

高等学校教材

水资源 导论

沈灿桑

高等教育出版社

918113

TV21
3499

水 资 源 导 论

沈灿荣 编著

高等教育出版社

1990年9月

内 容 提 要

本书是一本水资源入门教材。本书用地理综合观点和水文的定量计算方法,以水分循环和水量平衡理论为基础,首先较全面地论述地球上大气圈、水圈、生物圈和岩石圈水体特点,包括大气水分、地表水、冰川、地下水和海洋水的储存、运动、交换过程及其规律。然后再探讨目前利用水资源的方法和计算模式,人类活动引起水质污染,城市化对水资源的影响,以及对海洋、河流水能开发的计算方法等等。内容丰富,起点较高,为目前比较全面、综合和较新颖的水资源教材。适合综合性大学地理系各专业用作教材,也适合师范院校地理系指定为水文课参考书,也可以作为农学院、工学院有关专业和水文工作者的参考用书。

水 资 源 导 论

沈灿燊 编著

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

二二〇七工厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 11 字数 270 000

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

印数 0001—650

ISBN 7-04-002876-X/K·133

定价 2.65 元

序 言

由于各地用水的紧缺,近年来国内外学者将水作为一种具有经济价值的自然资源来研究,该项研究正在广泛开展,而且发展得很快。

“水资源”作为一门完整的课程来讲授,在我国高校还刚开始。水资源课程因各专业的目的、方向不同,内容差异较大。作为地理学范畴的“水资源导论”,属于专业基础理论课,但也包括一部分应用技术内容。因而,应当以水分循环和水量平衡理论为基础,对地球各圈层水体的运动、储存和交换的规律进行探讨,应特别着重研究地理环境与水资源的相互效应和水资源地带性和地区性特点,人类活动对水资源的污染和如何合理开发利用水资源等。因此,本书内容包括水分循环和水量平衡、水汽输送、降水与蒸发、产流与下渗、冰川、地下水、水质与环境、城市水资源和海洋河川水能开发利用等,比较广泛而全面,并且突出大气圈、水圈和水质三方面内容。同时还介绍了水资源学科研究现状、新手段和发展趋势。目的在使学生修读这门课程后,对水资源学科能有一个较全面、较清晰的认识、对其重点理论有较深入的了解。

本教材初稿曾在中山大学地理系水资源与环境专业中讲授多遍,并不断加以修改。1988年夏蒙高等教育出版社组织全国部分高校地理系有经验的水文教授、老师和有关专家进行评审,参加者有邓绶林、汪安祥、杨秉康、黄锡荃、金伯欣、周天骧、余汉章、曾邦锐、邵庆山、钟骏襄和裴威等同志。在评审过程中提出了许多宝贵意见,使本教材得以进一步完善。谨向以上同志表示衷心的感谢。

由于本教材牵涉的学科较多,面较广,要求起点较高。作者学识浅薄,虽尽个人努力,但相信内容仍有不少错漏和不足。敬请同行专家和读者指正,使内容得到不断修改,渐臻完善,不胜感谢。

沈灿桑

1989年夏于中山大学

目 录

第一章 绪论	1
一、水资源的定义	1
二、水资源研究的目的	1
三、世界水资源学科的主要研究内容和方 法及发展趋势	4
第二章 大气圈中水的运动与输送	7
第一节 水分循环与水量平衡基础理论	7
一、水分循环的物理机制	8
二、水量平衡分析	12
第二节 大气圈中水的交换与输送	15
一、水汽扩散	15
二、水汽输送	17
第三节 大气圈中水汽向水圈中的转换—— 降水	22
一、水汽平衡方程	22
二、降水及降水计算	23
第四节 水圈中水向大气圈的转移——蒸发	29
一、海洋蒸发	29
二、蒸发计算	36
第五节 岩石圈和生物圈中水向大气圈的转 移——土壤蒸发和植物蒸散发	41
一、土壤蒸发	41
二、植物蒸散发	44
三、流域蒸散发	46
第三章 水圈中液态水的变换及运动	50
第一节 降雨径流形成及产流理论	50
一、降雨径流形成过程	50
二、降雨径流的几种主要理论和计算方法	50
第二节 入渗理论和入渗计算	76
一、水量平衡法	76
二、扩散法	77
三、达尔西法	78
四、经验方法	79
第三节 现有入渗模型分析及地理景观入渗 的观点	80
一、现在常用产流模型的分析	80
二、常用产流模型对某些特殊下垫面的适 应性和地理景观产流入渗观点的建 立	83
第四章 水圈中固态水——冰川的转换 及交替	85
第一节 冰川的形成及分类	85
第二节 冰川融冰的水资源补给	87
一、冰川融冰过程	87
二、融冰径流形成过程	88
三、冰川融冰量的计算	88
第三节 冰川水资源的补给计算	89
第四节 中国冰川水资源的地理分布及其特 点	92
第五节 冰川利用和冰川进退	93
一、人工融冰化雪利用冰川	93
二、冰川平衡与冰川进退	94
第五章 岩石圈中水体——地下水的运 动与迁移	95
第一节 地下水的分类和埋藏条件	95
第二节 地下水系统及其补给排泄效能	96
一、地下水分层	96
二、地下水系统、地下水运动和地下水 网	97
第三节 地下水运动最通用的计算方法	101
一、直线渗透定律和非直线渗透定律	101
二、裘布恩方程	103
三、求算井的涌水量	104
第四节 地下径流资源评价	105
第六章 水资源水质及人类活动对水环 境的影响	109
第一节 天然水的化学分类	109
一、按矿化度分类	109
二、根据阴离子及阳离子含量的分类	109

