

高等学校交流讲义

普通水文学

PUTONG SHUIWENXUE

南京大学地理系自然地理教研组编

人民教育出版社

高等学校交流讲义



普通水文学

PUTONG SHUIWENXUE

南京大学地理系自然地理教研组编

人民教育出版社

本书以南京大学地理系自然地理教研組 1960 年所編普通水文学讲义为基础,部分章节选自北京大学、华东水利学院及中山大学的有关讲义。全书內容除緒論外,并分有:水文現象和水文过程的物理基础,海洋水文,河川水文,湖泊、沼澤、冰川水文等四篇,共十七章。其中第十二章河口水文选自中山大学編普通自然地理学讲义中的河口部分,第十七章冰川水文选自北京大学編陆地水文讲义中的冰川部分。

本书介紹了自然界各种水体的水文現象和水文过程,以及一般的水文調查和水文計算方法,并附有流域几何形态測算、水文測驗、徑流計算及湖泊形态測算等八个实习。

本书可作为綜合大学及高等师范学校地理系各专业普通水文学的教材。

簡 裝 本 說 明

目前 850 × 1168 毫米規格紙張較少,本书暫以 787 × 1092 毫米規格紙張印刷,定价相应减少 20%。希鑒諒。

普 通 水 文 学

南京大学地理系自然地理教研組編
人民教育出版社出版(北京景山东街)
北京市书刊出版业营业許可証出字第 2 号

商 务 印 书 館 上 海 厂 印 装
新 华 书 店 上 海 发 行 所 发 行
各 地 新 华 书 店 經 售

統一書号 13010·1016 开本 787×1092 1/32 印張 12 14/16
字數 325,000 印數 1—4,400 定价(5) 1.28
1961 年 10 月第 1 版 1961 年 10 月上海第 1 次印刷

目 录

緒論.....	1
§ 1. 水文学研究的对象和任务.....	1
§ 2. 水文现象的特征和研究方法.....	4
§ 3. 水文学发展简史.....	7
第一篇 水文现象和水文过程的物理基础	
第一章 水的主要物理性质	12
§ 1. 水的冰点与沸点.....	12
§ 2. 水的密度与比重.....	12
§ 3. 水的热容量.....	13
§ 4. 水的潜热.....	14
§ 5. 水的导热率.....	15
§ 6. 水的压缩性.....	15
§ 7. 水的粘滞性.....	16
§ 8. 水的表面张力.....	18
§ 9. 层流和紊流.....	19
§ 10. 天然水化学概述.....	21
第二章 自然界水分循环与水量平衡	24
§ 1. 自然界水分循环.....	24
§ 2. 自然界水量平衡.....	29
第二篇 海洋水文	
第三章 海水的组成及其物理性质	40
§ 1. 海洋的一般知识.....	40
§ 2. 海水的组成.....	41
§ 3. 海水的氯度和盐度.....	45
§ 4. 海水的温度.....	48
§ 5. 海水的透明度.....	51
第四章 潮汐	53
§ 1. 潮汐现象.....	53
§ 2. 构成潮汐的力.....	54

§ 2. 沼澤的分布和利用	335
§ 3. 沼澤的水文特征	335
第十七章 冰川水文	338
§ 1. 积雪的研究	338
§ 2. 冰川的形成与冰川的形态特征	341
§ 3. 冰雪的积累与消融	342
§ 4. 冰雪儲量的估算	343
§ 5. 冰川的运动	344
§ 6. 冰川热学	347
§ 7. 人工融冰化雪	350
§ 8. 冰川对河流的补給及融水徑流的确定	351
实习一 計算月球所引起的潮高	355
实习二 流域几何形态的測定与計算	356
实习三 流域平均降水量的計算	360
实习四 河流横断面測量及河道平均流速的測量	362
实习五 悬移质輸沙率及含沙量測驗	384
实习六 运用相关法延长短期徑流資料推求正常徑流	394
实习七 年徑流量变化的計算	400
实习八 湖泊、水位-面积、水位-容积曲綫的繪制	404
参考书目	406

