

Gonglu Qiaoliang Duntai Sheji Yu Shigong

公路桥梁墩台设计与施工

马尔立 编著

人民交通出版社

参考了大量文献,不论书末是否列出,在此一并致谢。本书能够顺利出版,编辑校对付出大量劳动,在此表示衷心感谢。由于作者水平有限,书中缺点甚至错误在所难免,欢迎广大读者指出。

作 者

内 容 提 要

本书系统介绍公路桥梁墩台的布置、类型、分析及施工等。全书共分四章,分别为布局与构思;类型与构造;设计与计算;施工与维护。内容涉及桥梁墩台的总体布局、美观、防撞、通航、型式选择、构造特点、力学分析、施工方法及养护维修等。

本书可供公路工程、桥梁工程等土木类专业师生、研究人员、工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路桥梁墩台设计与施工/马尔立编著.-北京:人民交通出版社,1998.3

ISBN 7-114-02880-6

I. 公… II. 马… III. ①公路桥-下部结构-设计 ②公路桥-桥台-工程施工 ③公路桥-桥墩-工程施工 IV. U448.143.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 00870 号

公路桥梁墩台设计与施工

马尔立 编著

责任印制:孙树田 版式设计:崔凤莲

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张:10.125 字数:232 千

1998 年 5 月 第 1 版

1998 年 5 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001-5000 册 定价:20.00 元

ISBN 7-114-02880-6

U · 02052

前 言

桥跨结构、桥梁墩台和墩台基础是组成桥梁的三大部分。有关论述桥跨结构的论著屡见不鲜,如文献[7]、[8]、[9]、[12]、[13],未录入本书参考文献的更是多不胜数。桥梁墩台基础除了专门的设计手册外,在大专院校亦开设了相应的专业课《基础工程》,相比之下,对桥梁墩台的研究就显得少多了,很少有专门论述墩台的专著,大多只在论述桥跨结构的同时,附带一些有关墩台的知识。但在桥梁迅猛发展的今天,墩台显得日益重要,很有必要对其进行专门研究。为此,作者广泛收集国内外有关文献资料,连同近年来的教学科研成果一起汇集编著出这本书,以起抛砖引玉之作用。

本书共四章,分别介绍了墩台的布局与构思,包括墩台的总体布置、位置选择、美学、桥跨结构与墩台的配合等;墩台的类型与构造,包括桥墩的结构类型与构造、桥台的结构类型与构造,并对拱桥,特别是石拱桥墩台构造特点亦作了介绍,还涉及到墩台的防腐、抗震、防撞等;墩台的设计与计算,包括墩台帽、墩身的荷载设计,结构尺寸设计,结构力学分析模型及方法,强度、位移、应力验算方法,并配有常用墩台的尺寸设计参考图表;墩台的施工与维护,包括整体式墩台的施工方法,装配式墩台施工方法、施工质量控制,墩台的检查、养护、维修及加固方法等。本书叙述由浅入深、循序渐进,图文并茂、阅读性与实用性并举、理论性与实践性并存。

本书由马尔立主编,在编著中,得到同事的大力协助,并

目 录

第一章 布局与构思	1
§ 1-1 概述	1
§ 1-2 名词浅释	3
§ 1-3 总体布置	4
§ 1-4 技术论据	10
§ 1-5 墩台位选择	16
§ 1-6 墩台美学	20
§ 1-7 塔、墩、梁的配合	22
§ 1-8 上、下部配合	29
§ 1-9 墩台与支承	31
§ 1-10 桥墩与通航	36
第二章 类型与构造	46
§ 2-1 桥墩结构类型	46
§ 2-2 桥台结构类型	62
§ 2-3 拱桥墩台	71
§ 2-4 石拱桥墩台	76
§ 2-5 立交桥的墩台	84
§ 2-6 墩台型式选择	86
§ 2-7 桥墩构造	87
§ 2-8 桥台构造	99
§ 2-9 墩台的防腐与抗震	109

