

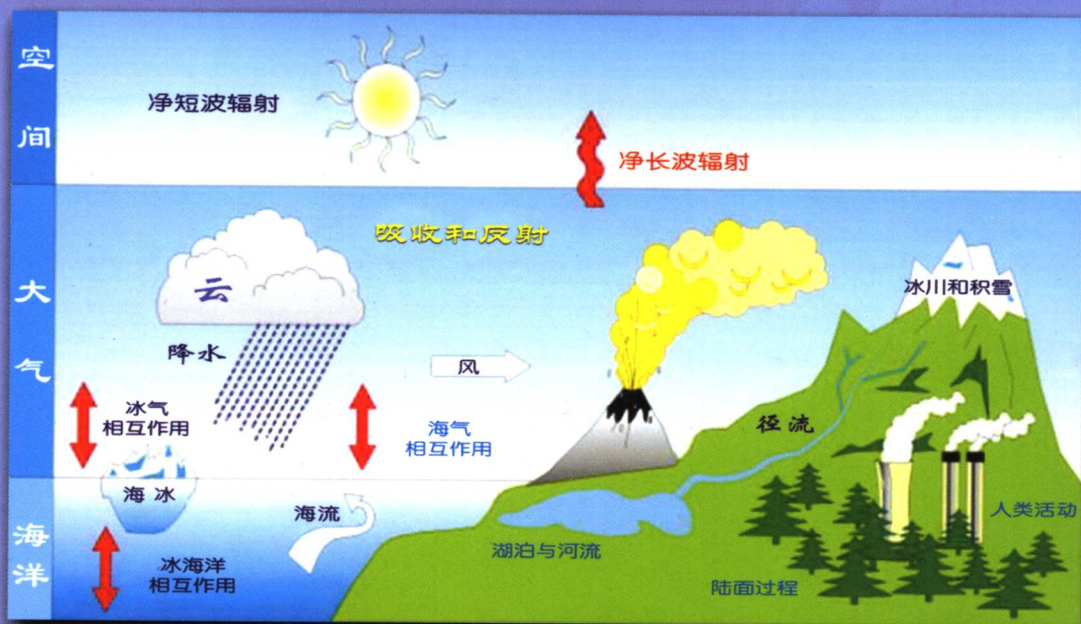
长江水利委员会

大中型水利水电工程技术丛书

水文气候预测 基础理论与应用技术

主 编 黄忠恕 金兴平

副主编 程海云 杨文发



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

长江水利委员会

大中型水利水电工程技术丛书

水文气候预测 基础理论与应用技术

主 编 黄忠恕 金兴平

副主编 程海云 杨文发



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 简 介

本书是近 40 年来长江流域长期水文气象预报（水文气候预测）业务工作和科研成果的系统总结。它是在长期天气预报（短期气候预测）的基础上，由水文与气象相结合和短、中、长期预报相结合而逐步发展起来的边缘学科和应用技术。多年来，在长江流域防汛抗旱、大中型水利水电工程施工建设、水库预报调度和水资源合理开发利用等方面发挥了重要作用。

本书的中心内容有二：其一是阐述水文气候预测的基础理论，主要有气候系统理论、气候形成的主要因素、气候变化的尺度和东亚季风等理论问题；其二是水文气候预测的应用技术，它包括长江流域水文气候基本特征和时空分布规律、影响流域旱涝气候的物理因子分析和预报应用以及水文气候预测的主要方法等应用技术。同时还对国内外长期预报发展简况和长江流域水文气象预报的实践与认识进行了分析和总结。

本书可供从事水文气候预测的工程技术人员应用以及大学相关专业的师生教学参考。

图书在版编目（CIP）数据

水文气候预测基础理论与应用技术 / 黄忠恕、金兴平
主编. —北京：中国水利水电出版社，2005

（长江水利委员会大中型水利水电工程技术丛书）

ISBN 7-5084-2570-7

I. 水... II. 黄... III. 长江流域—水文预报—研究 IV. P338

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 129480 号

书 名	长江水利委员会大中型水利水电工程技术丛书 水文气候预测基础理论与应用技术
作 者	主编 黄忠恕 金兴平 副主编 程海云 杨文发
出版 发行	中国水利水电出版社（北京市三里河路 6 号 100044） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail: sales @waterpub.com.cn
经 售	电话：（010）63202266（总机）、68331835（营销中心） 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 24.75 印张 587 千字
版 次	2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—2500 册
定 价	63.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

