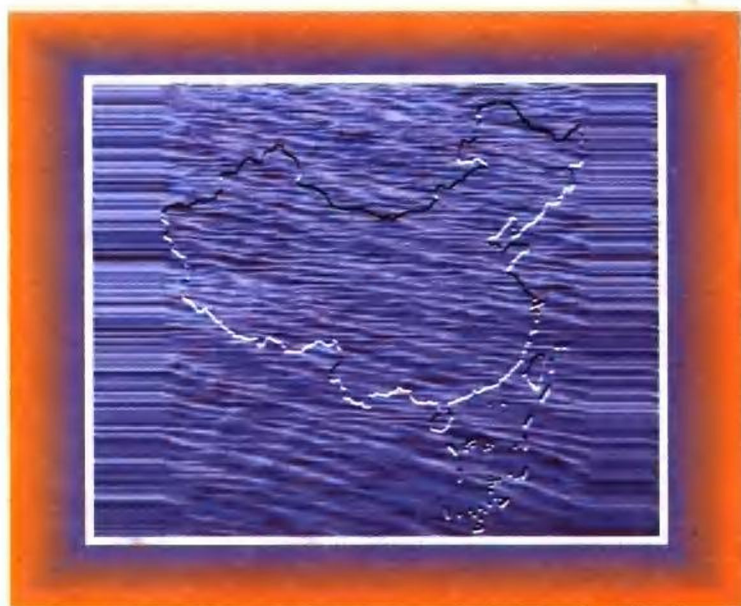
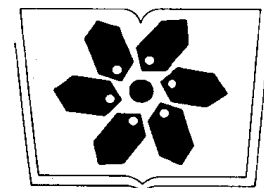


# 中国河流水文

汤奇成 熊 怡 等著



科学出版社



中国科学院科学出版基金资助出版

# 中国河流水文

汤奇成 熊 怡 等著

科学出版社

1998

## 内 容 简 介

本书是继《中国自然地理·地表水》之后,又一部总结中国河流水文特征的专著。全书按气候带将中国河流水文划分为6个不同地区,从自然地理环境对河流水文的影响、流域水量平衡要素分析、不同下垫面对河流水文的影响、洪水及洪涝灾害、人类活动对河流水文的影响,以及水资源开发利用等方面,作了较深入地分析研究;同时,对中国二条最大的河流——长江与黄河作了专门的阐述。

本书总结了作者近年来的研究成果,观点新颖,论据充分,对于从事地理、水文水资源、环境等领域的科研、生产和教学人员具有参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国河流水文/汤奇成等著. —北京:科学出版社,1998. 10

ISBN 7-03-006128-4

I. 中… II. 汤… III. 河流-区域水文学-中国 IV. P344.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 13627 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1998 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1998 年 1 月第一次印刷 印张: 10 3/4

印数: 1—800

字数: 242 000

定价: 25.00 元

# 前 言

中国是世界上河流众多的国家。据估算,流域面积大于 $100\text{km}^2$ 的河流,全国有50 000多条;流域面积大于 $1\,000\text{km}^2$ 的河流有1 500多条。河流是地理景观中最活跃的要素之一。河流是气候等自然地理因素加上人类活动影响的产物,它在地表物质的迁移与海陆间水循环中起着重要的作用。

河川径流资源是中国水资源最重要的组成部分,且蕴藏着丰富的水能资源,还提供了航运等条件。但是“水能载舟,亦能覆舟”。河流所形成的洪水灾害,直至今日仍然是中国最主要的自然灾害之一。

随着国民经济的持续发展,对中国河流水文特性的认识日益迫切。早在1980年,许多科学家就曾提出要将中国河流水文列入著作的计划,但由于种种原因,一直未能实现。如今展现在读者面前的《中国河流水文》,是我们多年来辛勤耕耘的结果,它是一本以中国为特定区域的河流水文专著。

近年来,区域性水文水资源的研究工作不断地得到加强。本书就是在系统总结已有河流水文,特别是近期各种成果的基础上编写而成,是继《中国自然地理·地表水》一书之后,专门研究河流水文特征的专著。其主要特点是:

(1) 我国河流众多,我们不可能也无必要逐条进行分析,而是按气候带将中国河流分为6个地区,寻求各区的河流水文特性。

(2) 着重于作者近年来研究成果的总结,而不是面面俱到的阐述。一般的情况可参考其他有关的书籍。

(3) 某些对河流水文情势有重大影响的非地带性因素,如喀斯特、黄土等,分别在各章节中作了较详细的研究。

(4) 对中国最大的河流——长江和黄河,由于它们跨越了几个气候带,因此按流域作了专门的分析。

(5) 除了河流水文规律性的研究外,还结合气候变化、洪涝灾害、环境保护、水资源开发利用的潜力、可持续发展等问题作了相应阐述。

作为区域水文的研究,本书在分析河流水文的同时,也必然要在有关章节中涉及到其他地表水体以及有关自然地理的情况。

本书各章编写人员为:

前 言 汤奇成

第一章 许炯心

第二章 熊 怡

第三章 李秀云

第四章 汤奇成

第五章 许炯心

第六章 汤奇成

第七章 汤奇成

第八章 赵楚年

第九章 尤联元

第十章 付国斌

全书由汤奇成、熊怡汇总修改,汤奇成定稿。

在编写过程中,得到中国科学院石家庄农业现代化研究所所长刘昌明院士及南京大学杨戊教授的帮助。吴三保编审为本书的出版作出了巨大努力。在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,加之时间仓促,有些问题研究得还不够深透,难免有错误和不足之处,请广大读者不吝指教。

