礎上進行了大量的加工、分析和綜合工作。例如匯編了全國主要河流和地區性的多年水文特性資料，繪製了分區和全國的各項水文要素的等值綫圖。利用以上成果，許多省（區、市）、專區、縣都編製了為中型水利工程服務的實用水文手冊及為小型水利工程服務的通俗易懂的算水賬手冊。其他象水利化地區水文計算方法，開展區域性的水文調查工作等方面均取得了很大成就。

5. 在水文實驗研究方面 開展了對水利化情況下新的水文規律的研究，並已取得初

步分析成果。泥沙問題是我国突出的問題，我国近年来在灌溉渠道的冲淤、水庫和河道的河床演变及河口段的观测等方面开展了研究工作，并重点对一些較大型水庫开展了实验研究工作。

綜上所述，我国水文工作的发展是巨大的。在水文科学技术方面已取得了輝煌的成就，并根本上改变了解放前旧中国水文工作的落后面貌。

十余年来我們所以能够取得如此輝煌的成就，最根本的原因是党中央和毛主席的正确领导及我国社会主义社会制度的优越性。随着国民經济建設的持續跃进，尤其是水利、电力、农业建設的需要，对水文工作提出了更高更新的要求，因此我們必須在党的领导下，在总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗的光輝照耀下，繼續鼓足更大的革命干劲，勤学苦练，当好水利建設的尖兵，在今后祖国的社会主义建設事业中发挥应有的作用。

第二章 自然界中的水分循环与水量平衡

第一节 自然界中的水分分布

一、地球上水陆面积的分佈

地球表面大量的水貯藏于江河、湖泊、海洋之中，占据着广大的面积，其中以海洋所占面积最大。据估計地球总面积 510×10^6 平方公里中海洋为 361×10^6 平方公里，占70.8%，而陆地为 149×10^6 平方公里，仅占29.2%。陆地大部分分布在北半球，它占北半球表面积的39%，而南半球的陆地部分仅占南半球表面积的19%。陆地上的河流，有的是直接或间接与海洋相連的，叫外流河，有的是不流入海洋而消失于內陆或汇入湖泊的，叫內陆河。根据估計陆地上有 120×10^6 平方公里的面积为外流区域，其余的面积为內流区域，其中有許多大大小小不与海洋連通的內陆河。

二、自然界中的水量分佈

自然界中的水分主要存在于以下几处：

1. 存在于地球的表面，如海洋、湖泊、河槽等，其中以海洋儲存的水量最多。
2. 存在于地球表面以下的地壳中。
3. 以水汽的形状存在于大气层中。

以上三者，以存在于地球表面的水量最多，地表以下者次之，大气中的水分最少，三者之比約为100,000:10:1。

从存在的数量来看，据估計海洋中总儲量为 1.3×10^6 立方公里，存在于湖泊的儲水量約750,000立方公里，河槽儲水量約1,200立方公里。由此可知，在地表水中以存儲于海洋的水最多，占99%以上。存儲于陆地上江河、湖泊中的水量与海洋水量比較，其数量是微不足道的，但对人类生活却有很大作用。

陆地表面上各河流注入海洋的年徑流总量約为 37×10^3 立方公里，其中包括內陆河徑流在內。

第二节 自然界中的水分循环

一、水分循环现象

地表水在太阳辐射的作用下，从地球上广大的水面，主要是从海洋表面、土壤表面、植物叶面等蒸发，上升到空中，被气流带动，传播各处，遇冷凝结，又以降水形式落到地面上，一部分下渗变成地下水，一部分流入江河汇归海洋，一部分重新蒸发回至空中。成为地下水及海洋水的也先后蒸发至空中成为水汽，再凝结成降水，这样往复循环不已。这种水分不断转移交替的现象叫水分循环，如图2-1所示。地球上太阳辐射的强度是很不均匀的，在赤道区获得的热能大于中纬地带和极地，因此地球上不同区域的水分循环强度是不相同的。

