

# 《说文解字》研究

（一）

（二）

（三）

（四）

（五）

（六）

（七）

（八）

21 世纪成人高等教育特色专业教材

# 径流形成原理

PRINCIPLES OF RUNOFF FORMATION

芮孝芳 编 著

河海大学出版社

## 内容提要

本书论述了径流形成的物理过程和产汇流分析计算的原理。产流部分全面地归纳了国内外产流理论的发展,对产流机制的辩证关系和产流面积的变化作了论证;洪水演算部分系统地介绍了洪水波的分类、特点,提出了线性扩散波模型的实用解法和线性运动波数值扩散的应用;流域汇流部分详细地讨论了其物理本质,总结了概念性流域汇流模型的结构特点,对地下水汇流和非线性问题也作了论述。

全书共分七章,体系新颖,概念清晰。为便于自学,每章之后列有复习思考题。书末还有四个附录,供读者参考。本书可作为成人高等教育水文水资源工程专业本科或相近专业的必修课教材,也可供水利水电、水文水资源、市政工程、农林工程、水土保持、环境规划、自然地理等专业的大学生、研究生和工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

径流形成原理 / 芮孝芳编著. —2 版. —南京: 河海大学出版社, 2004. 5

21 世纪成人高等教育特色专业教材

ISBN 7-5630-0412-2

I. 径... II. 芮... III. 径流-水文分析-成人教育: 高等教育-教材 IV. P333.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 043756 号

书 名 / 径流形成原理

书 号 / ISBN 7-5630-0412-2/TV·55

责任编辑 / 谢业保

封面设计 / 张世立

出 版 / 河海大学出版社

地 址 / 南京市西康路 1 号(邮编:210098)

电 话 / (025)83737852(总编室) (025)83722833(发行部)

经 销 / 江苏省新华书店

印 刷 / 江苏省丹阳市教育印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16 13.5 印张 312 千字

版 次 / 2004 年 6 月第 2 版 2004 年 6 月第 1 次印刷

定 价 / 14.00 元(册)

# 前言

径流形成原理是研究降雨径流形成机理,寻求流域产、汇流计算方法,为水文学的应用如:水资源开发利用与保护、水文预报、水文设计等提供理论依据的水文学分支学科,又称产汇流理论。它主要以土壤水动力学、热力学、明渠水力学、渗流力学、径流实验技术等为基础,属于动力水文学的范畴。其研究对象主要是水-土-植系统中的水文循环和流域径流循环,所研究的主要课题——降雨径流形成规律及计算,是水文学中最重要和最基本的课题之一,不仅有广泛的实际应用价值,而且有重要的学术意义。

20世纪70年代末,为适应水文科学的发展和生产实际的需要,河海大学率先在国内开设“径流形成原理”课程,并由于维忠教授和作者合编了国内第一本教材。本书是在上述工作基础上,结合成人高等教育特点和多年教学经验,由作者重新编写而成的。本书还包括了作者多年来部分科学研究成果。

全书共分七章和四个附录。第一章说明径流形成的物理过程、研究对象和基本研究方法,是本书绪论。第二章介绍产流过程中涉及到的各水文要素即植物截留、填洼、土壤水运动、下渗、蒸发等的物理基础和定量分析计算方法。第三章论述产流的物理条件,全面介绍霍顿(Horton)产流理论和以邓恩(Dunne)为代表的近代山坡水文学产流理论。第四章讨论流域产流过程及分析计算原理,重点讨论产流面积的变化及描述方法。第五章、第六章和第七章旨在系统地阐明汇流理论及计算模型。在阐述洪水演算和坡面水流时,以圣维南(St. Venant)方程组或其简化、近似形式作为分析与求解的基础;在阐述流域汇流时,主要以水质点运动学为基础;对流域汇

流研究中的概念性模型、系统分析方法、地下水汇流和非线性问题也作了介绍。附录 A 和 B 是为没有系统学过拉普拉斯(Laplace)变换和数理方程的读者写的,目的在于方便这些读者的自学。

本书第一版于 1991 年出版,这次再版,除了对发现的印刷错误作了订正外,对部分内容作了修改,并增加了 C 和 D 两个附录,目的是试图用较简洁的篇幅对径流形成原理的研究方法论、面临的新机遇和当前应加强研究的若干领域作较系统的介绍,以便为读者进一步学习和研究径流形成原理提供一些启发和思路。