§ 2-10	桥墩防撞	111
§ 2-11	桥台防护与桥头搭板	122
第三章	设计与计算	126
§ 3-1	墩台帽尺寸设计	126
§ 3-2	墩台身尺寸设计	130
§ 3-3	荷载设计	131
§ 3-4	常用桥墩的尺寸设计	152
§ 3-5	常用桥台的尺寸设计	181
§ 3-6	沉降	195
§ 3-7	位移	197
§ 3-8	抗震计算	203
§ 3-9	盖梁分析	218
§ 3-10	桥墩的计算与验算	220
§ 3-11	桥台的计算与验算	246
§ 3-12	墩台顶局部承压计算	270
第四章	施工与维护	275
§ 4-1	墩台位置测量	275
§ 4-2	钢筋混凝土结构的基本作业	278
§ 4-3	整体式墩台施工	282
§ 4-4	装配式墩台施工	285
§ 4-5	桥台台后填土及其它	288
§ 4-6	墩台施工质量控制	290
§ 4-7	墩台的检查、养护及维修	294
§ 4-8	墩台身裂缝的预防	297
§ 4-9	墩台身裂缝的修补	305
§ 4-10	墩台的维修加固	308
	参考文献	317

第一章 布局与构思

§ 1-1 概 述

墩台是桥梁的重要结构,支承着桥梁上部结构的荷载,并将它传给地基基础。桥墩除承受上部结构的竖向压力和水平力外,还受到风力、流水压力及可能发生的冰压力、船只和漂流物的撞击力的作用。桥台设置在桥梁的两端,起着支承上部结构和连接两岸道路的作用,同时,还要挡住桥台背后的填土。此外,桥梁墩台还要承受施工时的临时荷载,在某种情况下需要临时加固补强。因此,桥梁墩台应有足够的强度和稳定性,避免在荷载作用下产生过大的位移和转动。

在桥梁的总体设计中,下部结构的选型对整个设计方案有较大的影响。合理的选型使上、下部结构协调一致,轻巧美观,特别是城市桥梁和立交、高架桥。桥梁下部的结构选型,更显示出它在桥梁美学方面的独特功能。

基于上述原因,桥梁墩台的结构型式多种多样。设计者在各自的设计方案中,对下部结构的功能和造型做了充分的体现,如澳大利亚的盖特威桥,是一座主跨 260m 的预应力混凝土连续刚构桥,主墩高 40m 之多,采用中距 11m,壁厚 2.5m 的直立双壁式墩身,因而使主梁在桥墩处削减了负弯矩峰值,提高了桥墩的抗弯能力,在造型上使目前最大跨径的预应力混凝土连续刚构桥具有轻盈、和谐、庄重的外观。美国的长岛

桥是一座由 103 跨组成的多联预应力混凝土连续梁桥,全长 3708m,标准跨径 36m,其下部结构采用预制的 V 型斜撑桥墩,它与上部的单箱截面构成了一幅长龙画面。

我国近年来建造的桥梁,下部结构的造型也有了显著的变化,改变了桥墩粗、大、实的躯体,向着轻型、薄壁、注意造型的方向发展,从而提高了桥梁下部结构的功能和结构的美感。座落在风景秀丽的桂林漓江桥,上部结构为变截面的预应力混凝土连续梁桥,其桥墩选用顺桥宽 1.4m,横桥宽 4m 的两个矩形柱式墩,分别设置在桥横向的两端,中间以隔板相连,形成总长 14m,平面上呈哑铃型,立面上不设墩帽的直立式桥墩。在立交桥方面,北京的西直门立交桥、天津的十一经路立交桥和广州的区庄立交桥等,下部结构的造型都有各自的特点。

确定桥梁下部结构应遵循安全耐久,满足交通要求,造价低,维修养护少,预制施工方便,工期短,与周围环境协调,造型美观等原则。桥梁墩台的设计与结构受力、土质构造和地质条件和水文、流速及河床及其埋置深度有关。从桥梁破坏的实例分析,桥梁下部结构要经受洪水、地震、桥梁活载等的动力作用,要确保安全、耐久,必须充分考虑上述各种因素的组合作用。

