

● 高等院校地理与环境科学基础课系列教材

Shuiwenxue Gailun

水文学概论

王红亚 吕明辉 编著



3



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

高等院校地理与环境科学基础课系列教材

水文学概论

王红亚 吕明辉 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

水文学概论/王红亚,吕明辉编著. —北京:北京大学出版社,2007.3

ISBN 978-7-301-11459-9

I. 水… II. ①王… ②吕… III. 水文学 IV. P33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 158593 号

书 名: 水文学概论

著作责任者: 王红亚 吕明辉 编著

责任编辑: 王树通

标准书号: ISBN 978-7-301-11459-9/X · 0023

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752021 出版部 62754962

电子邮箱: zpup@pup.pku.edu.cn

印 刷 者: 涿州市星河印刷有限公司

经 销 者: 新华书店

787mm×1092mm 16 开本 12 印张 307 千字

2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 20.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 **电子邮箱:** fd@pup.pku.edu.cn

前 言

2004年初,北京大学为加强本科生课程的教学,计划编著一批基础课和专业基础课教材。当年10月,我们承担了北京大学教务部的教材建设立项项目——《水文学概论》的编著工作。

初稿形成后,曾交由北京大学环境学院选修“水文学和水资源”一课的学生传阅,以为改进征求意见和建议。书稿几经修改,希望尽可能使水文学的新发展以及编著者在教学过程中所得的体会,在教材中有所体现。

水既是人类赖以生存的一种资源,也是自然地理-环境要素之一。水文学是论及地球上的水的性质、分布、循环和变化规律的学科。近几十年来,人类所面临的诸多资源和环境问题日益突出,而这些问题又大多与水的运动、变化和分布直接或间接相关。水文学的研究工作也越来越多地涉入这些问题,如水资源管理、气候变化、土地利用和土地覆被变化、地下水枯竭以及城市水文状况等。因此,熟习水文学不仅有助于全面和深入了解人类所置身于其中的自然地理-环境,而且还可将获得的相关的知识应用于解决困扰人类的种种资源和环境问题。

与国内、外大多数的水文学教材相仿,本书首先介绍水文学的起源、发展及研究方向和研究方法,随之阐述水循环和水量平衡的概念、原理和研究意义以及水循环的几个基本环节,随后依次论及几类主要的陆地表面水体以及地下水的水文特征。

本书作为高等院校地理或环境科学的专业基础课的教材,除着重于水文学基础理论的阐述之外,还特别试图强调水的自然地理-环境要素的属性、水与其他自然地理-环境要素的联系以及人类活动对水的影响。在编著中,对一些内容,尤其是在其他课程中也有较为详细介绍的内容,做了适当的删减,以使本书适用于约50学时(不包括野外实习)的教学。

感谢北京大学出版社同仁为本书出版付出的辛勤劳动。由于时间仓促、水平有限,书中难免会有缺点和不足,敬请读者批评指正。

编著者

2006年12月

目 录

绪 论	(1)
一、水文学的定义、研究对象和分类	(1)
二、水文学的发展	(2)
三、水文现象的基本特点和水文学的研究方向及方法	(6)
第一章 地球上的水循环和水量平衡	(8)
第一节 水循环概述	(8)
一、水循环基本过程	(8)
二、水循环的类型	(9)
三、水循环的作用和意义	(10)
第二节 水量平衡	(11)
一、水量平衡概述	(11)
二、通用水量平衡方程	(11)
三、全球水量平衡方程	(12)
四、研究水量平衡的意义	(14)
第二章 降水	(15)
第一节 降水的形成和分类	(15)
一、降水的形成	(15)
二、降水的分类	(16)
第二节 降水特征及表示方法	(18)
一、降水的基本要素	(18)
二、降水特征的表示方法	(18)
第三节 降水量的确定	(21)
一、降水量的测量	(22)
二、区域降水量的计算	(22)
三、间接推估区域降水量——雷达测雨和卫星遥感测雨	(25)
第四节 降水的影响因素	(26)
一、地理位置的影响	(26)

