

坡拱与 不对称拱桥

POGONG YU BUDUICHEN GONGQIAO

郭临义 张金彦 编著

人民交通出版社



Pogong Yu Buduichen Gongqiao

坡拱与不对称拱桥

郭临义 张金彦 编著

TZ91/2

北方交通大学

藏

书

图书馆

人民交通出版社

图书在版编目(CIP)数据

坡拱与不对称拱桥 /郭临义, 张金彦编著. - 北京: 人民交通出版社, 1999.8
ISBN 7-114-03361-3

I. 坡… II. ①郭… ②张… III. ①拱桥, 坡式②拱桥, 不对称式 IV. U448.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 17985 号

坡拱与不对称拱桥

郭临义 张金彦 编著

版式设计: 周 国 责任校对: 杨 杰 责任印制: 杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 10.875 字数: 244 千

1999 年 8 月 第 1 版

1999 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—3200 册 定价: 17.00 元

ISBN 7-114-03361-3

U · 02408

前 言

在山岭地区,路线设置纵坡较多,为避免路线起伏过多,有时在有纵坡的线路上可修建坡桥;在平原地区,有时为了降低桥头填土高度,减少墩台、基础以及锥坡、护岸、导流等附属工程圬工体积,并使桥面排水顺畅,也常须修建坡桥;对于立交,特别是互通式立交工程,其接线和匝道均处于不同程度的或上或下的纵坡路段上,设桥时则必须有纵坡。

随着现代公路交通运输事业飞速发展,对公路桥梁结构构造形式提出了更高要求。除了适用、经济、安全和美观等因素外,线形上所能提供的畅通、顺适,以及排水顺畅、减少水污染等问题,也是一个相当重要的因素。何况桥梁所提供的顺畅本身,就反映着“适用、经济、安全、美观”这一规划与设计的总原则。

因此,为适应现代公路交通运输事业和国民经济发展的需要,无论是在山区、平原,还是在乡村、城镇;无论是在国道、省道,还是地方公路;无论是在高速公路、一般公路,还是城市道路、专用公路以及立交工程中,势必要修大量的坡桥,其中坡拱桥便是坡桥中一支重要的结构群体。坡拱桥具有拱桥固有的自然美和华夏拱式建筑的民族艺术特色,而且它对伸缩装置和支承条件无过于苛刻的要求,因而它理所当然地在适当的地形、地物、地貌和线路纵坡条件下,成为了坡桥中的推荐方案。不对称拱桥亦然。

当设置坡拱桥时,就主拱圈本身而言,可做成对称拱的形式,也可做成不对称拱的形式,二者有异曲同工之妙。在单孔

坡拱桥中,不对称拱更有利于利用两岸的地形、地质条件,有利于减少高拱脚处的下部工程数量,节约工程造价。即使在平坡拱桥中,不对称拱这种优势也显得较为突出。

以往因囿于设计计算理论的不完善,以及技术水平、计算手段等因素的限制,在修建坡拱桥时,多采用坡桥平做或者大跨改小的办法。对于不对称拱桥,则仍按对称拱计算,再辅之以构造处理等措施,这就使得坡拱与不对称拱桥的应用、推广和发展,受到了一定程度的限制。

为赋予坡拱桥和不对称拱桥以新的生命力,使之在现代公路桥梁建设与公路交通运输事业中发挥其应有的作用,我们特参考有关理论研究成果与设计施工实践经验,编著出版《坡拱与不对称拱桥》一书,以满足公路桥梁工程技术人员设计、建造坡拱桥与不对称拱桥之需要。本书中计算理论与方法不尽完善,存在不少问题,还望读者不吝批评指正,帮助我们在今后的实践中,对本书不断地验证、修改、补充、完善和提高。

本书计算部分仅涉及上部结构的主拱圈。当主拱拱脚反力(弯矩、水平推力和竖向反力)求出之后,下部结构的受力分析便可按常规方法进行,可无须再增篇幅加以介绍。

本书的侧重点放在圬工和钢筋混凝土坡拱与不对称拱桥上,结构的强度与稳定计算,遵照中华人民共和国交通部部颁标准《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)、《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022—85)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)等规范的规定与要求进行。为避免重复,仅将规范中有关规定与公式,集中在第二章的适当地方简要介绍,其它章节和算例中需用之处,可直接按第二章中的相关内容取用。