三、按照主要组分和离子间的对比进行分类.....	110
四、天然水的化学地理分类.....	111
第二节 大气降水、河水、地下水的化学成分.....	111
一、大气降水的化学成分.....	111
二、地下水的化学成分.....	114
三、河水的化学成分.....	116
第三节 水污染的形成原因与主要类型.....	119
一、水污染形成原因及途径.....	119
二、水污染的主要类型.....	119
第四节 河流污染的扩散及扩散方程.....	125
一、二元水质基本方程.....	125
二、一元水质基本方程.....	126
第五节 水体污染物质的自净.....	128
第六节 水环境质量评价.....	130
一、水质评价方法.....	130
二、水质指数研究.....	132
第七章 城市水资源研究	137

第一节 都市化对水文的影响.....	137
一、都市化后水文的变化.....	137
二、都市水文模型简介.....	140
第二节 都市供需水平衡.....	141
一、影响都市需水的因素.....	141
二、供需水平衡的预测和模型.....	143
三、各个模型的框图和结构.....	144
四、供需水量平衡模型的计算.....	151
五、使用模型应注意的问题.....	153
第八章 水能与水能利用	155
第一节 海洋水能.....	155
一、波浪.....	155
二、潮汐.....	158
第二节 河流水能.....	163
一、河流水文要素.....	163
二、河水水力发电.....	164
三、我国及世界水能.....	166
复习参考题.....	168

第一章 绪 论

一、水资源的定义

水，是自然界的一个重要组成部分，它分布面很广，上至大气圈，下至岩石圈，都有它的存在，而在水圈和生物圈中，更为活跃，在这四个圈中，水是以三态形式不停地交换和转化的。

水作为资源来看，必需有经济价值和使用价值，水资源的定义是：“地球上目前和近期人类可直接或间接利用的水量，是自然资源一个重要组成部分，为人类生产和生活中不可缺少的一种资源”。

水资源和其它自然资源不同，有其独自的特点。（1）它是再生的资源，可以短期内重复多次使用。（2）储存形式和运动过程受自然地理和人类活动的影响。（3）年内的变化有周期性，近似性和不重复性。

由于人类科学技术不断发展，故水的可利用部分不断增加。例如，南极的冰块、深层地下水、高山上冰川积雪，波浪和潮汐发电，…等等都在渐渐被加以开发，扩大到以往较难利用的方面，因此，水资源的范围，随着人类的科学技术发展不断扩大。

至于广义的水资源，则认为所有的水体都可以包括在内，即指目前暂难以利用的水体，可作为储备水资源，储备水资源终有一天会被人类利用。这种定义目前在学者中仍有争论。

二、水资源研究的目的

水资源系统研究是目前世界上被重视的研究项目之一，因为它关系到世界经济发展和人类生活的前景。实际上，人类几千年来，在农业灌溉、生活、运输和动力等方面，都需要水，对水的储存、运动、时空分布、季节分配、旱涝变化都有一定认识。但近半世纪以来，由于工业、农业的飞跃发展，人口迅速增加，耗水量大增，而且水质受到污染，使水资源受到不同程度的破坏。故从60年代起，水资源的研究，日益被重视。1965年，联合国教科文组织（UNESCO）提出了国际水文十年（IHD）（1965—1974）计划，有100多个国家参加。估计由于世界人口增长和生活用水要求的提高，以及工业、农业的不断发展，可用水资源势必减少，到本世纪末，人类生活福利情况与可用水资源的丰竭有极大关系，因此，对全世界水资源作合理的开发利用和妥善保护的研究是十分必要的。另一方面，水资源的丰竭与变化与当地的自然地理环境和人类活动有极密切的关系，例如岩溶地区雨水在集流过程中，大量渗漏到地下，形成了地下河及地下湖泊；沙漠边缘地区过大的蒸发，使地表水极其枯竭。特别是人类活动，对水资源的影响尤为显著，例如，过份地砍伐森林，破坏了地面植被覆盖，必然导致水土流失，使洪水流量加大，枯季流量减少，造成水资源季节分配集中，增加用水的困难。此外，大的水库群的兴建，都市化的出现，耕作方式和耕作制度的改变等等，都会引起水资源的某些变化。因此，地理环境（包括人类活动）对水资源的效应渐被重视。国际水文十年来，订出了许多有关科研课题，展开了广泛的研究，取得了一定成绩。继国际水文十年以后，国际水文计划（I·H·P）（1975—1989）成立，1974年9月，在联合国教科文

组织总部召开未来国际水文规划会议，水文规划的新任务中，第一阶段有两项课题直接关系到水资源的研究，其中一项为环境、人类活动对水资源过程影响的研究：

1. 水量平衡与水资源的估算

包括每个国家、每个地域和全球水分循环和水量平衡每一个重要环节（降水、蒸发、水汽输送、径流、土壤水和水的贮存方式），以及其随时空变化的研究。

2. 人类活动对水资源环境及水文因素的影响

研究的内容比较广泛，主要是探讨人类活动导致水文情况及水资源情况的变化，如排灌发展的影响，城市化的影响，土地利用变化的影响，以及河流、地下水、湖泊、水库中污染的扩散、稀释、自净过程、废热等方面的研究。