二、气旋、台风途径等气象因素的影响·····	(27)
三、地形的影响·····	(28)
四、其他因素的影响·····	(29)
第三章 蒸发 ·····	(31)
第一节 蒸发过程或其机制·····	(31)
一、水面蒸发过程或其机制·····	(31)
二、土壤蒸发过程或其机制·····	(32)
三、植物散发(蒸腾)过程或其机制·····	(33)
第二节 蒸发量的确定·····	(33)
一、水面蒸发量的确定·····	(33)
二、土壤蒸发量的确定·····	(37)
三、植物散发量的确定·····	(38)
四、流域总蒸发量的确定·····	(39)
第三节 影响蒸发的因素和流域总蒸发的分布·····	(40)
一、影响水面蒸发的因素·····	(40)
二、影响土壤蒸发的因素·····	(42)
三、影响植物散发的因素·····	(45)
四、流域总蒸发的分布·····	(46)
第四章 下渗 ·····	(48)
第一节 下渗的物理过程·····	(48)
一、下渗过程的阶段·····	(48)
二、下渗水分的垂向分布·····	(49)
三、土壤水分的再分布·····	(49)
四、下渗要素·····	(50)
第二节 下渗的确定·····	(50)
一、下渗的测定·····	(50)
二、下渗率或下渗量的计算·····	(51)
第三节 影响下渗的因素·····	(52)
一、降水·····	(53)
二、土壤·····	(53)
三、植被·····	(54)
四、地形·····	(54)
五、人类活动·····	(54)

第五章 径流	(55)
第一节 径流的形成过程	(55)
一、流域蓄渗阶段	(55)
二、坡地产流和汇流阶段	(56)
三、河槽集流阶段	(58)
第二节 径流的表示方法	(59)
一、流量	(59)
二、径流总量	(59)
三、径流模数	(59)
四、径流深度	(60)
五、径流系数	(60)
第三节 影响径流的因素	(61)
一、气象因素	(61)
二、下垫面因素	(63)
三、人类的活动	(65)
第六章 河流	(66)
第一节 水系和流域	(66)
一、水系的概念和类型	(66)
二、分水岭、分水线和流域	(68)
三、水系的特征值和河流分段	(71)
第二节 河流的纵断面和横断面	(71)
一、河流的纵断面	(71)
二、河流的横断面	(72)
第三节 河流的水情要素	(73)
一、水位	(73)
二、流速	(74)
三、流量	(76)
第四节 河流的正常年径流量	(77)
一、河流的正常年径流量的概念	(77)
二、正常年径流量的计算	(77)
第五节 河流的补给	(79)
一、雨水补给	(79)
二、冰雪融水补给	(80)
三、地下水补给	(80)

第六节 河流径流的年际变化	(81)
一、年径流量的年际变化幅度	(81)
二、年径流量的多年变化过程	(83)
第七节 河流径流的年内变化	(83)
一、径流的季节分配	(84)
二、径流年内变化的特征值	(85)
第八节 洪水	(86)
一、洪水的类型和影响因素	(86)
二、洪水过程线和洪水要素	(86)
三、洪水要素之一——洪峰流量的推求	(87)
四、洪水波	(88)
第九节 枯水	(92)
一、枯水径流的影响因素	(92)
二、枯水径流的消退规律	(93)
第七章 河流泥沙	(95)
第一节 河流泥沙的来源	(95)
一、流域侵蚀	(95)
二、河道冲刷	(96)
第二节 河流泥沙的特性	(96)
一、泥沙的粒径和颗粒级配	(96)
二、泥沙的比重和干容重	(97)
三、泥沙的水力粗度	(97)
第三节 河流泥沙的分类和表示方法	(98)
一、泥沙的分类	(98)
二、泥沙数量的表示方法	(98)
第四节 河流泥沙的运动	(99)
一、推移质的运动	(99)
二、悬移质的运动	(102)
第五节 河流的总输沙量	(104)
一、多年平均年悬移质输沙量的估算	(104)
二、多年平均年推移质输沙量的估算	(105)
三、河流总输沙量的估算	(105)
第六节 影响泥沙数量的因素	(105)
一、气象因素	(105)