本书由西安公路交通大学郭临义和交通部重庆公路科学

研究所张金彦主编,全书由郭临义统稿。其中第一章由郭临义和张金彦共同编写,第二章和算例四由张金彦编写,算例一和算例二由郭晓燕编写,第三至六章和算例三由郭临义编写。

交通部重庆公路科学研究所杨家玉同志,为不对称拱桥计算程序的系统化和专用化做出了积极的贡献,作者在此特表示衷心感谢!

作者水平有限,文中错误疏漏与不当之处定会不少,恳望读者不吝批评指正。

编 者

一九九八年十一月八日

目 录

第一章 综述	1
第一节 坡拱桥构造特点与设计计算原理	2
一、坡拱桥的方案选择	3
二、坡拱桥的构造特点	5
三、坡拱桥的受力特点与设计计算原理	12
第二节 不对称拱桥构造特点与设计计算	
原理	14
一、不对称拱桥的构造特点	15
二、不对称拱桥的施工要求	16
三、不对称拱桥的受力特点	20
四、不对称拱桥的合理构造与适用范围	22
五、不对称拱桥的设计计算原理	28
第二章 不对称拱桥计算	30
第一节 拱轴曲线方程的确定	30
一、拱轴曲线方程的选择	30
二、拱轴系数的确定	32
第二节 拱圈受力分析	34
一、力法方程的建立	34
二、拱圈内力计算	36
三、非荷载因素作用下的内力计算	39
四、内力(荷载)组合	39
第三节 拱圈强度与稳定计算	42
一、极限状态计算的一般表达式	42
二、不对称板拱的强度与稳定计算	45
三、不对称钢筋混凝土拱桥强度与稳定计算	49

四、用临界荷载法计算不对称拱的稳定性	57
第四节 不对称拱桥的预留拱度计算	61
一、不对称拱桥的预留拱度估算	61
二、不对称拱桥的预留拱度分配	62
第五节 不对称拱桥电算程序简介	63
第三章 三角斜填料坡拱桥拱圈内力计算	66
第一节 三角斜填料坡拱桥圆弧形拱圈内力计算	67
一、第一种计算方法	67
二、第二种计算方法	75
第二节 三角斜填料坡拱桥抛物线形拱圈内力计算	78
一、抛物线无铰拱的几何性质与弹性中心	79
二、荷载总值 p 及单位冗力在基本结构上所产生的 内力	80
三、变位与冗力计算	81
四、拱圈内力计算	82
五、拱圈截面的水平推力与竖向剪力计算	84
第三节 三角斜填料坡拱桥悬链线形拱圈内力计算	85
一、悬链线无铰拱的几何性质与弹性中心	86
二、荷载总值 p 及单位冗力在基本结构上所产生的 内力	87
三、变位与冗力计算	88
四、拱圈内力计算	89
五、拱圈截面的水平推力与竖向剪力计算	90
第四章 正拱斜置坡拱桥的拱圈内力计算	92
第一节 正拱斜置坡拱桥圆弧形拱圈内力计算	92
一、恒载水平力作用下的拱圈内力计算	93
二、活载水平力作用下的拱圈内力计算	99
三、拱圈截面的水平推力与竖向剪力影响线	107

