

公路小桥涵设计流量计算方法

茅锡华 编著

人民交通出版社

公路小桥涵设计流量计算方法

GONGLUXIAOQIAOHAN
SHEJILIULIANG
JISUANFANGFA

茅锡华 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书根据暴雨形成径流的基本原理,结合公路小桥涵的特点,提出了以推理公式为主的小桥涵设计流量计算方法和原理。其内容包括小流域暴雨,损失参数和汇流时间分析计算。在推导和制定流量公式时考虑了暴雨时空分布和自然地理等影响因素。

本书根据一项科研成果整理而成,可供公路工程技术人员参考,也可供有关大专院校师生参考。

公路小桥涵设计流量计算方法

茅锡华 编著

责任编辑:阎飞

人民交通出版社出版发行

(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 4.5 字数: 91千

1989年4月 第1版

1989年4月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—6,016册 定价: 2.10元

前 言

设计流量是确定小桥涵孔径的主要依据之一。为提高工程的经济效益，使小桥涵既有一定的抗洪能力，又不致有过大的工程量，其关键就在于正确计算设计流量。而我国公路系统的小桥涵设计流量计算方法一直没有得到较为理想的解决。

解放初期，我国小桥涵设计流量计算，大多是采用估算方法——即目估方法，缺乏科学依据，计算精度很差。虽然也套用过国外的一些计算公式，也因与我国的气候条件和地理条件存在差异，导致计算结果与实际情况有很大出入，其计算精度很不理想。50年代末，根据苏联包尔达可夫暴雨形成径流的“水流理论”，我国公路系统首次建立了小桥涵设计流量计算公式——简化公式，这一公式的建立，在公路建设中起到了一定作用，并一直应用到1984年为止。但因简化公式在制定过程中，由于基本假定不够合理并限于当时水文资料不足，在处理方法上比较粗糙，因此误差仍然较大。随着我国交通事业的发展，现有的公路小桥涵设计流量计算方法，已经不能适应公路建设的需要。

我国是多山区国家之一，沟壑众多，修建公路要跨越无数的小河、山沟，要修建许多桥梁和涵洞。据国内主要干线公路初步统计，小桥涵数量平均每公里4~6座。就小桥涵单个而论造价不高，但整条线路的小桥涵造价却占全线投资的20%左右。由于设计流量不合理，造成桥梁和路基严重水

毁，这种现象已引起公路部门的关注。1984年交通部组织了一次公路水毁调查，每年公路水毁损失高达数亿元，而且有逐年加剧的趋势。调查结果表明，大中桥水毁少，而小桥涵水毁十分严重，其主要原因是：大中桥的设计一般经过水文调查和水文计算，在有科学依据的基础上确定桥位和设置桥孔。而小桥涵一是水文资料缺乏，同时又不可能对逐条小河、山沟都进行水文调查；二是现用的流量计算公式精度差，导致孔径设计不合理，这是造成小桥涵严重水毁的重要原因。这种严重后果致使有的公路处于瘫痪状态，有的公路等级下降，不能充分发挥公路的预期效益，严重影响了公路交通运输事业的发展。因此，工程上迫切需要既有科学依据，又能符合实际的计算公式。

鉴于上述情况，1982年交通部下达了“公路小桥涵暴雨洪峰流量计算方法研究”任务，由交通部公路科学研究所主持，全国28个单位参加，其参加人员有：交通部公路规划设计院朱维峰、余建寅，交通部第一公路勘察设计院张又贤，山西省交通科学研究所敬大椿、安书杰，甘肃省交通规划勘察设计院徐元顺、刘新生、景初、杨慧林、赵翻旺，黑龙江省公路勘察设计院许承铮、陈辉，吉林省公路勘察设计院薛立功、张玉新，吉林省交通科学研究所张列民，辽宁省交通科学研究所赵德宽，河北省交通规划设计院崔晓东、胡桂芬、顾林红，内蒙古自治区交通科学研究所池勇江、白文智，安徽省公路设计院叶在渊、甘霖、陶爱萍，浙江省交通设计院江翎、汤奉庄、李品飞，福建省交通规划设计院戴文光、张涵沂，河南省交通科学研究所王永泉，河南省交通勘察设计院傅巧云、范冬兰、陈亚莉，湖南省交通规划勘察设计院陶况林、任萍，四川省交通厅公路规划勘察设计院杨伯