大中型水利水电工程技术丛书

编辑委员会

主 任 文伏波

副 主 任 郑守仁 傅秀堂 洪庆余

委 员	潘天达	王忠法	陈雪英	成昆煌	刘一是
	季昌化	郑允中	张继良	马建华	杨 淳
	夏仲平	李常发	赵纯厚	钮新强	岳中明
	郭熙灵	郭 玉	翁立达	袁达夫	徐麟祥
	宋维邦	程卫民	董学晟	季学武	陈德基
	周少林	杨甫生	魏山忠	胡甲均	史光前

秘 书 长 赵纯厚

秘 书 廖志丹 刘国利 龚国文

本书编著者名单

主 编 黄忠恕 金兴平

副主编 程海云 杨文发

章 次	作 者
第 1 章	黄忠恕
第 2 章	黄忠恕 (2.1) 沈浒英 (2.2、2.3、2.4)
第 3 章	黄忠恕
第 4 章	黄忠恕
第 5 章	黄忠恕 (5.1、5.2) 万汉生 (5.3、5.4)
第 6 章	黄忠恕 (6.1、6.3) 杨文发 (6.2) 沈浒英 万汉生 (6.4)
统 稿	黄忠恕 金兴平 程海云

总序

长江水利委员会（简称长江委）是长江流域水资源和水行政主管部门，也是我国水利水电方面一个有影响的科研设计部门。50年来，它编制和定期修订长江流域综合利用规划和长江防洪规划等专业规划，设计了三峡、丹江口、葛洲坝、乌江渡、万安、隔河岩和南水北调等大中型水利水电工程，并参与了工程施工、工程监测和调度运行管理。通过这些工程实践，长江委科技人员不仅理论联系实际地解决了许多复杂的技术难题，还积累了丰富的经验，造就了一批专家。有感于这些经验目前处于分散无系统的状态，为了使专家们的经验和智慧能集中起来，并使之系统化，力求升华为理论，使这笔知识财富长久保存、持续利用，我们在长江委领导和中国水利水电出版社的积极支持下，组织编写了这套“大中型水利水电工程技术丛书”。

本丛书是以系统总结长江委治理开发长江水资源的
工作为目的，随着治江事业的持续发展，将不定期分阶段出版。作为丛书第一批共有16本，其内容是：长江流域综合利用规划研究、工程水文与水资源评价、长江河道演变与治理、长江水利枢纽工程泥沙研究、水利水电枢纽施工技术、导流截流及围堰工程、水工混凝土温控与防裂、水工岩石力学、水库移民工程、通航建筑物、

水工金属结构、水利枢纽工程质量标准及监控、水文气候预测基础理论与应用技术、长江流域水利水电工程地质、高坝缓倾角软弱夹层地质、三峡工程与可持续发展等。这些方面是长江委多年反复研究实践的重点，且最富成果和创见的领域。本丛书将分册陆续出版，各册合在一起是一套系统的技术丛书，分开来又各自独立成书，以便从事水利水电工程技术的人士参考使用。

长江委在科研设计工作中一贯重视学习他人的经验，积极收集和研究国内外科技信息。借本丛书出版之机，特将世界江河与大坝的有关资料整理出版，作为一本综合性的工具书以飨读者。

本丛书为应用技术类图书，它是实践经验的系统总结，是理论与实践结合的结晶。它既不同于教科书，也不同于论文集。我们希望这套丛书的出版将有助于促进我国大中型水利水电工程技术的发展。本丛书可作为从事水利水电工程的科技工作者的工具书，也可作为年轻的水利水电工作者和学生的学习参考书，以帮助新一代水利水电科技专家的成长。

