

138867

小桥涵孔径计算

徐在庸 編著



通 出 版 社

小桥涵孔径计算

徐在庸 編著

人民交通出版社

本書系按工程水文学与工程水力学的观点較系統地从理論方面論述了小桥涵孔径計算方法及其可能的发展方向,并介紹了国内外主要的勘测設計經驗和研究成果。

本書共分十一章。主要內容包括:洪水計算方法,設計流量計算方法發展簡史及評價,铁道科学研究所Q₁等值綫小桥涵流量計算方法原理, 小桥孔径計算, 涵管孔径計算等。

本書可供铁路、公路桥涵設計人員, 桥涵科研工作者及有关院校師生参考。

小 桥 涵 孔 径 計 算

徐 在 庸 編 著

*

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六号

新华书店北京发行所发行 全国新华书店經售

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

*

1965年3月北京第一版 1965年3月北京第一次印刷

开本: 787×1092 1/32 印張: 7 1/2 張插頁2

全書: 176,000字 印数: 1—5,500册

統一書号: 15044·1492

定价(科六): 1.00元

目 录

序 言	3
第一章 概說	5
第一节 小桥涵	5
第二节 小桥涵与洪水	8
第三节 小流域暴雨洪水与暴雨	16
第二章 洪水計算的基本概念	20
第一节 水文測驗与洪水調查	20
第二节 洪水計算中的数理統計概念	29
第三节 推求設計流量的方法	36
第三章 設計流量計算法簡史及評价	45
第一节 解放前及解放初期 (到1950年止)	45
第二节 柏氏法 (1951~1955年)	47
第三节 柏氏法的缺点及其在我国的改进	55
第四节 波、切氏法的推广与試用 (1955~1958年)	59
第五节 波、切氏法的缺点及其在我国的改进	66
第六节 图解分析法、林平一法、索氏法	73
第四章 铁道科学研究所設計流量計算办法及說明	75
第一节 概說	75
第二节 对若干主要暴雨逕流問題的看法	76
第三节 暴雨逕流計算理論	100
第四节 今后展望	105
第五章 勘测資料的搜集、整理与分析	105
第一节 勘测資料的搜集与整理	105
第二节 勘测資料的分析	114

第六章 水力学的补充知識	121
第一节 概說及水跃	121
第二节 等速流与不等速流	124
第七章 小桥孔径計算	128
第一节 概說	128
第二节 小桥过水情况	131
第三节 小桥孔径計算	136
第四节 小桥孔径計算的可能发展方向	143
第八章 涵管孔径計算	147
第一节 涵管过水情况分析	147
第二节 涵管的半压与压力流态	152
第三节 涵管孔径計算	158
第四节 水力条件最优的涵管結構形状	164
第九章 小桥涵前的积水計算	171
第一节 积水概說	171
第二节 积水計算方法之一 (1958年)	180
第三节 积水計算方法之二 (1960年)	185
第十章 小桥涵冲刷計算与加固工程	192
第一节 概說	192
第二节 小桥涵下游的水力計算	195
第三节 冲刷計算	207
第四节 加固工程	221
第十一章 小桥涵位置与类型选择	228
第一节 小桥涵位置	228
第二节 小桥涵类型之选择	234
参考文献	243
1. 中文文献	243
2. 翻譯文献	244
3. 俄文文献	244

序 言

铁路和公路是完成国家运输的主要力量。在铁路和公路建设中，桥涵所占费用约为线路总费用的6%~30%。小桥涵就单个建筑来讲，造价虽不大，但因数量众多，故其总造价往往并不逊于大中桥的总造价。因此，小桥涵的勘测设计是否合理，对铁路和公路基建投资及运营安全问题有重大的意义。

小桥涵结构大多采用定型设计，因而小桥涵勘测设计的主要任务是确定孔径，即进行水文与水力计算。我国在解放前，极少进行这方面的研究，到解放后对学习国外先进技术大加重视，并密切结合我国具体条件逐步进行了这方面的研究工作。

