

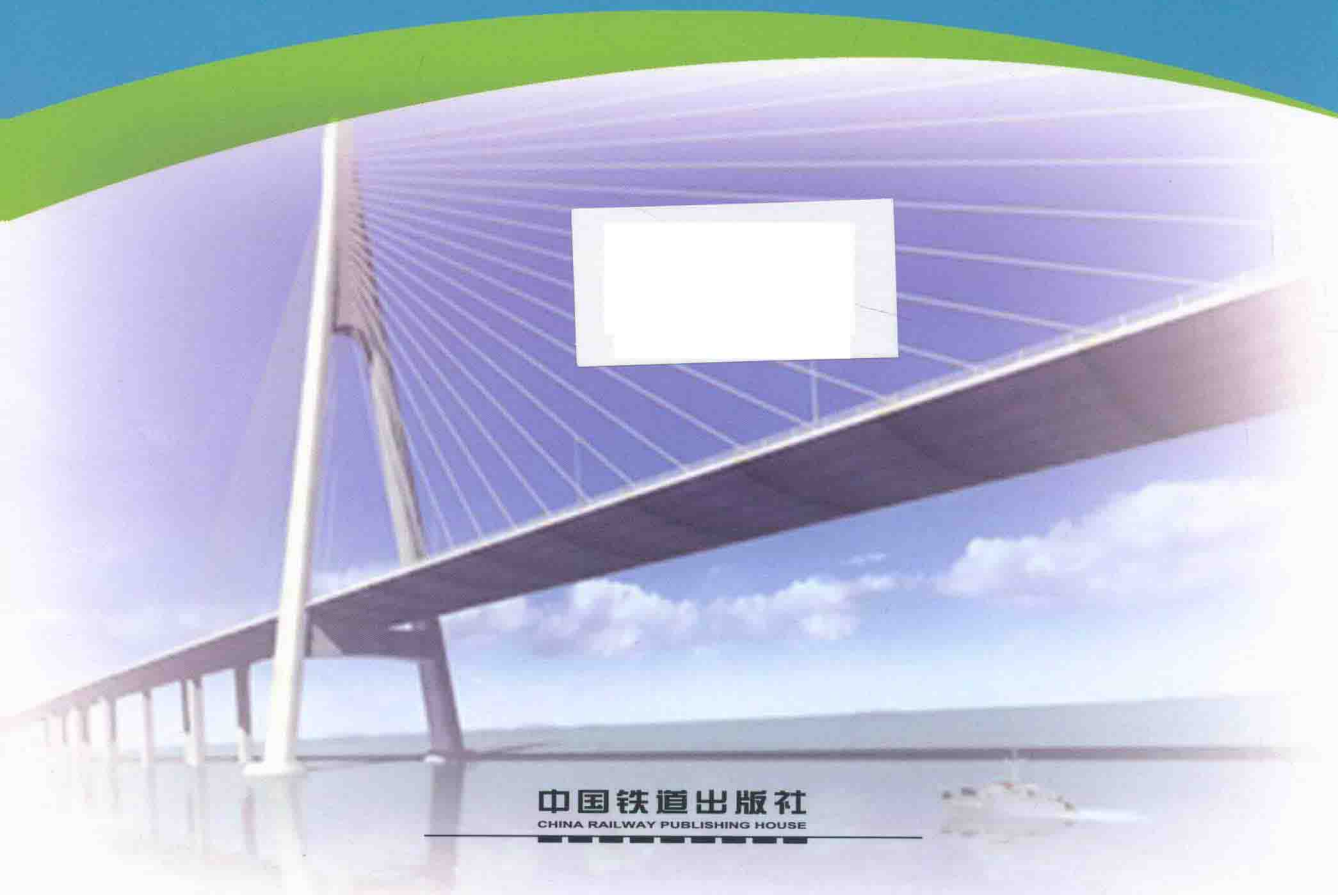


普通高等教育土木工程专业“十二五”规划教材

桥涵水文

(第二版)

文雨松 编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等教育土木工程专业“十二五”规划教材

桥 涵 水 文

(第二版)

文雨松 编著

中国铁道出版社

2015年·北京

内 容 简 介

本书主要内容包括:桥涵水文的数学基础、径流过程、河道与泥沙运动、水文观测与形态勘测、利用流量观测资料求设计流量、大中桥的桥位选择和孔径检算、利用雨量推算流量、小桥涵孔径计算、既有桥梁的水文检算与灾害整治。本书还包括了流量影响线法、雨量网络系统应用等桥涵水文最新成果。

本书除作为土木工程各专业的教材外,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥涵水文/文雨松编著. —2版. —北京:中国
铁道出版社,2015.1
普通高等教育土木工程专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-113-19534-2

I. ①桥… II. ①文… III. ①桥涵工程-工程水文学
-高等学校-教材 IV. ①U442.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 275267 号

书 名:桥涵水文(第二版)
作 者:文雨松 编著

责任编辑:李丽娟 编辑部电话:(010)51873135 读者热线:400-668-0820
封面设计:王镜夷
责任校对:马 丽
责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.51eds.com>