在我们几十年的实践中，不断学习和融会了国内许多专家的智慧和经验。在成书之际，谨向他们表示崇高的敬意和衷心的感谢！

长江水利委员会技术委员会

2003年10月

前言

水文气候预测是在长期天气预报的基础之上,由水文预报与气象预报相结合而发展起来的一门边缘学科。它根据气候变化和旱涝规律以及流域水文特性,分析影响大气环流和水文要素的物理因素,结合采用数理统计等方法,预测未来月、季的旱涝趋势和流域降水量及主要水文站的水位、流量变化。

在我国水利事业家林一山主持长江流域水利事业期间,基于战胜 1954 年大洪水的实践,倡导水文与气象相结合的洪水预报方法,长江水利委员会于 20 世纪 60 年代初在全国首先开创水文气象预报业务,并由短期水文气象预报扩展至中长期水文气象预报,逐渐形成短、中、长期水文气象预报相结合的业务体系。70 年代以后,全国其他各大流域水利机构和一些省市水利部门也相继开展了长期水文气象预报业务,以满足防汛抗旱和水资源管理、水库运行调度的需要。

近 40 年来,无论是气象部门的长期天气预报还是水利部门的长期水文气象预报,都取得长足的发展,预报业务范围逐步延伸,预报准确率明显提高,学科研究逐步深入。在长江委各级领导的重视下,经过水文气象预报科技人员的共同努力,并得到气象部门、科研单位和大专院校的广泛协作支持,长江流域的长期水文气象预

报发展尤为迅速，大致经历了 20 世纪 60 年代的试验研究，70 年代的业务建设，80 年代的大发展和 90 年代的现代化建设等几个重大发展阶段，在水利系统乃至全国的长期预报业务领域中产生积极影响。现在，水文气象预报已不仅仅限于提高水文预报准确率，延长预见期和防汛抗旱的参谋、耳目作用，还在大型水利水电工程建设、水库预报调度和水资源合理开发利用等方面日益发挥其重要作用。

在文伏波院士的倡导下，并得到长江委水文局领导的积极支持，由水文气象预报老专家带领青年高级预报人员共同编写本书，对近 40 年来长江委的水文气候预测业务和科研成就进行全面系统的总结，为今后的进一步发展提供历史借鉴和有益的参考。

近年来，随着对全球气候变暖和气候灾害关注的加强，气候科学研究已成为世界气象组织（WMO）开展国际协作的重点课题之一。气候系统理论的提出，更促使人们认识到长期天气预报和长期水文气象预报实质上都属于气候学问题。中国气象局气候中心的建立并将传统的长期天气预报更名为短期气候预测，标志着一种科学认识上的进步。而在水文气象科学领域也提出了相应的水文气候概念。在酝酿编写本书时还注意到我国著名气象学家、中科院院士叶笃正最近提出“长期预报问题是科学加技巧”的见解，故本书定名为《水文气候预测基础理论与应用技术》。全书共 6 章。

第 1 章水文气候预测概论，分别概述了气候概念的认识过程、气候学的发展简况和从长期天气预报到短期气候预测的演变历程，以及水文气候概念的提出和从长期水文气象预报到水文气候预测的必然趋势。第 2 章气候形成和气候变化理论，简要论述了气候系统理论、影响气候的四类因子、气候变化的尺度和东亚季风气候特征与我国旱涝变化关系等理论研究成果。第 3 章长江流域水文气候概况，包含的内容广泛，主要有长江流域的季风气候、降水时空分布、暴雨洪水特性、区域水文气候特征、旱涝灾害和旱涝气候时空变化规律等分析研究成果，其中绝大部分内容是包括本书编著者在内的长江委水文局水文气候预测工作者近 40 年来的工作总结，同时还概括了近年来“长江流域水旱灾害”专著和《长江志》“自然灾害”篇中的流域旱涝灾害历史资料和时空分布规律分析成果。第 4 章影响长江流域旱涝的重要物理因素，系统介绍了国内外有关气候物理因素的研究成果，并总结了长江委水文局多年来在水文气候预测方面的科研成果和实际应用经验，集中了近 40 年来长江流域水文