本书系按工程水文学与工程水力学的观点，较系统地从事理论方面论述在小桥涵孔径计算方法及其可能的发展方向，并介绍了国内外主要的勘测设计经验和研究成果。

本书共分十一章，其中包括：洪水计算方法，设计流量计算方法发展简介及其评价，铁道科学研究院 Q_1 等值线小桥涵流量计算方法原理，勘测资料的搜集与分析方法，小桥孔径计算，涵管孔径计算，小桥涵前的积水计算，小桥涵冲刷计算及加固工程，小桥涵位置与类型选择等。

前五章及第九章，基本上属桥涵水文学的范围，其中除一般通用方法外，着重针对我国小桥涵水文问题进行一系列的研究，例如根据降雨量变差系数与土壤类别确定流量变差系数的方法，根据流量变差系数确定各重现期的模系数的方法，尤其是关于铁道科学研究院 Q_1 等值线小桥涵流量计算方法以及两种桥涵前积水计算办法，在理论上予以较详尽的论述。这些方法大部分已在实际设计工作中有着不同程度的使用，有的已列入

手冊或勘測細則中。在編寫本書時，某些問題作了局部的修正（如流量變差系數計算表的計算法，積水計算中河槽蓄水量與洪量之比值的確定方法等）。

在書中還評述了在鐵路小橋涵流量計算中所用的其他計算方法，主要是蘇聯的柏氏法，以及現在若干設計院經修正後使用的蘇聯的切氏法。文中較詳細地介紹了各方面對切氏法的意見，包括我們的意見。對我國公路與水利部門的計算方法也進行了分析。

第六、七、八、十章，基本上屬於橋涵水力學的范围。其中根據近代水力學的观点，糾正過去若干在水力計算上的不確切的概念。例如，1956年人民鐵道出版社出版譯本《鐵路設計》二卷二冊（高林諾夫著）中關於小橋是否自由流出圖式的判別標準即其一例。

在這几章內介紹了若干新問題。例如，耶弗列因諾夫教授關於小橋孔徑計算方面的意見，與沿用五十多年的寬頂堰計算方法的方向是完全不同的，雖然在設計及施工上還有待進一步研究，但作為一種可能發展的新方向，還是值得注意的。

關於涵管流綫型入口，本書着重分析了使涵管接縫發生漏水的低壓現象，這樣從水力學观点論證了採用流綫型涵管入口的合理性與必要性。

小橋涵孔徑計算是一個很複雜的問題，從水文學與水力學观点來進行總結性論述只是一個初步的嘗試。限于本人理論水平，缺乏實際經驗，謬誤在所難免，希望讀者多加指正，不勝感激。

本書在整理過程中沈壽長工程師給予不少幫助，特表謝意。

徐在庸 1963年5月於鐵道科學研究院

第一章 概 說

桥梁和涵管都是一种人工建筑物，过去鉄路上則統称为大型建筑。鉄路及公路常常需要利用桥涵来将路堤一侧的水流宣洩到另一側去。設置桥涵的主要目的是跨过各种障碍物（如河流、运河、干谷、其他道路等）。通常，大多数桥涵都是用来跨越水流，为了使水流不致淹沒鉄路及公路路堤、冲毀桥涵、中断行車，必須根据水流性质进行水文計算与水力計算。但跨越干谷的旱桥或高架桥，一条道路跨越另一条道路而設置的跨綫桥等，則一般并不需要进行水文計算与水力計算。

在这类建筑物中，桥梁与涵管用得最多，在个别的特殊条件下，有时采用下列几种特殊形式：高架桥、水管桥、虹吸道、明渠、透水路堤、跨綫桥等。

建筑桥涵所用的材料有：石料、混凝土、鋼筋混凝土、鋼材、木材、砖、生鉄、預应力鋼弦混凝土、玻璃絲混凝土、鋁合金等。

桥梁形式可分为簡支梁、連續梁、悬臂梁桥，以及悬索桥、拱桥等；涵管依断面形状分为箱涵（矩形断面）、圆涵、拱涵、卵形涵等。

第一节 小 桥 涵

鉄路上，通常以桥长在20米以下的桥梁为小桥，桥长在20米至60米者为中桥，桥长大于60米者为大桥。在公路上，由于載重較輕，通常以桥长30米以下者为小桥，桥长30至100米者