印 刷:北京华正印刷有限公司

版 次:2005年12月第1版 2015年1月第2版 2015年1月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:9 字数:224 千

书 号:ISBN 978-7-113-19534-2

定 价:22.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480



第二版前言

桥梁作为交通运输网的重要组成部分,一旦发生水毁,不但给铁路、公路等运输部门带来相当严重的损失,而且影响灾区救援工作开展,威胁人民生命财产安全。在严重的灾害面前,无论是设计,还是施工或管理部门,都已经意识到重视结构、轻视水文所带来的严重后果。

桥涵水文是一门正在不断完善的学科。针对我国中小桥梁众多,水文工作量大的特点,铁路、公路部门最近投入了大量的人力物力,在理论上研究出了不少新成果,在测量设备上也出现了不少的新仪器。为了满足既有桥梁检定的需要,《铁路桥梁检定规范》中还专门增加了“桥梁孔径与冲刷检算”等桥涵水文章节。为了适应新形势的变化,满足目前的教学要求,特对第一版《桥涵水文》进行修订。

桥涵水文是一门古老的学科,它有十分经典的理论。随着计算机的普及,已经出现了“桥涵水文检算”的计算机系统,加之互联网和雨量观测系统的普及,使水文工作状况发生了巨大变化,出现了依靠互联网和雨量观测系统的流量计算新方法,如流量影响线法等。本次修订工作,尽可能的在教材中纳入了这些新成果。

我国铁路桥梁规范与公路桥梁规范有一定的差别。但教育部的学科分类已没有铁路桥梁与公路桥梁的差别。土木工程专业的毕业生毕业后,可能从事公路桥梁的设计、施工和维护工作,也可能从事铁路桥梁的设计、施工和维护工作。本教材涉及了铁路桥涵、公路桥涵的水文勘测设计,还涉及了既有桥涵的水文检定。

本书可作为高等学校土木工程专业的教学用书,供 28~36 学时使用;也可以作为铁路、公路管理人员的培训教材;还可以供设计、施工、维护人员参考。

从方便教学出发,本教材有配套 PPT 课件,需要者可同编著者联系。欢迎读者提出宝贵意见(wenyusong9587@hotmail.com)。

文雨松 于中南大学
2014 年 8 月 20 日



第一版前言

我国的桥梁有悠久的历史。在某种意义上,桥梁代表了社会的文明程度。一座设计和建造优良的桥梁可以经过长期自然环境的考验。如中国的赵州桥,在一千多年后还能使用,就是很好的工程实例。

桥梁水文勘测和水文计算是桥梁设计的重要内容。从现有桥梁来看,很少有桥梁被车辆活载破坏,但桥梁被洪水冲毁的事件时有发生。引起这种事件的因素很多,其中最重要的有两条。第一条是桥梁修好后,生态环境发生了很大的变化。如大地植被在设计桥梁时发生了较大变化。在设计时看来不大的降雨,到现在可能形成较大的洪水,有的甚至威胁桥涵的安全。非法挖砂使河床变得粗糙,改变了糙率系数,降低了桥梁的过洪能力,致使桥梁出现事故。第二条是设计不合理。如没有收集到应该收集的雨量、流量等水文参数,设计流量没有体现河流的实际情况。设计流量确定得过大,桥梁修得过大,是一种浪费;设计流量确定得过小,桥梁跨径或基础埋置深度不够,建成后,桥梁容易发生水害。

桥涵水文计算涉及到天文、地理和气候等很多方面的知识,其计算十分复杂。传统的水文计算方法是手工计算设计流量,并依据设计流量确定桥跨孔径和基础的埋置深度。因为桥涵水文计算涉及面太宽,每个工程师对河流水文特性的理解、对桥梁设计规范的掌握不同,可能导致按同样的水文资料由不同工程师设计的桥梁差别较大。

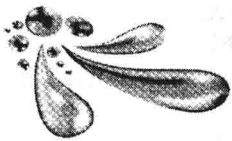
在水文方面,我国铁路桥梁规范与公路桥梁规范有一定的差别。但教育部的学科分类已没有铁路桥梁与公路桥梁的差别。土木工程专业的毕业生毕业后,可能从事公路桥梁的设计、施工和维护工作,也可能从事铁路桥梁的设计、施工和维护工作。因此本教材的内容在这方面已不再加以区分了。

由于近年来发生了既有桥梁水害事故,本书增加了既有桥梁的水文检算与水害桥梁加固的内容。

本教材适合于土木工程各专业,可供 28 至 36 学时的教学使用。

编著者

2005 年 12 月



目 录

第一章 桥涵水文的数学基础.....	1
第一节 概率统计基础.....	1
第二节 水文中的统计参数.....	3
第三节 水文常用的概率模型.....	4
第四节 相关分析.....	8
复习思考题	13
第二章 径流过程	14
第一节 径流的形成	14
第二节 影响径流的主要因素	17
第三节 我国河流的水量补给	22
第四节 雨量等值线	23
复习思考题	24
第三章 河道与泥沙运动	25
第一节 河道的基本特征	25
第二节 泥沙运动与河床演变	27
第三节 造床流量与河相关系	28
复习思考题	29
第四章 水文观测与形态勘测	30
第一节 水文观测	30
第二节 形态勘测	34
复习思考题	42
第五章 利用流量观测资料求设计流量	44
第一节 利用流量观测资料推求设计流量	44
第二节 含特大洪水系列的频率分析方法	48
第三节 有少量流量资料时设计流量的计算	49
第四节 利用水位观测系列计算设计流量	51