作者

1997年3月

# 目 录

## 前言

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| <b>第一章 中国河流水文形成的地理环境</b> .....       | (1)  |
| 第一节 河流水文与地理环境的关系.....                | (1)  |
| 第二节 气候因子对河流水文的影响.....                | (2)  |
| 第三节 下垫面因子对河流水文的影响.....               | (7)  |
| 第四节 中国河流水文的地带性分布特征 .....             | (11) |
| 第五节 人类活动对河流水文的影响 .....               | (15) |
| <b>第二章 按气候带划分中国河流水文区的原则与方法</b> ..... | (20) |
| 第一节 划分的原则与方法 .....                   | (20) |
| 第二节 本书的分区方法与其他分区方法比较 .....           | (24) |
| <b>第三章 湿润热带地区的河流水文</b> .....         | (29) |
| 第一节 自然地理概况 .....                     | (29) |
| 第二节 河流水文特征 .....                     | (30) |
| 第三节 台湾岛与海南岛的河流水文比较研究 .....           | (32) |
| <b>第四章 湿润亚热带地区的河流水文</b> .....        | (38) |
| 第一节 自然地理特征 .....                     | (38) |
| 第二节 水文的基本特征 .....                    | (39) |
| 第三节 喀斯特水文 .....                      | (42) |
| 第四节 区域水文特征 .....                     | (49) |
| <b>第五章 半湿润温带及暖温带地区的河流水文</b> .....    | (53) |
| 第一节 自然地理及河流水文特征概述 .....              | (53) |
| 第二节 半湿润地区平原水文的形成与特征 .....            | (56) |
| 第三节 旱涝灾害的水文分析 .....                  | (59) |
| 第四节 黄河变迁对平原水系的影响及其水文效应 .....         | (61) |
| 第五节 人类活动对平原河流的影响及水环境的变化 .....        | (65) |
| <b>第六章 半干旱地区的河流及湖泊水文</b> .....       | (71) |
| 第一节 自然地理环境与水文网的发育 .....              | (71) |
| 第二节 河流水文的基本特征 .....                  | (72) |
| 第三节 岱海的水量平衡及水质 .....                 | (79) |
| <b>第七章 干旱地区的河流水文</b> .....           | (87) |
| 第一节 自然地理特点及其对河流水文的影响 .....           | (88) |
| 第二节 干旱地区水量平衡要素特征 .....               | (89) |

|               |                            |              |
|---------------|----------------------------|--------------|
| 第三节           | 年径流的特征研究 .....             | (94)         |
| 第四节           | 洪水及洪水灾害 .....              | (98)         |
| 第五节           | 河流类型的初步研究 .....            | (101)        |
| 第六节           | 水文区划 .....                 | (106)        |
| <b>第八章</b>    | <b>青藏高原高寒地区的河流水文 .....</b> | <b>(111)</b> |
| 第一节           | 独特的自然环境 .....              | (111)        |
| 第二节           | 湖泊与水系 .....                | (113)        |
| 第三节           | 河流水文特征 .....               | (115)        |
| 第四节           | 青藏高原水资源及其利用 .....          | (119)        |
| <b>第九章</b>    | <b>长江流域水文 .....</b>        | <b>(121)</b> |
| 第一节           | 流域基本情况 .....               | (121)        |
| 第二节           | 水平衡要素分析 .....              | (124)        |
| 第三节           | 不同自然景观条件下的河流水文特征 .....     | (129)        |
| 第四节           | 洪涝灾害及其防治 .....             | (135)        |
| 第五节           | 水资源开发利用现状及潜力 .....         | (137)        |
| 第六节           | 三峡工程和南水北调问题 .....          | (139)        |
| <b>第十章</b>    | <b>黄河流域水文 .....</b>        | <b>(143)</b> |
| 第一节           | 黄河流域的发育及环境特征 .....         | (143)        |
| 第二节           | 黄河流域的水文特征 .....            | (145)        |
| 第三节           | 人类活动对黄河流域水文情势的影响 .....     | (155)        |
| <b>主要参考文献</b> | <b>.....</b>               | <b>(161)</b> |

# 第一章 中国河流水文形成的地理环境

## 第一节 河流水文与地理环境的关系

河流是地球系统中最重要、最活跃的组成部分之一,无论在自然地理系统还是在人地关系系统中,河流都扮演着举足轻重的角色。地球系统由地圈、水圈、大气圈、生物圈和人类圈所组成,各圈层之间进行着复杂、广泛的物质迁移、能量传输和信息传递过程。河流是水圈中最活跃的因子,是实现地表物质迁移最重要的载体与动力条件。全球河流的河槽水容量虽然只有  $1\,200\text{km}^3$ ,在全球水量平衡  $52\text{万 km}^3$  中所占的份额只有  $0.23\%$ ,但它处于无休止的运动之中,使得全球河流年径流总量达  $38\,000\text{km}^3$ ,每 12 天就可以交替一次,因而河流在全球水循环中所起的巨大作用是不容低估的。水循环按运动的方式可以分为两种类型:一是垂直运动,如大气降水和陆面、海面的蒸发;一是水平运动,主要表现为河水的流动。通过后者实现水在地球表面的再分配,从而也实现了泥沙与溶解性物质从一个区域向另一个区域的传输,这在地球系统的分异与演化中,在地球物质平衡的维持中,起着特殊重要的作用。降落于地表的水分,经河流的作用而排泄入海,海洋的水量因蒸发而减少的部分,又由入海径流的流入而得到补偿,从而实现了陆地与海洋之间的水量平衡。