二、植被	(107)
三、地形	(107)
四、土壤和地质	(108)
五、河道形态	(108)
六、人类活动	(109)
第八章 湖泊	(110)
第一节 湖泊的形态特征	(110)
一、描述湖泊的平面形态的参数	(111)
二、湖泊的容积、深度及描述其底坡形态的参数	(112)
三、描述湖泊形状的参数	(113)
第二节 湖泊的水量平衡和调蓄作用	(113)
一、湖泊的水量平衡	(113)
二、湖泊的调蓄作用	(115)
第三节 湖水的运动	(115)
一、波浪	(116)
二、定振波	(118)
三、湖流	(119)
四、增水和减水	(120)
五、湖水混合	(121)
第四节 水库	(121)
一、水库的组成、库容以及水位	(121)
二、水库的水量平衡和调蓄作用	(123)
三、水库水的运动	(123)
第九章 沼泽	(126)
第一节 沼泽的形成	(126)
一、水体沼泽化	(126)
二、陆地沼泽化	(127)
第二节 沼泽的类型	(128)
一、根据沼泽的发育阶段划分沼泽	(128)
二、根据沼泽中有无泥炭划分沼泽	(129)
第三节 沼泽的水文特征	(130)
一、沼泽的含水性	(130)
二、沼泽的透水性	(130)
三、沼泽的蒸发	(131)

四、沼泽径流	(131)
五、沼泽的水量平衡	(132)
第十章 河口	(133)
第一节 河口区的范围和分段	(133)
一、河口区的范围	(133)
二、河口区的分段	(133)
第二节 河口的类型	(134)
一、河道型河口	(135)
二、海湾型河口	(136)
第三节 河口的水文特性	(137)
一、潮波的传播和变形	(137)
二、盐水楔异重流与咸、淡水的混合	(138)
第四节 河口区的泥沙	(140)
一、河口区泥沙的来源	(140)
二、河口区泥沙的组成	(140)
三、河口区泥沙的动态	(140)
四、河口区的絮凝作用	(141)
第十一章 地下水	(143)
第一节 地下水的贮存	(143)
一、地下水的贮存空间	(143)
二、地下水的贮存形式	(144)
三、土壤和岩石的水理性质	(146)
四、含水层和隔水层	(147)
五、蓄水构造	(148)
第二节 地下水的分类	(149)
一、饱(包)气带水	(150)
二、潜水	(151)
三、承压水	(153)
四、孔隙水	(155)
五、裂隙水	(158)
六、岩溶水	(160)
第三节 地下水的运动	(161)
一、结合水的运动	(161)
二、毛管水的运动	(163)

三、重力水的运动	(164)
第四节 地下水的动态与均衡.....	(167)
一、影响地下水动态的因素	(167)
二、地下水动态	(169)
三、地下水的均衡	(171)
参考文献.....	(174)

绪 论

地球表面的约 71% 被海洋所覆盖。在陆地上,水也以不同的形式存在和出现。因此,水是地球表面最常见的一种物质。此外,水还是在地球的气候状况下能以三种状态(气态、液态、固态)存在的为数不多的几种物质之一。

由于海洋和大气中水分的存在,地球的气候适宜于生命的存活、栖息和繁衍。水在气态、液态、固态三种状态之间的转化对于能量从赤道输往两极,即环绕地球的能量传输是至关重要的。水具有很低的粘滞性,因此,对海洋、河流和运河航行来说,水是一种非常有效的“输送介质”。