第五节 水库调蓄作用	52
第六节 水库溃坝流量计算	53
第七节 桥涵设计洪水频率标准	55
复习思考题	56
第六章 大中桥的桥位选择和孔径检算	58
第一节 桥位选择	58
第二节 铁路桥梁的孔径布置	60
第三节 公路桥梁的孔径布置	61
第四节 大中桥孔径检算的特点	63
第五节 大中桥的水位检算	64
第六节 桥下河床冲刷计算	72
第七节 桥头引线路肩标高检算	83
复习思考题	86
第七章 利用雨量推算流量	88
第一节 推理公式法	88
第二节 经验公式法	91
第三节 铁一院法	92
第四节 铁二院法	96
第五节 铁三院法	99
第六节 铁四院法	102
第七节 流量影响线法	109
复习思考题	116
第八章 小桥涵孔径计算	117
第一节 小桥孔径计算	117
第二节 涵洞孔径计算	120
复习思考题	123
第九章 既有桥梁的水文检算与灾害整治	124
第一节 既有桥梁的水文勘测	124
第二节 既有桥梁的水文检算	125
第三节 灾害桥梁的整治	127
复习思考题	130
附 录	131
参考文献	138

第一章 桥涵水文的数学基础

桥涵水文的数学基础以数理统计为主,在学习本课程前有必要了解一些必要的数理统计知识。

第一节 概率统计基础

一、事 件

自然界许多事物都有不确定性。如 n 次测量同一桥跨的长度,会得到 n 个不同的长度; n 个同一种材料同样大小的混凝土试件,可以测到 n 个不同的抗压强度。人们称事物的这种性质为随机性。桥涵水文现象也有随机性。经验告诉人们,事物的随机性伴随有统计规律。例如,特大流量或特小流量出现的机会很少,不大不小的流量出现的机会很多,这种事实无论在 哪条河流都存在,已经成为规律。这种规律就是统计规律。

数理统计中以事件来描述随机现象。

事件是随机实验的结果,它可以分为三类:

1. 必然事件

在一定的条件下必定发生的事件称为必然事件。例如,“在近百年内,长江不会断流”。这是必定发生的事件,其条件是“在近百年内”。

2. 不可能事件

在一定的条件下必定不会发生的事件称为不可能事件。例如,“明年湘江的最大流量比明年长江的最大流量大”,这是不可能事件,因为湘江是长江的支流,明年湘江的最大流量不可能比明年长江的最大流量大。

3. 随机事件

在一定的条件下可能发生也可能不会发生的事件称为随机事件。例如,“明年大冲河的洪水淹没某桥的钢梁梁底”,这是随机事件,因为明年大冲河的洪水淹没某桥钢梁梁底的事件可能发生,也可能不发生(尽管发生的可能性很小,但还是有可能的)。

二、概 率

表示随机事件发生可能性大小的数值为概率。概率分为事先概率和经验概率。

1. 事先概率

事件发生前可以计算出来的概率为事先概率。例如,抛掷一枚硬币出现正面的概率为 50%,因为这个事件只有出现正面和出现反面两种可能,并且机会相等,这是事先可以计算到的。

2. 经验概率

只能通过多次实验求得的概率为经验概率。例如,某河床断面出现大于 $2\ 600\ \text{m}^3/\text{s}$ 流量

的概率 p 只能依靠多年的流量观测才可以计算出, p 就是经验概率。

三、频率

水文中不严格的区分频率与概率,常用频率取代概率。事实上,当实验的次数较多时,频率总是稳定在一个数值,当试验的次数相当多时,这个数值就接近概率。

四、重现期

水文中常用到重现期,重现期是平均多少年发生一次的年数。例如,百年一遇流量的重现期是 100 年。重现期与频率是互为倒数的关系,即

$$T = \frac{1}{p} \quad (1-1)$$

式中 T ——重现期(年);
 p ——频率。

五、经验频率

对于简单的随机事件,其试验的次数总是有限,当每一次试验结果出现的可能性相等并且互不相容时,其概率可以应用古典概率公式计算,即

$$p(A) = \frac{m}{n} \quad (1-2)$$

式中 $p(A)$ ——随机事件 A 的概率;
 n ——可能结果的总数;
 m ——有利于事件 A 的可能次数。

当 $m=n$ 时, $p(A)=1$, A 为必然事件。当 $m=0$ 时, $p(A)=0$, A 为不可能事件。可见,随机事件的概率总是在 0 和 1 之间。