緒 論

§ 1. 水文学研究的对象和任务

一、水文学研究的对象与分科

水文学是研究地球景观壳水体运动变化规律及其与自然地理因素相互联系、相互作用的科学。它和自然地理学、气象学、气候学、地貌学、地质学、土壤学等科学有着非常密切的关系。

地球景观壳中水的分布十分广泛。不仅存在于江、河、湖、海之中，还蒸发为水汽，浮游空中；有的渗入土壤岩石孔隙，在地下流动。地表水、空中水和地下水相互运动转化，构成了自然界水的循环过程。随着人类生产实践不断发展的需要和科学的分工，关于自然界水体的研究也日益深入。水文学按自然界水体存在范围和活动过程分为三大部门。即：研究空中水（与水文有关的各种气象要素，如降水、蒸发等）的水文气象学；研究地球表面水体的地表水文学和研究地下岩石圈中水体的水文地质学。

地球表面海洋是最庞大的水体，它的性质、运动过程和发生与河流湖沼中的有显著的区别，因而对它们的研究方法和利用途径也有不同。地表水文学又可分为海洋学和陆地水文学。海洋学研究海水的物理性质和化学性质、海洋中波浪、潮汐、洋流、泥沙运动和海洋生物。

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

1. 河川水文学(河流学): 主要研究江河中水流变化的规律, 河流温度变化, 泥沙运动状况及河床变迁过程。

2. 湖泊水文学(湖泊学): 研究湖泊的形态, 湖水中的生物; 湖水的运动, 湖水温度变化和结冰等现象, 湖泊对河水的调节作用。

3. 沼泽水文学(沼泽学): 研究沼泽的形成、发展, 沼泽水文动态与生物的关系等。

4. 冰川学: 研究冰川的成因和动态, 冰川的消长, 冰川与径流的关系等。

5. 河口学: 研究河口水流变化规律, 河口水流的物理性质、化学性质、河口泥沙运动状况, 河口河床变迁过程, 河口潮汐现象、三角洲的形成和发展等。

以上学科虽然研究的对象各不相同, 但它们之间有着密切的联系。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。

研究水文规律首先必须掌握水情变化的基本数据, 如水位、流量、含沙量、水温、冰凌、水化学等等。长期定位观测的资料, 经过整理、分析, 才能得出这些要素的动态规律和它们之间的联系。研究水情要素、数量特征和研究这些特征的测验方法、仪器及资料整理方法的是水文测验学。近年来, 随着科学技术的发展和生产实践的具体数量指标要求, 更可运用实验室和室外水文实验场的方法、研究水文现象。这叫做水文实验学。为了对整个流域或水体形成过程作全面了解, 还必须进行水象查勘(或水文调查), 搜集与水文有关的自然地理和人类经济活动的资料。水象查勘是研究陆地水和海洋水调查研究的方法。

对水体大小、位置、水源、水情变化情况和地区特征描述和分析的一门科学叫做水文地理学, 它根据野外勘测和经常或临时观测的资料, 分析水文要素在时间上和空间上的分布规律, 最后作出

自然条件对径流过程影响的分析,并进行水文分区的研究。

根据水文要素观测成果,对未来的水文情况,作先期的推测和预报,是水文预报学的任务。水文预报对国民经济有极重要的意义。

根据水文测验的统计成果,推求水文要素在时间上的变化及其发生的频率,已发展成为独立的水文计算学科。其中研究河流的径流计算和水利计算发展最为迅速。水文计算和水文预报是工程水文学的主要组成部分。为水工建筑物提供规划设计、水流调节等必须的水文数据,并及时为施工和设计作出预报,是水利工程的先锋。

最后,研究自然界水体一般规律、典型分类、水文动态过程和自然地理因素的关系,以及介绍各专门性水文学科基本知识,称为普通水文学。它是水文学的基础学科,也是研究自然地理规律各专业必备的知識。