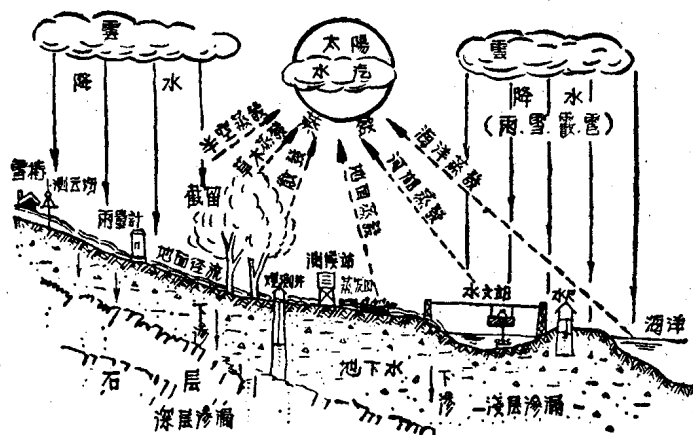


图 2-1 水分循环图

二、大循环与小循环

根据水分循环过程的整体性与局部性，可把水分循环分为大循环和小循环。

自海洋面上蒸发的一部分水汽，随着大气环流移动到陆地上空，在一定的大气条件下，凝为雨水落到陆面。降落的水量中，一部分又重新蒸发，另一部分下渗及形成地面径流，汇入江河，而最后又返回海洋。这种海洋与大陆之间水分的交换过程叫大循环。

陆地上的水在没有回到海洋之前，又蒸发到空中去，或从海洋上蒸发的水汽在空中凝结，又以降水的形式降落在海洋中，这些局部的循环，叫小循环。

根据许多调查研究，得到自然界中水分循环的约略数字如表2-1。

表 2-1

区 域	面 积 (百万平方公里)	降 水 量 (万立方公里)	蒸 发 量 (万立方公里)	径 流 量 (万立方公里)
洋	361	41.2	44.9	-3.7
陆	149	9.9	6.2	+3.7
全 球	510	51.1	51.1	—

从表 2-1 所列绝对数字可以看出，参加水分循环的水量是很可观的。如果以我国渤海蓄水量比较（渤海蓄水量约为 1,710 立方公里），地球上一年中的降水量就相当于渤海蓄水量的 300 倍。一年中大陆上入海的水量为 37×10^8 立方公里，约合 22 个渤海的蓄水量。

从相对数字上看，参与水分循环的水量约占地球总蓄水量的 0.04%。

据统计，大气圈内的水分，约等于多年平均降水量的 $\frac{1}{41}$ 。由此推测，大约每 9 昼夜 ($365 \div 41$) 进行一次循环。

三、决定水分循环变化的基本因素

水分循环在一定程度上有周期性的变化，但其数量并没有重复性，因此它仍然是因时因地变化的。控制它的变化的有以下三个基本因素：

1. 太阳辐射和地心引力 太阳辐射是地球上热能的主要源泉，它促使冰雪融化、水分蒸发、空气流动，因而是水分循环的原动力；地心吸引力则促使水向低处流。

2. 水的物理性质 因为水可以固体、气体、液体三种形态出现，故使水分在循环过程中的转移、交换成为可能。

3. 循环路线的构造和性质 陆地表面的形状，不但影响降水的分布，而且也是决定降水去路的主要因素。其他如流域的地质、土壤、植被情况，对地下水运动及下渗与河床的形成都有影响。

在这三种因素中，太阳辐射、地心引力和水的物理性质，是随时随地不断变化的，但循环路线的构造和性质一项变化更为复杂，其中大气一环较为稳定，而陆地一环则是变化最大最复杂的。因此各要素作用的综合结果，造成了错综复杂的水文现象。

四、水分循环中水的运动方式

从水分循环可以看到，水的运动方式（也叫水文现象）主要有蒸发、降水、径流、下渗四种，贯穿在循环过程中。兹将它们的性质及在水分循环中的作用简述如下：

1. 蒸发 蒸发是水由液体或固体变成水汽的过程。无论在地表上的土面、植物叶面以及降水的水滴上，都在不断地蒸发着，它贯穿于整个循环过程中，也是水分循环最活跃的元素。它是地面水变成空气中水的必经之路，如果地球上无蒸发存在，水分循环当然要停止，而地面状态也将是不可想象的。