自然地理环境中进行着各种各样的过程,概括起来有三种,即物理过程、化学过程与生物过程。河流径流的产生与汇集,地表物质的侵蚀、搬运与沉积,是地理环境中物理过程的重要表现形式。而各种化学元素的释放、迁移与再沉积,离开了地下水与地表水的作用是无法进行的。河流本身便是一种水生生物环境,其中进行着丰富多样的生物学过程;河流中携带的营养物质与泥沙注入湖泊与海洋,对于其中生物群落的状况与演化,有着深刻的影响。

河流是地表形态的主要塑造者,在它将巨量的径流与泥沙输移入海的同时,塑造着自身的河床形态,而且还通过水系与河谷的形成和演变,塑造着陆地表面的各种流水地貌形态。河流及流水侵蚀与堆积作用是成土循环的重要动力因素,对风化与成土过程起着控制作用。河流冲积物本身便是一种广泛分布的、最重要的成土母质,平原地区土壤的形成与分布,往往与河流的作用密切相关。河流与生物环境之间也有着不可分割的联系。河流及与之相联系的湖泊,为鱼类、藻类等水生动植物的栖息、生长与繁衍,提供了最重要的生境。河流水文状况,常常决定着沿河低地的植被状况。在山区,由于流水侵蚀作用所造成的土壤理化性状恶化和肥力下降,也会严重危害植物的生长,甚至导致植被的退化与逆向演替。

如果说河流是自然地理环境不可分割的组成部分,那么,河流同时也是人文地理环境中不可缺少的条件。自古以来,人类的生存离不开水,进入近代,河流更成了社会经济发展必不可少的前提条件。几乎所有的在世界历史上写下光辉一页的古文明,都可以认为是大河文明。例如,中华文明的摇篮是黄河,印度文明和埃及文明则分别是在恒河与尼罗河,灿



烂的古代巴比伦文明是在底格里斯河与幼发拉底河的养育下兴起并达到极盛的;而人类对水资源的不合理利用所导致的这两条河流水文状况的恶化,也使巴比伦文明不可避免地走向衰落。如果说从古代巴比伦文明的兴衰史中,人们已经可以领悟到可持续发展的重要性,那么,在人类干预自然的力量急剧加强,世界上绝大多数河流已处于人类活动的控制之下的今天,可持续发展已成为全人类的共识和各国政府制定社会经济发展战略的决策基础。在某种意义上说,可持续发展的前提是水资源的可持续利用,特别是在水资源日益紧缺的我国更是如此。水是一种可再生资源,水资源的可持续利用的基本要求是,在任何一个区域,对于水资源的利用速率,都应该低于水资源的更新速率,并尽可能做到对环境无害。

从以上的简略论述中,已经可以清楚地看到,河流水文与包括自然与人文在内的地理环境之间,有着十分密切的关系。因此,无论在全球的还是区域的尺度上,只有深刻地认识河流水文特征,才能更好地理解自然过程与人文过程的实质,从而为制定水资源利用的可持续发展战略提供依据。

我国疆域辽阔,南北跨纬度约  $49^{\circ}$ ,东西跨经度约  $62^{\circ}$ 。河流众多,其中流域面积在  $1\,000\text{km}^2$  以上的河流就有 1 500 余条。这些河流构成了闻名于世的七大水系,即自北而南为黑龙江-松花江水系、辽河水系、海河水系、黄河水系、淮河水系、长江水系与珠江水系,还有最终注入印度洋的西南诸河,最终注入北冰洋的新疆的额尔齐斯河,以及大量的西北内陆河流。我国自然地带齐全,从北向南跨越从寒温带至赤道带的所有温度带。从东到西则有从湿润区到干旱区的水分递变规律。同时,我国地貌类型、岩石类型、植被类型和土壤类型异常丰富多样,构成了绚丽多姿的自然景观。在丰富多样的自然地理环境的控制下,我国河流水文也表现出十分鲜明的区域特征。本书将对我国不同自然带的河流水文和主要江河的水文特性进行系统的论述。

我国是一个水资源总量丰富的国家。全国平均年径流量达 27 115 亿  $\text{m}^3$ ,居世界第六位。但按人口、耕地面积平均,则处于较低的水平。人均占有径流量为  $2\,630\text{m}^3$ ,仅为世界人均占有量的  $1/4$ ;亩<sup>①</sup>均占有径流量为  $1\,800\text{m}^3$ ,是世界亩均占有量的 76%(焦得生等,1986)。因此,我们必须清醒地看到,水资源的可持续利用在我国是十分重要而紧迫的问题,也是实现我国社会经济可持续发展的先决条件之一。为此,必须深入研究我国不同自然带和不同区域的河流水文过程与径流特征,从而为可持续发展提供决策基础。这也是本书写作的主要出发点之一。