为中桥，桥长大于100米者为大桥。

桥梁之划分为大、中、小，主要是为了测設及預算等方面的方便。但就桥涵水文学与水力学計算來說，則并无严格划分之必要。

在铁路及公路上，小桥涵的数量是很大的。在每公里綫路上需修筑的小桥涵数量，根据地形、气候条件等而有所不同。据在我国华北地区的統計，平原地区每公里0.5~1.5座，丘陵地区每公里1.0~1.5座，山岳地区每公里2.0~4.0座。例如某铁路，全长600余公里，桥涵总数約2,000座，其中小桥涵的座数占总数的90%以上。又如某铁路全长接近700公里，桥涵总数約1,800座。

关于小桥涵造价在铁路新建投資所占的比重問題，也随地形、气候、建筑材料价格等条件而有所不同。通常，修建桥涵所占費用約为綫路总造价的6~30%。据金恆教同志的分析，占16.1~24.7%，据铁道部第三設計院統計和分析占10~20%（其中小桥涵造价約占桥涵总造价的40%）。苏联的造价情况，可参看表1-1（以总造价的百分数計）。

表1-1

名 称	碎石路面(公路)	黑色路面(公路)	铁 路
大中桥	8	4	5
小桥涵	12	4	8
土方	10	7	25
綫路的上部结构	50	70	24
其他工程	20	15	40

根据这些初步資料，不难看出小桥涵的总造价与大中桥总造价大体不相上下。

小桥与涵管虽然都是用来宣洩較小的流量，但二者却有許

多根本性的差异。

桥梁在铁路的某一小段上代替了路堤填方，在养护维修时与路堤加在桥台上的土压力等有关。涵管则整个地处于路堤当中，它不像桥梁那样使路堤的某一段中断，只是在路堤之内，即在路堤底部作成一個宣泄流量的孔，因而在养护维修时首先与路堤的工作条件有关。对于涵管来说，路堤不仅是載重，同时还是决定其维修养护工作的一项要素。

对于某一条具体的小河流，究竟应该設小桥或涵管，或者其他的建筑物，則取决于各方案的技术经济比較，关于这个问题，在第十一章中还要討論。粗略地说，当流量在60~80立方米/秒以下时，設置涵管比小桥要经济些。当流量很小时，还可以考虑采用明渠、虹吸道、透水路堤等形式。

明渠的孔径分为两种。一种布置在铁路軌枕之間，孔径取决于軌枕間距，通常在0.4~0.75米之間；另一种則作有簡易的钢筋混凝土或木料的盖板，通常孔径为1.0~1.5米。它与桥梁的根本区别是几乎不承受垂直載重，与涵管的区别在于它并不筑在路堤的下部，而是直通到頂。孔径多为矩形，边牆則可由石料、混凝土、砖等砌筑，因而路堤不能太高。由于孔径很小，通过的流量也很小，一般不超过10立方米/秒。

虹吸道与涵管很接近，但由于在某些低路堤或浅路堑处，即使在涵管以上采用规范规定的最小的填土高度也不能使线路坡度的变化匀緩，因而就不得不将通过路堤部分的管道埋在地下比天然水流还低的地方。虹吸道这个名詞并不合适，因为虹吸是指将水向上吸的现象，而此处水是向下的，因而有人称为倒虹吸管，这也不合适，我們觉得叫“洩水隧道”还更恰当一些。通常，也只适用于流量不大之处，如灌溉渠等，所能宣泄的流量視管径大小及路堤前积水高度而不同。在某些情形下，