第三阶段中，对水土流失，特殊地区水文，人类活动对水文过程变化的估价，气候变化和水文过程相互影响等方面，加以深入研究：

1. 气候的多样性和变化与水文过程的相互关系。

2. 推广在科研中已取得的水土流失和泥沙输送、迁移的研究成果和方法。

3. 特殊地区（潮湿地区，积水地区，海岸带、河口和三角洲地区，岩溶地区，小岛屿，平原地区，山区等）水文研究。

4. 由于人类活动的影响所引起水文过程变化的估价方法。

5. 水循环各个因素的调查研究水平的评价。

由此可见，环境对水资源影响的研究，日益受到重视。

此外，新技术的应用，渐被重视。如遥感技术，核技术的应用。水文时序列随机模拟的发展，径流和整个水循环中数字模拟，水资源系统实时控制模型，水资源动态模型的建立，融雪径流模拟，分布系统模拟，水质模拟等等的研究都陆续开展。

实际上，水资源的储存与变化和水分循环与水量平衡的关系极为密切，即同降水、蒸发、产流、下渗、河川补给、地表水地下水调节、水质等有关，而旱涝规律则可由水资源的周期变化和特征值表现出来。因此，如果光从水量与水质去研究水资源是不全面的，必须从水的形成过程、河川补给类型、水的时空分配、储存形式、旱涝周期、产流汇流的地区特点、水汽输送、海气交换等方面进行系统的研究，即水资源系统研究。而著者提出的“地理环境（包括人类活动）对水资源系统效应的研究”，范围更广，在科学体系上比较完整，在基础理论研究方面比较深入，对经济建设更具有实际意义。

我国在50年代后便积极开展水资源研究，由于我国地域广大，地理环境差异较大，人类活动方式也不尽相同，故水资源的情况差别较大，丰枯不一。例如，我国有明显的湿润地区、干旱地区和半干旱半湿润地区，有些地区常常旱涝交替，年内水量分配极不均匀；岩溶地区水资源特点与其他地区相异较大；水稻田区与旱作区水的利用方式和量的消耗完全不同；有些地区森林较密，有些地区森林被大量砍伐，水资源发生明显变化，如不进行深入研究，是无法进行水资源合理开发利用和妥善保护的。尤其是近年来我国工农业和各项经济建设飞跃发展，城市人口迅速增加，许多地区都感到水资源匮乏。加上水质污染，大的工程兴建、耕作制度的改变，人类生活用水水平的提高，植被的破坏，都引起水资源的变化。1982年广东、四川发生特大洪水，它和森林大面积被砍伐究竟有多大关系，有关方面曾展开激烈争论，意见不一。因而，各方面都希望能在理论上、应用上展开“地理环境（包括人类活动）对水资源系统效应”的研究。

我国建国后,工农业、水利、航运不断发展,使各地区水资源发生很大变化。这方面的研究,对水资源合理利用、开发、保护、妥善管理有很大的应用价值。

例如,森林覆盖率变化对洪水和枯水效应研究(包括不同地理景观下,森林植被对年径流总量增减、径流年内分配、特别是对大洪水峰和枯水流量的影响)。

大水利工程和水库群对水资源总量的影响(包括蒸发变化和下渗率的变化等)。

不同下垫面对产流量、产流过程和汇流过程的影响。

大流域调水工程对流域水资源系统的综合影响(包括调水后流域下游潮汐、咸潮和流域洪水、枯水,各干支流流量分配,泥沙沉积等方面的变化)。

都市化对水资源系统的影响。

工业化与某些水利工程对水质污染的综合影响。

耕作制度的改变对水资源系统的影响。

上述各方面的研究,对我国生产建设和洪水预报、水文计算、改进农业生产、航运,以及各种有关水的规划(直到2000年)都有较重要的应用价值。

我国水资源研究初始于中国科学院地理所和各高等院校地理系,接着中国科学院地理所组织有关高等院校进行“南水北调对地理环境的影响”方面的研究。以后,水利部门与所属机构则进行了各地区水资源的初步计算,并作出了全国、各流域和各地区的降水、蒸发、径流等水文图。最近十年来,水利部大规模组织各所属机构进行了全国水资源水量的计算。并进行了全国各流域水资源储量估算及未来工农业生产和生活需水量的估计以及在两者盈缺的对比方面,做了大量工作。科学院地理所、全国水利院校、和全国高等院校地理系也进行了了解各地区水资源水量及利用现状的工作,并提出了评价和建议。对水分循环和水量平衡中各个要素,如产流、蒸发、下渗、降雨等进行了理论上和计算方法的研究,对森林对水资源的效应,水利工程和耕作制度等人类活动对水资源的影响作了研究,并从理论上探讨地理环境对水文过程及水资源系统的影响。

全国高等院校地理系的水资源研究取得了一定成绩。具体地说,例如中山大学地理系十多年来,对华南湿润地区水量平衡各个环节的情况进行了探讨,特别对不同下垫面的产流模式作了大量工作,他们多年来在广西岩溶地区做了较细致而有系统的研究,在国内外发表了一些论文,取得一定影响。南京大学地理系进行了地理环境对水资源影响的研究,在贵州地区对地下水情况作了大量调查,取得可喜成绩。兰州大学、西北大学、新疆大学、北京大学、华东师大、东北师大、河北师大、北京师大、陕西师大及其他院校都对院校所在地区水资源现状、利用情况,和对目前使用不当和管理不当提出意见和建议,1983年和1985年,福州和南宁全国地理学会水文专业学术讨论会中,提出了许多这方面的论文,这些对我国水资源系统研究极有价值。