气候预测的理论研究和实践经验。第5章水文气候预测的主要分析方法,将当前仍然是主要预测手段的数理统计方法归纳为时空演变分析方法和相关因子分析方法两大类,分别介绍了一些常用的预测方法,着重分析了这些方法的优点和缺点,另外还扼要介绍了统计—动力方法和动力模式方法两种先进的长期预报方法。第6章长江流域水文气象预报的实践与认识,总结了40年来在林一山水文与气象相结合和短、中、长期预报相结合思想的指导下,长江委的水文气象预报事业取得的成就和体验,以及今后的展望。

本书的中心内容有二:其一是水文气候预测的基础理论;其二是水文气候预测的应用技术。总之,本书是长江水利委员会近40年来关于长期水文气象预报(水文气候预测)工作的第一次全面系统的总结,它对长江流域和全国大江大河的水文气候预测工作一定会有所裨益,这是编写本书的主要目的。

本书的问世,首先承蒙文伏波院士的推荐及长江委技术委员会和水文局的大力支持,同时还得益于文伏波、洪庆余、潘天达、韩承荣、季学武、岳中明、陈金荣、王俊、刘一是、赵纯厚、郭一兵、罗钟毓、张有芷、葛守西等专家审稿和提出许多宝贵的修改意见。另外,本书在编写过程中,还得到水文气象预报处在人力和物力方面的支持,袁菊华承担了书稿的电子编排和制图工作。在此一并致谢。

编 者

2004年11月

目录

总 序

前 言

1 水文气候预测概论	1
1.1 对气候的认识与气候学的发展	1
1.2 长期天气预报和短期气候预测的发展	8
1.3 水文气候概念的提出	17
1.4 我国长期水文气象预报和水文气候预测的发展	19
2 气候形成和气候变化理论	21
2.1 气候系统理论	21
2.2 气候形成的主要因素	27
2.3 气候变化的主要尺度	32
2.4 东亚季风气候	42
3 长江流域水文气候概况	55
3.1 季风气候特征	55
3.2 降水时空分布	66
3.3 暴雨洪水特性	84
3.4 区域水文气候特征	92
3.5 洪涝与干旱特征	101
3.6 长江水旱灾害和气候变化	117
4 影响长江流域旱涝的重要物理因素	143
4.1 大气环流的季节特征与长江旱涝变化	143
4.2 海洋——大气关系与长江流域旱涝变化	173
4.3 陆地——大气关系与长江流域旱涝变化	210
4.4 冰雪覆盖——大气关系与长江旱涝变化	233
4.5 日地关系与长江旱涝变化	258
4.6 地球物理因素对气候变化的影响	283
4.7 人类活动对气候变化的影响	289
5 水文气候预测的主要分析方法	295
5.1 预测方法的主要类型及其发展	295

5.2 时空演变分析方法	297
5.3 相关因子分析方法	329
5.4 动力模式方法和统计—动力方法	341
6 长江流域水文气象预报的实践与认识	344
6.1 水文与气象和短中长期预报相结合	344
6.2 短期水文气象预报的建立、应用和发展	345
6.3 中长期水文气象预报业务的开拓与进展	351
6.4 中长期水文气象预报的评价与分析	366
主要参考文献及参考资料	382

水文气候预测概论

1.1 对气候的认识与气候学的发展

由于气候等自然环境和人类活动有密切关系，尤其是对农业生产有着决定性的影响，我国劳动人民对气候的认识具有悠久的历史，早在远古时代中华先辈就对气候有了较深入的认识。“二分”（春分和秋分）、“二至”（夏至和冬至）记载见于《尚书》，“二十四节气”见于《吕氏春秋》，“七十二候”见于《逸周书》。因此，先人早在 2000 多年前就将一年分为二十四节气，七十二候，五日为一候。这是今日“气候”二字的由来，也是先人对近代气象学家称之为“东亚季风气候”的深刻认识。除了对正常情况下季风气候的年变化过程外，同时还对气候变化原因、气候异常、周期演变现象乃至区域性气候变化等都有较全面的概括，这些气候知识的珍贵遗产，至今仍有重要的现实意义。