2. 降水 降水是地表水的主要源泉，是将空中水变成地表水的必经之路，也是水分循环不可缺少的一环。降水受着气候因素及自然地理因素的影响，因此地表的水量特别是与人们关系最密切的江河水量也会产生复杂的变化。

3. 径流 降在地表的水，有的在地表流动，汇入江河，最后归入海洋或湖泊，这叫地面径流；有的渗入地下，在土壤或岩石中缓缓流动，最后也流入江河或直接流入海洋、湖泊，这叫地下径流。地面径流和地下径流是江河径流的两个主要组成部分。径流是陆地水变为海洋水的媒介，如果地球上没有径流存在，也就没有江河了。

4. 下渗 下渗是水由地面渗入土壤或岩石之中的过程，是地面水变成地下水的必经之路。它与河川径流有着密切的联系，也是我们将要研究的课题之一。

蒸发、降水、径流、下渗四者是互相联系互相制约的，在地区上、时程上是不断变化的，它们的综合作用，构成了复杂的水文过程。水文学的全部内容，就是要解剖分析

这几个要素的形成过程、变动规律、相互关系以及它们的发生和发展动态等等。

五、内陆水分循环

对水利工作者来说，最关心的是内陆水分的研究，因为这一部分直接关系到人类改造自然的问题。从海洋面上蒸发的水汽，其中一部分被气流带动运行到大陆上空，遇冷凝结，先在海洋边缘地区降落下来。降落后一部分形成径流回到海洋，另一部分又进行蒸发，加入运行到大陆上空的气团中，被气流带往距海更远的地区的上空。遇冷凝结降落，再部分形成径流，部分蒸发，继续向内陆推进，循环不止(如图2-2)。但愈向内陆水汽愈少，直至最后，由于空气中水气含量太少，不能形成雨雪为止。这种现象叫内陆水分循环。

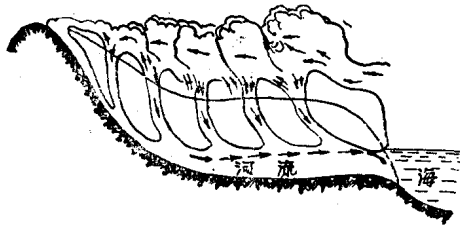


图 2-2 内陆水分循环图

在循环过程中成为径流回到海洋的水分，对内陆水分循环不再发生作用，而蒸发后吹向内陆的水汽则继续参加水分循环。这种水分包括大气下层的水汽、土壤上层的水分、植物根系范围内的水分、水库和复盖地面的冰雪上层的水分等。所有这些水分，经过再蒸发顺着风向吹至内陆，重复增加大陆的水汽。

在一个区域，如地面、地下储水较丰富，蒸发水汽含量较多，且风向也常向内陆吹动，则内陆水分循环也较活跃。在内陆水分循环旺盛的区域，水分能深入内地，因而就使在远距海洋的地方与河流的上游也可能有丰富的水汽，将产生较多的降水量。

有利于增强内陆水分循环的措施，须使降水不大量地变成地面径流和地下径流，立即流入河中，而使其大量地蒸发变成当地蒸发增加水汽，参加内陆循环，增加当地的降水。如能人为地改变区域地形、地质、气候、土壤等条件，便有此可能。加强内陆循环对改变我国西北地区的干旱现象有着重大的意义。

最后应该指出，研究水分循环的根本目的在于认识水分循环的规律，揭露水文现象及其变动规律和内在联系，从而正确地决定人类改造和利用自然的措施。同时还应认识到我国经过几年来实行农田水利化、采取水土保持措施和土壤改良措施以后，对加强内陆水分循环，增加地方性的蒸发和降水，改变地区的气候状况，已起了一定的影响。这证明人类改造水分循环的自然现象是完全可能的。