国外水资源研究发展得很快,在联合国,本部(UN),粮农组织(FAO),气象组织(WMO),教科文组织(UNESCO)。工业发展组织(UNIDO)等10个机构,都对水资源系统中某些部分进行了研究,并常召开会议,交流研究成果和讨论问题。1965年教科文组织成立了国际水文十年机构(1965—1974),120多个国家参加水资源研究。面对人口的迅速增加和生活水平的提高,应如何合理开发和利用水资源,是一个急待解决的问题。10年中,这个机构的成员对水量平衡、洪涝、干旱、地下水、人类对水分循环的影响,特别是不同灌溉方式和都市化对水资源的影响,水质、河川固体径流等方面的研究,都取得了显著

成绩。它的成果,实际上对了解水圈中出现的水文过程和现象,对地表水与地下水资源的变
化估价,对世界水资源的合理利用和管理等方面都作出了贡献。

近年来,美国、英国、苏联、日本等国家,水资源研究的发展大致归纳为下列几个领
域:

1. 水资源的储量计算及未来供需方面的估算,并进行治理开发利用水和妥善管理水的
研究。研究多目标水利系统最优开发方式。
2. 从水量平衡的角度进行水资源形成过程的理论研究,及各个环节水的计算方法的分
析。
3. 水资源工程措施研究,并进行水资源合理开发利用研究。
4. 地理环境(包括人类活动)对水资源系统影响的研究,大多用水分循环的方法去进
行对比。
5. 大流域调水,大规模开发水资源对地理环境所产生的作用和反应的研究。
6. 政治、经济政策对水资源合理开发利用及管理的影响。
7. 水质污染的研究。
8. 开辟新的水资源,如咸水淡化,南极冰山的开发,冰川的开发,深层地下水的开发
应用的研究。

值得注意的是,8个领域中,一半左右与地理环境和人类活动有关,说明这方面的研究
已被重视。

随着人类活动能力不断加快加剧,对自然环境的影响必然愈来愈大,加以政治、经济政
策愈来愈复杂,因此,必须将这些影响因素纳入水资源的研究之中,并作为重点加以研究。

今后水资源研究领域,“自然环境(包括人类活动)对水资源系统效应的研究”,必
将成为被重视的一方面。人类活动、自然地理环境、水资源系统三者的相互影响的过程和关
系的研究,必将得到迅速发展。

三、世界水资源学科的主要研究内容和方法及发展趋势

水资源学是研究地球上水体的储存、分布、运动、变化、合理开发利用和保护以及它们
与环境(包括生物)的关系的一门科学。随着60年代产生的世界性能源紧缺,作为重要能源
之一的水资源的合理开发利用及保护等问题的研究就显得日益重要,许多国家如苏联、美
国、日本及澳大利亚等对水资源作了大量研究,取得了许多有意义的成果。印度在这方面也
做了不少工作。

由于世界各国的水资源状况及它们对水资源的需求不尽相同,各国对水资源的研究也有
其不同的侧重。如苏联到1985年,灌溉面积已达 21×10^6 公顷,它的农业每年都要耗费大量
用水,苏联在水资源方面的研究也就以寻求先进的灌溉措施,提高灌溉效率为主,并加强了
地表水和地下水平衡的探讨,甚至有些地方还研究引用咸水灌溉。在美国,水资源的滥用及
浪费十分严重,但美国水资源比较丰富,且法制比较健全,因此美国较偏重于如何利用经
济、法律、政治等手段对水资源进行合理利用及保护的研究。我国由于幅员辽阔,自然地理
条件极为复杂,对水资源的研究也就不能偏重一方,既研究具有丰富水资源的西南地区的水
能开发利用,也研究干旱的华北地区的合理用水及跨流域调水问题。

尽管世界上各国对水资源的研究各有其不同的侧重,但总的来说,可以概括为以下几个
主要方面:

(一) 水资源的开发。这方面的工作包括河流开发、水库开发、地下水开发(包括深层地下水)、冰川开发、潮汐开发及海水淡化等,如“利比亚撒哈拉的水资源开发”、“乌干达水库的潜力和开发利用”、“希摩尔海水淡化工厂与澳洲水资源的增加”、“河流的潮汐水资源开发”等。

(二) 水能利用。世界上的水能利用较为广泛,一般来讲,水能的利用是多目的、综合性的,如水力发电与蓄能相结合,而蓄能又可包括供水、养殖、防洪等项目,有些地区只要具备一定的落差和流量,便可搞梯级发电(如我国红水河地区)。

(三) 水资源的管理。世界上在这方面的研究主要是寻求水资源的最佳利用方案,以节约水资源和提高效益,这方面的研究工作如“苏联一种水的统一管理系统的建立”、“发展中国家水的管理的系统分析”、“多水库水资源系统的最佳操作”、“都市径流管理”等。

(四) 灌溉。由于农作物的灌溉每年都要消耗大量的用水,世界上不少国家如苏联在研究如何采取先进的灌溉措施,以提高灌溉效率,节约用水。这方面的研究如“面灌、喷灌、滴灌的效率”、“喷灌节约用水”、“有效用水的大面积灌溉程序”、“有效地管理水资源的灌溉指示器”、“印度尼西亚的灌溉措施”等。

(五) 水质保护。伴随世界上大工业的迅速发展所带来的水资源的污染,已越来越引起包括水资源学家们在内的科学家们的严重关注,如何保护水资源,和废水、污水的处理及回收也就成了水资源研究的一个重要课题,世界上在这方面的研究成果甚多,如“受污染河流的水质预报”、“作为一种未来资源的污水的回收”、“污水的消毒,回收和重新利用”、“受污染海水的生物化学处理的性能研究”等。

(六) 水资源生态学。水资源的大量开发利用和人类活动给环境带来了巨大影响,以此为研究对象的水资源生态学也就随之兴起,有关研究有“水资源生态学”、“水资源利用对环境的影响”、“电站废热排泄对生态的影响”、“大坝和隧洞建设期间的水污染控制”等。