1.1.1 气候学的发展和进步

无论是我国或世界其他文明古国，古代对气候的知识主要来源于感性的、直观的和经验性的认识，并带有浓厚的臆测性质。因此，可以说在古代尚不存在现代意义上的气候学。由于现代观测仪器在 17 世纪上半叶陆续产生，许多重要的气象规律在 17 世纪下半叶至 18 世纪被相继发现，并从 18 世纪开始形成气象观测网，气象资料逐步积累和丰富。至 19 世纪中叶气候学才正式脱胎于地理科学，它的早期研究和学科创立是由地理学家而不是气象学家来完成的。100 多年来，气候学的发展和进步反映在许多方面，例如：气候概念的认识，气候分类方法，气候变化事实和规律的分析，气候形成理论研究，气候与人类的关系，应用气候学科的发展，人类影响气候和气候的可预报性探讨等。气候学在上述各方面的发展大多数都与本书要总结和阐述的中心议题——水文气候预测直接或间接相关。当然，不可能也无必要将这些问题都放在一起讨论。在此，首先概述对气候概念认识上的发展和进步，其他方面的问题在以后的相关章节再分别讨论。

概括地说，气候概念认识上的发展大致经历了古典气候学、近代气候学和当代气候学三个发展阶段。

1.1.1.1 古典气候学

在权威的气候学论著中，多数学者认为气候学是由德国地理学家洪堡德（Humboldt, 1769~1859）、韩恩（Hann, 1839~1921）、柯本（Köppen, 1846~1940）等人于 19 世纪中叶先后创立的。洪堡德认为气候是人类能够感知的大气现象的总体。这种认识在很大程

度上是受地理学以人类为中心的研究方法的影响,使得原本很广泛的气候问题受到很大的局限性。韩恩则认为,气候是地球上各处大气平均状态的总称。与此类似的认识,还有人认为气候是某一地点天气的平均状态或总和。上述气候认识的影响非常深远,一直沿用至今,形成了以各种气候要素的月、季、年和多年平均值为基础而建立起来的所谓古典气候学,为简明起见,可称之为“平均值气候学”或“平均气候学”。同时,古典气候学,“平均值气候学”或“平均气候学”也是以往称之为长期天气预报和长期水文气象预报,而现在改称短期气候预测和本书称之为水文气候预测的基础科学。

1.1.1.2 近代气候学

我国气候学的基础是由竺可桢建立的。他最早提出气候学论文“中国之雨量和风暴说”(1916),以后他又在台风、季风、区域气候、农业气候、物候学和气候变迁等方面作过大量研究工作,提出许多论文和专著,对于气候分支学科和我国近代气候学都具有开创意义。我国气候学的研究主要集中在天气气候学、大气环流、气候统计方法和气候变迁等方面。在天气气候学方面,以大气环流、气团、锋面、气旋、台风和东亚季风等问题为中心,取得了丰富的成果;竺可桢(1934)、涂长望(1937和1939)以及赵九章(1937和1949)等先后对大气环流问题提出了许多研究成果,20世纪50年代以后,顾震潮、叶笃正、谢义炳、陶诗言、黄仕松、高由禧、徐淑英和朱抱真等都有相关的论文和专著。关于中国气团问题,赵九章(1935)、涂长望(1938)和张炳辰(1949)等都作过研究;关于锋面活动问题,涂长望(1937)、么枕生(1939)、朱炳海(1945)和程纯枢(1949)等进行过分析;关于气旋活动,沈孝凰(1931)、么枕生(1939)、卢鋈(1943)和朱炳海(1944)等作过研究,以后陶诗言、顾震潮和谢义炳等也进行过研究;关于台风问题,李宪之最早进行过台风理论研究,以后陈联寿等出版了台风专著和众多的分析论文;关于东亚季风问题,高由禧、徐淑英和陈隆勋等都发表过论文和专著;在气候统计方法方面,张宝堃(1934)曾统计过中国的四季分配,吕炯(1938)曾作过逐候气温的年变化和北太平洋海水温度的分析,涂长望(1936~1942)曾用统计方法研究过大气环流与长期预报问题,程纯枢与朱岚崑(1947)、么枕生(1951)曾作过温度的谐波分析,么枕生和丁裕国先后编著有《气候统计》,黄忠恕(1983)著有《波谱分析方法及其在水文气象学中的应用》专著,黄嘉佑和李黄(1984)编著了《气象中的谱分析》;在气候变化方面的分析和研究成果极为丰富,以竺可桢(1972)提出的《中国近5000年来气候变迁的初步研究》概括了以往众多的研究成果,全面和系统地描绘了我国5000年气候变化轮廓,具有承上启下的作用。此外,李宪之(1957)、陈世训(1958)、么枕生(1959)和张家诚、林之光(1985)等先后著有《气候学》、《中国气候》和《气候学原理》。以上众多的气候研究工作和成果为继承古典气候学和开拓近代气候学发挥了重要作用。