于维忠教授审阅了本书第一版书稿,提出了宝贵的意见。河海大学成人教育学院十分关心本书的出版。我愿借本书再版的机会,谨向他们致以诚挚的谢意。

芮孝芳

2004 年 5 月 1 日于河海大学



# 目录

## ◆ 前 言

---

## ◆ 第 1 章 径流形成

---

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 1.1 径流形成现象 .....    | ( 1 ) |
| 1.2 径流形成过程 .....    | ( 2 ) |
| 1.3 径流形成的研究对象 ..... | ( 5 ) |
| 1.4 径流形成的研究方法 ..... | ( 7 ) |
| 复习思考题 .....         | ( 8 ) |

## ◆ 第 2 章 产流要素

---

|                      |       |
|----------------------|-------|
| 2.1 植物截留 .....       | ( 9 ) |
| 2.2 填洼 .....         | (11)  |
| 2.3 土壤水运动 .....      | (13)  |
| 2.4 下渗 .....         | (21)  |
| 2.5 下渗后的土壤水再分配 ..... | (31)  |
| 2.6 蒸散发 .....        | (34)  |
| 复习思考题 .....          | (51)  |

## ◆ 第 3 章 产流机制

---

|                              |      |
|------------------------------|------|
| 3.1 包气带及其结构 .....            | (53) |
| 3.2 包气带水分动态及其对降雨的再分配作用 ..... | (57) |
| 3.3 产流的基本物理条件 .....          | (63) |
| 3.4 产流类型和基本产流模式 .....        | (74) |
| 复习思考题 .....                  | (76) |

## ◆ 第 4 章 流域产流

---

|                   |      |
|-------------------|------|
| 4.1 山坡流域的分类 ..... | (77) |
|-------------------|------|

|                      |      |
|----------------------|------|
| 4.2 流域产流特征的分析 .....  | (80) |
| 4.3 产流面积的变化 .....    | (83) |
| 4.4 蓄满产流总径流量计算 ..... | (87) |
| 4.5 总径流量的划分 .....    | (89) |
| 4.6 超渗地面径流量计算 .....  | (90) |
| 复习思考题 .....          | (93) |

## ◆ 第 5 章 洪水演算

|                      |       |
|----------------------|-------|
| 5.1 河道洪水波 .....      | (94)  |
| 5.2 圣维南方程组 .....     | (98)  |
| 5.3 洪水波的分类 .....     | (102) |
| 5.4 槽蓄原理和槽蓄方程 .....  | (110) |
| 5.5 线性扩散波演算 .....    | (115) |
| 5.6 线性运动波演算 .....    | (121) |
| 5.7 线性特征河长连续演算 ..... | (127) |
| 复习思考题 .....          | (130) |

## ◆ 第 6 章 坡面水流

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 6.1 坡面水流的运动波特征 .....  | (131) |
| 6.2 矩形坡面运动波解析解 .....  | (133) |
| 6.3 组合坡面运动波的混合解 ..... | (136) |
| 6.4 霍顿-依扎特方法 .....    | (139) |
| 复习思考题 .....           | (141) |

## ◆ 第 7 章 流域汇流

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 7.1 概述 .....           | (142) |
| 7.2 出口断面流量过程线的形成 ..... | (145) |
| 7.3 流域汇流系统分析 .....     | (150) |
| 7.4 线性集总式流域汇流模型 .....  | (159) |
| 7.5 线性分散式流域汇流模型 .....  | (166) |
| 7.6 线性地下水汇流模型 .....    | (171) |
| 7.7 流域汇流的非线性问题 .....   | (175) |
| 复习思考题 .....            | (179) |

## ◆ 参考文献

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 附录 A 拉普拉斯变换及其应用 .....        | (182) |
| 附录 B 数学物理方程初步知识 .....        | (184) |
| 附录 C 水文学的研究方法论与其理论创新 .....   | (197) |
| 附录 D 水文学的机遇及应着重研究的若干领域 ..... | (203) |

# 第 1 章

## 径流形成

由流域上降水所形成的、沿着流域地面和地下向河流、湖泊、水库、洼地等流动的水流称为径流。从降水到达地面至水流流出流域出口断面的整个物理过程就是径流形成过程。

径流是引起河流、湖泊、水库等水体水文情势变化的直接原因。径流情势的变化与水资源开发利用、水害防治和生态环境的保护密切相关。因此,径流形成的研究具有广泛的科学和实际意义。

本章作为全书的绪论,将概要地介绍径流形成的物理过程、研究对象和基本研究方法。

### 1.1 径流形成现象

对任一闭合流域,一场具有相当数量和足够强度的降水,都要形成一条与之相对应的流域出口断面流量过程线(图 1-1)。如果将流域出口断面流量过程与相应的降水过程作一比较,则可以发现两者之间有下列明显的差异:

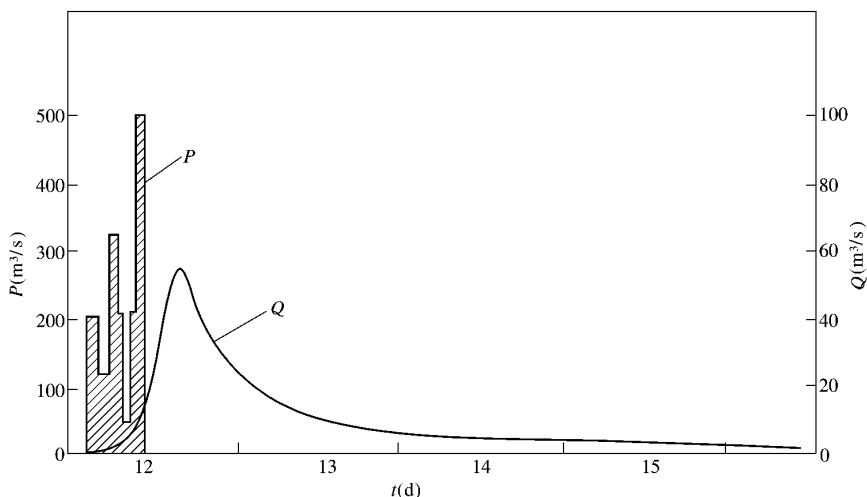


图 1-1 滁河胡庄流域 ( $F=82.1 \text{ km}^2$ ) 1980 年 8 月  
降雨 ( $P$ ) 和流量 ( $Q$ ) 过程线

- (1) 次降水量不等于次洪径流量,后者总是小于前者。
- (2) 两种过程线的形状不同。降水过程变化急速而不规则,流量过程则比较平缓光滑。
- (3) 流量过程的起始时间,以及洪峰、重心等出现的时间都要比降水滞后一段时间。
- (4) 流量过程的总历时要比降水历时长得多。

以上四方面的差异,每个流域都存在。只是随着流域面积的大小、流域下垫面的情况、流域所处的气候条件和降水特征不同,这种差异的量级有所不同而已。

流域上的降水过程转变为流域出口断面流量过程时,为什么会在数量上和形态上出现这些差异呢?它们之间遵循什么规律呢?这就是本书所要探讨的基本问题。

## 1.2 径流形成过程

径流形成过程是一个复杂而连续的物理过程。它始于降水过程,终于流域出口断面流量过程。1942年赫伊特(W. G. Hoyt)曾称此为径流循环。赫伊特认为,径流形成过程可以划分为五个阶段:

- (1) 无雨期。指降水出现之前的干旱期。流域上无径流产生,河槽处于低水期,主要靠地下水补给。
- (2) 初雨期。其特征是除槽面降水产生微量径流外,流域中的降水,主要耗于植物截留、下渗、填洼和蒸散发等。
- (3) 变强度降雨继续期。流域上的植物截留和填洼得到满足,可能产生超渗雨形成地面径流。当包气带含水量达到田间持水量后,还可形成地下径流。
- (4) 继续降雨直到全部天然蓄量满足的时期。这时下渗率接近于通过包气带的地下径流率,地下径流量加大、加快。
- (5) 雨止期。流域上的滞蓄量和河网中的槽蓄量开始消退,河流水位下降,蒸发和散发活跃,直到河流中水位恢复到起始状态为止。这一般需要很长时间。

赫伊特对径流形成过程的描述虽然比较简单,但不能把径流形成这样一个连续的物理过程确切地表达出来。另一种描述径流形成过程的方式如图1-2所示。据此框图,可把径流形成过程划分为下列几个相互联系的子过程。

### 1. 降水过程

从径流形成的角度看,降水过程是大气向流域的供水过程,是径流形成的必要条件。降水的特征及其时空分布虽然与径流形成有密切关系,但关于降水形成机制的研究却是气象学的任务。

### 2. 流域蓄渗过程

这是在降水开始以后,发生在流域坡地上的水文过程(参见图1-3)。最初一段时间内的降雨,除小部分降落在河槽水面上的降雨( $C$ )直接参与径流形成外,大部分降雨并不立刻产生径流,而是消耗于植物截留( $I_n$ )、下渗( $f$ )、填洼( $D$ )和蒸散发( $E+ET$ )。植物截留量一般不大,它最终将被蒸发耗尽。地面下渗发生在降雨期间和雨止后地面尚有积水的地方。下渗能力在空间上和时间上都是变化的。降雨初期下渗能力较大,