超、肖晓明，云南省交通科学研究所伍仰光，云南省公路设计院杨俊、苗秀英，广西壮族自治区交通厅勘察设计院侠进，李兰宽、陈朝东，新疆维吾尔自治区公路勘察设计院王天志、冯治华，宁夏回族自治区交通厅公路设计院严树新、齐武生，青海省公路科研勘察设计院李怀源、余洪煊，贵州省交通勘察设计院苟治权、刘博文、罗若瑜、程素芬、钟少都、张嘉照，贵州省交通学校张润虎，陕西省公路勘察设计院钟晓山、侯渭南、潘琦，湖北省公路局科学研究所赵全安，沈阳市公路管理处杨则乙、汤泓。经研究协商，决定由交通部科学研究所茅锡华将成果编纂成书。

在课题研究过程中曾得到水利部门、高等院校和有关单位的热情支持，在此一并表示感谢。限于水平和经验，书中难免还有不足之处，请批评指正。

目 录

第一章 绪论.....	1
第一节 公路小桥涵暴雨洪峰流量计算方法概述.....	1
第二节 小桥涵暴雨洪峰流量特征.....	10
第二章 暴雨.....	12
第一节 暴雨特性及气象成因分析.....	12
第二节 暴雨分析计算.....	14
第三节 设计雨力计算.....	27
第三章 流域产流和汇流的分析计算.....	34
第一节 流域产流的分析计算.....	35
第二节 流域汇流时间分析计算.....	51
第三节 流域特征参数确定.....	61
第四章 流量公式的制定.....	62
第一节 推理公式.....	62
第二节 经验公式.....	65
第五章 流量公式计算方法和误差评定.....	74
第一节 流量公式计算方法.....	74
第二节 误差评定.....	80
附录 水文频率计算常用图表.....	84
附录一 经验频率 $\rho = \frac{m}{n+1} \times 100\%$ 值表	84
附录二 皮尔逊III型曲线的离均系数 Φ_p 值表.....	86
附录三 当 C_s 为平均数时皮尔逊III型曲线纵坐标 k_p 表.....	90
附录四 皮尔逊III型曲线的模比系数 K_p 值表.....	92
附录五 小桥涵孔径计算方法.....	132
主要参考资料及文献.....	136

第一章 绪 论

第一节 公路小桥涵暴雨洪峰 流量计算方法概述

在公路系统，人们通常所说的小桥涵流量，其实际意义是指小桥涵工程以上流域面积内的水量汇集到小桥涵出口处的流量。在水利系统，叫做小流域暴雨洪峰流量。随着国民经济的发展，小河、山沟洪峰流量的计算在工农业生产中的作用越来越重要。公路、铁路的修建，电力网和输电工程的建设，矿山的开发，以及通信工程、机场、城市给排水工程等，都必须考虑当地的洪峰流量。

世界各国对小流域暴雨径流进行了大量的研究工作，在理论上取得了很大进展，提出了很多计算方法，但归纳起来基本上有三类途径：1.成因分析即经验公式法；2.根据暴雨形成的洪水基本原理并结合小流域的特点，作某些概化和假定，导出由暴雨推求洪水的方法，称为推理公式法；3.选择水文参数与模拟电子计算机的参数相配合的洪水数学模型方法。

由于暴雨形成洪峰流量是一个十分复杂的过程，其影响因素很多，所以至今对暴雨洪水计算尚未提出精度较高的公式。当前的计算公式还或多或少存在一些未解决的问题，各国的水文工作者还在进一步地探索和研究。

我国小流域暴雨洪峰流量计算方法种类也很多，但实际应用过程中基本上采用两种方法：经验公式法和推理公式法。

一、经验公式法概述

这类公式是根据实测流量的数量和其代表性，直接建立洪水要素与有关因素间的经验相关关系。公式的形式可以分为单因素和多因素两类，用以综合反映在公式中未列的因素。其基本原理是：形成洪水的物理因素很多，各个因素的变化又很复杂，难以一一加以周全的考虑，因而挑选其中主要的因素来确定洪水要素与这些因素间的相关关系。