二、水文学的任务

由于我国社会主义建设的迅速发展,水利、工矿、交通运输及农林等都要求可靠的水文资料。例如交通方面,铁道所通过的河流与山沟,如果不知道水情,桥梁涵洞就可能被冲坏;河道航运如不掌握水位的变化就会影响运输。在农田水利方面,农田的灌溉、水工设计,脱离了水文资料分析就没有可靠的依据。例如筑坝,就需要分析研究河流流量和水流特性的详细情况,拦河大坝过低不但未能充分利用水利资源,且在特大洪水时期,可能造成坍倒危险,但建筑过高则会造成巨大的浪费。在水电建设方面,水量的大小是动能的源泉之一,如果我们不了解水量大小的情况,便不能充分的利用水能。在灌溉方面,水量的多少和季节分配情况更影响着农业生产。另外,由于经济的进一步发展,对于水情的预报也是一项重要的任务,例如在一些沿河的城市,对洪水情况的预报显然是

很重要的。

特別是 1958 年以來，水利事業的迅速發展，水利化、河網化、水土保持、群眾性的蓄水工程以及水利土壤改良等等，對於河流水文情況將有巨大的改變，因此，將來河流的水源問題以及水利資源的其他變化和利用問題，均要求我們進行研究。

歸納以上，水文學的主要任務如下：

1. 調查研究和記述區域水文情況，例如，水利資源的數量及其動態，供該區水利資源開發和設計的參考。
2. 確定各種水文要素並決定其對水文情勢作用的过程，以及各種特征流量（最大、最小流量等）和水量的時間分配。
3. 研究河流的泥沙和河床演變及其對水利工程和其他方面的影響。
4. 研究水分循環過程的各個環節，尋求改變水文情勢的途徑，例如蒸發、滲漏的防止，沼澤的排水等。
5. 研究自然界各種水體的物理化學特性，作出應用的評價。
6. 研究人類經濟活動（水工建築、農林措施、土壤改良、灌溉排水等）對水文情勢的影響及其可能發展方向。

由此可見，水文學應用的方面極廣，在國民經濟中具有重要的意義。為了更好地為社會主義建設事業服務，在以上工作的基礎上更進一步提高水文學的理論研究，是非常重要的。

§ 2. 水文現象的特征和研究方法

一、水文現象的特征

自然界水文現象極端複雜，但可以歸納為下列三個最主要的特征：

1. 地區性：地表不同、地區不同的水體，因為受地區氣象氣候、地質地貌、土壤植被等影響，其水分條件是不相同的。有水分

丰沛的湿润区,有水分缺乏的干旱区。苏联的河流春季积雪消融,春汛洪水是主要的河川水文现象,但在我国大部分地区,夏季暴雨洪水则比较突出。我国西北内陆河流,蒸发渗漏强烈,水量贫乏,矿化度很高,而南方河流水量充足,灌溉航运便利。可见水文现象受地区影响是很大的,因此根据某一地区资料推出的水文计算经验公式,仅能适用于本区域,不能盲目搬至别区应用,在资料很缺乏的情况下,一定要充分考虑两流域自然地理的相同情况,将经验公式加以修正方可移用到别的区域。

2. 不重复性: 因为影响水文要素的各种因素很多,它们在不断变动着,所以受其影响的水文要素也永远处于变化之中,不仅是不同的水体水情各有不同,即使同一河流断面,也不可能出现相同的水文过程。因此需要年复一年地长期对水文现象进行观测,只有收集积累起长期资料才能对水文现象进行分析和归纳,找出水文现象变化的规律。