在水文计算中,常用维泊尔公式计算年最大洪峰流量的经验频率,即

$$p_m = \frac{m}{n+1} \quad (1-3)$$

式中 p_m ——序号为 m 的年最大洪峰流量值的频率;
 n ——年最大洪峰流量样本的总数。

如果取到 100 个流量样本(即 $n=100$),最小的流量样本 Q_{\min} 排序为 100(即 $m=100$),用古典概率公式(1-2)计算时,发生大于等于 Q_{\min} 事件的经验频率为 100%;用维泊尔公式(1-3)计算时,发生大于等于 Q_{\min} 事件的经验频率为 99.01%。

显然,如果用经验频率来替代频率,说发生大于等于 Q_{\min} 的频率为 100% 是不合适的,因为可能还有比 Q_{\min} 更小的流量没有测到或在今后的年代中才会发生。因此,水文计算中用维泊尔公式计算年最大洪峰流量的经验频率似乎更加合理。

六、随机变量系列

随机现象的每次试验结果可以用一数值 x 表示。 x 随试验的结果不同而有不同的数值,并且有对应出现的概率。这种带有随机性的变量 x ,称为随机变量。例如,水文中的水位、流量、流速等都是随机变量。

随机变量组成的系列成为随机变量系列。例如,1950 年起到 2012 年止,某桥桥下通过的年最大洪峰流量共有 61 个数据,这 61 个数据组成年最大洪峰流量系列。

第二节 水文中的统计参数

水文常用的统计参数有三个:均值、变异系数、偏差系数。

一、均值

以流量为例来说明水文中最常用的统计参数。在这里,均值就是平均流量 \bar{Q} ,平均流量反映了流量系列的平均水平。

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \quad (1-4)$$

式中 Q_i ——流量系列中的第 i 个样本值;

n ——流量系列中的样本数。

二、变异系数 C_v

C_v 表征各流量 Q_i 对于 \bar{Q} 的变化差异程度。

$$C_v = \frac{1}{\bar{Q}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}} \quad (1-5)$$

三、偏差系数 C_s

C_s 反映了各流量 Q_i 偏离 \bar{Q} 的不平衡性。

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^3}{(n-3)\bar{Q}^3 C_v^3} \quad (1-6)$$

四、统计参数同密度曲线的关系

统计参数能反映概率分布的特点,体现不同形状的密度曲线图形。统计参数 \bar{Q} 、 C_v 、 C_s 与密度曲线的关系如图 1-1 所示。

统计参数 \bar{Q} 反映了密度曲线的位置变化,若 C_v 、 C_s 不变, \bar{Q} 大,则对应的密度曲线靠右,如图 1-1(a) 所示。

统计参数 C_v 反映了密度曲线的高矮位置变化。若 \bar{Q} 、 C_s 不变, C_v 大,则对应的密度曲线就越矮胖, C_v 小则对应的密度曲线就越越高瘦,如图 1-1(b) 所示。 $C_v=0$ 表示密度曲线为一条竖直线, C_v 不小于 0。

统计参数 C_s 反映了密度曲线的偏斜程度,若 \bar{Q} 、 C_v 不变, C_s 大,则对应的密度曲线的峰就越偏左, C_s 小则对应的密度曲线的峰就越偏右,如图 1-1(c) 所示。年最大流量系列的 C_s 无负值,密度曲线的峰总是偏左。

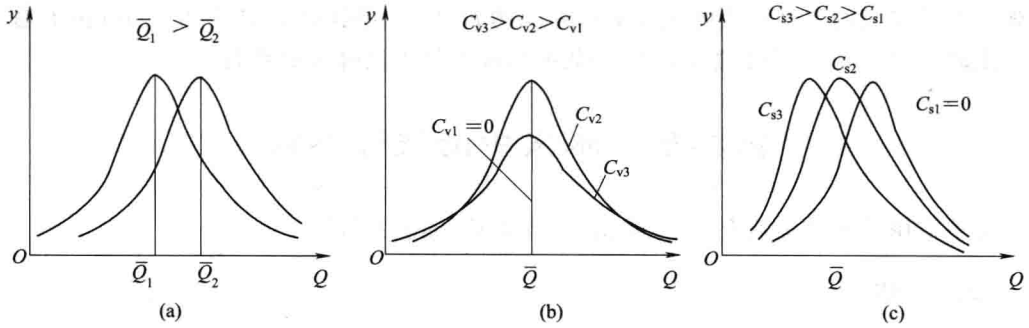


图 1—1 统计参数 \bar{Q} 、 C_v 、 C_s 与密度曲线的关系

第三节 水文中常用的概率模型

数学中常用随机变量所有可能取值及其对应的概率来描述随机变量现象的变化规律。反映某种随机变量与其概率关系的规律称为概率分布。

一、正态分布

世界上许多随机变量的概率分布可以用一种函数来描述或近似描述。例如,多次测量某桥梁的跨度时,由于测量仪器的误差、测量者的心理状况、气候变化等因素会导致每次测到不同的数据,这种不同数据的变化规律可以用正态分布来描述,即

$$p(x \geq x_p) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{x_p}^{\infty} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (1-7)$$