(七) 政治经济政策对水资源的影响。水资源的开发利用和保护是与所采取的政治经济政策密切相关的,世界上一些国家如美国已进行这方面的研究。

另外,世界各国还在水资源研究中采取了先进的科技手段,如:

1. 遥感与空间技术的应用,如航片、卫片、卫星、雷达等。
2. 在地下水水文学中引用类推式计算机,模拟难以观测的地下水情况。
3. 核技术的应用。
4. 随机水文学。
5. 确定的线性水文数学模式、确定的非线性水文数学模式。
6. 确定的线性水文系统、确定的非线性水文系统。
7. 水文学与水资源学的系统方法。

今后,水资源的研究趋势,还会向下列几个方面发展:

注:本节所列出的文章,都是刊载于下列四本书刊中:

(1) *Water for Human Need* (共5卷)

(2) *Water for Environment* (共4卷)

(3) *Proceedings of Exeter Symposium* (IAHS) 论文集, 1982.

(4) *Proceedings of Hamburg Symposium* (IAHS) 论文集, 1983.

(一) 对水资源的储量进行估算。这是开发利用水资源的前提,掌握了水资源的储量与分布,才能进行整体规划。

(二) 对水分循环、水量平衡及其各个环节的研究。这是水资源研究中极重要的项目之一。

(三) 对洪水与枯水的研究。水能造福于人类,也有有害的方面,一旦发生水灾就有可能造成伤亡,但处理得好,就能蓄洪济枯,这方面的研究如《洪水运动的随机模式》、《洪水等级预报的一种途径》等。

(四) 都市水资源研究。随着人口的增加,都市对乡村居民的比例也不断增加,都市的发展也越来越快,需水量越来越大,而其自然环境必然大为改观,故急需对都市水资源进行研究。

(五) 地理环境(包括人类活动)对水资源影响的研究。随着人类活动的加剧,水资源受到的影响越来越大。如砍伐森林、兴建水库、跨流域调水等都对水资源有一定程度的影响,地理环境(包括人类活动)对水资源的影响问题也日益受到重视,许多国家开始了这方面的研究,并取得一定的成绩,现在,这方面的研究已成为水资源研究的中心问题之一。

(六) 地下水的研究。

(七) 政治、经济政策对水资源合理开发利用及管理的影响研究。

水资源研究和开发利用的趋势是如何更好地进行水资源的综合利用,和多次重复使用,使达到最大的经济效益。例如,在河道中,如何使发电、灌溉、航运、养殖等等都水尽其利,一水多用,在地形有利的地方,进行多级阶梯发电,并使综合利用中相互协调,不产生严重矛盾,如航道的丁坝工程与防洪间的协调,中下游的排沙,与港口、滩涂开发的协调等等,总之,使水资源的经济效益、环境效益和社会效应都达到最好。并考虑长远规划,如保护森林,减少水土流失,使水源不致枯竭。有些国家,开始将水圈,大气圈和岩石圈中的水,即降水、地表水、地下水三水的储存运动过程和相互转换方式的关系加以整体研究,以定出更完善的合理开发利用方案。

水资源区划,也渐被重视,这种宏观的水资源地理分布的研究,对进行微观的水资源开发,有很大的参考价值。

目前,不但水资源研究内容不断扩大,而且,由于卫星和高速数字计算机的诞生,研究的方向,除上述内容外,还会增加如下新内容:

(一) 模拟与模型,依据水文过程的原因——结果(即降水——径流)关系,用一系列参数组成的模型模拟其实际过程,已成为水资源研究的重要方面。这些模型一般来讲参数较多,结构较复杂,计算也十分繁琐,但由于借助于高速数字计算机,计算时间可大大缩小。

(二) 系统方法,将水资源看成一个系统进行研究的思想是模型化理论的基础,使用系统方法可将水资源系统各要素统一进行研究,探讨它们的变化对水资源系统的影响,以建立模型。在流域特性、水文数据及水文变化等方面,卫星及雷达的作用十分重要,弥补了一些人工所不能达到的方面。

上面所谈的新的研究方向还未臻完善,仍有待努力,如对水文过程的模拟,尽管在理论和数学上都有其道理,但整个模型的物理意义还不够明确,特别是一些经验性模型(包括参数模型)更是如此。另外,由于观测技术仍较落后,所得水文资料的可靠性也不能令人满意。所有这些,无疑将成为今后研究的努力方向。

第二章 大气圈中水的运动与输送

水资源的研究方法每因研究目的不同而异,例如,研究水资源的储量,以满足人类生活和工农业所需,则重视水量的计算和可蓄量的情况。研究水资源的开发方式时,则以多目标水利系统最优化模型为重点(如动态模型)。研究跨流域的水利措施、水的再分配时,则以调水后对环境及生态变化情况为主。目前世界上研究水资源的课题很多,牵涉面很广,涉及到经济、环境、水文、水利、社会、和技术许多方面,范围广,学科多,但总的说来可分为基础理论研究和应用研究两大方面。

地理范畴的水资源研究属于基础理论研究,它包括水分循环,水量平衡,水资源的 评价,管理和保护等,但也涉及开发规划、水质保护和水资源的供需平衡。因此,它是用水量平衡的理论,研究水圈、大气圈、岩石圈和生物圈中水分的输送和交换的方式和过程,找出其运动和变化规律,及地带性和地区性的差异,为利用水资源提出科学的依据。