3. 周期性: 水文要素的变化虽然很复杂,其过程也永不重复出现,但并非完全没有规律。影响水文现象的各种要素,在一定地区有的变化不大(如地质、地貌、土壤),有的随时间有一定的周期(如太阳辐射、大气环流)变化。因此水文现象亦具有明显的周期,如河流的汛期、封冻、枯水等等。所以水文现象可以认为是比较稳定的自然现象,如记录时间甚久,常可根据已发现水文现象的周期性,从而求出高度可靠的规律。即使记录时间尚不够长,不能推出周期性的变化,有时亦可以推测短期内的平均趋势。

二、水文学的研究方法

各种科学的发展,尤其是自然科学的发展,在最初阶段,不外先从调查研究工作入手。

由于各地气象要素及河流流域的自然地理因素不尽相同,要找寻水文现象的变化规律,首先要针对所研究的流域进行流域调

查，了解流域中的自然地理情況，設立測站（測站設立的地点要具有控制性和代表性），將測站多年觀測的記錄加以整理，進行歸納，求出水文過程的變化規律，以便預測未來情況。但這種歸納的方法必須靠長期的資料，才能找出其中的規律。短期的資料或斷斷續續的資料，歸納結果必將產生很大誤差。所以在缺乏資料的情況下運用歸納法要特別謹慎。

為了適應水文資料的不足，研究水文現象時，還可運用分析方法，將影響水文過程的各因素進行具體分析，尋找出它們之間的相互關係，研究它們的變化原因，然後進行綜合，求得水文現象本身變化的法則。有時為了研究各因素之間的關係，尚須進行短期的實驗，求出影響水文變化各因素之間的關係，根據已有實測成果與流域情況，推求水文過程的特徵值。

因此水文研究中，收集和研究資料是最基本的方法，從這些資料中分析出水文過程的共同特徵。

現代水文學的研究方法還沒有達到完善的程度。由於影響水文過程的因素錯綜複雜，更難以用數學方程來表示其變化。因此，水文測驗、計算所求得的成果都不可能完全符合於實際情況，而或多或少地帶有誤差。資料搜集愈多，工作愈認真細緻，則誤差愈小。為了尽可能減小理論上和實際情況間的距離，以及比較正確地推算誤差的大小，在水文上常採用數理統計的方法。往往根據影響水文現象各主要因素間的函數關係，列出簡單的方程，並將按地區觀測實驗所得成果納入方程，求得經驗公式，在指定的地區應用。

我們知道，一個地區的水文現象是各種不同的自然地理因素相互作用的產物，水文特徵的出現不是孤立的而是與影響水文的自然地理因素有着密切的關係。水是自然界能量與物質交換輸送的主要因素，是自然界中重要的組成之一。水分循環直接影響到

降水量的多寡,大洋表面的蒸发和热量作用,洋流的分布直接影响到沿海的气候情况。降水落至地面沿斜坡流动,不断的改变着地表形态。下渗到土壤中的水溶解了土壤中的矿物质带至河流或湖泊,是元素轉移的动力。水与自然地理现象有着密切的关系,只有仔細分析、研究影响水文变化的自然因素,才能得出符合客观規律的結果。

地理工作者,研究水文首先应将水文现象看成是自然地理因素中的一个組成部分,运用水力学,数理統計的理論来深入研究各种水文现象和水文过程。运用地理学的理論和方法找出水与自然因素之間的关系,确定水在自然历史条件下发展規律和水体的地理分布。这样,从綜合观点出发,考虑水在自然界作为自然綜合体形成发展的重要因子和动力,同时运用大量觀測資料,进行对比分析,才能真正地找出徑流形成的規律和水文数据,为水利建設和改造自然提供有用的資料。

§ 3. 水文学发展簡史

水文学是一門既古老又年青的科学。它的发展是和社会生产力的发展相适应的。从古代起,人类已知道对河流湖泊作簡單的觀測和記載,并利用河湖作为交通途徑,按水位高低建造桥梁。随着生产力的发展,水被广泛地利用于农田灌溉和簡單的水能利用上。长久的時間里,人类为了保障工农业生产和建筑物的安全,不断地和水作斗争。