第二次世界大战后,随着气象观测手段的不断完善,观测资料的不断丰富,天气气候学和数理统计方法的发展,逐渐暴露出以平均值为基础的古典气候学所存在的问题和不足。古典气候学中所谓的大气平均状态或天气的平均状态,是一个高度概括起来的概念。但是,问题在于由各种气候要素的月季年平均值组成的气候概念往往不能准确反映实际的天气气候情况,平均值并不一定就是最频值,它的代表性也成了问题;另一个问题是随着时间长短变化,气候要素的平均值也在发生变化,因而20世纪50年代在气候学界曾着重

研究各种气候要素平均值最有代表性的时间长度问题,但收效不大,因为年月本身都是人为的机械期限。因此,福隆(Flohn, 1954)等人提出不承认所谓平均状态的看法,在某种程度上是有道理的。

20世纪中叶出现的近代气候学是建立在动力气候学、统计气候学和天气气候学的基础上的,近代气候学对气候概念的认识可以简要概括为气候是大气环流和天气状况的统计特征,因此也可称之为“统计气候学”。随之,大量的气候统计方法也被应用在短期气候预测和水文气候预测的学科领域之中。在近代气候学中,气候的概念已具有了很大的现实性和进步,气候研究成果的应用性逐步扩大。但是,我们并不能就此认为古典气候学是陈旧的或衰老的,而近代气候学是新的和可以完全代替古典气候学。应当把“平均气候学”和“统计气候学”看成为代表着气候属性的两个方面,两者的结合才能完整地反映气候。因此,近代气候学诚然有许多研究课题,而古典气候学也依然有不少值得研究的问题。应当指出,在短期气候预测和水文气候预测的研究和应用中,从未将两者截然分开。

1.1.1.3 当代气候学

20世纪60年代以后,随着气候科学的发展和世界气象组织(WMO)全球大气研究计划(GARP)的实施,人们对大尺度大气过程和气候过程的认识不断加深,特别是对于月和年以上时间尺度的气候问题,仅仅考虑大气环流自身是远远不够的。因此,在长期天气预报中,逐步开展了对诸如太阳活动、行星引潮力变化、火山爆发、海洋和大陆表层冷暖变化、极地冰雪覆盖以及地球自转速度、地极移动等因素对气候变化影响的研究和在预报中的应用。认识到大尺度大气过程和气候过程在本质上是非绝热过程,它同上述的各种因素之间有着密切的热量交换和力的作用,它们是一个相互作用、相互影响的复杂系统。

1974年,根据世界气象组织和国际科联(ICSU)的全球大气研究计划联合组织委员会的建议,在联合国环境署(UNEP)的支持下,在瑞典斯德哥尔摩召开了气候物理基础和气候模拟国际会议,在这次会议上首次提出了“气候系统”的概念,会议的总结报告中指出:“在了解地球气候的形成和它的变化机制中,我们面对一个极其复杂的物理系统,这个系统不仅包含着我们比较熟悉的大气行为,而且还包含我们了解不多的世界海洋、冰体和陆地表面各种各样的变化。除了物理过程以外,还有复杂的化学、生物过程影响着气候,也影响着地球上人类和其他有生命的世界,这些过程在各种不同的时间和空间尺度上有着复杂的相互作用,并构成一个耦合的气候系统”。