第一节 水分循环与水量平衡基础理论

水分循环的机制是十分复杂的,包括太阳能的辐射平衡,水面蒸发,陆面和植物蒸散发,大气扩散和水汽输送,降水和产汇流。也包括下渗和地下水动态,它们有各自的运动特点,但彼此之间有极密切的关联,相互影响,缺一不可,形成一个完整的体系。

水圈是地球最重要的圈层之一,自然界气候的形成,地貌的形态,植被的分布,人类活动的程度等无一不受到水圈运动的巨大影响和作用,地球的公转和自转引起水圈能量的变化——太阳辐射的变化,这种变化配合地心引力作用,使自然界的水以不同状态和形式,即有周期性又有随机性的特点运动和变化。但无论其变化运动有如何微妙的差别,水分循环是最具有代表性的水圈水热运动特征。

古希腊哲学家柏拉图(Plato)和亚里士多德(Aristotle)提出唯心主义的无蒸发过程的水循环说。他们认为江河水的长流不息是因为在地球内部存在一个巨大天然的水库,正是这个地下水库向河流提供水源,流入大海的河水又通过各种途径回到这个水库。法国勃纳德·甫力斯(Bernard Palissy)批判了这种地下循环说,提出河流水的重要来源是降雨。最后由英国科学家埃德蒙·哈里(Eolmonel Halley, 1656—1742)提出并证实了水循环概念,即从海面产生大量蒸发水汽被吹入大陆,形成降雨,降雨补充河流,河流径流汇入大海补充海洋,最后达到量的平衡,这就是水循环理论的初形。

随着人类对大自然现象的不断观察和认识,尤其是随着气象科学的发展,使人们逐步认识了河流长年不息,海面长年不变的奥秘。

地球上各种水体,主要是海洋,从太阳获得能量,产生大量蒸发,蒸发的水汽被气流输送到大陆上空,在适当的条件下,凝结成雨。落在地面上的降水,经过一系列产流汇流过程,这些降水形成的径流又返回海洋,在巨大的太阳能作用下,使海陆间的水分大循环不停

运转。另外，海洋上蒸发的水汽并非全部输送至大陆，有部分以降雨形式落回海面，形成海洋面上的内部水分循环。大陆上也有类似的内部小循环，并且这种陆地内部小循环在大气环流趋使下，呈连环状向内陆运动，大陆内部的内流区域具有典型的内部水分循环过程。如地处欧亚大陆中心的准葛尔盆地，其水系多为向心水系，径流全部流入沙漠，又蒸发至大气参加水分循环（如图 2-1 所示）。

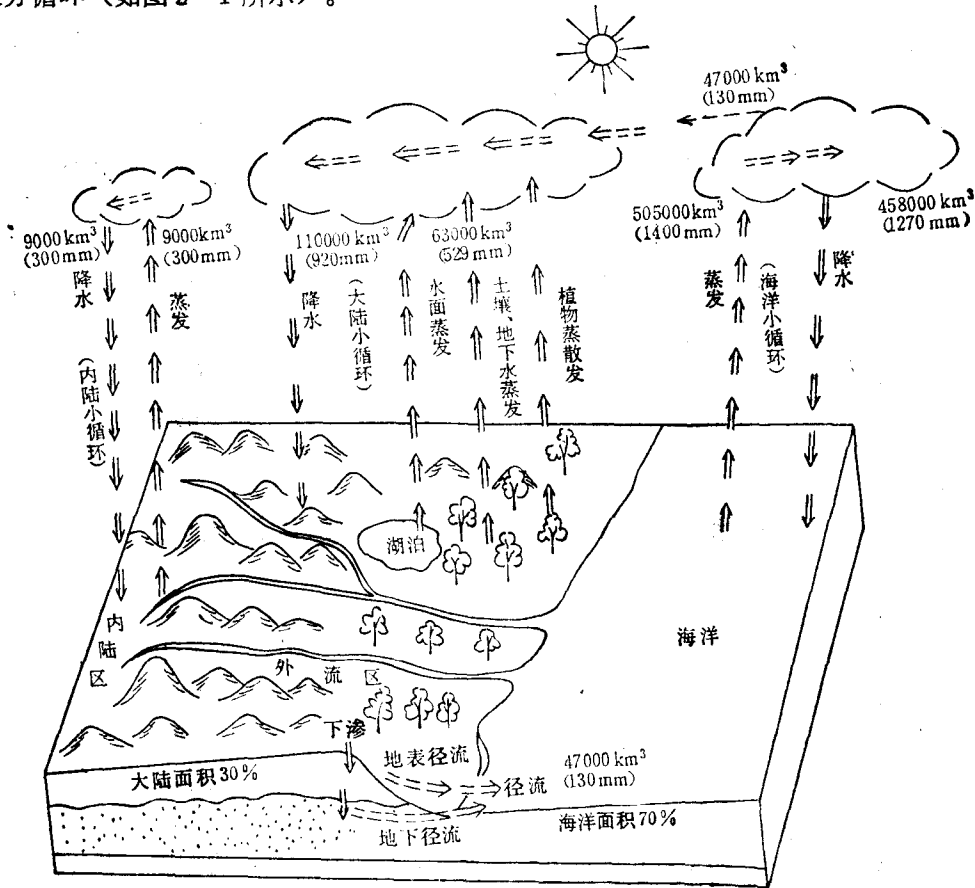


图 2-1 水分循环与水量平衡示意图

水分循环的开始是海洋，海洋水蒸发，水汽进入大气圈，然后由环流输送入大陆，这些大气圈中的水汽部分变成降水，形成了河水、湖水、冰川和地下水。部分则随着相反方向的气流回到海洋上空。河水、湖水、冰川融化的水和地下水又通过各自不同的途径返回海洋。完成了全球性的水分大循环。