式中 μ ——均值;
 σ ——均方差。

混凝土的抗压强度、钢筋的抗拉强度等都可以应用正态分布来描述。

二、皮尔逊Ⅲ型分布

经验表明,中国大多数河流的年最大洪峰流量可以近似用皮尔逊Ⅲ型曲线(图 1—2)描述。年最大 24 h 降雨量也可以近似用皮尔逊Ⅲ型曲线描述,即

$$p(x > x_p) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_{x_p}^{\infty} (x-a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-a_0)} dx \quad (1-8)$$

式中 α, β 为参数。

由统计学理论可知:

$$\alpha = \frac{4}{C_s^2} \quad (1-9)$$

$$\beta = \frac{2}{\bar{x} C_v C_s} \quad (1-10)$$

$$a_0 = \bar{x} - \frac{2\bar{x}C_v}{C_s} \quad (1-11)$$

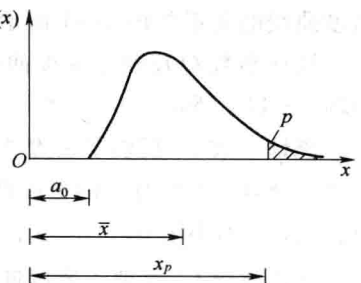


图 1—2 皮尔逊Ⅲ型曲线的密度函数

式中, \bar{x} 、 C_v 和 C_s 分别为系列的平均值、变异系数和偏差

系数。

a_0 是系列零点至曲线的起点距,在水文资料统计中,年最大流量或年最大降雨量不可能为 0,所以

$$\bar{x} - \frac{2\bar{x}C_v}{C_s} \geq 0 \quad (1-12)$$

式(1-8)中, $\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$ 是标准的 Γ 函数, Γ 函数的渐近表达式为

$$\ln \Gamma(x) = \left(x - \frac{1}{2}\right) \ln x - x + \frac{1}{2} \ln(2\pi) + \frac{1}{12x} - \frac{1}{360x^3} + \frac{1}{1260x^5} - \frac{1}{1680x^7} + \dots \quad (1-13)$$

当 $a_0 = 0$ 时, $C_s = 2C_v$, 这点称为 C_s 的下限, 因为 $C_s < 2C_v$, a_0 为负数, 不符合水文现象。根据式(1-11)有

$$\frac{a_0}{\bar{x}} = 1 - \frac{2C_v}{C_s}$$

观测中得到的样本最小值 a_{\min} , 肯定不小于总体的最小值, 因而有 $a_{\min} \geq a_0$ 。

$$\frac{a_{\min}}{\bar{x}} \geq \frac{a_0}{\bar{x}} = 1 - \frac{2C_v}{C_s}$$

令模比系数 $K = \frac{x}{\bar{x}}$, 则 $K_{\min} = \frac{a_{\min}}{\bar{x}}$ 。

$$K_{\min} \geq 1 - \frac{2C_v}{C_s}$$

即得

$$C_s \leq \frac{2C_v}{1 - K_{\min}}$$

所以, 在水文物理意义上, 符合皮尔逊 III 型曲线的 C_s , 必须满足

$$2C_v \leq C_s \leq \frac{2C_v}{1 - K_{\min}} \quad (1-14)$$

三、皮尔逊 III 型曲线的表格形式

皮尔逊 III 型曲线涉及到 Γ 函数, 计算十分复杂。

经水文研究人员的简化, 将式(1-8)中的 x 换成流量 Q , 将 α, β 与统计参数 \bar{Q}, C_v, C_s 联系起来, 经整理后, 式(1-8)以易于接受的形式出现, 即

$$Q_p = (\phi_p C_v + 1) \bar{Q} \quad (1-15)$$

式中 Q_p —— 频率为 p 的洪水流量 (m^3/s);

\bar{Q} —— 年最大洪峰流量的平均值 (m^3/s);

C_v —— 频率曲线的变异系数;