第二节 正拱斜置坡拱桥抛物线形拱圈内力计算	107
一、恒载水平力作用下的拱圈内力计算	108
二、活载水平力作用下的拱圈内力计算	113
三、拱圈截面的水平推力与竖向剪力影响线	120
第三节 正拱斜置坡拱桥悬链线形拱圈内力计算	121
一、恒载水平力作用下的拱圈内力计算	121
二、活载水平力作用下的拱圈内力计算	127
三、拱圈截面的水平推力与竖向剪力影响线	144
第五章 斜置变截面坡拱桥无铰拱拱圈内力计算	147
第一节 单位水平位移作用下变截面抛物线无铰拱拱圈内力影响线	148
一、载变位影响线与常变位	148
二、弹性中心处的冗力影响线	149
三、拱圈截面的内力影响线	149
四、拱圈截面水平推力与竖向剪力影响线	153
第二节 单位水平位移作用下变截面悬链线无铰拱拱圈内力影响线	154
一、载变位影响线与常变位	154
二、弹性中心处的冗力影响线	156
三、拱圈截面的内力影响线	157
四、拱圈截面水平推力与竖向剪力影响线	162
第六章 坡拱桥的裸拱内力计算	164
第一节 斜置坡拱桥圆弧无铰拱的裸拱内力	165
一、荷载和冗力在基本结构上产生的内力	166
二、冗力计算	167
三、拱圈截面的裸拱内力	167
四、拱圈截面的裸拱推力与竖向剪力	168
第二节 斜置坡拱桥抛物线无铰拱的裸拱内力	169

一、荷载和单位冗力在基本结构上产生的内力	169
二、冗力计算	171
三、拱圈截面的裸拱内力	172
四、拱圈截面的裸拱推力与竖向剪力	176
第三节 斜置坡拱桥悬链线无铰拱的裸拱内力	177
一、荷载和冗力在基本结构上产生的内力	177
二、冗力计算	180
三、拱圈截面的裸拱内力	180
四、拱圈截面的裸拱推力与竖向剪力	185
第七章 计算示例	188
算例一 三角斜填料层坡拱桥圆弧形拱圈内力计算 示例	188
算例二 正拱斜置坡拱桥圆弧形拱圈内力计算示例	199
算例三 正拱斜置坡拱桥变截面悬链线形拱圈内力 计算示例	209
算例四 不对称拱桥计算示例	257
附录	278
附录 I 三角斜填料坡石拱桥几何尺寸	278
附表 1-1 三角斜填料坡石拱桥拱圈尺寸表	278
附表 1-2 三角斜填料坡石拱桥桥墩尺寸表	281
附录 II 正拱斜置坡石拱桥几何尺寸	293
附表 2-1 正拱斜置坡石拱桥拱圈尺寸表	293
附表 2-2 正拱斜置坡石拱桥桥墩尺寸表	295
附录 III 正拱斜置坡拱桥顺桥向水平力作用下圆弧形 拱圈内力影响线	322
附表 3-1 坡拱桥顺桥向水平力作用下弹性中心的内力 影响线纵坐标表	322

附表 3-2 坡拱桥顺桥向水平力作用下拱脚截面的内力

影响线纵坐标表 $\left(\frac{f_0}{L_0} = \frac{1}{3}\right)$ 326

主要参考文献 334

第一章 综 述

近年来,交通、能源建设已列为国民经济发展的重点项目,国家采取多种政策扶助公路事业,公路包括山区道路、城市道路、专用路和旅游路等均因此而得到蓬勃发展,作为道路人工构造物的桥梁建设也不例外。

道路与桥梁建设的发展,促进了交通运输的发展;交通运输事业的发展,又给道路与桥梁工程提出了更高的要求。其中最为引人注目的一点,就是要求路与桥、桥与路顺畅舒适地衔接,以及它们与地形、地物、地貌和周围景观的协调等方面的合理性。

为适应现代公路交通运输事业和国家经济发展需要,无论是在山区、平原,还是在乡村、城镇,大凡位处纵坡路段的桥梁,为与路线相顺适,或与地形和景观相协调,一般均有必要修建坡桥,其中坡拱桥和不对称拱桥,便是坡桥中一支重要的桥梁结构群体。

坡拱桥和不对称拱桥,除了具有顺适线形、协调地形、地物、地貌与景观的一般特点外,又具有一般拱桥古朴大方、形如玉带、势若彩虹的曲线美这一华夏民族拱式建筑艺术的特色,并且不苛求伸缩装置和支承条件,因而至今仍被广泛采用。