## 第二节 气候因子对河流水文的影响

在影响河流水文的诸因子中,气候是第一位的。降水及其季节分配决定了一个地区水分的可获得性及其季节变化,气温、空气湿度及风等因子则决定了水分的蒸发特征。决定水分蒸发及入渗的某些下垫面因子如植被和土壤特征,也与气候密切相关。因此,在一定意义上说,河流是气候等自然地理因素及人类活动影响的产物。我国河流的年径流量、洪水流量、悬移质含沙量和河水化学等,都深受气候的影响。

---

<sup>①</sup> 1 亩 =  $1/15\text{hm}^2$ ,下同。

## 一、气候因子对年径流的影响

在影响年径流形成的气候因子中,降水和气温是最重要的。由这两者所决定的气候湿润或干燥程度,对径流的形成和地域分布也起着重要的作用。

### 1. 年降水量与年径流深

我们收集了我国东部季风影响区内位于不同自然带的近 70 个面积在  $30\,000\text{km}^2$  以下的代表性流域的资料,对此进行了分析。

图 1.1 中点绘了不同自然带河流的年均径流深  $H_r$  与年均降水量  $P$  的关系。可以看到,二者呈密切的正相关。仔细观察可以发现,大约以  $800\text{mm}$  年降水量为界,大于此值的南方河流和小于此值的北方河流,其点据各自成为一条直线,表明了径流-降水关系的地带性差异。这两条直线可以分别用下列二式来表示:

对于南方河流:  $H_r = 0.02560P^{1.42}$

对于北方河流:  $H_r = 0.000\,000\,03466P^{3.42}$

前者的斜率大大小于后者,这反映了南方河流和北方河流不同自然地理背景对产流的影响。

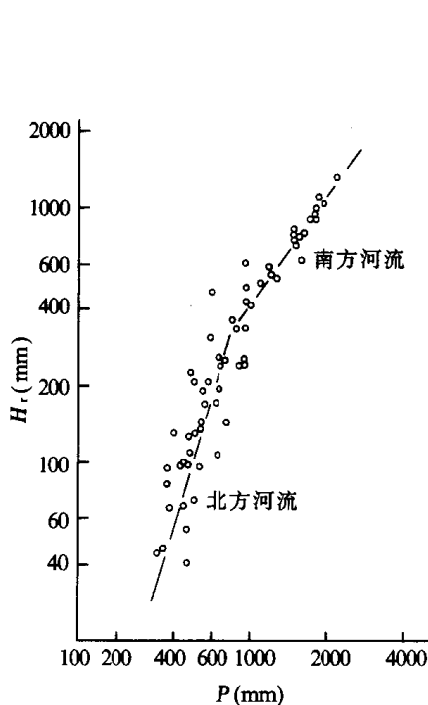


图 1.1 我国东部不同自然带河流的年径流深  $H_r$  与年降水量  $P$  的关系

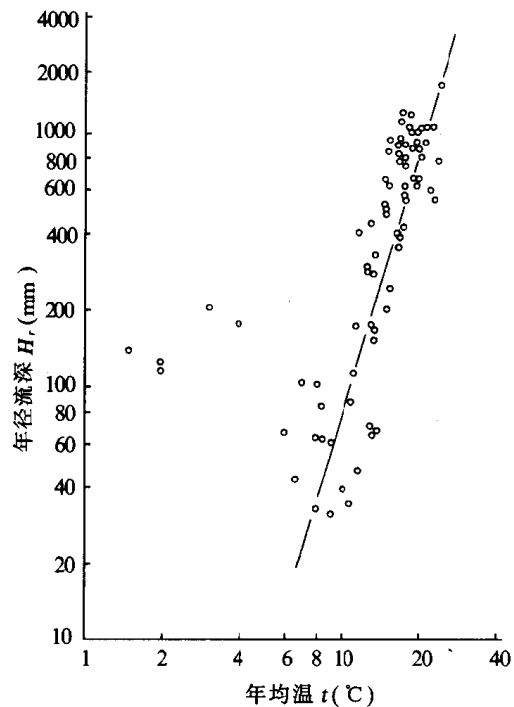


图 1.2 我国东部不同自然带河流的年径流深  $H_r$  与年平均温度  $t$  的关系

### 2. 年均气温与径流深

以近 70 条河流的资料为基础,我们在图 1.2 中点绘了年均径流深与年均气温之间的

关系。可以看出,当年均温在  $6^{\circ}\text{C}$  以上时,径流深  $H_r$  与年均气温  $t$  之间呈现出明显的正相关关系,且可以用下式拟合:

$$H_r = 0.02622t^{3.45}$$

从机理上看,在年降水量相同时,气温越高则蒸发越强,因而径流深应该越小。我们认为,之所以会出现图 1.2 中所示的关系,主要是由于我国特定的自然地理结构,使得降水量与气温呈现出很强的正相关,这就是我国气候的雨热同季特征。年降水量与年均气温的点绘结果表明,在年均气温小于  $7^{\circ}\text{C}$  时,随着年均气温的增加,年降水量急剧增加。

通过以上分析可以认为,在宏观尺度上,影响我国河流径流特征的主要是降水因子,气温对径流的影响在很大程度上是由气温与降水量之间的相关关系来决定的。

### 3. 不同自然带河流的流量-流域面积关系

图 1.3 中点绘了年均流量  $Q$  与流域面积  $A$  的关系。图中以不同符号区分不同自然带的河流。可以看到,代表不同自然带河流的数据点各自成为一条直线,各条直线间互相平行,即:

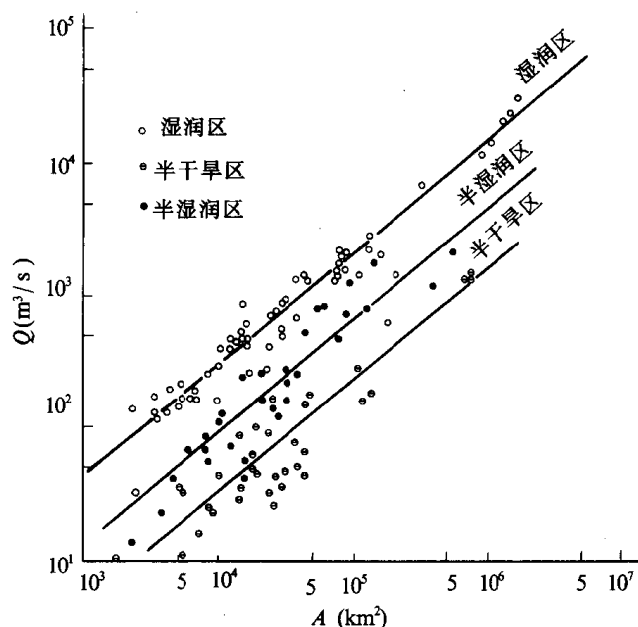


图 1.3 我国不同自然带河流的年均流量  $Q$  与流域面积  $A$  的关系  
对于湿润区的河流:

$$Q = 0.1208A^{0.849}$$

对于半湿润区的河流:

$$Q = 0.04017A^{0.849}$$

对于半干旱区的河流:

$$Q = 0.01417A^{0.849}$$

由此可以求得,就平均情形而言,在流域面积相同时,湿润区、半湿润区、半干旱区河流年均流量之比约为  $8.53 : 2.83 : 1$ 。

应该指出,由于我国有水文资料的干旱区河流多受到高山冰雪融水的补给,因此使得这些河流的点据与半干旱区的差距大大缩小,以至于相互混杂,故图中未包括干旱区河流的点据。

## 二、气候因子对洪水流量的影响

由于洪水径流在很大程度上取决于暴雨特征,故河流的洪峰流量与气候因子的关系十分密切。暴雨特征除受地形的影响外,在宏观尺度上还随不同气候带而异,因而河流的洪峰特征也因不同的气候带而异。

由于河流的洪峰流量随流域面积的不同而异,因此为了在尺度不同的河流之间进行比较,我们以相对洪峰流量作为指标,定义为多年平均年最大日流量( $Q_{\max}$ )与多年平均流量( $Q$ )之比,即  $Q_{\max}/\bar{Q}$ 。以我国不同气候带的河流的资料为基础,可以写成:

$$Q_{\max}/\bar{Q} = 2133A^{-0.443}$$

这说明,在流域面积相当的情况下,半干旱区河流的相对洪峰流量要比半湿润区和湿润区河流大得多。

上述差异的形成与很多因素有关,其中最重要的是降水特征。半干旱区降水量虽少,但暴雨十分集中,可以在短时间内形成很大的洪峰,而其年平均流量却很小,故相对洪峰流量很大。湿润、半湿润地区降水量的分布比半干旱区要均匀一些。尽管这里也会出现强度很大的暴雨,形成量级较大的洪峰,但因年平均流量较大,故洪峰流量与年平均流量的比值可以较小。

## 三、气候因子对河流泥沙的影响

河流泥沙特征包括河流的年输沙量、输沙率、含沙量和输沙模数等,这里着重讨论气候因子对悬移质含沙量的影响。

以我国不同自然带中流域面积小于  $30\,000\text{km}^2$  的代表性流域的资料为基础,我们点绘了悬移质含沙量与流域平均年降水量之间的关系。可以看到,点据虽很分散,但以不同的符号表示我国淮河及其以南的河流与淮河以北的河流,则两种不同类型的点据各自成为一条直线,并互不混杂,分别得到下列经验关系:

对于淮河及其以南的河流有

$$\rho = 8.978P^{-3.73}$$

对于淮河以北的河流,则有

$$\rho = 2.208 \times 10^{45} P^{-16.43}$$

式中  $\rho$  为多年平均悬移质含沙量,  $P$  为多年平均流域降水量。

上列两式表明,无论是我国南方河流还是北方河流,其含沙量都随降水量的增加而减少。代表北方河流的拟合直线的斜率要比南方河流大得多,即含沙量随降水量增加而递减的速率远比南方河流为快。我国湿润带、半湿润带和半干旱带的河流,随着降水量的增大,年径流深增大而单位面积产沙量减小,故含沙量也减小。

为了表征流域的干湿程度,我们提出了流域干燥指标( $I_d$ ),定义为某一流域的多年平

均实际蒸发量与降水量之比。若考虑闭合流域的多年平均状况,流域蓄水变量可视为零,则多年平均实际蒸发量可以从降水量与径流深的差值而求出。我们点绘了所研究河流的多年平均悬移质含沙量  $\rho$  与流域干燥指标  $I_d$  的关系,结果表明,随着流域干燥程度的增高,我国东部季风影响区河流含沙量迅速增加。对于含沙量小于  $1.5\text{kg}/\text{m}^3$  的河流而言,点据比较分散;当含沙量较高时,点据的分布则要集中得多。