ϕ_p —— 与频率 p 对应的离均系数, 它依频率 p 和偏差系数 C_s , 以表格的形式出现, 见表 1-1。

式(1-15)中涉及 \bar{Q}, C_v, C_s 三个统计参数, 它们分别按式(1-4)~式(1-6)计算。

桥梁技术人员的主要目标是解决实际桥梁技术问题。因此, 以往桥梁技术人员常利用前人已制定的表格(表 1-1)来使用皮尔逊 III 型曲线。

为了方便, 还有按 C_s 与 C_v 倍数关系制定的皮尔逊 III 型曲线表格形式, 即

$$Q_p = K_p \bar{Q} \tag{1-16}$$

式中, K_p 为模比系数。

$$K_p = \phi_p C_v + 1 \tag{1-17}$$

在利用地方公式计算桥涵设计流量时,常用到 C_s 与 C_v 倍数关系的 K_p ,可查阅《铁路工程设计技术手册·桥涵水文》。

表 1-1 皮尔逊Ⅲ型曲线的离均系数 ϕ_p 值表

$C_s \backslash p(\%)$	0.2	0.33	0.5	1	2	5	20	50	90	95	99
0.0	2.88	2.71	2.58	2.33	2.02	1.64	0.84	0.00	-1.28	-1.64	-2.33
0.1	3.00	2.82	2.67	2.40	2.11	1.67	0.84	-0.02	-1.27	-1.62	-2.25
0.2	3.12	2.92	2.76	2.47	2.16	1.70	0.83	-0.03	-1.26	-1.59	-2.18
0.3	3.24	3.03	2.86	2.54	2.21	1.73	0.82	-0.05	-1.24	-1.55	-2.10
0.4	3.36	3.14	2.95	2.62	2.26	1.75	0.82	-0.07	-1.23	-1.52	-2.03
0.5	3.48	3.25	3.04	2.68	2.31	1.77	0.81	-0.08	-1.22	-1.49	-1.96
0.6	3.60	3.35	3.13	2.75	2.35	1.80	0.80	-0.10	-1.20	-1.45	-1.88
0.7	3.72	3.45	3.22	2.82	2.40	1.82	0.79	-0.12	-1.18	-1.42	-1.81
0.8	3.85	3.55	3.31	2.89	2.45	1.84	0.78	-0.13	-1.17	-1.38	-1.74
0.9	3.97	3.65	3.40	2.96	2.50	1.86	0.77	-0.15	-1.15	-1.35	-1.66
1.0	4.09	3.76	3.49	3.02	2.54	1.88	0.76	-0.16	-1.13	-1.32	-1.59
1.1	4.20	3.86	3.58	3.09	2.58	1.89	0.74	-0.18	-1.10	-1.28	-1.52
1.2	4.32	3.95	3.66	3.15	2.62	1.91	0.73	-0.19	-1.08	-1.24	-1.45
1.3	4.44	4.05	3.74	3.21	2.67	1.92	0.72	-0.21	-1.06	-1.20	-1.38
1.4	4.56	4.15	3.83	3.27	2.71	1.94	0.71	-0.22	-1.04	-1.17	-1.32
1.5	4.68	4.24	3.91	3.33	2.74	1.95	0.69	-0.24	-1.02	-1.13	-1.26
1.6	4.80	4.34	3.99	3.39	2.78	1.96	0.68	-0.25	-0.99	-1.10	-1.20
1.7	4.91	4.43	4.07	3.44	2.82	1.97	0.66	-0.27	-0.97	-1.06	-1.14
1.8	5.01	4.52	4.15	3.50	2.85	1.98	0.64	-0.28	-0.94	-1.02	-1.09
1.9	5.12	4.61	4.23	3.55	2.88	1.99	0.63	-0.29	-0.92	-0.98	-1.04
2.0	5.22	4.70	4.30	3.61	2.91	2.00	0.61	-0.31	-0.89	-0.95	-0.99
2.1	5.33	4.79	4.37	3.66	2.93	2.00	0.59	-0.32	-0.87	-0.91	-0.95
2.2	5.43	4.88	4.44	3.71	2.96	2.00	0.57	-0.33	-0.84	-0.88	-0.91
2.3	5.53	4.97	4.51	3.76	2.99	2.00	0.55	-0.34	-0.82	-0.85	-0.87
2.4	5.63	5.05	4.58	3.81	3.02	2.01	0.54	-0.35	-0.79	-0.82	-0.83
2.5	5.73	5.13	4.65	3.85	3.04	2.01	0.52	-0.36	-0.77	-0.79	-0.80
2.6	5.82	5.20	4.72	3.89	3.06	2.01	0.50	-0.37	-0.75	-0.76	-0.77
2.7	5.92	5.28	4.78	3.93	3.09	2.01	0.48	-0.37	-0.73	-0.74	-0.74
2.8	6.01	5.36	4.84	3.97	3.11	2.01	0.46	-0.38	-0.70	-0.71	-0.71
2.9	6.10	5.44	4.90	4.01	3.13	2.01	0.44	-0.39	-0.68	-0.69	-0.69

续上表

$C_s \backslash p(\%)$	0.2	0.33	0.5	1	2	5	20	50	90	95	99
3.0	6.20	5.51	4.96	4.05	3.15	2.00	0.42	-0.39	-0.66	-0.67	-0.67
3.1	6.30	5.59	5.02	4.08	3.217	2.00	0.40	-0.40	-0.64	-0.64	-0.65
3.2	6.39	5.66	5.08	4.12	3.19	2.00	0.38	-0.40	-0.62	-0.62	-0.63
3.3	6.48	5.74	5.14	4.15	3.21	1.99	0.36	-0.40	-0.60	-0.61	-0.61
3.4	6.56	5.80	5.20	4.18	3.22	1.98	0.34	-0.41	-0.59	-0.59	-0.59
3.5	6.65	5.86	5.25	4.22	3.23	1.97	0.32	-0.41	-0.57	-0.57	-0.57
3.6	6.73	5.93	5.30	4.25	3.24	1.96	0.30	-0.41	-0.55	-0.56	-0.56
3.7	6.81	5.99	5.35	4.28	3.25	1.95	0.28	-0.42	-0.54	-0.54	-0.54