水是地球上一种最好的天然溶剂,对于洁净万物是必不可少的。人们不仅将水用于洗涤,而且还用于污染物的处理。水具有溶解性,能够自土壤中获得植物必需的养分,使之进入植物并在其内部传输。水具有溶解诸如氧气等气体的能力,因此,生命可以在河流、湖泊、海洋等水体中存活。

水维持生命的能力并非仅限于水体之中。人体大约 60% 是由水组成的。这些水主要存在于细胞中,但其相当的一部分(约 34%)携带着溶解的、生命所必需的化学物质在人体内部运动。因此,人即使几周不进食,仍可存活;但若无水,人在数日内便要死亡。

水还从其他很多方面造福于人类的物质生活。例如,人们将水和重力结合利用——以水力发电,进而为生产和生活提供了能源。

水还在千千万万人的精神生活中发挥了重要的作用。在基督教中,以水洗礼是洁净心灵的象征,并意喻上帝赐给了信徒们“浩浩生命之水”;在伊斯兰教中,穆斯林们进入清真寺祈祷之前必须以水沐浴;在印度教中,教徒们在神圣的恒河中洗浴以净化心身。此外,在其他很多宗教的经文中和仪式上,水也扮演了重要的角色。

水之所以重要是因为它对人类的生存和生活必不可少,因此,对水的认识 and 了解显得非常必要。

一、水文学的定义、研究对象和分类

1. 水文学的定义和研究对象

“水文学”一词的英文为“hydrology”,其中,“hydro”来源于希腊语中的“*budor*”,意为“水”;“logy”来源于拉丁语中的“*logia*”,意为“学科”,因此,照字义来看,水文学为“水的科学”。

这一定义显然过于宽泛,因为照此说来,人体内的水分和蒸汽机内的水均在水文学论及的范畴之中。

在近代和现代,水文学被定义为研究自然界各种水体,如河流、湖泊、冰川、沼泽、海洋、地下水及大气中的水汽的运动、变化和分布规律的学科。

从水文学的定义来看,地球上所有的水体似乎都是这一学科的研究对象,但实际上,水文学的主要研究对象是地球上的淡水,即陆地表面的各类水体和地下水。

水文学是地球科学的一个分支,与地质学、气候学、气象学和海洋学等地球科学的其他分支关系密切。

2. 水文学的分类

按水文学的研究对象,即不同地球圈层中的水体或同一地球圈层的不同层次中的水体,可将水文学进一步划分为水文气象学、地表水文学、地下水文学。它们的研究对象分别是大气圈中、岩石圈的表面上、岩石圈表面以下不太深的范围内的水体。

按地表水文学的研究对象,即地球表面两大基本单元中的水体或基本单元本身,又可将地表水文学进一步划分为陆地水文学和海洋水文学。它们的研究对象分别是地球表面基本单元之一——陆地的表面水体和另一地球表面基本单元——海洋。

按陆地水文学的研究对象,即陆地表面各类水体,又可将陆地水文学划分为河流水文学、湖泊水文学、沼泽水文学、冰川水文学和河口水文学。它们的研究对象分别是:河流、湖泊、沼泽、冰川以及河口。水文学的划分见图 1。

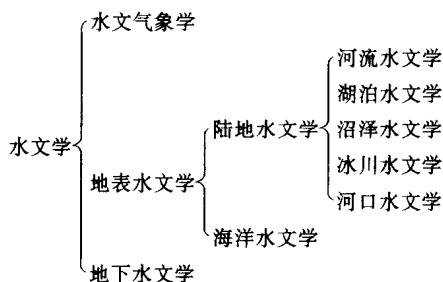


图 1 水文学的分类

近年来,对大气中水分的形成过程及其运动、变化规律的研究正越来越多地被归入气象学的范畴;对海水的物理、化学性质和各种现象的发生、发展规律及其内在联系的研究更经常地被视为更为专门的学科——海洋学;而有关冰川的运动、变化和分布的研究则已发展为一门独立的学科——冰川学。因此,与许多为高等院校尤其是综合性大学里水文学类课程用的教材和参考书类似,本书仅论及水文学的基本原理和概念以及有关河流、湖泊、沼泽、河口、地下水水文的内容。