气候特征的其他方面,如暴雨特征、气温特征等也对河流泥沙有着深刻的影响。暴雨强度越大,则降雨侵蚀力越强,侵蚀产沙的强度也越高。温度则影响着地表物质的风化过程,温度较差越大则机械风化越强烈,这对于侵蚀产沙过程也有影响。一般而言,半干旱地区暴雨集中的程度大,温度较差也较大,加以植被对地表的保护作用弱,故侵蚀强烈,河流含沙量高。

#### 四、气候因子对离子径流的影响

河流的离子径流特征取决于化学剥蚀过程,而化学剥蚀过程一方面受到化学风化作用的控制,另一方面则与径流特征密切相关,因为化学风化使得可溶性物质得以释放,而径流则为可溶性物质的迁移提供了动力条件。化学剥蚀类型和强度,在很大程度上取决于流域中占主导地位的气候条件。在气候条件中,又以水分条件与温度条件最为重要。

在降水丰沛的情况下,由于茂密的森林植被的存在,使土壤溶液呈酸性,有利于矿物的分解与淋失。年降水量的多少,决定着某一流域水循环强度的大小,因而与化学风化和河流溶解质的输移密切相关。气温影响盐类的溶解度,影响元素和化合物的活性,影响化学反应的速度和方向,还通过植被的作用来间接影响化学风化过程。通过对我国东部季风影响区 70 余个流域的化学剥蚀模数与流域平均年降水量及年均气温的关系的研究,可以得出如下结论,即随着年降水量的增大和年均气温的增高,化学剥蚀模数迅速增大。

河流的离子浓度一方面取决于流域化学剥蚀强度,另一方面也受到径流特征的控制。这两个方面都与气候密切相关。这里着重讨论降水与气温对离子径流的影响。

一方面,在降水量大、径流丰沛的地区,有利于化学剥蚀的进行,可使更多的可溶性固体物质进入水中并随水搬运;另一方面,由于在一般情况下,岩石的化学风化和可溶成分的溶解是一个很缓慢的过程,而河水中可溶物离饱和甚远,故径流越丰沛,河水中的离子浓度受到稀释的程度也越大。显然,前一作用将增大河水离子浓度,而后一作用将减小离子浓度。根据所研究的 70 余条河流的资料,二者表现出正相关关系,说明在前述的两个方面中,后者是占优势的。

对于年降水量小于 700mm 的河流

$$C_d = 2050 - 3.00P$$

对于年降水量大于 700mm 的河流

$$C_d = 278.9 - 0.098P$$

式中  $C_d$  为河水离子浓度,  $P$  为年均降水量。这说明,我国北方半湿润、半干旱区河流与南方湿润区河流的离子浓度与降水量关系,分别服从不同的规律。前者的离子浓度随年降水量而递减的速率,要比后者快得多。

所研究河流的离子浓度与流域年均气温的关系表现出随着年均气温  $t$  的增高,河水

离子浓度  $C_d$  先是增大,在  $t$  为  $10.5^\circ\text{C}$  时达到最大值;此后,随着  $t$  的进一步增加,  $C_d$  值反而减小。

上述变化关系似可解释如下:由于气温的增高将导致水的溶解能力的增强,故随着气温增加,河水离子浓度也增加。但我国的降水与气温存在着空间上同步增加的关系,当气温增加到一定程度后,则降水的增加可导致径流强度的增大,可以使河水离子浓度受到显著的稀释,因而出现相反的趋势。

### 第三节 下垫面因子对河流水文的影响

下垫面因子即影响水文过程的流域地表条件,包括地形、地表组成物质(岩性及土壤)、植被条件和其他的土地覆盖条件(如冰雪及冻土覆盖)以及土地利用方式等。下垫面因子通过影响蒸发蒸腾、入渗和汇流过程来控制从大气降水向径流的转化,决定着地表所接受的大气降水的再分配过程,在大气圈与水圈之间的界面过程中起着十分重要的作用。我国河流水文的特征,深受下垫面因子的影响。这里主要讨论地形、地表组成物质及植被因子的作用。

#### 一、地形的影响

地形因子对河流水文的影响,可以分为直接影响与间接影响。无论是直接影响还是间接影响,都可以在不同的空间尺度上发生作用。

##### 1. 直接影响

地形因子对径流的直接影响主要表现为对产流与汇流过程的影响,这种影响在较小的和中等的空间尺度上表现得十分突出。

流域的地形特征,如地面高程、坡度、切割程度等,直接影响着坡面水流的汇流条件。地势愈陡,切割愈深,则坡面漫流和河网汇流的速度愈快;而汇流时间越短。因此,在地形起伏较大的山区,河流表现为洪峰猛涨猛落、流量与水位变幅很大。平原地区的河流水文特征则与此相反。

地面坡度对降雨的入渗过程有一定的影响。研究表明,在降雨条件和土壤性质相近时,稳渗率随坡度的增加而减小,但当坡度超过某一数值之后,稳渗率接近于不变。地表微地形还决定了土壤湿度空间分布的差异,从而影响入渗和产流过程。

流域内地形的差异还影响着产流类型及其空间分布。在以蓄满产流为主的湿润地区,产流不可能在全流域同时出现,而只能在某些特定的部位首先出现,如凹形坡的下部、山麓地带等。在这些地形部位上,土壤湿度较大,降雨后土壤容易达到饱和而出现产流,并不断向上扩展,因而产流区的面积是变动的,这种空间上的动态变化主要受地形因子的控制。