宣洩流量也可以达到很大，例如某处涵管的孔径为2.5米，当路堤前积水达6.1米时，通过流量可达53立方米/秒。

透水路堤是用石块作为路堤填方的材料，使水通过石块的間隙流走。采用透水路堤需要符合下列条件：

1. 具有廉价的石料，例如，在某个采石場附近筑路时；

2. 河沟的纵坡不得小于10‰，以便造成足够大的流速，才能防止泥沙淤塞路堤的透水間隙；

3. 选择粒径大致相等的石块，以便增大渗透能力（与选择混凝土骨料級配时要求最大密度的条件正好相反，这里要求最大的孔隙率）；

4. 流量通常不宜大于10立方米/秒；

5. 路堤前的积水高度不宜太高，在鉄路上不宜超过路堤高度的30~50%，在公路上不宜超过路堤高度的50~70%。

在符合上述条件时，建造透水路堤在经济上是很合算的，特别是可以节约鋼料与水泥等建筑材料。但在我国应用时必须考虑到我国东部降雨較持久，易引起較持久的洪水，使上游水位过分提高，不满足上述第5项条件；此外，第2项条件所述纵坡大于10‰，只是极其粗略的数字，在我国北方含沙量特大的河沟上，还需更慎重的研究。据说我国公路上过去修筑的透水路堤中有不少是因淤塞而失效，需吸取此项經驗教訓。

第二节 小 桥 涵 与 洪 水

小桥涵具有双重性质。一方面是鉄路及公路的建筑物，要支持鉄路機車車輛、軌道綫路及公路路面、汽車、拖拉机等載重，这个問題属于結構力学等的范围；另一方面，小桥涵也是水工建筑物，主要用来宣洩洪水，以保証鉄路及公路运输不受水害，則又是水文学与水力学問題。

小桥涵为数众多，只要一处破坏，就将使全段线路运行中断，而且还可能引起不安全的后果。例如早在1882年7月12日沙皇时代的俄国莫斯科至库尔斯克铁路上发生了当时极为著名的库库耶夫事故。在夜间洪水将一孔1.07米（0.5沙绳）的涵管及高达21米的路堤冲垮，而当时未能发现，致使旅客列车落入该处，死亡43人，受伤30余人。在这以前，俄国小桥涵设计完全是靠目估孔径，几乎不进行任何洪水计算。在这次惨案的教训下，就开始了水文计算，在1884年俄国交通部规定用国外凯思特令工程师公式即：

$$Q = 16 \alpha F \quad (1-1)$$

式中： Q ——设计流量，立方米/秒；

α ——设计降雨强度，毫米/分钟；

F ——流域面积，平方公里。

值得注意的是虽然有了公式，但其中 α 是根据法国巴黎某次大暴雨在10分钟内降雨9.6毫米，因而取 $\alpha=0.96$ ，这显然不能符合俄国的当地条件。

1900年俄国又发生过巴拉晓夫列车倾覆事故，因而又再次研究这一问题。1906年由П.Ф.尼古拉伊将式（1-1）改进为：

$$Q = 16 \alpha \beta F \quad (1-2)$$

式中： β ——考虑流域坡度的系数；

α ——意义同前，但已不采用为一个常数0.96，而是按流域面积不同而用不同的值。

本书不打算详细地介绍这方面的历史，只想谈一下在苏联革命后的几十年间，在这方面进行了很多的研究。虽然如此，由于问题本身太复杂，牵涉暴雨、土壤、地形等等因素，水文科学还很年青，尽管研究成果非常多，就计算公式来说，就可以举出一百多种，但是，却很难统一意见。1946年2月苏联在

莫斯科召开各部門的小流域流量計算會議，但却未能得出一致的意見。

我国1959年在兰州召开的铁道部小桥涵流量計算會議，在計算方法方面也未能取得一致意見。1959年11月在北京召开的公路桥涵水文調查研究成果總結會議上也提出了八种不同計算方法。

水文計算对于桥涵孔径的影响，亦即造价的影响很大。例如根据某单位的估計，在某鉄路的某段（235公里）內，仅气候系数 $K=1.3$ 与 $K=1.0$ 的差异，就使設計流量相差 2~4 倍。当时铁道部第一設計院在該地区采用 $K=1.3$ ，第三設計院則用 $K=1.0$ ，这项差异就使小桥涵造价相差百万元以上，綜上所述，可以看出水文計算不当，不是带来惊人的浪費，就是带来洪水灾害。实际上，所举例中的某段处于西北較干旱的地区，小桥涵平均每公里 1.1 座，桥涵密度并不算很大。