远在四千年以前,埃及劳动人民已知开凿与尼罗河相通的水井来觀測水位,以掌握尼罗河的泛濫規律。在公元前四世紀亚理斯多德的著作里,可以找到关于水文现象的知識;在苏联中亚阿姆河下游,公元前一千年也有过水尺。

我国水文工作也有其悠久的历史。早于公元前三世紀就知

“刊木”以定水位的漲落。著名的“禹貢”，即有关于我国主要河流的記述。秦代李冰父子建都江堰，开凿宝瓶口，在岩壁上涂刻分划，称为“水則”，用以測量水位的高低，以定内江和外江的水量分配。后来各代都很重視水位的觀測，到宋代就在河边特別設立木制的水則了。宋河渠志：“宋仁宗二年（1035年）楊慎敏知雄山，請立木为水則，以限盈縮。”对于黄河水流变迁的觀察，远在汉代就归納出“四汛”之說，使沿河人民視四汛的发生时期預作工程上的准备。明代潘季馴注意到黄河含沙量的問題，而提出“以水攻沙”的建議。到清初有測量“水方”的方法。水方就是現在所說的流量。

随着社会生产力的提高和封建統治階級的需要，历代在治河和灌溉方面都會有不少成就，对水文現象也有一些觀測和記載。其中如北魏时期的水經注，就是我国古代河流資料的汇集。記述了我国大小河流 1252 条，主要是黄河、淮河、长江三大水系的干支源流，以及灌溉、航运和水利情况。明代“徐霞客游記”，闡述了我国西南部喀斯特地区地下河流的情况，并更正了长江源于岷江的錯誤說法。清代“行水金鑑”更綜合了以前的水利資料，考証了河道变迁和水利兴廢情况。其余如后汉“河渠沟洫志”、明代潘季馴“河防一覽”、清代“治河方略”、“問水集”、“行水宝鑑”、“河防志”等等，以及各地方志，都比較詳盡地記載了水情。所有这些，都是我国水文学研究的重要文化遺產。

已如上述，水文学有悠久的发展历史，但是水文学独立的成为一門科学还是在近代的几十年。

水文学在苏联作为一門独立科学，基本上是由偉大的十月革命以后才开始的。十月革命以后，苏联社会主义建設的飞跃前进，加之苏联河流众多，水利資源丰富，对水利資源的調查与研究非常迫切，特别是战后苏联建設世界上最大的水电站和宏偉的改造自然計劃，給水文学发展开辟了广大的前途。目前苏联是世

界上水文学最发达最先进的国家，远远超过美英等资本主义国家的水平。

我国水文学起源的历史虽然很早，但在长期封建統治和解放前半封建半殖民地社会制度的束縛下，我国水文学和其他科学一样，处于十分落后的状态。基本上沒有发展成为一門独立的科学，而只作为一般区域性地理特征要素的一部分，或是当作水利工程学科的輔助学科。

自鴉片战争以后，帝国主义势力侵入我国内地。他們为了便利在我国更多地掠夺，曾在我国各重要商埠、港口陸續設立一些水位站和雨量站。1841年，在北京开始观测雨量，1865年，在汉口开始观测水位，以后在1873年及1900年，先后在上海、汉口、燕湖、福州、厦門和汕头等地开始观测雨量，并在重庆、三水和梧州等地，开始观测水位。这一时期的水文測驗工作，操在帝国主义手中。自1915年起，我国才自行設置水文站，当时在淮河的蚌埠及里运河的六閘等地設站，測驗水位、流量及含沙量。以后陸續在永定河、黄河、长江、珠江及其他河流的主要市鎮建立水文站。但这些水文站設備簡陋，数量不足，根本沒有通盘計劃，不成体系。到1949年解放时，为人民政府所接收和能够繼續工作的水文測站总数，只有350处左右，至于水文科学的試驗研究工作，則几乎是完全空白的。