气候系统概念是当代气候学的重要理论基础,因此也可以将当代气候学称为“系统气候学”或“广义气候学”,它较之近代气候学又前进了一大步。

1.1.2 气候资源与气候灾害

对气候认识的进步除气候概念的发展变化以外,其次就是对气候资源与气候灾害两重性的认识。从哲学的观点来认识世界,任何事物都具有正反两重性。气候的两重性突出表现在既有可资利用和造福于人类,被称之为气候资源的一面,同时还有全社会必须大力防患,被称之为气候灾害的另一面。短期气候预测和水文气候预测乃是充分利用其资源性和防患其灾害性的诸多有力措施之一。因此,加深对气候资源与气候灾害两重性的认识,对于水文气候预测工作也是必要的和有益的。

1.1.2.1 气候资源

人类的生存和发展与气候息息相关,气候对人类来说既是一种环境因素,又是一种自然资源。气候资源分布十分广泛,蕴藏量巨大。从日本《现代化学》杂志 1980 年第 5 期提供的一张自然能谱图(见图 1-1)来看,绝大部分自然能源都与气候相关联,且能量巨大,它们属于气候资源的一部分。下面仅就地球最大的太阳辐射光热资源以及与水文气候关系密切的水资源作一概述。

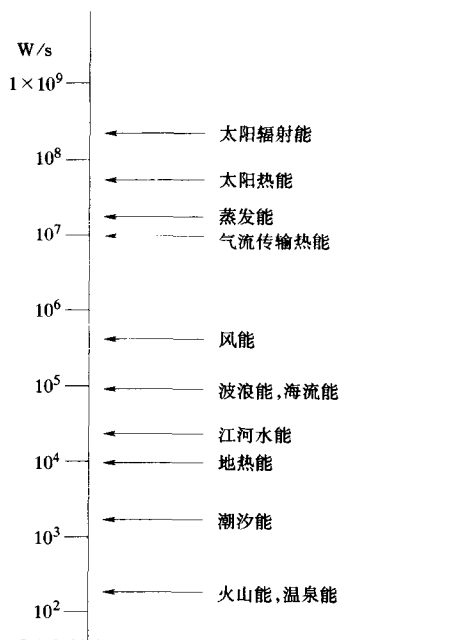


图 1-1 自然能谱图 (引自文献 [9])

(1) 光热资源。地球外围的大气圈和地球表层的陆地圈、水圈、冰雪圈和生物圈都是处于不停运动和变化状态,其能量源泉都是太阳辐射能。太阳辐射是气候资源的最原始形态,通过各种气候过程,它又转换为水资源、热能和风能等其他气候资源。

太阳总辐射能包括直接辐射和散射辐射两种形式。直接辐射是太阳总辐射穿过大气层到达地球表面的那一部分能量,其年总量约 $339 \times 10^{15} \text{J}$, 约占太阳总辐射能量的 47%; 散射辐射是太阳辐射通过云层和大气中的水汽、气溶胶和气体分子散射到达地球表面的另一部分能量,其年总量约 $381 \times 10^{15} \text{J}$, 约占太阳总辐射能量的 53%。无论是太阳总辐射、直接辐射或散射能量的大小都与地理纬度、海拔高度、云量和湿度等气候因素密切相关。在干旱少云地区,直接辐射大于散射辐射;在湿润多云地区,散射辐射多于直接辐射;在纬度低海拔高的地区太阳总辐射大于纬度高海拔低的地区。

我国各地区的太阳年总辐射量在 33 亿~83 亿 J/m^2 之间,其地区分布与年降雨量相反,呈东南少、西北多趋势,全国年总量平均值 60 亿 J/m^2 的等值线从内蒙古东部斜向西南至青藏高原东侧,将全国分为西多东少两大部分。西半部年值 60 亿~83 亿 J/m^2 , 呈南高北低分布,其南部青藏高原纬度低、海拔高、云量少、日照多,成为我国太阳年总辐射量最高的地区,大多在 70 亿 J/m^2 以上;东半部年值在 33 亿~60 亿 J/m^2 , 阴雨多、日照少的川、黔地区为我国年总辐射量最低地区,年值在 40 亿 J/m^2 以下,长江中下游地区为 40 亿~50 亿 J/m^2 , 低于华北地区,呈北高南低形势。