二、水文学的发展

1. 萌芽时期(公元 1600 年以前)

为了自身的生存和生活,人类在这一时期就已开始并一直利用水资源,同时也在与各种水灾害作斗争。

在中国,传说中的“大禹治水”可能发生于 5000 年前;公元前 4000 年,古埃及人为了开垦荒芜贫瘠的土地以将之用于农业生产,在尼罗河上修筑了水坝;在西南亚的美索不达米亚,人们在城镇的周围用泥土建筑了高墙以抵御洪水;古希腊人和古罗马人挖掘了用于灌溉的沟渠。

公元前 1040—公元前 221 年,中国的周朝制定了灌溉排水制度;在公元前 475—公元前 221 年间的中国战国时代,秦国的蜀郡守李冰(公元前 256 年,即秦昭王 51 年)修建了都江堰;统一后的中国秦朝(公元前 221—公元前 207 年)在关中修建了郑渠;公元 581—618 年的中国隋朝开凿了大运河。

在对水资源不断利用并与水灾害不断斗争的背景下,人类开始了原始的水文观测。

公元前 3500—公元前 3000 年,古埃及人开始观察尼罗河的水位;公元前 2300 年,在中国,人们开始对河水涨落的观测;约在公元前 4 世纪,印度人开始观测雨量;公元前 251 年,在中国战国时代的秦国,蜀郡守李冰用“石人”水尺观测水位;秦统一后,即公元前 221—公元前 207 年,在《田律》中规定了全国各郡、县呈报降水量的制度;在处于中国三国时代的公元 223 年,人们在黄河支流伊洛龙门崖壁上以石刻记录洪水;在公元 581 年—618 年的隋代,中国设石刻“水则”,以观测水位;公元 764 年,当时中国正值唐代,在四川涪陵白鹤梁,人们开始用石刻记录长江的最低水位;在公元 960—1276 年的宋代,中国设“水则碑”观测水位;至南宋时期的公元 1247 年,在中国已出现了较为科学的雨量筒和雨深计算方法以及测量和计算平地降雪深度的方法,秦九韶在其所著的《数书九章》一书中,记述了全国各州、县用天池盆和圆罍测雨,用竹箴测雪以及计算雨、雪深度的方法;在公元 1424 年,即中国的明代时,全国采用测雨器观测雨量;公元 1442 年,朝鲜全国采用统一制作的“测雨器”观测雨量;公元 1500 年,意大利的达·芬奇(Leonardo da Vinci)提出用浮标法测量流速;在处于中国明代的公元 1535 年,刘天和在治理黄河时,发明制作了“乘沙量水器”,并用之采集含沙水样以测量河水中的泥沙量。

同时,人们也开始积累原始水文知识并试图对水循环等水文现象进行推理解释。

在公元前 1400 年前后,中国商代的殷墟甲骨文记载了雨、泉和洪水等水文现象;约在公元前 9 世纪,古希腊哲学家、诗人荷马(Homer)认识到,沟渠中的水的流量与过水断面面积和流速有关;公元前 7 世纪,中国处于春秋时代,齐国的管仲提出了河流分类法;在战国后期至西汉初年(公元前 4 世纪晚期—公元前 2 世纪初期)成书的《山海经》以及战国后期成书的《尚书·禹贡》中,均记载了中国的河流及其水文地理;在西汉初期的公元 4 年,张戍提出黄河泥沙的定量概念,指出黄河水浊,“一石水六斗泥”;公元 1 世纪,古希腊的希罗也提出,河流的流量取决于过水断面面积和流速;在西方,到了 14~16 世纪的文艺复兴时期,人们对水文现象的认识又有所提高,约在公元 1500 年,达·芬奇发现了过水断面、流速和流量间的特定关系,提出水流连续性原理;公元 527 年,正值中国的南北朝时期,北魏的酈道元在其所著的《水经注》中,论述了当时中国版图内 1252 条河流的概况,堪称水文地理考察的先驱。