第三节 水量平衡及平衡方程式

一、水量平衡原理及其应用

水分循环是说明水文现象运动变化联系等性质最好的形式，然而要掌握各水文要素间的数量关系，常用水量平衡法来解决。水量平衡的基本概念是：在一定时期(例如一年)一定范围(海洋、陆面、流域)内，无论从空中、地面、地下进入此范围的总水量，应等于同一时期从此区域内流出或溢出的总水量，加上此区域内总存水量变化的差值。可以平衡方程式表示如下：

$$I = O + (W_{i2} - W_{i1}), \quad (2-1)$$

式中 I ——在 t 时段内进入本范围各种水量之和(总收入水量)；

O ——在 t 时段内流出本范围各种水量之和(总支出水量);

W_{t_1} ——在 t_1 时段内的总储存水量(初期储水量);

W_{t_2} ——在 t_2 时段内的总储存水量(末期储水量);

$W_{t_2} - W_{t_1} = \pm \Delta W$ ——蓄水量变值, 可正可负。

从上式可知, 各种水文现象演变前后总的水量变化关系是平衡的, 这就是著名的水量平衡原理。(2-1) 式即为水量平衡通用方程式。这一平衡方程式, 对于任何时段及任何一闭合的空间均可应用。

水量平衡原理是研究水情变化过程及各水文要素间的数量关系的基本原理之一。应用这一原理, 可对不同地区在不同时间内进入研究区域的不同来源的水量进行分析比较。其次应用这一原理, 可分析水量平衡各要素间的关系, 可校正计算测量中可能发生的误差或错误, 并估算所得结果的精度。还可运用某些已知的水量要素, 间接推求个别未知的要素。水量平衡原理在水文学中已得到广泛的运用, 并解决了许多理论与实践的问题, 它不仅帮助我们系统地了解我国的水利资源, 使其更有效地服务于经济建设; 而且从科学研究方面来说也有重大意义。例如, 根据此原理进行水情变化过程的成因分析及进行水文区划的研究等, 都是今后水文科学发展的重要方向。

二、地球上的水量平衡

我们若以地球的整个大陆作为研究水量平衡的范围, 则其水量平衡方程式应为:

$$E_c = X_c - Y \pm \Delta W_c.$$

同样若以海洋作为研究范围, 则水量平衡方程式为:

$$E_m = X_m + Y \pm \Delta W_m.$$

式中 E_c, E_m ——陆地和海洋上的蒸发量;

X_c, X_m ——陆地和海洋上的降水量;

Y ——入海河流径流量;

$\Delta W_c, \Delta W_m$ ——陆地和海洋在研究时期内储水量的变量。

在短时期内, 时段储水量变量 $\Delta W_c, \Delta W_m$ 可正可负, 但如在多年情况下, 正负值可互相抵消, 因此当观测年数 n 趋近无穷大时, 则:

$$\sum_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta W_c}{n} \rightarrow 0 \quad \text{或} \quad \sum_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta W_m}{n} \rightarrow 0.$$

因此在多年平均情况下的水量平衡式为:

$$\text{大陆方面: } E_{c_0} = X_{c_0} - Y_0; \quad (2-2)$$

$$\text{海洋方面: } E_{m_0} = X_{m_0} + Y_0. \quad (2-3)$$

式中 $E_{c_0}, E_{m_0}, X_{c_0}, X_{m_0}, Y_0$ 分别代表大陆和海洋方面的多年平均蒸发量、多年平均降水量及多年平均入海河流的径流量。

将(2-2)、(2-3)式相加得出全球的水量平衡方程式为:

$$E_{c_0} + E_{m_0} = X_{c_0} + X_{m_0} \quad (2-4)$$

或

$$E = X. \quad (2-5)$$

从(2-4)式可知, 等式左边是海洋和陆地的蒸发量, 即全球的总蒸发量(E), 等式右边是陆地和海洋的降水量, 即全球的总降水量(X), 两者的多年平衡要素平均是相等的。这正说明了地球上的水量平衡。有关数据可参考表2-1。

最后还应说明变值项 ΔW_c 、 ΔW_m 在多年情况下等于零的原因。因在现代地质史期中，并未观察到地球广大面积上各种水体的存水量，在多年期内永远是单项增加或单项减少的现象，而是围绕其平均值作循环性的变化（某些年份增加，某些年份减少）。关于这一点可从大陆和海洋的水分存储量变化趋势看出，如海洋随时有海进海退现象出现，但是呈循环性的，否则大陆将被水淹没或变为荒漠，海洋则不是枯干，就是不断地海侵。然而这些情况在现代地质史期中是不可能出现的。所以推断：可正可负的变值，在多年时期的总和必定为零。这种多年期间的平均趋势称为正常情况。因此水文现象的多年平均值，通称为正常值。