在单孔坡拱桥或多孔坡拱桥的边跨中,不对称拱能够更好地利用两岸的地形、地质条件,更有利于减小下部工程数量,节约工程造价。即使在平坡拱桥中(图 1-1),不对称拱的

这种优势也显得较为突出。

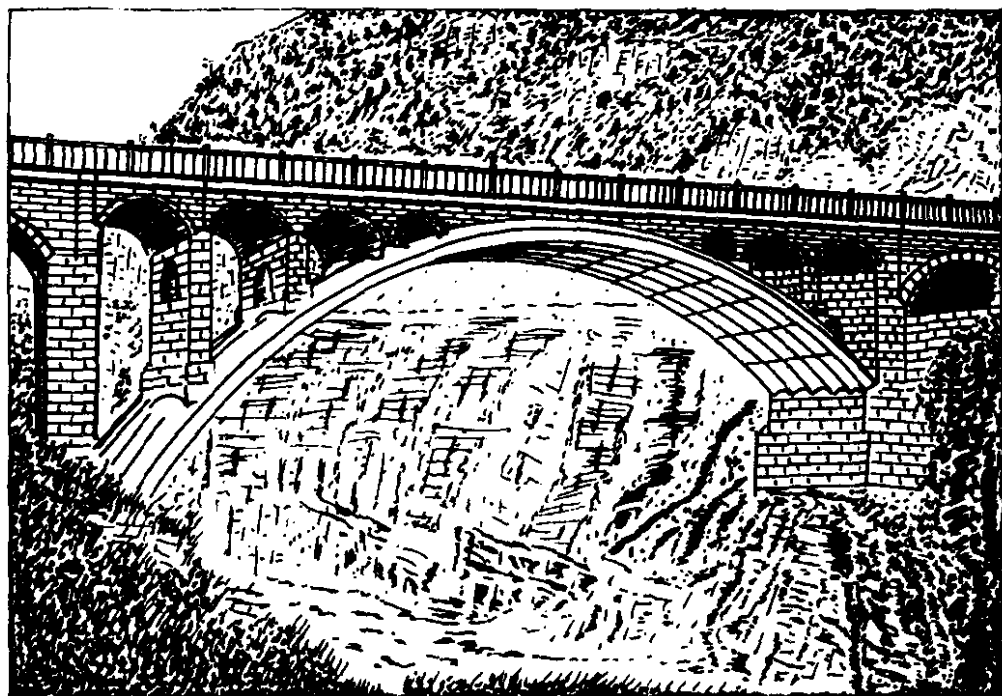


图 1-1 贵阳市潭湄冲不对称双曲拱桥

第一节 坡拱桥构造特点与设计计算原理

中华人民共和国交通部部颁标准《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)中规定,“汽车专用公路上的各类桥涵和公路上的小桥与涵洞的线形及其与公路的衔接一般应符合路线布设的规定”。对于特大、大、中桥,规范还规定“桥上纵坡不宜大于4%,桥头引道纵坡不宜大于5%;位于市镇混合交通繁忙处,桥上纵坡和桥头引道纵坡均不得大于3%”。但是,实际在一些特殊情况下的缆车道上,修建坡拱桥时坡度竟达36%以上。再如三门峡市中流砥柱雕塑下的人行坡拱桥,跨径20m,位于斜坡长度50m,台地高差15m的阶梯坡道路段,其纵坡为30%(图1-2)。



图 1-2 三门峡市六峰桥

坡桥的桥跨主要承重部分有时采用拱式结构,这样的坡桥谓之坡拱桥。坡拱桥一般可采用三种不同的设置方案:三角斜填料方案、正拱斜置对称拱方案、不对称拱方案。本节仅介绍前两种方案,第三种方案将在第二节中介绍。

一、坡拱桥的方案选择

(一)三角斜填料方案

三角斜填料坡拱桥方案,系在平置拱圈之拱顶上加设三角形斜填料层,从而构成纵坡以形成坡拱桥(图 1-3)。这种方案,由于拱上填料不对称,使拱圈受到不均衡的恒载作用,对拱圈受力来讲是不利的,因而,一般仅在跨径较小时才采用。有时,在填料较厚一侧,从设计和施工措施上,适当改变结构与构造,以减轻恒载的不均衡性,尽量设法使恒载均匀对称一些,用以改善拱圈受力的不合理性,这样一来,三角斜填料方案坡拱桥的跨径便可适当予以放宽。使恒载尽量均衡的措