由于太阳辐射随地球运动的变化，海陆分布不均及大气环流的作用，水分循环在随机性变化的同时，也呈现出周期性变化的规律。水分循环的强度和频率在时空上分布极不均匀，使问题变得错综复杂，迫使我们水分循环的各个环节进行仔细研究，以掌握水分循环的物理机制，使水资源更加有效地为人类服务。

一、水分循环的物理机制

水分循环如同一部庞大而复杂的机器运转，其主要运转过程包括太阳能的有效输入，即辐射平衡，蒸发（水体蒸发、土壤蒸发、植物散发），大气扩散和水汽输送，降水，产流和

汇流等过程。其中各部分功能不一，作用不同，但彼此影响，缺一不可，构成了一个完整的系统。

(一) 辐射平衡

辐射平衡即辐射差额，指下垫面从太阳辐射得到的净收入。地面辐射平衡的方程如下：

$$Br = (Q_s + q_c) (1 - a_0) - F$$

式中 Q_s —— 太阳直接辐射；

q_c —— 散射辐射；

a_0 —— 地面对太阳辐射的总反射率；

F —— 地面向大气的有效辐射。

从上式可以看出，当 $Br > 0$ 时，说明地面热量收入大于支出，热量有盈余，地面温度升高； $Br < 0$ 时，说明地面热量亏损，温度下降。

影响辐射差额 Br 的因子主要有昼夜长短，下垫面特性，大气中的水汽含量等。辐射差额有日变化和年变化规律，年变化规律随纬度而异，纬度越低，辐射平衡保持正值的月份越多，纬度越高，辐射平衡保持正值的月份越少。

地气系统的辐射平衡是指单位底面积垂直气柱的辐射平衡，与地面系统辐射平衡原理相同。地气系统辐射平衡指的是整个气柱从地面到大气上界地气系统所吸收的太阳辐射与从地面返回太空的长波辐射的差额。因为一般气温的水平梯度很小，所以只考虑垂直柱体内的辐射变化。地气系统辐射平衡方程如下：

$$Br = (Q_s + q_c) (1 - a_0) + q' - F'$$

式中方程右边前三项代表地面太阳辐射的收入， q' 表示大气吸收的太阳辐射量， F' 表示地气系统放出到太空的长波辐射。

地球各纬度地气系统的辐射差额，沿纬度有明显的变化，见图 2-2。从表 2-1 可以看出，地气系统的辐射差额在赤道为最大，并随纬度的增加而减少，在极地负值达到最大。

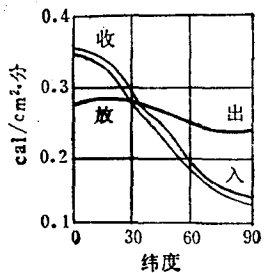


图 2-2 各纬度所吸收的太阳辐射与所放出的长波辐射的分布情况

地气系统辐射差额这种沿纬度的变化规律，同时也反映到地球气温沿纬度的变化上，但气温的水平分布却并不严格遵循纬度规律，气温的变化处在一种更加复杂的变化中。因为地球的热状况与恒定性并无明显变化，所以对全球地气系统而言，长年的总辐射差额在理论上必定为零，但应当指出，这种热状况的平衡状态，是通过蒸发潜热和湍流通量运动及热量的环流输送等物理运动过程完成的。其中蒸发潜热在地气系统的热物理过程中占有重要的作用。

表 2-1 不同纬度上收入的和放出的辐射能量 (卡/厘米²·分)

纬度	0°	20°	40°	60°	80°	90°
收入辐射	0.339	0.297	0.287	0.193	0.144	0.140
放出辐射	0.271	0.284	0.282	0.272	0.252	0.252
差 额	0.068	0.036	-0.015	-0.079	-0.108	-0.112

(二) 大气环流

大气中除了由于地球表面受热不均匀，而引起空气水平运动外，还有连续的垂直运动。这种垂直运动对水分循环起了重要影响，这里我们将给出简单的大气环流模型。

假设地球地面均匀，没有海陆影响，地球在自转，产生地转偏向力，这样，由于地面辐射的影响，从南到北形成了四个气压带：赤道低压带，副热带高压带，纬度 60° 处的低压带和极地高压，同时，在此四带之间形成了三个环流圈，赤道与纬度 30° 间有低纬度环流圈，下层是东北风，高空是西南风，低层的东北风叫信风，高空西南风叫反信风，两者界线在赤道上的高度约10公里左右，其它纬度，约在5—2公里。在纬度 30° 至 60° 之间是大范围的西风，也叫盛行西风带，高度20—25公里，上部是东风，西风带与上部的东风构成中纬度环流圈。在纬度 60° — 90° 间，高度2—4公里处，是东北风，在上部则是西南风，两者构成了极地环流圈。因而，在近地面，南北两半球各有三个风带：东北信风带，盛行西风带和极地东风带。这些风带，称行星风带（图2-3，图2-4）。