三、流域内的水量平衡

如果我们把讨论的范围缩小到一个流域上，每一个流域的水量收支有下列几方面：

设 X ——流域上的降水量；

C ——凝结量；

P ——邻近流域通过地下流入本流域的水量。

故总收入水量为： $X + C + P$ 。

又设 Y ——流域从地面流出的水量；

E ——流域总蒸发量；

F ——本流域从地下流至邻近流域的水量。

故总支出水量为： $Y + E + F$ 。

应用水量平衡方程式的原理，可得：

$$(X + C + P) - (Y + E + F) = \pm \Delta W. \quad (2-6)$$

上式中 $\pm \Delta W$ 代表流域存水量的增量或减量。在少水年份时，流域的存水量减少， ΔW 可为负数；多水年份时，则 ΔW 为正数；在多年内有干旱的也有湿润的， $\pm \Delta W$ 值可能互相抵消成为零。

此外，在(2-6)式中， C 、 P 、 F 值在多年平均情况下，都远较 X 、 Y 、 E 三值为小，故可以忽略不计。因此一般流域多年平均的水量平衡方程式可写为：

$$X_0 = Y_0 + E_0, \quad (2-7)$$

式中 $X_0 = \frac{\sum X}{n}$ ——多年平均降水量；

$Y_0 = \frac{\sum Y}{n}$ ——多年平均径流量；

$E_0 = \frac{\sum E}{n}$ ——多年平均蒸发量。

(2-7)式说明：对于一般流域而言，在多年平均情况下，降水量等于径流量与蒸发量之和。因此，若忽略其他次要项，则径流量、降水量、蒸发量便是水量平衡的基本要素。只要已知任意两项，就可求得第三项。

值得特别提出的是(2-7)式一般只适用于闭合的较大的流域，而对于面积较小（如300平方公里以下）的流域，尤其对于面积只有几个平方公里的小流域，由于河流河床下切深度较浅，地下径流往往有一大部分是通过河底和两岸以地下水流的方式外流至邻近流域，其流域水量平衡方程式应改为：

$$Y_0 = X_0 - E_0 - F, \quad (2-8)$$

式中 F ——本流域从地下流至邻近流域的地下径流量。

式(2-7)是我们常用的流域水量平衡方程式，如两边除以 X_0 则得：

$$\frac{Y_0}{X_0} + \frac{E_0}{X_0} = \alpha_0 + \beta_0 = 1, \quad (2-9)$$

式中 $\frac{Y_0}{X_0} = \alpha_0$ 称为径流系数；

$\frac{E_0}{X_0} = \beta_0$ 称为蒸发系数。

这两个系数在 $0 \sim 1$ 的范围内变化，其和应为 1。在干旱地区径流系数 α_0 很小，接近于零，而蒸发系数可能达到 1；在雨量丰沛的湿润地区，径流系数为 $0.5 \sim 0.7$ 或稍大。

在特殊情况下，如在内陆流域方面，并无流入海洋的径流，于是式(2-7)中的 Y_0 值应等于零，这种流域的水量平衡方程式变为：

$$X_0 = Y_0. \quad (2-10)$$

即流域上多年平均总降水量等于流域上多年平均总蒸发量。

最后应指出，我们研究水量平衡的最终目的，主要是为了推求径流量。由于旧中国遗留下来的水文资料很少且残缺不全，径流量的观测和研究只是在解放以后才大力开展；而全国大规模的水利建设的开展，又急需了解各河流的径流量资料，以便更好地利用它为不同经济对象服务。在这种情况下，利用实测降水量和蒸发量资料，根据水量平衡方程式间接地推求径流量的方法在一定时期内还具有普遍应用的现实意义。