除了坡面特征以外,表征流域地形切割程度的指标如河网密度也对径流过程特别是汇流过程有重要的影响。河网密度不但与洪峰流量有明显的关系,而且与枯水流量的形成也有一定的关系。河网密度较大时,流域汇流快,而降水中转化为地下水的部分则相对较

小,故河网密度越大,洪峰流量模数也越大,而枯水流量模数则越小。

## 2. 间接影响

地形因子对径流的间接影响是通过水汽输送的影响来实现的。金栋梁的研究表明,就不同的空间尺度而言,地形影响降水的方式有所不同,有时甚至是相反的。在大尺度空间范围内,降水随高程变化的趋势是随高程的增加而逐渐减小。这是由于气团所包含的水汽量在远距离输送过程中,总是越来越小。我国雅鲁藏布江河谷、岷山、澜沧江和怒江地区的降水量随高程的变化证明了这一点。对于中、小尺度而言,一般的趋势是,迎风坡的降水大于背风坡,在迎风坡,降水量随高程的增大而增大。在某些情况下,还可能出现一个到多个峰值。这是由于夏季风带来的湿润气流被山地强迫抬升而凝结,随着高程的增加,凝结的水量越多,使降水量逐渐增大。在某些情况下,当降水量增大到某种程度之后,气流中的水汽已消耗殆尽,故随着高程的进一步增加,降雨反而有所减小,如峨眉山、黄山、西天目山的情况就是如此。

在降水量随高程变化的控制下,径流深随高程的变化也表现出明显的规律性。同样地,这种规律性也因空间尺度的不同而异。在湖南地区、秦岭南北坡和天山南北坡,径流深随高程的增大而增大;而在某些大尺度范围内,如澜沧江、怒江流域,则表现出相反的变化。

## 3. 地形对我国年径流深宏观分布的影响

(1) 山系对水汽输送的屏障作用及其意义。我国山地面积广大,有一系列雄伟的山系,对于宏观尺度上的水汽输送起着屏障作用,并进而影响年径流深的宏观分布。

从东北小兴安岭、长白山脉,经山东半岛至华南沿海一带,分布着靠近西太平洋的第一条纵向山系,构成对东南季风水汽输入大陆的第一道屏障;北起大兴安岭经太行山、吕梁山,南至湘、黔、川交界处的山地,构成第二道屏障。在东西向山脉中,南岭构成对南来水汽的主要屏障,而大别山、桐柏山、伏牛山、秦岭一线又构成东西向的第二道屏障。水汽每经过一道屏障就削减一次,降水、径流也随之减少一次。

在我国西部,近于东西走向的喜马拉雅山脉对西南季风输送的水汽首当其冲,并与横断山脉一起构成直角形的第一道屏障;冈底斯山与念青唐古拉山脉构成了第二道屏障,使得青藏高原成为低径流带,藏北羌塘高原极为干燥贫水。昆仑山脉横贯东西,使北部径流进一步减小,成为广阔的无流区。

新疆境内,近于东西走向的天山、阿尔泰山及帕米尔高原、天山南支等构成屏障,使塔里木盆地、准噶尔盆地成为十分干旱的闭塞盆地。

(2) 径流高值区、低值区与高梯度带。在山脉、高原、盆地和平原等大尺度地貌单元的控制下,我国年径流深分布图上出现了一系列的高值区、低值区与高梯度带,从而在地带性变化的背景上,叠加错综复杂的非地带性变化。包括山地径流高值区和平原、高原盆地径流低值区。

(3) 径流高梯度带。在径流高值带与低值带之间,往往存在着短距离上径流深的急剧变化,表现为径流高梯度带。从宏观尺度上说,青藏高原东缘、南缘高梯度带,华北平原西缘向太行山过渡的高梯度带以及沿秦岭、大别山的高梯度带最为引人注目。这些高梯度带

大都位于我国宏观地貌结构中第一级与第二级阶梯之间以及第二级阶梯与第三级阶梯之间的接触带,地形抬升作用非常强烈,使暖湿气流所携带的水汽在很短的距离上迅速释放,故导致径流深的急剧增加。

径流高梯度带在自然地理上有重要意义。径流高梯度带上,气团的能量迅速释放,暴雨侵蚀力很强,加以坡度陡峻,且位于新构造运动的强烈活动地区,故形成了典型的高能环境。青藏高原东缘的径流高梯度带,即与我国侵蚀高值带的南段相重合。此带位于秦岭以南,沿秦岭南坡、龙门山、夹金山、大相岭、大凉山、金沙江下游一带分布,径流深在100km的距离上就由四川盆地的400mm左右增加到1000mm以上,流水侵蚀强度很大,泥石流、滑坡发生的频率很高,故出现了产沙模数高值带。