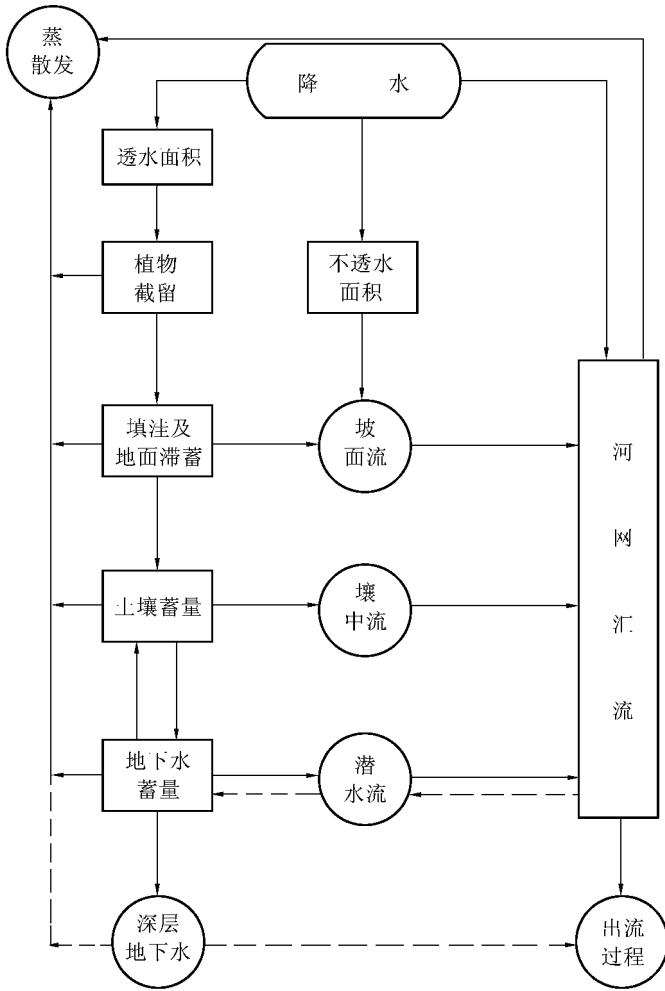


图 1-2 径流形成过程框图

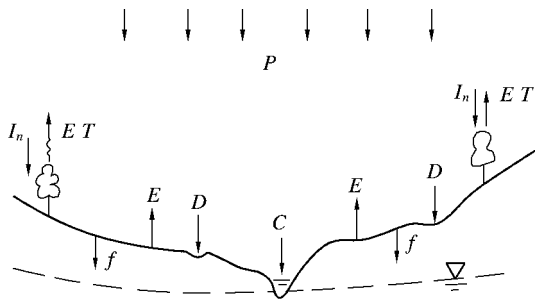


图 1-3 流域蓄渗过程

随着降雨的继续,它呈递减变化,最终趋近于一稳定值。在降雨过程中,当降雨强度小于地面下渗能力时,雨水将全部渗入土壤中。当降雨强度大于地面下渗能力时,超过下渗能力的降雨形成地面积水,其余部分降雨渗入土壤中。在流域洼陷处产生的积水暂

时停蓄在其中。其他地方的积水沿坡面流动填充近处的洼陷。洼陷中的水分最终将耗于蒸散发和下渗。随着降雨的继续,满足填洼的地方开始产生地面径流。因此,地面径流的产生是有先有后的。渗入土壤中的水分一部分要耗于蒸散发,一部分使包气带含水量不断增加。在那些包气带含水量已达到田间持水量的地方,在一定条件下,水分将沿着坡度方向产生侧向流动,形成壤中水径流或地下水径流。当包气带含水量达到饱和和含水量时,则具备了形成饱和地面径流的条件。

在流域蓄渗阶段,通常把不产生径流的那部分降水称为损失量,它包括植物截留量、填洼量及土壤中的持水量,这些水分最终将耗于流域蒸散发。而把降水量与损失量之差值称为径流量或产流量或净雨量,它包括地面径流、壤中水径流和地下水径流等。

### 3. 坡地汇流过程

传统上曾将坡地汇流过程称为坡面漫流或坡面汇流过程。显然,这是仅针对地面径流汇流而言的。事实上,正如在蓄渗过程中所讲的,在一场降雨过程中不仅可能有地面径流产生,而且还可能有壤中水径流和地下水径流产生。因此,坡地上的水流现象不仅仅发生在坡地表面,而且可能在坡地的垂直剖面上的不同深度处发生,如图 1-4 所示。所以称为坡地汇流过程较为恰当。由此可知,此处所谓坡地汇流包括坡面漫流( $R_s$ )、壤中水汇流( $R_{ss}$ )和地下水汇流( $R_g$ )等。