对于个别河沟的水文計算亦往往很难准确可靠。例如，某沟在 1954 年設計时，設計流量为 33.78 立方米/秒，由于考虑該处路堤較高，利用涵管作为运输便道，故采用 1 孔 4 米的混凝土拱涵，其最大洩水能力为 76.5 立方米/秒。1955 年并非大水年，但实测流量却接近 80 立方米/秒。1956 年发生特大洪水，最大流量約 250 立方米/秒，由于孔径太小，水流积于路堤上游，积水高达 6.2 米，过涵最大流量达 120 立方米/秒。当地养路工长、值班民兵等說，洪水来势很猛，挟带大車及麦草垛（1.8 米高，直径为 1.7 米的圓錐体）流至涵管处，水位迅速上涨没过涵頂。由于积水太高，冲毁房屋，整个洪水持續不过 20 分钟左右，但却造成重大損失。

1957 年 7 月某专用鉄路、公路等被冲毁多处，有两处涵管被冲出路堤之外，其他涵管上下游之鋪砌圪工十之八九均被冲

毀。仅铁路的修复工程就需要15万元，公路的修复費也約为15万元。与此专用綫联接的干綫的某車站附近的高填上路堤及涵管也在同一場暴雨中被冲毀，3,000人搶險，三四天后才勉强通車。因行車中断所造成的間接損失更无法估計。

大規模的群众性水利、水土保持工程，总的說来，是減少逕流的，可将桥涵孔径适当減小。但在个别情况下，由于設計不当或施工质量不良，或者遇到特大洪水，則仍可能酿成水灾。

由于篇幅限制，只举上述几个例子作为說明洪水与桥涵的关系。

洪水通常是指在河道中发生很大逕流的现象。从自然科学的观点来看，洪水研究是水文学的一个分支，而水文学又是地球物理学（或地理学）的一个部門。

所謂水文学，最广义的解释就是水的研究，或研究地球上水的科学。就研究的目的及出发点來說，水文研究又分三个方面：1)从地球物理学的观点去研究水的要素的測驗与計算；2)从地理学的观点去研究水的分布与变化；3)从工程观点去研究水的控制与利用。

桥涵水文学，或与桥涵有关的水文研究，也同样要从上述三个方面去研究。首先，在工程方面，此项研究是为铁路及公路桥涵設計服务的，即主要是如何宣洩洪水、防止水害。其次，还必须用地球物理学的观点去研究洪水的測驗与計算。最后，还必须注意水文計算与研究中的地理特性，我国各地的自然地理条件各不相同。因此，絕不能生搬硬套，而是要根据一般的科学法則，結合实地情况进行具体研究，因地制宜，否則就会給工程建設带来很大的損失。例如，我国东南多雨，西北干燥，洪水就显然有不同的性质，东南部洪水发生得較頻繁，

洪峯流量及洪水总量均較大。又例如，我国西北多沙，洪水含沙率极大，如果用不考虑挟沙的方法去設計，常会引起涵管淤塞失效之弊，从而导致冲断路基阻碍行車之后果。再例如，一般河流上均按本河洪水数值进行桥涵設計，在与大河相邻之小河上則需考虑大河倒灌情况；在海边所修桥涵，則需考虑潮汐影响；等等。

必須注意，不能孤立地只从一个角度去研究。馬克思主义唯物辯証法告訴我們不能片面地研究問題，即既不能強調地区特性而忽視一般性的水流測驗与計算的規律，又不能強調一般物理規律而忽視各地区的地理、气候等因素的显著差异；既不能強調桥涵结构的力学計算而忽視洪水計算的重要性，又不能只顧洪水計算而忘掉工程結構的安全与經濟。必須綜合地进行研究考虑，才能求到正确合理的答案。

在本书中拟討論工程水文学中的一个問題——小桥涵設計流量的計算，在水文学中則属于小流域洪水流量計算。洪水的来源都是自天空中落下的降水（雨、雪）。在我国絕大部分地区（青藏高原等地区除外）的小流域上都是暴雨洪水最大，以此控制設計。在苏联虽然降雪較多，暴雨不如我国剧烈，在大流域上是融雪洪水控制設計，但在小流域上基本上还是暴雨洪水控制小桥涵設計。