古代哲学家们特别对水在循环运动各个阶段中的起源等问题颇感兴趣。

约在公元前 9 世纪,荷马曾相信,在地下存在着向海洋、河流、泉眼和深井补给的巨大的水库;公元前 450—公元前 350 年,古希腊哲学家柏拉图(Platon)(公元前 427—公元前 348 年)和亚里斯多德(Aristotle)(公元前 384—公元前 322 年)提出了水循环的假说;公元前 239 年,时值中国的战国时代,在秦国著成的《吕氏春秋》一书中提出了朴素的水循环思想;公元前 27 年,有“建筑学之父”之称的古罗马建筑师维特鲁维厄斯(Marcus Vitruvius)(公元前 1 世纪上半叶—约公元前 25 年)在其所著的《建筑十书》(De Architectura Libri Decem)第 8 卷中提出了堪称为水循环现代概念的始祖的理论,他设想降至山区的雨和雪渗入地下,而后又在低地以河流和泉水的形式出现;公元 88 年前后,中国东汉的王充提出了水循环和潮汐成因的科学解释;公元 805 年前后,中国唐代的文学家、哲学家柳宗元在其所著的《天对》中阐述了水循环的概念;在 14—16 世纪的文艺复兴时期的欧洲,人们对水循环认识也有所加深;临近 15 世纪末期,达·芬奇和伯纳德·帕里希(Bernard Palissy)分别对水循环的认识和理解达到了较高的水平。

在这一时期,尤其是早期,人们对水循环等水文现象的了解和认识常常是不全面的,甚至是错误的。总的来看,人们对水循环等水文现象的探究主要限于猜想,而不是基于观测数据的推理。因此,这一时期并不存在严格科学意义上的水文学。

2. 奠基时期(1600—1900年)

在17世纪,佩罗(Perrault)(1608—1680)、马略特(Mariotte)(1620—1684)和哈雷(Halley)(1656—1742)等先驱者开展了一系列研究。这些工作被认为是“现代”水文学诞生的标志。

佩罗对塞纳河(the Seine River)汇水流域三年中的降雨做了观测。他利用这些观测值和径流观测结果以及汇水流域面积数据,说明降雨在数量上足以产生径流。佩罗在他发表的《喷泉的起源》一书中,公布了这一结果。这是水文学家首次将对水循环的认识提高到数量描述的高度,因而被认为是人类对水循环认识的一个飞跃。此外,佩罗还观测了蒸发和毛细现象。

马略特测量了塞纳河河水的流速,并通过引入河流横断面的测量,将测量到的河水流速换算为河水流量。

哈雷观测了地中海海水的蒸发率,并由此得出了“蒸发的水量足够产出各河支流的入海水量”这一结论。

在这一时期,尤其是从18世纪开始,水文科学理论尤其是水力学理论有了很大的发展和进步;19世纪,实验水文学(experimental hydrology)兴起并迅速发展,地下水文学得到了很大的发展。

1738年,瑞士的伯努利(D. Bernoulli)(1700—1782)发表了水流能量方程,即著名的伯努利方程(定理)(Bernoulli theorem);1775年,法国的谢才(A. de Chezy)发表了明渠均匀流公式,即著名的谢才公式(Chezy formula);1802年,英国的道尔顿(J. Dalton)(1766—1844)提出了蒸发量与水汽压差的比例关系,即道尔顿定理;1856年,法国的达西(H. Darcy)通过试验建立了地下水渗流基本定律,即著名的达西多孔介质流动定律(Darcy's law of flow in porous media);1871年,法国人圣维南(A. J. C. B. de Saint-Venant)(1797—1886)导出了明槽一维非恒定渐变流方程组,即著名的圣维南方程组;1889年,爱尔兰人曼宁(R. Manning)(1816—1897)提出了计算谢才系数的水力学公式——曼宁公式;1895年,英国力学家、物理学家和工程师雷诺(O. Reynolds)(1842—1912)建立了紊流运动方程组——雷诺方程组并提出了紊流粘性力的概念;1899年,英国数学家和物理学家斯托克斯(G. G. Stokes)(1819—1903)导出了泥沙沉降速度公式——斯托克斯公式。这些原理、定理和定律的出现在一定程度上为水文科学奠定了理论基础。