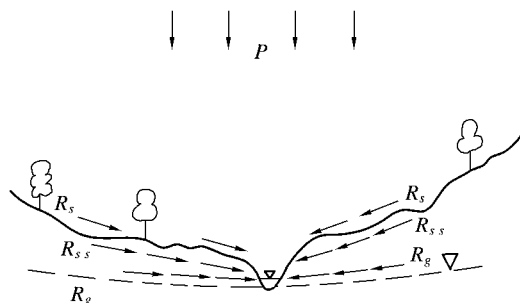


图 1-4 坡地汇流过程

坡面漫流开始于坡面产生积水后,并随地面径流的大量产生而发展。在坡面漫流过程中,一方面要直接接受降雨补给,一方面又要继续耗于下渗和蒸散发。因此,地面径流的产流过程与坡面漫流过程,一般是难以截然分开的,它们互相交织在一起。

壤中水径流和地下水径流也要沿坡地汇流,分别称为壤中水汇流和地下水汇流。不过在坡地上发生壤中水汇流和地下水汇流的条件与坡面漫流不同。后者始于地面积水出现之后;前者则始于界面以上包气带含水量达到田间持水量之时。它们之间的另一个区别是坡面漫流是一种沿着坡地地面流动的水流,属明渠水流;而壤中水汇流和地下水汇流都是发生在土壤孔隙中的水流运动,属于渗流。因此,它们的流速和流程都会有较大的差异。

对一次具体的洪水而言,并不一定同时存在坡面漫流、壤中水汇流和地下水汇流。有的只有坡面漫流,而无壤中水汇流和地下水汇流;有的则反之,有壤中水汇流或地下水汇流,而无坡面漫流。当然三种水流同时出现的情况在有些地方也是常见的。

降雨产生的径流,经过坡地汇流阶段后即注入河网,开始了径流形成过程的最后一

个阶段——河网汇流过程。

#### 4. 河网汇流过程

河网汇流是指各种径流成分经坡地汇流注入河网后,以洪水波的形式沿着河槽向流域出口断面汇集的水流过程(图 1-5)。来自坡地的地面水流、壤中水水流和地下水水流,先汇入附近的小河流或沟溪,再汇入更大的河流,最后汇集至流域出口断面,形成流域出口断面流量过程线。

至此,流域上一次降雨的径流形成过程即告结束。当本次降雨形成的径流全部通过流域出口断面后,河槽中的水位和流量就恢复到原先状态。

将径流形成过程划分为几个子过程来加以描述,只是为了便于对现象的认识和研究,而并不意味着可以把径流形成过程机械地分割开来。

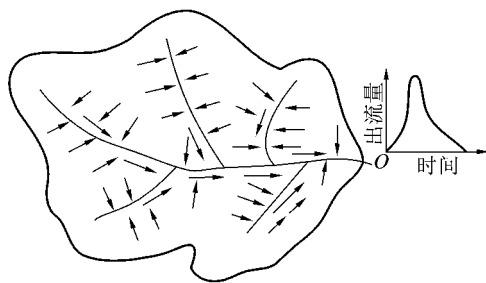


图 1-5 河网汇流过程

从动力学的观点看,上述径流形成过程实际上是水分在不同的流域下垫面上及不同的介质中,在各种力作用下,沿着不同方向运行和发展的水流运动过程(图 1-2)。这种水分运行大体上可划分为垂直运行和侧向运行两类。垂向的水分运行包括降水、植物截留、填洼、下渗和蒸散发等。侧向的水分运动包括坡面漫流、壤中水汇流、地下水汇流和河网汇流等。这些水分的不断运动和相互作用构成了径流形成的全部水分运行过程。

### 1.3 径流形成的研究对象

众所周知,水文学的主要研究对象是水文循环。自然界的水文循环可分为全球水文循环、流域水文循环和水-土(壤)-植(物)系统水文循环三种尺度。显然,流域水文循环和水-土-植系统水文循环才是径流形成所着重研究的对象(图 1-6)。

水-土-植系统探讨的问题是:降水进入这个系统以后是否被蒸散发,是否下渗到土中补充土壤水,是否形成地面径流、壤中水径流、地下水径流或其他径流成分。在这个循环中,土壤本身的作用力场是研究的核心。因为它几乎对其中所发生的一切水文现象,如蒸散发、下渗和径流形成等,都产生决定性的影响。因此,只有首先弄清这些力的作用,才能理解该循环中各种状态的转换和定量关系。同时,这也是人们认识水文学与生态环境之间关系的关键所在。