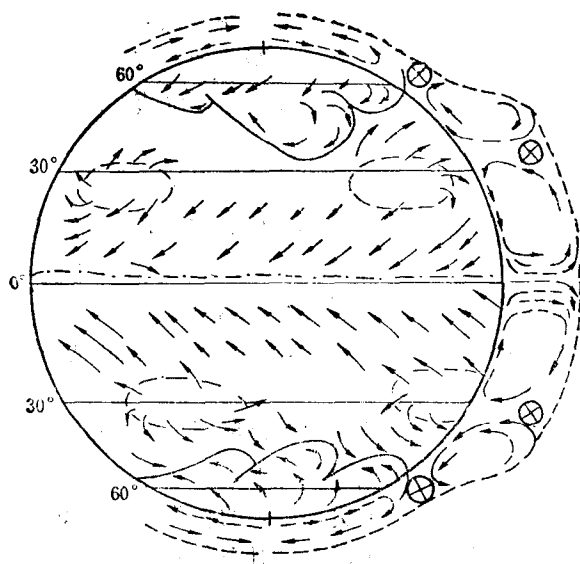


图 2-3 地球行星风带

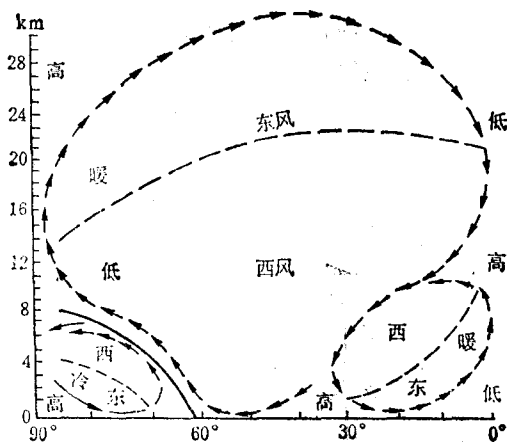


图 2-4 北半球均匀自转的大气环流

而实际上，地球上还有海陆分布，和地形的影响，使地球的气压带和环流十分复杂，由于海面增温和冷却都较陆面慢，因而使气压带的分布呈闭合的高、低气压中心。冬季形成了西伯利亚高压和北美高压，和纬度 60° 附近的阿留申低压与冰岛低压。副热带则有太平洋副热带高压和亚速尔副热带高压，热带低压则偏于赤道的南边。夏季大陆炎热，南亚热带低压和北美南部热带低压发展强大。副热带高压也很强，但 60° 纬度附近的两个低压不明显或消失，但在500百帕高空，副热带高压还是比较明显。

由于上述情况，形成了地球上地面风的分布规律和高空风分布规律，在图(2-5)和图(2-6)上可以看到地球上真实的环流的概况。

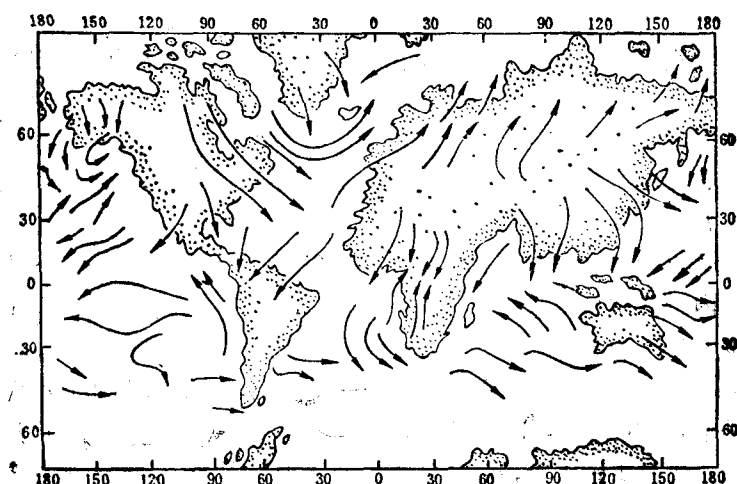


图 2-5 1月全球地面风分布 (冬季)

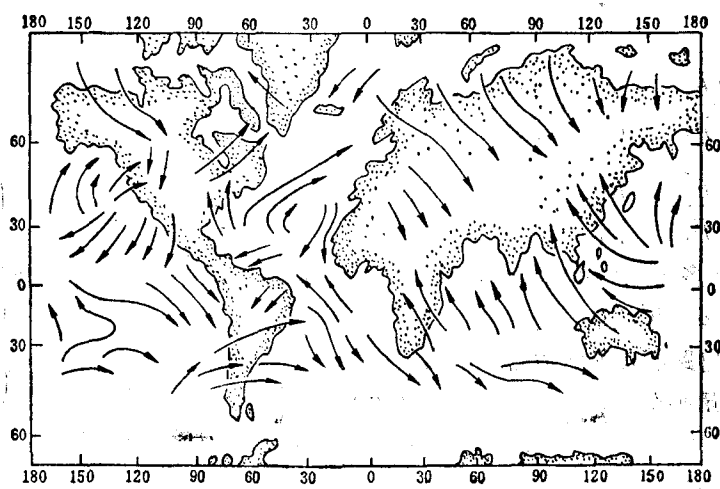


图 2-6 7月全球地面风分布 (夏季)

(三) 地形效应

在局部地方的水分循环，常常由于地形的影响使风向发生折向、绕流、涡动或扰动，使风速生成宽管效应、受阻、上坡、狭管效应、下坡等现象，改变了小循环的运动过程。

高度较高的山脉，还会影响大尺度环流的运动。如东亚大气环流，受东亚复杂地形影响，青藏高原及中亚各山脉都在5千米以上，青藏高原东西长3200公里。南北宽1500公里。当气压系统自西向东移动到到达青藏高原时，受高原影响，高原西部反气旋加强，气旋减弱，而在高原的东部气旋加强，反气旋减弱，并使西风带发生分支，形成南北两支急流，对我国西南部和江淮地区气候都发生很大影响。

在大范围的自然地理区域内，构成的大循环是在海洋和大陆径流区之间活动的。

局部地方，则由下垫面蒸发，及外来水汽形成的降水，地表径流，地下径流和再蒸发的过程构成局部小循环。