与此同时,近代水文观测仪器开始出现,特别是自18世纪以来,水文观测仪器的发展更趋迅速,水文观测因而进入了定量阶段。

1610年,意大利医生圣托里奥(Santorio)(1561—1636)发明制作了第一台流速仪,使河道水流测量有了科学的基础,此后,雨量、水位、蒸发等观测技术得到迅速发展;1639年,意大利人卡斯泰利(B. Castelli)创制了欧洲第一个雨量筒,开始观测降水量;1732年,法国人皮托(Henri Pitot)发明了新的测速仪——皮托管;1790年,德国人沃尔特曼(R. Woltmann)(1757—1837)发明转子式流速仪;1870年,美国人埃利斯(T. G. Ellis)发明旋桨式流速仪;1885年,美国的普赖斯(W. G. Price)发明旋杯式流速仪。

另外,人们在水文观测上也取得了重要的进展。对河流的系统观测,事实上始于19世纪。

1650年,人们开始观测位于中东的死海的水位;1742年,在中国北京,人们开始记录逐日天气和降雨、雪的起迄时间以及入土雨深;1736年,在中国黄河老坝口,人们设立水志即水尺以观测水位并报讯;1841年,在中国北京,人们开始以现代方法观测和记录降水量;在欧洲,自19世纪初,人们开始对莱茵河、台伯河、加龙河、易北河、奥得河等大河流的水情进行实测并结

合理论推算等综合方法建立流量资料序列。

在这一时期,尤其是19世纪,现代水文学的基础得以建立。但总的来看,这些成就中,很多仍是经验性的,物理水文学的基础仍未得以完全建立或被广泛认识。

3. 实践时期(1900—1950年)

这一时期又被称作“近代化时期”。

进入20世纪以来,大规模兴起的防洪、灌溉、水力发电、交通工程、农业、林业、城市建设向水文学提出了越来越多的问题,特别是需要科学的水文计算和水文预报。自20世纪早期开始,人们越发认识到很多先前的经验性公式的不足,因而不断做出努力,以使水文学解决问题的方法逐渐理论化和系统化。

1914年,美国人黑曾(A. Hazen)第一次用正态机率格纸选配流量频率曲线;1924年,美国人福斯特(H. A. Foster)提出应用皮尔逊Ⅲ型曲线选配频率曲线的实用方法,概率论、数理统计理论和方法由此开始被系统地引入水文学。约1930—1950年间,理性分析开始取代经验主义。1932年谢尔曼单位过程线(Sherman's unit hydrograph)、1933年霍顿渗透理论(Horton's infiltration theory)、1935年泰斯方程(Thei's equation)以及1948年彭曼水面蒸发量计算公式,即著名的彭曼公式(Penman's equation)的出现便是这一大进展的突出例子。

在西方国家,尤其是美国,相关政府部门和机构开始实施自己的水文研究方案,这就促进了更深入地探讨水文规律,并将基本原理应用到实践中去,故应用水文学得以广泛发展。

在此期间,水文观测得到进一步的发展。例如,1910年,中国在天津设海河小孙庄水文站,是中国最早的水文站;1913年,中国在长江吴淞口设立潮位观测站。水文站逐渐在世界范围内发展成为国家规模的站网。

在实践时期,水文学最重要的分支学科——工程水文学首先形成;之后,应用水文学的其他分支学科,如农业水文学、森林水文学、城市水文学等也相继兴起。因此,这一阶段又被称为“应用水文学兴起时期”。