流域水文循环着重探讨流域上一场降雨所形成的地面、地下等径流成分是如何汇集至流域出口断面形成其流量过程的。近代水文学在讨论这个问题时,还需要同时考

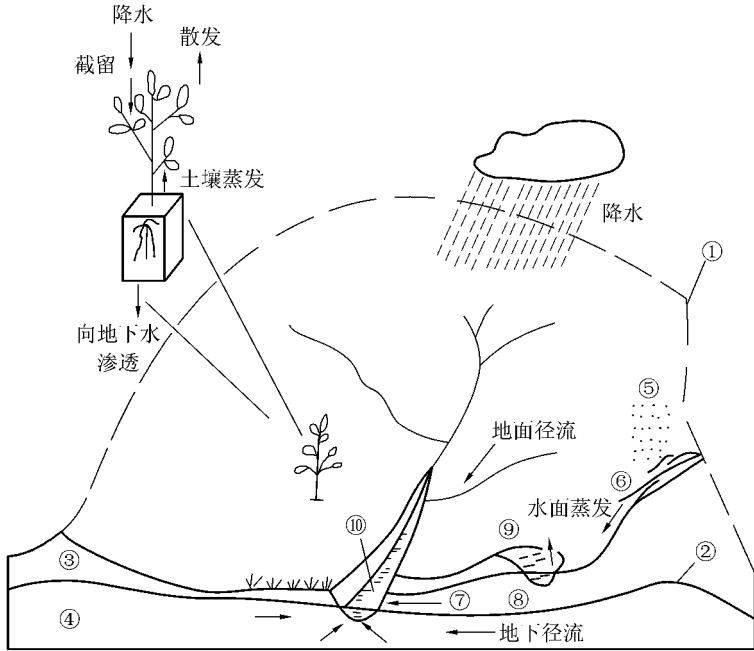


图 1-6 流域及水-土壤-植物系统中的水循环

- ① 分水岭; ② 地下水面; ③ 非饱和带; ④ 饱和带; ⑤ 高山积雪;  
⑥ 冰川; ⑦ 壤中流; ⑧ 下渗; ⑨ 湖泊; ⑩ 河槽

虑生物和人类活动对其数量和质量等方面性状的影响。对流域水文循环产生重要影响的是流域本身的特性,诸如流域的土壤、岩石、植被、地形、地貌、形状、大小等。如果流域中土壤的下渗能力很低,则大部分降水将形成地面径流。如果在一个流域中,既有储水能力强的含水层,又有渗透性良好的土壤,那么地下径流可成为其主要的径流成分。在喀斯特溶洞强烈发育的地区,如果洞穴之间相互联系良好并被水充满,那么它所形成的径流过程就可能与地面径流过程相似。植被对流域径流的形成反复产生影响:首先,它通过巨大的表面积以截留的形式储存一部分降水;其次,它通过根系活动提高了土壤的下渗率,增加了土壤水分的蒸发。在植被茂密的地方,截留和蒸发都比较大。因此,大气近地层中水蒸气的含量显然会比具有同种土壤但植被稀疏的地方大。坡度大的流域,由于降雨所形成的地面径流不要很长时间就可到达流域出口断面,因此流量过程线涨落陡峻,甚至与降雨过程比较相似。流域形状对流量过程的影响也很大(图 1-7),在狭长形的流域内,由于各地产生的径流先后到达出口断面,因此流量过程线比较平缓,而在扇形流域条件下,各地形成的径流几乎同时到达,因此会得出陡峻的流量过程线。河网以多种方式对径流性状发生作用。河网稠密且坡度大的流域可以迅速产生径流,而在坡度小时,由于大量水分储存在河网中,又会使流量过程线变得平缓。因此,在流域水文循环的研究中,应当把流域土壤、岩石、植被、地形、地貌、形状、大小及河网的作用作为一个主要方面来考虑。