【算例 1—1】 已经求得某桥年最大流量的平均值为 $75 \text{ m}^3/\text{s}$, 变异系数 C_v 为 0.7, 偏差系数 C_s 为 2.4, 试求此桥百年一遇的流量。

【解】 利用公式(1—15), 查表 1—1, 得离均系数 $\phi_p = 3.81$, 则

$$Q_p = 75 \times (0.7 \times 3.81 + 1) = 275.02 (\text{m}^3/\text{s})$$

四、海森机率坐标

在普通的直角坐标上, 皮尔逊 III 型曲线[式(1—15)]呈 S 形, 曲线两端陡峭, 不易作外延等工作。海森首先提出使用机率格纸, 将皮尔逊 III 型曲线绘制在海森机率坐标上, 可以得到一条接近直线的线, 改善这一情况。

表 1—2 列出了海森机率格纸的横坐标。表 1—2 中, p 为频率, 单位为%; X_p 为由中值(50%)起的水平距离。

表 1—2 海森机率格纸的横坐标分格

$p(\%)$	X_p	$p(\%)$	X_p	$p(\%)$	X_p	$p(\%)$	X_p	$p(\%)$	X_p
0.01	3.720	0.30	2.748	2	2.053	14	1.080	32	0.468
0.02	3.540	0.40	2.652	3	1.881	15	1.036	34	0.412
0.03	3.432	0.50	2.576	4	1.751	16	0.994	36	0.358
0.04	3.353	0.60	2.512	5	1.645	17	0.954	38	0.305
0.05	3.290	0.70	2.457	6	1.555	18	0.915	40	0.253
0.06	3.239	0.80	2.409	7	1.476	19	0.878	42	0.202
0.07	3.195	0.90	2.366	8	1.405	20	0.842	44	0.151
0.08	3.156	1.0	2.326	9	1.341	22	0.774	46	0.100
0.09	3.122	1.2	2.257	10	1.282	24	0.706	48	0.050
0.10	3.090	1.4	2.197	11	1.227	26	0.643	50	0.000
0.15	2.967	1.6	2.144	12	1.175	28	0.583		
0.20	2.878	1.8	2.097	13	1.126	30	0.524		

图 1—3 为海森机率格纸的坐标图。使用图 1—3 解决实际问题时, 应注意使图形竖坐标的最大值略大于样本流量的最大值, 使图形竖坐标的最小值略小于样本流量的最小值, 这样才

可以合理的布置图形。

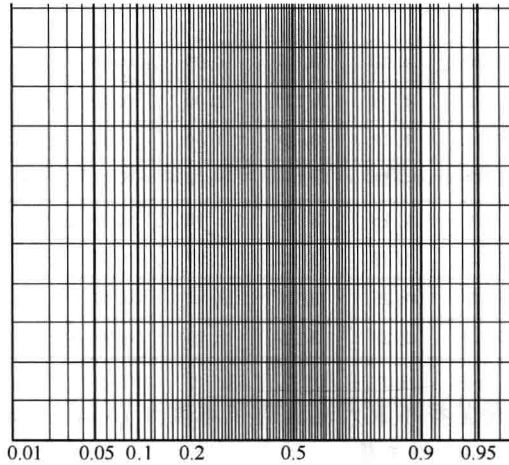


图 1—3 海森机率格纸

五、其他“理论”频率曲线

我国广泛运用皮尔逊Ⅲ型曲线来模拟水文现象。但不可以排除其它频率曲线。如克里茨基和闵凯里就提出过 $K-M$ 曲线；耿贝尔根据极值定理，也提出过使用极大值 I 型曲线等。

第四节 相关分析

一、统计相关

水文中使用相关分析来研究许多变量之间的关系。水文参数之间的关系可归类为三种：如果变量之间的关系非常密切，相互形成严格的函数关系，则称它们之间为完全相关，如图 1—4 所示；如果变量各自独立，彼此之间没有关系，则称它们之间为零相关，如图 1—5 所示；如果变量之间的关系不是非常密切，处在零相关与完全相关之间，则称它们之间相关，或称为统计相关，如图 1—6 所示。水文中很多变量间的关系属于统计相关。