决定暴雨洪水的最好办法是逐条水流或逐个桥涵进行长期实际觀測和研究其成因規律，可惜实际上这种办法行不通，因为小桥涵为数太多，不可能一一觀測，而且也沒有这样作的必要（在經濟上并不合算）。此外，目前的铁路新建及改建設計也要求較早地得出結論，而不能等待长期（至少应达10~20年）的实测資料。

如果本流域沒有实测記錄，而邻近的相似流域上有长期实

測記錄，那麼，也可以用比照法來推算。但不幸的是，這一條件（即相似流域上有長期實測記錄）也很少具備。

剩下的還有兩種辦法，也就是目前實際勘測設計中所常用的暴雨逕流計算法和洪水調查法。

關於暴雨逕流計算法將在第三、四兩章內作較詳細的討論，這裡只談一下其主要內容。首先是暴雨現象，屬於氣候學的研究範圍。氣候是氣象現象的平均狀態，現代科學認為氣候是相當穩定的，只在地質年代過程中起變化。氣候學是研究某一地區的多年天氣變化規律的科學，不僅研究該地最經常的天氣情況，而且還包括該地可能發生異常的極限情況。其次，是暴雨逕流的損失部分，即指水滲入土中、植物截留等因素，與土壤學、植物學等有密切關係。第三，是暴雨逕流匯集問題，主要是與地面的坡度、河溝網的分割情況、地形起伏與坑洼、匯水面積大小等等有關，這些屬於地貌學的研究範圍。

在這些因素當中，氣候是最主要的因素。1884年俄國地理學家 А. И. 沃耶伊科夫就指出：“河流是氣候的產物”。這決不意味著只有氣候起作用，相反地，就是氣候本身也是在某地區自然地理環境中長期交互作用下發生的大氣過程的規律性，是該地區太陽輻射、大氣環流和下墊面多年相互作用的結果。

水文過程的一種主要特性就是經常變化，無論什麼時候也不會完全同樣地重複出現。水文現象又取決於氣象等等複雜因素的變化，水文預報在很大的程度上取決於氣象預報，其預見期是很短的（一般不超過幾天至幾十天）。從性質上講，水文計算也是一種水文預報，其預見期相當於建築物的使用年限，因而是預報若干年的超級長期預報。

設計洪水就是預測的未來可能為害的洪水，是設計各種水工建築物主要尺寸的根據。設計洪水中最主要的是洪峯流量與

洪水总量，对于洩水建筑物类型的桥涵来说，最主要的项目是洪峯流量。

暴雨逕流计算是水文学中最有兴趣的一个题目，从事于这方面研究工作的人数很多，尽管现在研究已有很大的成就，但许多根本性问题还存在着极大分歧的意见，而个别无经验的設計者在机械地搬用某种计算方法时，完全可能有几倍的误差。

洪水調查法的精度也是不高的。流域越小，洪水历时越短暂，既难被当地居民觉察，又难留下明显的洪水痕迹。由于水量小和历时短，许多河沟在平日是干涸的，这样，很难冲出明显的河沟来，这时洪水調查就更难进行，有时簡直是不可能进行。但如果能找到可靠的洪水痕迹，及其可能发生的频率，并且河底冲淤变化不甚的话，在估計适当的流速后，就有可能求到相当可靠的洪水流量。

除在桥涵水文学中研究洪水流量之外，还必须研究桥涵水力学。桥涵水力学则是以流量为已知，推求在一定条件下的水力计算，其中首先是孔径的计算，桥下及桥涵下游的鋪砌和冲刷、桥涵上游的壅水高度与桥涵孔径的关系、路基的渗透、陡坡急流槽的设计等等問題。

小桥涵水力学差不多是在二十世紀初开始发展的（关于大中桥的水力计算，在1875年H.A.別列柳勃斯基就建立了桥孔計算理論）。在最近18~20年来，更进行了大量的室内桥涵水力学試驗，取得了很大的成績。

小桥涵水力学计算，基本上属于稳定流的范围，即假设流量不随时间变化。对于小桥涵来说，这种假设常常并不能符合实际情况，因为小流域暴雨洪水涨落往往很急剧，不能不考虑“洪峯存在历时很短暫”这一事实。但另一事实是小流域暴雨洪水的实測資料很少，現有水文计算方法很难計算一个可靠的