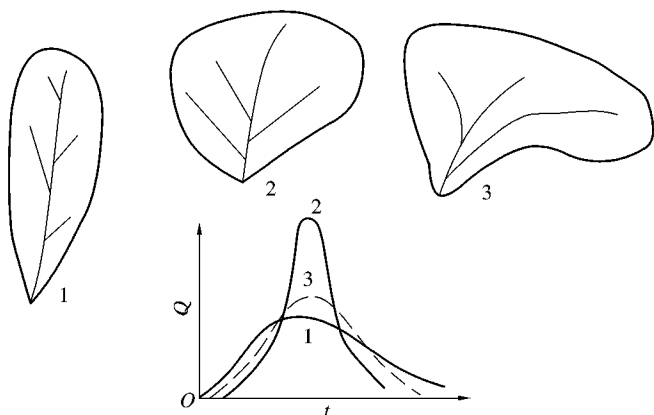


图 1-7 流域形状对流域出口断面流量过程线的影响

$$F_1 = F_2 = F_3 \quad \int Q_1(t) dt = \int Q_2(t) dt = \int Q_3(t) dt$$

## 1.4 径流形成的研究方法

认识任何一个物理现象并揭露其规律的一般程序是：从感性认识到理性认识，从定性研究到定量研究，从单项分析到综合分析；采用的研究手段是观测、对比、假设、推理和验证。研究径流形成过程也不例外。因此，径流形成的研究方法可以归纳如下：

### 1. 实验研究

实验研究可根据实验的目的，通过不同的方式来进行。一般可分为原型观测和物理模型实验两类。前者属于野外实验，如考察实验流域、径流试验小区和建立水库、湖泊实验站等；后者属于室内实验，如下渗实验室、坡面漫流实验室中的实验等。实验可对单项因素进行，也可进行综合实验。对径流形成过程中某个要素如蒸发、下渗、坡面漫流等，或某个环节如壤中水径流形成机制、地面径流形成机制、河网洪水波运动等进行专门性研究即属于单项实验。而水利化、城市化、植树造林等对径流形成的影响，以及对一个小区径流形成全过程的探讨，则属于综合性实验。

径流实验研究是人们认识和揭示径流形成规律及其影响因素的基础，历来受到水文学家的重视。尤其是 1960 年以来，生产实际和理论发展的需要，进一步促进了径流实验研究的开展，而近现代科学技术的新成就又为有效地进行径流实验研究提供了有利条件。

### 2. 理论分析

理论分析就是基于自然界普遍存在的物理规律，对径流形成过程进行定量的探讨。因此，数学和物理学是从理论上探求径流形成规律的主要工具。目前，人们对土壤水运动、明渠不恒定流运动等已有了严格的数学描述和求解方法，这就为下渗、土壤蒸发、地下水汇流、坡面漫流和河道洪水波运动的理论研究提供了坚实的基础。但由于径流形成现象本身的复杂性和人们对它认识的局限性，以及数学和物理学发展上的限制，要完全采用理论推断方法来探讨径流形成规律显然还存在严重困难。虽然这样，理论分析的途径仍旧吸引着水文学家为之努力奋斗。

### 3. 概念性模拟

基于一定的物理成因概念,对现象加以适当的概化,并进行数学模拟,以求得对现象发展规律的定量描述的研究途径称为概念性模拟。由此不难看出,当人们尚不能用数理工具对径流形成过程进行严格的描述时,使用概念性模拟的研究途径是很有必要的。但应当指出,概念性模拟的研究途径与上述理论推断的研究途径是难以截然分开的,因为当概念性模拟中的某些假设和概念被实践证明是正确了的时候,概念性模拟的途径也就成为理论推断的途径了。

世界是无限的,人们的认识能力也是无限的。在径流形成研究中,人们从实验研究中得到对现象的外部认识和基本量测,又通过理论分析和概念性模拟逐步上升到对现象内在规律的认识,得出对现象的数学描述或数学模拟,并对现象的未来发展进行预测,然后再用实验来验证或修改已得出的数学描述或数学模拟。实践—理论—再实践,这样一次又一次地不重复的循环上升,就把人们对径流形成的研究引向纵深。

## 复习思考题

1. 什么叫径流?它与年径流、月径流、旬径流以及当地径流有何区别?
2. 任选一个流域,绘出一、二次洪水的降雨过程和相应的出口断面流量过程对照图,定量地说明两者之间的差异。
3. 什么叫径流形成过程?它包括哪些子过程?试用框图表示径流形成过程。
4. 从动力学的角度看,径流形成过程包括哪些水分运行过程?
5. 径流形成的研究对象和基本研究方法是什么?各研究方法之间的相互关系怎样?