桥梁是一个整体,上下部结构共同工作、互相影响,要重视下部结构与上部结构的合理组成。特别是在墩梁固结的预应力混凝土连续刚构桥中,桥墩与上部结构融合在一起,因此,桥梁的下部结构在某种情况下,很难与上部结构截然分开。同时还要求桥梁下部结构的造型与周围的地形、地物条件匹配,使桥梁与环境和谐、匀称。

墩台的施工方法与结构型式有关。桥梁墩台的施工主要有在桥位处就地施工与预制装配两种。就桥墩来说,目前较多

的采用滑动模板连续浇筑施工,它对于高桥墩、薄壁直墩和无横隔板的空心墩有较高的经济效益。而装配式墩常在带有横隔板的空心墩、V型墩、Y型墩等型式中采用。在墩台施工中,还应从实际情况出发,因地制宜地提高机械化程度,大力采用工业化、自动化和施工预应力的施工工艺,提高工程质量,加快施工进度。

§ 1-2 名词浅释

桥梁墩(台)主要由墩(台)帽、墩(台)身和基础三部分组成(图 1-2-1)。

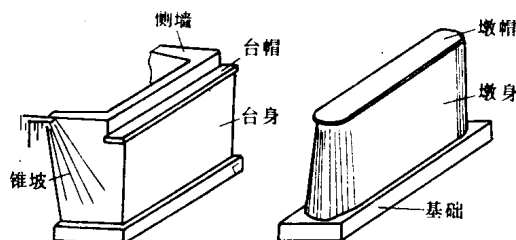


图 1-2-1 桥梁墩台(重力式)

1. 桥墩:指多跨(等于多于两跨)桥梁的中间支承结构物,它除承受上部结构的荷重外,还要承受流水压力,水面以上的风力以及可能出现的冰荷载、船只、排筏或漂浮物的撞击力(图 1-2-2)。

2. 桥台:指设置在桥的两端,除了支承桥跨结构之外,它又是衔接两岸接线路堤的构筑物;既要能挡土护岸,又要能承受台背填土及填土上车辆荷载所产生的附加侧压力(图 1-2-2)。

3. 水位:与桥梁墩台直接接触的河流中的水位是变动的,在枯水季节的最低水位称为低水位,洪峰季节河流中的最高

水位称为高水位。桥梁设计中按规定的设计洪水频率计算所得的高水位称为设计洪水位(图 1-2-2)。

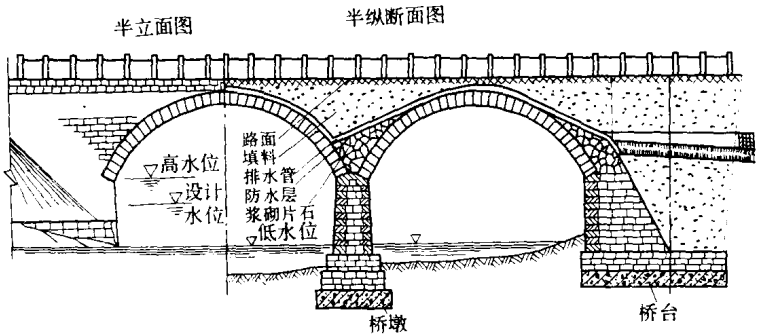


图 1-2-2 桥墩、桥台及水位

§ 1-3 总体布置

桥梁为一狭长结构,长轴延伸较远,墩台间距很大,支承荷载集中,其中的一部分又往往处于水中,桥面的宽度相对地是有限的,因此是不同于一般建筑物的构造。

整个桥梁墩台的布置原则,应不脱离桥梁规划设计的总原则。就桥中某一墩台而言,它的位置和高度,将决定它的技术特征,即结构要素、施工方法和工程数量。此外,结构与施工方法的依存关系,较上部结构更为密切。某一墩台方案,在计算和绘图当中,常不能说明太多问题,而在施工组织设计进行后,才能理解方案是否能以顺利实现和关键问题所在,判断它的合理与经济性。