4. 现代化时期(1950年—现代)

1950年以来,理论性的水文学研究途径正在不断取代过去的相对落后的方法。自然科学的发展和进步为人们更全面和深刻地认识水文关系的物理基础创造了条件,而从实用和经济的角度来看,高速数字电子计算机的出现和不断发展使得广泛地运用数学方法成为可能。“现代化时期”的水文学有以下三个特点:

(1) 水文科学理论的深入研究和相关学科的渗透,使得水文计算和水文预报出现了许多新方法:如流域数学模型的出现和应用。

(2) 新技术的广泛应用:如电子计算机、遥感、遥测、核技术等的应用。

(3) 水文学的新的分支学科的出现:如随机水文学、城市水文学、农业水文学、环境水文学、水资源学等分支学科的出现。

在这一时期,尤其是二十世纪七八十年代以来,随着人口、资源和环境问题的日益突出以及可持续发展理念的传播和普及,水文学研究也越来越多地涉入、集中于以下几个方面或与之联系越发密切:水资源管理;气候变化;土地利用和土地覆被变化;地下水枯竭;城市水文状况。

三、水文现象的基本特点和水文学的研究方向及方法

1. 水文现象的基本特点

水文现象作为一类自然现象,有其自身的特点。

(1) 时间上的周期性和随机性

① 周期性

地球的公转和自转分别形成了春、夏、秋、冬四个季节的交替和昼夜的交替。随着季节的交替,影响水文状况的自然地理-环境因素——天气和植被一般将发生周期性变化;随着昼、夜的交替,天气状况也会发生较为明显的变化。因此,水文情势相应地有以年或日为单位的周期性变化。

例如,主要由于降水随季节的变化,河流每年都有一个汛期和一个枯季或者两个汛期和两个枯季。一般来说,夏、秋为汛期,冬、春为枯季。

又如,在以冰雪融水为河流的主要补给来源的地区,昼、夜交替的气温变化使得冰雪融水量发生周期性变化,河水流量也相应地发生日周期性变化。

因此,水文情势的周期性很大程度上是由因地球的公转和自转造成的影响水文情势的其他自然因素——主要是气候因素的周期性而造成的。

② 随机性

影响水文状况的因素众多,这些因素对水文状况的影响和各个因素之间的相互作用也十分复杂,且其本身也随着时间不断地发生变化。因此,虽然在这些因素影响下的水文现象的变化过程具有周期性,但也常常表现出不重复的特点。这就是所谓的随机性。

例如,在不同的年份,一条河流的流量过程并不完全相同。

(2) 空间上的相似性和特殊性

① 相似性

影响水文状况的一些自然地理-环境因素,尤其是气候和植被,具有较为明显的空间相似性。在相同或相近纬度以及与海洋距离相同或相似的地区,气候状况和植被状况相似,因此,在相同或相近地区,即处在相似的气候状况和植被状况影响下的水体的水文状况,就会表现出一定程度的相似性。

例如,湿润地区的河流一般都水量丰沛且在年内分配均匀,具有相似的水文情势;干旱地区的河流大都水量不足且在年内分配不均匀,也具有相似的水文情势。

② 特殊性

在相同或相近纬度或与海洋距离相同或相似的地区,气候状况和植被状况相似,但地形、地貌、岩性和地质构造,甚至土壤状况却可能有所不同,而这些因素也会在很大程度上影响水文状况。因此,即使在相同或相近地区,即处在相似的气候状况和植被状况影响下的水体的水文状况也可能表现出相当明显的差异。这就是所谓的特殊性。

例如,在同一地区,山区河流与平原河流的洪水过程便不相同;在相同气候状况下,岩溶地区河流与非岩溶地区河流的水文规律也很不相同。

2. 水文学的研究方向及方法

(1) 水文学的研究方向

概括起来,水文学有三个研究方向:地理方向、物理方向、工程方向。