当然水量平衡方程式的应用范围不仅限于流域径流量的推求，同时它也应用于流域的水量平衡规划，例如在规划中估算水量平衡方程式各项因素的变量，使水利资源最有利地用于发电、灌溉、航运等方面。此外，湖泊、内海等水文动态的研究，也需要水量平衡方程式。

关于我国各主要河流的水量平衡计算，原北京水利科学研究所和中国科学院地理研究所 1956~1957 年，曾进行过此项工作，兹将其部分成果摘录于表 2-2 中。

表 2-2 我国主要流域的年水量平衡要素表

流域名称	X_0 (毫米)	Y_0 (毫米)	E_0 (毫米)	流域名称	X_0 (毫米)	Y_0 (毫米)	E_0 (毫米)
黑龙江干流	407	126	281	淮 河	840	197	643
松 花 江	549	144	405	长 江	1049	544	505
辽 河	464	73	391	闽 江	1770	1087	683
海 河	499	73	426	赣 江	1660	971	689
黄 河	421	89	332	珠 江	1473	836	637

水分循环与水量平衡中的降水、蒸发、径流、下渗四个基本要素是水文学中要研究的几个主要问题，将在第五章及第六章中分别加以分析。

第三章 河流与流域

第一节 河 系

一、河流的基本概念

1. 河流 陆地上经常有水流动的泄水凹槽称为河流。河水的主要来源是降水的汇集，其次是地下水的补给及其他形式的水的补给。由于水流本身的重力作用，不断地切割和冲刷河床，加上水流顺流向下沿途发生旁向侵蚀，使河床渐渐扩大。这样日新月异地从最初的小沟道，变成小溪，再由小溪发展成小河，直至目前的大江大河。

一个流域里有大大小小的流水路线，构成了脉络相通的水道系统，这些有水流动的大小河流系统称为河系或叫做水系，如图3-1所示。如果包括暂时有水的沟谷在内，则总称为河网。

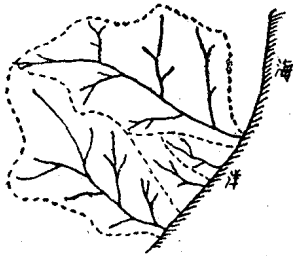


图 3-1 河流流域图

在一个水系中，直接流入海洋或内陆湖泊的河流叫做干流，流入干流的河流叫做一级支流，流入一级支流的河流叫做二级支流，其余依此类推。例如，嘉陵江、汉江、岷江、沱江等为长江的一级支流；唐白河、丹江等流入汉江的河流则为长江的二级支流。

凡最后流入海洋的河流统称为外流河。如黄河、长江、淮河、海河等。凡流入内陆湖泊或消失于沙漠之中的河流称为内流河，如新疆的塔里木河、青海的布咯河等。

2. 河流的分段 河流从开始地点直至终止地点，沿途都在不断地发生变化。因此根据河流各段的特性的不同，可以相对地把它分为河源、上游、中游、下游及河口五个部分。

(1) 河源 河流发源的地方称为河源。一般河流多发源于山地或高原。如长江的河源在青海南部高原上的巴颜喀拉山。但也有一些河流发源于平原，如淮北的淝河、涡河等就是发源于黄河堤下的平原上。有的河流以雨水、雪水、冰川及地下水等为水源；也有的河流的水源出于湖泊及沼泽地区。

(2) 上游 直接连接着河源，是河的上段，如黄河从河口镇以上称为上游，长江从宜昌以上称为上游等。它的特点是落差大，水流急，下切力强，河床转折点多。从地形上看，河流上游多处于山地，两岸多高山，水流急，多急滩瀑布。如贵州的黄果树瀑布，它的落差为57米；河南辉县西北潭头瀑布，落差为170米；牡丹江镜泊湖瀑布，落差为20米；这些瀑布多位于河流的上游。

河流的上游相当于河谷发育阶段的幼年期，多为V字型和U字型的河谷。

(3) 中游 在上游以下，河槽的坡度被水流冲刷逐渐平缓，河流中已无急滩和瀑布现象；水流也比较缓慢，水流的下切力已大大地减弱，但水流转向两旁侵蚀，河面渐渐加宽，河道也逐渐弯曲；由于水流较缓，因此较大的砂砾石就沉积下来，在河床中出现有沙洲和沙滩。河流中游多是丘陵区，相当于河谷发育阶段的成熟期。如黄河自河口镇