全国各地太阳总辐射量都有明显的季节变化,一般是夏季最多,冬季最少,春季略高于秋季。各地的月总辐射量最大值一般出现在 5~8 月,西北干燥地区为 6 月,长江中下游为 7 月;月总辐射量最小值多数出现在 12 月。春季(4 月),我国东部地区约为 10 亿~18 亿 J/m^2 , 从南向北随纬度而增加,在长江中下游和珠江流域之间,由于春雨集中而出现总辐射能的低值中心。夏季(7 月),分布趋势为西部多于东部,南部高于北部,青藏高原约为 20 亿~25 亿 J/m^2 , 东北地区约 15 亿~20 亿 J/m^2 。秋季(10 月),低值中心

在被称为“华西秋雨”中心区的四川盆地，月总辐射值不足 8 亿 J/m^2 ，高值中心在青藏高原地区，高达 21 亿 J/m^2 。冬季（1月），呈南高北低分布趋势，但川黔地区仍是低值中心区，月值低于 5 亿 J/m^2 。

我国太阳辐射能和水热同季分配的特点对农业生产非常有利，特别是太阳能的高值时段出现在夏季对农作物生长十分重要，作物生长旺季的5~8月总辐射量约占全年的40%~50%，其南北地区分布比较均匀。

（2）水资源。全球水资源包括大气水、地表水和地下水三部分，其中大气水是人类利用的最基本的水资源，也是陆地上水资源的根本来源。大气水以液态水（降雨）和固态水（降雪和冰雹）的形式降落到地面，中低纬度地区以降雨为主，高纬和高寒山地以降雪为主，总体上说，全球以降雨占主要；地表水又包括陆地河川径流，湖泊、水库、洼地水和海洋水，从全球来看，海洋水资源占绝大部分；地下水又包括表层土壤水和深层地下水，农作物和其他植物的需水量主要来自土壤水，而干旱地区的地下水资源主要是深层地下水。

水资源在时间和空间上的变化是通过“水分循环”的方式进行的。全球水分循环可分为两个内循环（或小循环）和一个外循环（或大循环），两个内循环分别为陆地降水与蒸发循环和海洋降水与蒸发循环系统，即陆地水分循环和海洋水分循环。但是，从全球来看，陆地水分循环中的降水量远大于其蒸发量，而海洋水分循环的蒸发量远大于其降水量，海、陆内循环中的水分盈亏又通过陆地向海洋的径流和海洋向陆地的水汽输送来补偿和调节，从而构成由陆地降水赢余—河川径流—海洋蒸发亏损—海洋向陆地水汽输送组成的海陆间的水分外循环（详见图1-2）。水分循环是构成地球上各地千姿百态天气气候变化的重要因素。

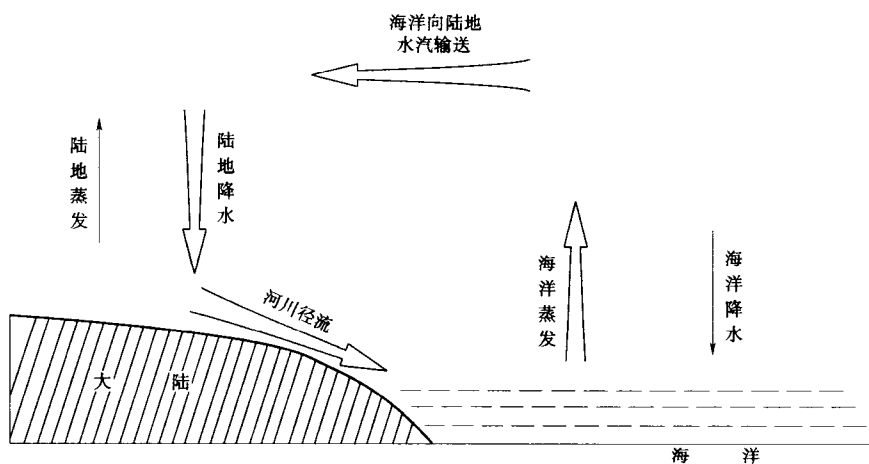


图 1-2 水分循环示意图

图中单箭头表示内循环、双箭头为外循环

1.1.2.2 气候资源特性

人类可以利用的气候资源，同时又是人类赖以生存的自然环境。一方面，气候资源的