解放以后，在中国共产党的领导下，我国水文事业随着国民經济建設的迅速发展，已获得了显著的成績，水文科学的水平大大提高。

自1949年到1957年底，是我国水文工作发展的第一阶段，1958年大跃进以来，水文工作更得到飞跃的发展。取得的成就是巨大的。

首先，水文站迅速增多，到1957年底增到7000—8000处，比

解放前夕增加 20 倍，1958 年以后，全国水文站已近万处。基本上形成了一个站网系統。1955 年制定全国水文站网规划和水文站规范，确定水文測驗的技术标准。

其次，完成了旧有水文測驗資料的整編。全国共用約 45 万个工作日，将解放前殘缺不全、精度很差的水文資料，进行了詳細考証、分析、研究，加以整理編印。同时，对大量新的实測資料也及时地作了整編刊印，1957 年，水利部水文局又編出了“中国主要河流水文特征資料”。

第三，进行了河流踏勘、水利、水力資源普查工作。为河流綜合利用和全面规划提供了极为重要的基本資料，如黄河河源的考察就是一項重要的成就。1958 年普遍地开展水文調查工作，对流域自然地理，水文情况和水利工程搜集了大量資料，对水文計算和水文預报起着很大的作用。

第四，广泛开展了群众性的水文观测研究工作，从而解决了水利化运动中許多問題。这项工作特别是在 1958 年大跃进的形势下发展起来的，群众性的試驗研究工作还进行了人类活动对徑流的影响和各种水文測驗方法、仪器的研究和創造。

第五，結合生产，普遍开展服务工作，如水文計算，水文預报和水文資料的供应。目前在我国各河流上，每年汛期都有数以千計的水文站担負起报汛任务，随时預报雨情和水情，对国民經济建設起了巨大的作用。1958 年水利化运动中，各地都积极地編制水文手册，解决小型水利工程中的水文計算問題。

第六，加强水文科学研究工作。在科学研究与生产相結合的方針指导下，水文工作者面向生产，結合实际，深入現場，并广泛发动群众参加水文实验研究工作。如水利化效益的研究；通过实验站和实验室的資料对水庫淤积計算和异重流排沙的研究；河流冰情、洪水和枯水預报的研究等等，都已获得一定的成果。此外，关

于中国河流补給和河流分类、河流泥沙及河床演变、水化学特征、湖泊調查以及全国水文区划的研究等等，都已蓬勃开展，成績是丰碩的。

苏联和中国水文学发展的經驗証明，水文学的发展有三个方向，即工程水文方向，地球物理方向和地理水文方向。这三个方向各有不同的作用和它的重要性，彼此是相互联系相互补充的。地理方向水文学的主要特点，应当是研究水文現象和动态的成因、綜合分析和闡明水文現象空間和时间分布的規律。

綜上所述，解放十多年来，現代水文学已迅速建立起来，并成为社会主义建設生产实践中重要的科学部門。

第一篇 水文现象和水文过程的物理基础

第一章 水的主要物理性质

§ 1. 水的冰点与沸点

在标准气压下,純水的冰点为 0°C , 沸点为 100°C , 压力增大, 沸点升高, 反之则降低。利用此原理可以测定各地的高程和气压。沸点随气压的变化见表 1-1。当水中含有盐分时, 其冰点要低一

表 1-1. 水的沸点随气压的变化

大气压 P (毫米)	730	740	750	760	770	780	2 大气压 $2 \times P$	4 大气压	8 大气压	10 大气压
水的沸点 ($^{\circ}\text{C}$)	98.9993	99.6	100	100.4	100.7	120	143	158	170	

些。純水几乎是不导电的。

§ 2. 水的密度与比重

和其他物质不同, 水的密度随温度的变化并不向一个方向进行, 而以 4°C 时密度最大, 高于 4°C 时密度反而变小, 在 0°C 时純

表 1-2. 水的密度随温度的变化

温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	0	2	4	6	8	10	20	30
密 度 (ρ)	0.99987	0.99996	1.0	0.99997	0.99989	0.99975	0.99831	0.99578