到桃花峪为中游，长江从宜昌到汉口为中游。

(4)下游 是下游以下的最后一段，它的特点是河槽坡度平坦，流速小，河道宽广，水流无侵蚀能力，泥沙大量的沉积，在河床内沙洲沙滩很发达，因此多汊流，河弯明显。

河流下游相当于河流发育的老年期。大河下游通常多在平原，如黄河桃花峪以下的河段为下游，长江汉口以下的河段为下游。

(5)河口 河水的出口，也就是河流的终点。有的河流消失在沙漠里，它的下游就成了瞎尾，在我国新疆沙漠边缘地区便有这类的河流，如图3-2所示。另外贵州，广西有些河流通过喀斯特地层发育的地方，水流便流入石灰溶洞中，然后在相当距离以下又归入河道，这种现象称为伏流。

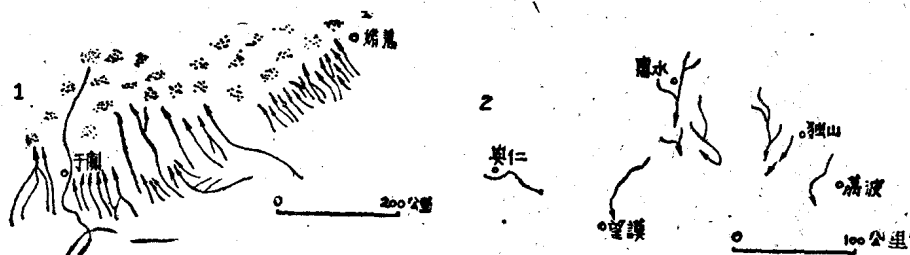


图3-2 1—瞎尾河，2—伏流河。

大河入海或入湖时把它所携带的大量泥沙堆积在河口。由于近海或沿湖的水很浅，又无强大的海流和波浪将河流的泥沙带往深处，所以在河口便可能发生新的陆地——汊流与沙岛密布的广阔地区。它们在平面图上往往很象希腊字母A，所以称它为三角洲。这个名称起初被用于尼罗河口，后来渐渐应用于其他河口。图3-3和图3-4，分别为尼罗河三角洲和珠江三角洲。

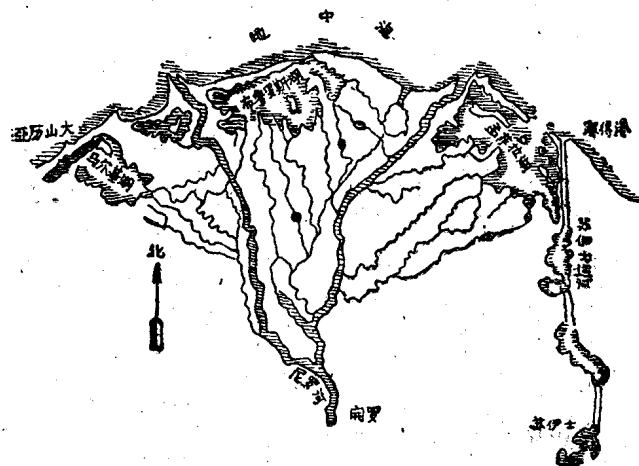


图3-3 尼罗河三角洲图

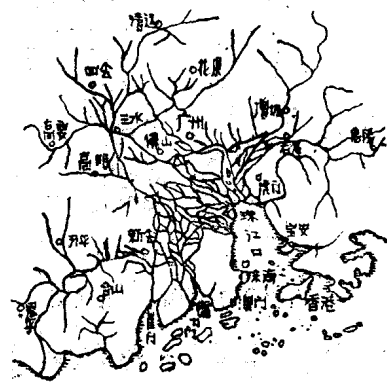


图3-4 珠江三角洲图

河流各段的划分还没有一定的标准，只是相对地加以区分。这种分段仅适用于大江大河，小河一般不分段，通过河流的分段，可以得出河流形势的大致概念，以便于实际