施,常常是将填料较厚一侧的侧墙挖空,采用轻质填料,增设空腹拱腔等。从美观角度考虑,挖空的侧墙或空腹拱腔部分,又常常在其侧面外露部分施以“实腹式”的装饰与镶面处理。

三角斜填料坡拱桥在布设多孔拱桥时,每一主拱圈左右起拱线均位于同一水平高度,但同一桥墩上的左右两拱脚却又不在于同一水平位置上(图 1-4),故此墩身因不平衡的恒载推力所产生的不平衡弯矩,使得桥墩受力也不利。因而,对跨径较大或坡度较大的坡拱桥,除非采取适当措施,一般不宜采用斜填料坡拱方案。

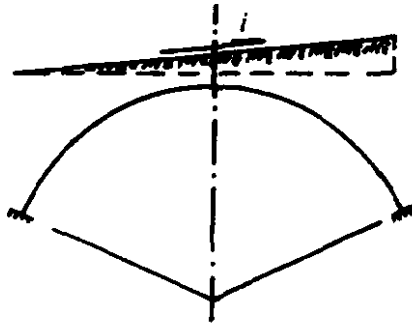


图 1-3

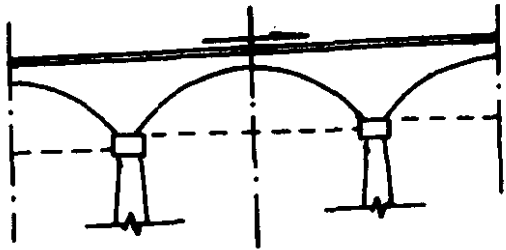


图 1-4

三角斜填料坡拱桥,其主拱圈的跨径,一般不宜超过 10m。否则,必须对桥面纵坡予以限制,或者采用一些可使恒载尽量均衡的措施。

(二)正拱斜置对称拱方案

正拱斜置对称拱坡拱桥,是将平坡对称拱沿路线方向(即顺桥向)倾斜一个相应的倾角 α ,即以跨径中点为中心旋转一个角度 α (图 1-5),以便使桥面构成相应于 i 的路线纵坡,从而获得坡拱桥。显然,此时应有: $\text{tg}\alpha = i$ 。

正拱斜置对称拱坡拱桥,对主拱圈及其以上部分而言,相当于在拱平面内作了一个刚体转动(转角与路线纵坡的倾角相一致)。因而对于主拱圈而言,恒载相对于斜填料坡拱桥要均衡得多。如将竖直荷载沿矢高和两拱脚连线方向分解成两

个分力,显然不难得知:斜置坡拱较平坡对称拱时的情况,主拱圈多受了一个顺桥向的水平力的作用。如果纵坡不大,该水平力也就不大,它对拱圈乃至墩台受力的影响也就不会太大,或因甚微而不计其影响。基于上述原因,正拱斜置对称拱坡拱桥方案,较之于三角斜填料坡拱桥方案,要显得经济合理一些。又因布设多孔坡拱桥时,斜置的各个拱圈的起拱线可位于同一直线上,且与桥面所在的路线纵坡相吻合(图 1-6),故对桥墩受力来讲,正拱斜置对称拱坡拱桥方案也较三角斜填料层坡拱桥方案为好。