1. 单因素公式形式

常见的公式我们称为标准的单因素的经验公式，采用洪峰流量和流域面积建立的相关关系，其公式为：

$$Q_m = CF^\lambda \quad (1-1)$$

式中： Q_m ——最大洪峰流量 (m^3/s)；

F ——流域面积 (km^2)；

C 和 λ ——系数和指数。

2. 多因素公式形式

这类公式考虑了两个以上的因素进行复相关，其公式为：

$$Q_m = Ch^b f^m F^\lambda \quad (1-2)$$

式中： h ——径流深度 (mm)；

F ——流域面积 (km^2)；

f ——流域形状系数， $f = \frac{F}{L^2}$ ；

L ——流域最远一点至出口断面的距离 (km)；

b 、 m 、 λ_1 ——指数。

其它符号意义同上。

一般来说：计算因素越少，对实测资料的要求越少，所建立的公式及其使用越简单，但难以反映不同地区自然条件的变化；相反，计算因素越多，不仅计算比较复杂，而且对实测资料的要求越多，目前小河和山沟现有资料条件是满足不了这一要求的，今后也是很难满足的。虽然多因素公式对地区性的自然条件反映较好些，但由于多因素定量误差的累积，对计算精度也不见得能提高多少。因此，经验公式中对相关因素的选择，应当考虑地区的自然地理特点，要抓住其影响的主要因素，建立简单方便的公式便于推广应用。

二、推理公式法概述

推理公式是建立在洪水形成原理上的一种方法，从1851年摩尔凡尼（T.J.Mulvaney）给出的古典推理公式开始，已有一百多年的历史。从实用上讲，推理公式法比较适用于小流域上的洪水计算，特别是解决无资料地区流量计算是一种有效的计算方法，而理论上推理公式法为成因推理，但必须结合经验分析的方法。

在现有的推理公式中，对各种因素间的关系，要采用一定的概化假定条件，因而与实际情况之间必然产生差异，因此，一般采用经验途径的分析方法来弥补。随着水文科学的发展和水文资料条件的不断改进，各国水文工作者探索在成因分析的基础上，结合实测暴雨洪水资料，对公式中一些参数进行分析定量，以达到可以实用的目的。

苏联波尔达可夫——切戈达也夫公式：

$$Q = 16.7a^* \varphi^* F \quad (1-3)$$

式中: Q ——洪峰流量 (m^3/s);

a^* ——产流强度 (mm/min);

φ^* ——全面汇流所造成的最大流量与经河道调蓄后形成的出口断面最大流量的比值;

F ——流域面积 (km^2);

16.7——单位换算系数。

波、切两氏的公式(在苏联作为公路和铁路系统的桥涵洪水计算规范基础)在产流处理方面,他们采用平均概化降雨过程,即将各次降雨过程累积线换算成同一时间与雨量的相对坐标,求出取各次的平均过程,然后以事先分析好的地区综合入渗过程累积线与该地区应当采取的某次设计频率降雨过程累积线,用相减或相切的办法来求取净雨历时和雨深。在概念上似乎是比较清楚,但其缺点是:把各种历时降雨都按同一相对时程坐标概化,是不符合实际情况的,对各种设计历时的降雨,按同一过程的典型进行放大,这种处理方法对我国的暴雨特性不适用,往往造成设计流量偏小,造成水工建筑物不安全(桥涵工程实际上也属水工建筑物之一)。

阿列克谢也夫公式

$$q_m = \frac{q_0}{1 + \frac{q_0}{h} \tau} \quad (1-4)$$

式中: $q_m = \frac{Q_m}{F}$;

q_0 ——最大出流深;

h ——径流深;

τ ——流域汇流时间。

在1960年阿氏修改了公式，修改后的形式为：

$$q_m = \frac{P_m}{1 + \frac{P_m}{h} \tau} \quad (1-5)$$

$$P_m = \frac{i_m}{1 + \frac{i_m}{h} \tau_0} \quad (1-6)$$

式中： P_m ——最大河网入流强度

τ ——河网汇流时间；

i_m ——最大产流强度；

τ_0 ——坡面汇流时间。

阿氏1960年修改的公式比1953年提出的公式有所改进，但还有以下不足之处：

1. 阿氏将由暴雨形成的最大流量过程，分为三个过程，（1）由暴雨变成净雨；（2）由净雨变作坡面出流，即河网入流；（3）由河网入流变为流域出流即出口断面的流量（而大多数的推理公式分为两步，即：（1）暴雨变净雨；（2）由净雨变流域出流）。坡面出流又使用二次演进法，即坡面汇流与河道汇流分开计算的方法。对小流域而言，在理论上是正确的，但在小流域的水文资料短缺的情况下，分开计算是有很大的困难的。因此，一般采用一次演进法来计算流域汇流时间。