利用统计方法确定两变量之间的近似函数，这样的函数虽然没有反映两变量之间的严格科学关系，但它可以反映其主要特征，对解决实际问题有十分重要的意义。

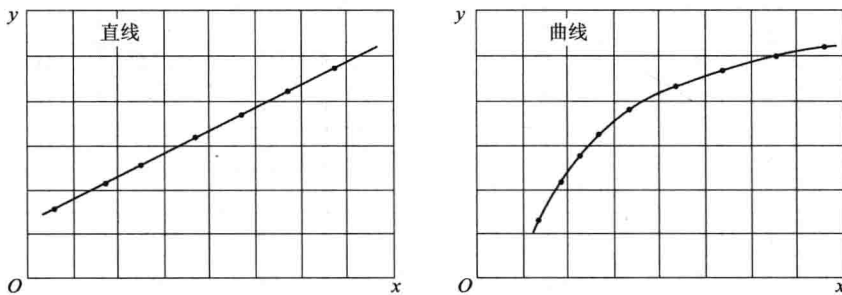


图 1—4 完全相关

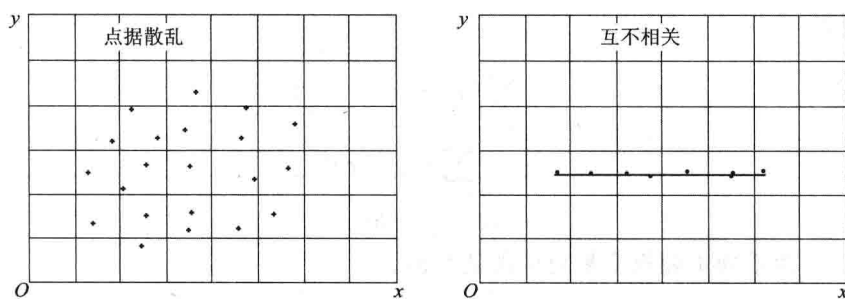


图 1-5 零相关

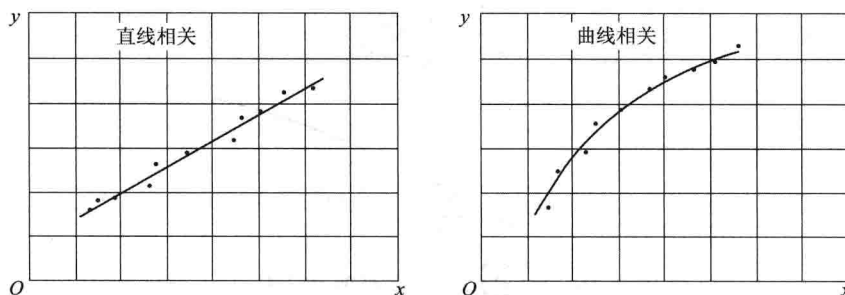


图 1-6 统计相关

二、直线相关的回归方程式

简单相关中的直线相关,就是两个变量之间的关系可以近似的配成一条直线。通常的作法是在坐标纸上绘出相应点据,如果这些点据呈直线趋势,就可以初步确定这两系列的变量存在直线相关,称这条直线为回归线。确定回归线的方法有两种。

1. 图解法

图解法就是根据点据绘一条回归线,这条回归直线应尽可能的反映点群的趋势。图解法缺乏回归直线的依据,随意性比较大。但这种方法简单,可省去大量计算工作。当两个变量之间的直线相关程度相当密切时,可以使用图解法。

2. 最小二乘法

最小二乘法的目标是寻找一条回归直线:

$$y = a + bx \quad (1-18)$$

如图 1-5 所示,回归直线到各点据均有离差,离差的平方和:

$$\Omega(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2$$

根据数学分析中求极小值的原理,为使离差的平方和达到最小,有

$$\begin{cases} \frac{\partial \Omega}{\partial a} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial \Omega}{\partial b} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2}{\partial b} = 0 \end{cases}$$

联立求解,可得

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1-19)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (1-20)$$

式中 \bar{x}, \bar{y} ——两系列中随机变量对应值的均值。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-21)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (1-22)$$

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (1-23)$$

$$l_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (1-24)$$

$$l_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (1-25)$$

相关系数

$$r = \frac{l_{xy}}{\sqrt{l_{xx}l_{yy}}} \quad (1-26)$$

使用 r 检验,若在水平 α 下 $r \geq r_\alpha$,说明回归效果是高度显著的。 r_α 的值见表 1-3。

表 1-3 相关系数临界值 r_α 表 $p\{|r| > r_\alpha\} = \alpha$

$n-2 \backslash \alpha$	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.002	0.001
1	0.707	0.951	0.988	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000
2	0.500	0.800	0.900	0.950	0.980	0.990	0.998	0.999
3	0.404	0.687	0.805	0.878	0.934	0.959	0.986	0.991
4	0.347	0.603	0.729	0.811	0.882	0.917	0.963	0.974
5	0.309	0.551	0.669	0.755	0.833	0.875	0.935	0.951
6	0.281	0.507	0.621	0.707	0.789	0.834	0.905	0.925
7	0.260	0.472	0.582	0.666	0.750	0.798	0.875	0.898
8	0.242	0.443	0.549	0.632	0.715	0.765	0.847	0.872
9	0.228	0.419	0.521	0.602	0.685	0.735	0.820	0.847
10	0.216	0.398	0.497	0.576	0.658	0.708	0.795	0.823
11	0.206	0.380	0.476	0.553	0.634	0.684	0.772	0.801
12	0.197	0.365	0.457	0.532	0.612	0.661	0.750	0.780
13	0.189	0.351	0.441	0.514	0.592	0.641	0.730	0.760
14	0.182	0.338	0.426	0.497	0.574	0.623	0.711	0.742
15	0.176	0.327	0.412	0.482	0.558	0.606	0.694	0.725