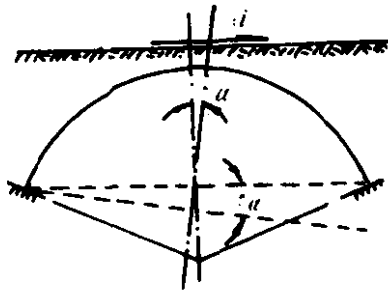


图 1-5

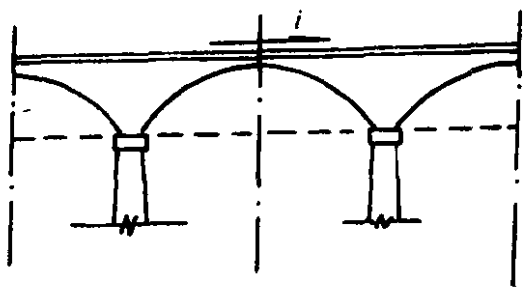


图 1-6

这里所讲的坡拱桥方案,无论是三角斜填料层方案还是正拱斜置对称拱方案,均指砖石及混凝土板拱、双曲拱、箱形拱、肋拱等上承式板拱体系而言(下同)。至于诸如桁架拱、刚架拱、系杆拱等轻型坡拱桥,则不在本书论述之列,尤其三角斜填料层坡拱桥方案对这类轻型坡拱桥而言是不复存在的。对于正拱斜置方案,板式坡拱桥的构造特点和计算原理上的特点,也可供桁架拱、刚架拱、系杆拱和肋拱等轻型坡拱桥借鉴或参考之用。

二、坡拱桥的构造特点

坡拱桥与平坡拱桥在结构构造上有共性(图 1-7、图 1-8、图 1-9、图 1-10),也有其自身的特点,现将坡拱桥主要特点简要分述于后。

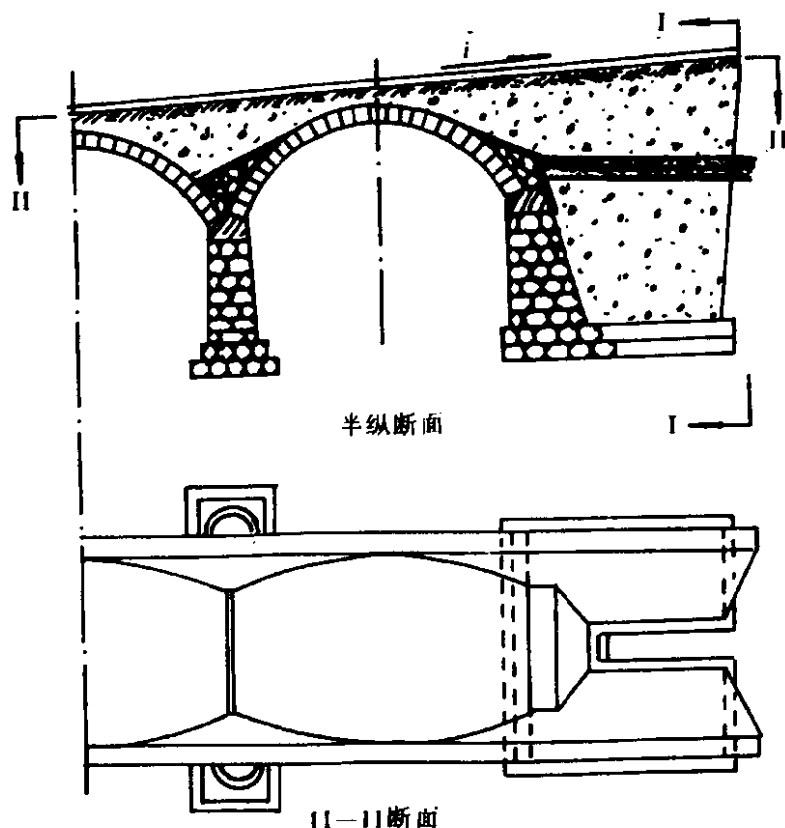


图 1-7 斜填料坡石拱桥构造

(一)主拱圈

就整体构造而言,坡拱桥的主拱圈,无论在其截面形式、拱轴线形,还是在拱石规格和拱圈材料等的要求上,均与一般平坡拱桥相同。主拱圈截面高度的拟定,可参考一般平坡正拱桥估算主拱圈高度的经验公式或数据(取其较高限值)进行初拟,再通过内力分析和强度与稳定性验算,进行必要的修改。对于跨径不大于 10m(三角斜填料层坡石拱桥)或 20m(正拱斜置对称拱坡石拱桥)的坡石拱桥,其主拱圈厚度也可参考附录 I 中的附表 1-1 或附录 II 中的附表 2-1 选用。与此同时,坡石拱桥的桥墩尺寸,可相应地参考附录 I 中的附表 1-2 或附录 II 中的附表 2-2 选用。

唯一不同之处,在于当拱圈斜置时,拱座五角石或现浇拱座不可能左右对称。即使同一桥墩上的拱座五角石或现浇拱