## 二、地表组成物质的影响

地表组成物质包括土壤覆盖层,各种类型的第四纪松散沉积物及基岩等。地表物质特征对产流的影响,主要是通过影响入渗过程来实现的。土壤的渗透能力,除取决于土壤的机械组成之外,还与非毛管孔隙度、有机质含量、容重、土壤团粒体特征、土壤水分含量等指标有关。基岩分布地区的入渗率取决于上覆风化层的厚度和基岩中裂隙发育的程度,疏松风化层越厚,裂隙发育程度越高,则入渗率也越高。同时,入渗率还取决于岩石的类型。据研究,若以火成岩和大多数变质岩的渗透速率为1,则页岩为5,石灰岩为30,砂岩为500,粘土为10,砂为1100,砾石为10000。通过对入渗及渗透过程的影响,地表物质组成还进一步影响产流类型和汇流过程。在基岩裸露、风化层很薄而且基岩裂隙不发育或开张程度很低的地区,暴雨期间容易出现超渗产流。反之,如果地表由大孔隙发育的松散堆积物构成,入渗速率往往超过降雨强度,则产流类型以蓄满产流为主。由此进一步影响水文过程线的形状。前者汇流快,水文过程线陡涨陡落;后者汇流过程慢,洪峰涨落平缓,峰形矮胖。

地表组成物质通过对产流和汇流过程的影响,在一定程度上影响着径流侵蚀力;同时,地表组成物质的性质还直接决定其抵抗侵蚀的能力,因而对于流域的侵蚀产沙过程和河流泥沙特征有着深刻的影响。地表物质及下伏基岩的可溶性特征与河流的水化学及离子径流特征也有着密切的关系。

我国拥有各种地质时代的岩层,岩石类型丰富多样,其中第四纪松散冲积物及黄土覆盖面积广大。地表物质组成的分布对我国径流及含沙量的分布有一定的控制作用。某些特殊岩性的分布则导致了独特的河流水文特征。

### 1. 地表物质组成与年径流空间分布的关系

年径流高值区多为石质山地,由各种类型的基岩所构成,入渗率小,产流和汇流的速度都很快。低值区则为松散物质如第四纪冲积物和黄土所覆盖,入渗率大,产流和汇流的速度都很慢,因而形成迥然不同的河流水文特征。

我国北方河流和南方河流的径流-降水关系的差异,在一定程度上也反映了地表物质的差异。我国北方黄土广泛分布,其他松散堆积物的分布也很广,南方则以各种类型的坚硬基岩为主。由于松散物质渗透率很大,故随着年降水的减少,年径流深迅速减小;而对于



基岩而言,由于渗透率相对较小,故随着年降水的减少,年径流减少的速率要慢得多。

## 2. 黄土地区的水文特征

第四纪黄土和黄土状沉积物,广泛分布在我国昆仑山、祁连山和秦岭以北的地区,总面积达 60 多万  $\text{km}^2$ ,厚度由数十米至一二百米不等。与降水量相同、地形相近的其他地区相比,黄土高原的年径流深和径流系数都要小得多。据甘肃省东部的资料,当降水量相同时,黄土高原林区产流能力最差,径流系数一般只有 0.04~0.09;黄土丘陵沟壑区为 0.04~0.12;土石混合山区为 0.07~0.23;石山林区为 0.10~0.31。黄土高原河流的年径流虽较少,但由于渗透率强,大气降水转化为地下水之后再补给到河道中去,使基流量在总径流量中所占的比重甚大。黄土高原丘陵沟壑区地下水补给在年径流中可占到 40%~50%,大大高出其他地区的河流。

## 3. 石灰岩地区的水文特征

我国碳酸盐类岩石的分布面积大约为 130 万  $\text{km}^2$ ,占全国总面积的 14%,在气候、构造等条件适宜的地区,发育了各种各样的喀斯特地貌。西南石灰岩分布地区,溶蚀作用强烈,流域渗透性强,地下水补给十分丰富,可占河流年径流的 30%~40%,大大高于气候相近而岩石类型不同的其他地区。

石灰岩地区土层极薄,甚至大部分基岩裸露,石灰岩溶蚀之后残余物甚少,因而流域侵蚀产沙强度相对较低,河流悬移质含沙量很低,西南喀斯特地区河流的含沙量多在  $0.30\text{kg}/\text{m}^3$  以下。但化学剥蚀的强度却很大,河水的硬度和离子浓度均较高。为了揭示岩性差异所造成的影响,我们将华中、华南和西南地区流域面积在  $10\,000\text{km}^2$  以上的若干流域的溶解质输移率对于流域面积的关系点绘作图(略),并以不同的符号表示石灰岩广泛出露的流域和石灰岩面积较小的流域。结果表明,上述两种流域的点据各自成为一条直线,代表石灰岩流域的直线位于代表非石灰岩流域的直线上方,即在流域面积相同时,石灰岩流域的化学剥蚀量要大得多。

# 三、植被因子的影响

在我国气候地带性的影响下,植被的分布也表现出地带性变化。除了植被类型随经度、纬度和高度而递变外,植被覆盖率特别是森林覆盖率,也表现出随经度、纬度而变化的规律。即从南向北,森林覆盖率先是减小,达到最低值后又逐渐增大;从西向东,森林覆盖率迅速增大。植被因子特别是森林覆盖状况,对我国河流水文有着不可忽略的影响。

## 1. 植被因子对径流的影响

森林的林冠对于降水有截留作用,从而增加降水的蒸发损失量。森林还能显著的增加降雨入渗量,林下的枯枝落叶层可以大大增加水分容蓄量,而林下富含有机质的土壤具有较大的非毛管孔隙率和较小的容重,从而大大增加降雨入渗速率。上述作用将显著地增加地下径流而减少地表径流,即增加河流的基流流量,削减洪峰流量,从而使水文过程线的变化趋于平缓。