2. 对阿氏1960年提出的公式进行分析，可以发现以下特点：根据产流强度随历时增长而平均值递减的性质，坡面最大出流强度等于在坡面汇流时间内的最大平均产流强度；其本身也符合随历时增长而平均值递减的性质，所以出口断面处最大流量模数等于在河道汇流时段内的最大平均坡面出流

强度。这个条件只有把流域概化为矩形时才能成立，与一般推理公式概化条件是一样的。所以阿氏公式的处理方法，反而增加了不必要的层次。

3. 阿氏公式对流域特征的确定，如坡面长度，坡面比降等，在定量上也缺少严格的标准。

国内有影响的几个公式：

1. 陈家琦等公式：

$$Q = 0.278 \frac{\psi s}{\tau^n} F \quad (1-7)$$

其中当 $t_c \geq \tau$ 时

$$\psi = 1 - \frac{\mu}{s} \tau^n \quad (1-8)$$

而当 $t_c < \tau$ 时

$$\psi = 1 - \left(\frac{t_c}{\tau} \right)^{1-n} \quad (1-9)$$

而

$$\tau = \tau_0 \psi^{-\frac{1}{4-n}} \quad (1-10)$$

$$0.278 \frac{3}{4-n}$$

其中

$$\tau_0 = \frac{0.278 \frac{3}{4-n}}{\left(\frac{mJ^{1/3}}{L} \right)^{\frac{4}{4-n}} (sF)^{\frac{1}{4-n}}} \quad (1-11)$$

$$t_c = \left[(1-n) \frac{s}{\mu} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (1-12)$$

式中：Q——洪峰流量 (m³/s)；

s ——暴雨参数 (雨力) (mm/h) ;

τ ——汇流时间 (h) ;

n ——暴雨递减指数;

μ ——产流历时内流域平均入渗率 (mm/h);

m ——汇流参数;

L ——自分水岭沿主河道至出口断面的流程 (km);

J ——沿 L 的加权平均纵比降;

t_c ——产流历时 (h) ;

τ_0 ——径流系数 $\psi = 1.0$ 时的汇流时间 (h) ;

F ——流域面积 (km^2) 。

式(1-7)中考虑了两种汇流条件, 当 $t_c \geq \tau$ 时为全面汇流, $t_c < \tau$ 时为部分汇流。目前对汇流条件的区分还存在分歧, 河海大学朱元铎、蔡文祥对其两种汇流条件曾作过推导, 其结果部分汇流情况的计算公式与全面汇流情况计算公式并无实质上的区别, 因此, 认为不必要进行分两种汇流条件计算。从生产角度考虑, 在设计条件下, 也难以分开考虑。

2. 铁道部第一设计院的公式:

$$Q_p = \left[\frac{k_1(1-k_2)P}{(xP_1)^{n'}} \right]^{\frac{1}{1-n'y}} \quad (1-13)$$

式中: Q_p ——暴雨洪峰流量 (m^3/s) ;

k_1 ——产流因子, 其算式为:

$$k_1 = 0.278sF;$$

其中 s ——面平均暴雨参数 (mm/h) ;

F ——流域面积 (km^2) ;

k_2 ——损失因子, 其算式为:

$$k_2 = R S^{r_1 - 1}$$

其中 R ——损失系数；

r_1 ——损失指数。 R 、 r_1 是反映不同地面条件，不同土壤和不同土类含水量的平均损失强度；

x ——山坡和主河槽综合汇流因子，由山坡汇流因子 k_2 和主河槽汇流因子 k_1 而定；

$$x = k_1 + 0.95k_2$$

其中

$$k_1 = \frac{0.278L_1}{A_1I_1^{0.35}}$$

$$k_2 = \frac{0.278L_2^{0.5}P^{0.5}}{A_2L_2^{0.33}}$$

L_1 ——主河槽长度，由显著河槽起点到出口断面的距离(km)；

A_1 ——主河槽流速系数；

I_1 ——主河槽平均坡度；

L_2 ——流域坡面长度；

I_2 ——山坡平均坡度；

A_2 ——坡面流速系数；

y ——为反映流域汇流特征的指数；

n' ——随暴雨衰减指数 n 而变的指数；

P_1 ——形成洪峰流量的同时汇水的时间系数；

P ——形成洪峰流量的同时汇流面积系数。

$$P = 1 - (1 - P_1)^y$$

式(1-13)结构较为复杂，各个系数和指数以成因分析确定，由此造成重叠误差，且对资料条件要求比较多，在现有小流域资料中也难以取得，特别是小桥涵流量计算中，不易推广使用。

3. 公路系统的简化公式为:

$$Q_m = \varphi(h - Z)^{m_1} F^{\lambda_2} \quad (1-14)$$

式中: Q_m ——最大流量 (m^3/s);

h ——径流深度 (mm);

Z ——植物截留 (mm);

φ ——系数;

m_1 和 λ_2 ——指数。

式 (1-14) 中有两个假定:

(1) 暴雨历时等于常数或确定的某一个固定时段, 这种处理方法存在着一定问题, 从小流域径流理论观点, 暴雨历时总是与汇流时间有一定关系的, 况且不同的小流域其汇流时间是不同的, 因此, 暴雨历时用一个常数计算出来的结果与实际情况必然是不符的。

(2) 对植物截留扣除损失问题, 在径流中一律扣除一定量级的植物截留损失的方法 (按植物覆盖度给出对应的损失量)。但小桥涵设计流量公式制定原则是以最大洪峰流量为分析对象, 而洪峰流量的形成在上面已作了论述, 特别是小流域的暴雨洪峰流量的形成, 主要是由主雨峰中强度最大的雨量所形成, 一次降雨过程一般都是以递增、降的过程, 也就是降雨量由小到大, 然后逐渐减小, 形成一个雨峰, 或者出现几个雨峰, 但最大洪峰流量是由雨峰中强度最大的那部分雨量所形成的, 由此可见, 最大雨量出现之前, 一般情况下, 植物截留已经达到饱和, 因此, 式 (1-14) 中的 Z 值可以不考虑, 应用式 (1-14) 计算中往往出现 $h - Z < 0$, 也就是径流深小于植物截留损失量, 这显然是不合理的, 特别是在植物覆盖度较好的地区, 问题更突出。

上面所介绍的几种方法, 基本原理大致相同, 但由于在

处理方法上的不同，公式的形式有所不同，但目前的小流域流量公式不论哪种形式的公式，还或多或少存在着尚未解决的问题。各国水文工作者除在理论上继续进行研究外，主要从提高实测资料的精度和其代表性着手，以期进一步揭示洪水要素与有关因素之间的关系，来改进参数的定量问题，改进计算方法，提高精度，使其更能适应经济建设的需要。

第二节 小桥涵暴雨洪峰流量特征

《公路桥位设计勘测规程》中，公路桥分为特大、大、中、小四类，从桥渡水文观点上看，对小桥的划分，通常以流域面积来确定，过去公路系统曾规定流域面积 $0.1 \sim 30 \text{ km}^2$ 为小桥， 100 km^2 以上为中桥，经多年经验证明，这种规定与实际情况有很大出入，产流与流域面积虽然成正比关系，但与气候条件、地形条件、土壤、植被等都有很大关系，如南方多雨、潮湿，单位面积产流大，因此，南方的小桥，其流域面积宜小些，流域面积 50 km^2 以上一般就归属为中桥。北方由于气候干燥，土壤渗透大，单位面积产流小，所以小桥的流域面积相应要大些，一般为 100 km^2 为宜。

由于小桥所控制的流域面小，河流长度短，河床调蓄能力小，因此，由暴雨形成的洪峰流量一般是暴涨暴落，破坏性极为严重。

暴雨强度和暴雨的时空分布对小流域的洪峰流量和其特征有重要的影响，流域形状和下垫面的条件又影响汇流速度和土壤损失，所以降雨强度对坡面汇流的综合作用、流域土壤和植被情况以及河道洪水特性的差异，揭示了小桥涵流量的特点。