# 产流要素

由第 1 章可知,流域蓄渗过程即为流域产流过程。因此流域蓄渗过程中所涉及到的水文要素可统称为产流要素。它包括植物截留、填洼、下渗和蒸散发等。

本章将紧紧抓住水-土-植系统水文循环这一线索来讨论产流要素,关键是探讨土壤水分的保持、储存和输移规律。从理论上说,弄清了这个问题,下渗和蒸散发物理规律的揭示和分析计算就容易解决了。

## 2.1 植物截留

植物截留是指雨水在植物枝叶表面吸着力、承托力和水分重力、表面张力等作用下储存于植物枝叶表面的现象。降雨初期,雨滴降落在植物枝叶上被枝叶表面所截留。在降雨过程中,截留不断增加,直至满足截留容量(又称最大截留量)。植物枝叶截留的水分,当水滴重量超过表面张力时,便落至地面。截留过程延续于整个降雨过程。积蓄在枝叶上的水分不断地被新的雨滴所更替。雨止后截留水量最终耗于蒸发。

影响植物截留的因素可分为两类:一类是植物本身的特征,如树种、树龄、林冠厚度、茂密度等;另一类是气象、气候因素,如降雨量、降雨强度、气温、风和前期枝叶湿度等。对一个流域而言,还有植被的分布及植被度等影响因素。以上第一类因素实际上反映了植物的截留容量,而第二类因素则决定了实际的截留量。

对不同的树种,枝叶的茂密度是不同的。茂密度大的植物截留量也大。茂密度也与树龄有关。树木自幼年至壮年的生长过程中,枝叶越来越密。而由壮年至老年期又出现自然的稀疏过程。有的观测结果表明,树龄在 30~40 年的植物,林冠截留量为最大。

降水量及其强度对植物截留也有显著影响。图 2-1 是实测的云杉和桦的截留量与降雨量的关系图,于此可见降水量对植物截留的影响。至于植物截留与降雨强度的关系,则由人工降雨实验得知有如下几个特点:

- (1) 降雨初期,雨水全部截留于枝叶表面,截留量与降雨强度( $i$ )无关。
- (2) 对给定的稳定降雨强度,有一个与之对应的最大稳定截留量( $s_s$ )。
- (3) 随着降雨强度的增加, $s_s$  也增大,最后趋于一常数值,即植物截留容量( $s_m$ )。

霍顿(R. E. Horton)曾指出,降雨强度对  $s_s$  与  $s_m$  之间关系的影响可用指数函数表示,即

$$s_s = s_m(1 - e^{-\alpha i}) \quad (2-1)$$

式中  $\alpha$  为经验常数。

风也是影响植物截留的重要因素。但风的影响有两种截然不同的情况:一是因风吹摇动枝叶减少了截留量;另一是因风吹增加蒸发量而增加截留量。这两种相反的效果表明,截留净量的增加或减少要具体情况具体分析。

比较常用的推求流域植物截留量的方法如下:雨后的植物截留量可分为两部分,即植物枝叶的截留容量和降雨期间的蒸发量,故有

$$V = s_m + \omega ET_R \quad (2-2)$$

式中  $V$  为流域平均截留量; $s_m$  为截留容量; $\omega$  为植被度; $E$  为蒸发率; $T_R$  为降雨历时。

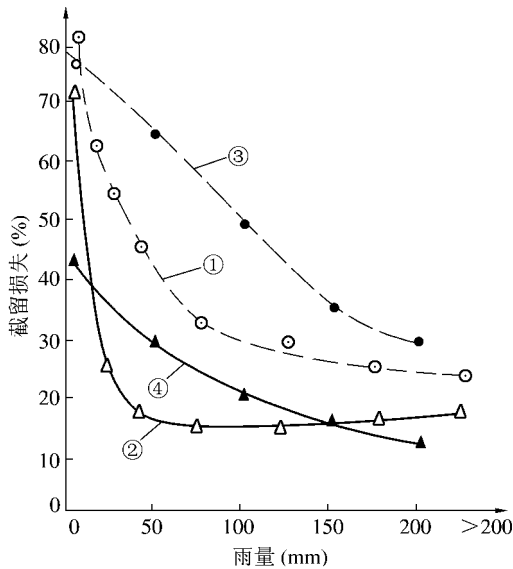


图 2-1 云杉和榉的截留损失

夏季: ① 云杉; ② 榉 全年: ③ 云杉; ④ 榉

式(2-2)仅适用于一场暴雨的情况,而且必须满足雨量大于植物截留容量与蒸发量之和。如果雨量小于截留容量,该式不适用,此时可按霍顿概念,把式(2-2)改为

$$V = (s_m + \omega ET_R)(1 - e^{-kp}) \quad (2-3)$$

式中  $p$  为降雨量; $k$  为经验常数,可按下述概念求定,因为微雨时截留量大体上等于降雨量,所以当雨量近于零时,  $dV/dp=1$ 。据此可由式(2-3)导得

$$k = \frac{1}{s_m + \omega ET_R} \quad (2-4)$$

由式(2-3)表示的植物截留量、降雨量和降雨历时之间的关系如图 2-2 所示。