一、平 面

某一墩台在桥梁中的平面位置,先应当考虑通航宽度、过水断面、河床地形、基底岩土条件,再配合上部结构布置和两

端线路情况选定。

通航宽度不能简单地按通航等级,取通航净空作为布置的依据。应当研究高、低水位时的航道,大、小船舶的航行线,以及流速、上下游的流势,再确定墩位,否则将造成航行困难及不断的撞墩事故,也影响桥梁本身的安全。

近年的重大的船舶撞墩事故,每每造成舟覆、墩毁的实例,普遍引起各方面的重视。礁石满布的江面,不能简单地用加大跨度的方法得到解决。

在有设防堤岸的河流,堤岸将成为过水断面的控制点,突出堤防的桥台将改变流势,在高流速、大流量洪水浸及堤防的河段,显然将增加水面的壅高,加剧河床的冲刷,对堤防和桥台均不利。特别在大堤主体范围内建造墩台,将在施工期间挖开堤防,常使工期受到限制,工作季节非常短促,且破坏堤防的完整性后,回填质量也往往引起很多顾虑与争议。在重大通航河流上,小船常傍岸行驶,边跨亦不宜压缩,在可能时梁支点以跨过堤防的主要部分为宜。关于桥墩为数过多,挤压河道问题,虽多少会增加一些水面的壅高,但由于计算方法、冲刷估计的工作常难取得一致的意见和结果,必须事先与水利部门协商。近年,桥梁跨度有逐渐向长大发展的趋势,在重要河流反而易于统一。

此外,还常有束水归槽,压缩河道的议论,希望用导流建筑控制河宽,减少桥长及水中墩台。但在上下游河流整治未曾着手之前,仅仅在桥轴线上设卡压缩,在重要河流很上难为当地水利部门所接受,而且经验不多,把握不大,水中路堤及导流建筑费用亦颇可观,除非在河道的局部扩展部分,泊荡纵横,过水流量极小,可以按具体情况考虑,但亦必须十分慎重从事。

陆上桥梁在桥下有建筑物或街道通过时,须视需要,相应

作出墩位的适当布置。桥轴线将按照两端线路的走向,定出衔接点。桥的长度及墩的数目与位置,往往和台后填土高度有关。早年国内的人工土方单价很低,常倾向于高填土。但是近年工价已有较大的变化,而且长的填土路堤占地过多,影响交通,阻塞排水,特别在软土基础上,病害易于发生,不便处理,所以台后填土高常在 $4\text{m} \sim 8\text{m}$,视桥址的具体区域情况而异。

河床断面的起伏也是决定墩台位置的一个因素。当河床有凹槽、浅滩、深泓以及摆动、游荡河道时,桥轴线上的桥墩显然宜避免不利而移向有利位置,以减少施工困难,改善力学条件,消除养护中不易控制的变化状态。由于墩位的要求,上部结构布置也应作相应的改动,结合所有有关因素,进行全面的考虑。

岩土层的地质条件也有决定性影响。地基是墩台受力时的支承,也是维持墩台稳定的介质。在整个桥轴线上,一般很少有平坦等厚的层次,通常岩土构造有较大的变化,甚至有陡变的土层阶梯,不衔接的岩石断层、折皱和表面的起伏嶙峋,避免墩台放置在局部地质复杂的地带,将有极大的技术和经济意义。

在大面积的软土地带,或是在河底有溶洞、溶沟的岩层中,选择适宜的墩位是困难的。在这些条件下施工,也有工艺上的难题。如能提高勘探的手段,利用钻探结合物探的先进技术,仍然有可能找出地质上的差别,较恰当地定出墩位,或稍稍移动轴线,避开个别不良工点,这将是可取的步骤。例如减少一些软土层厚度,脱离多层岩土交替的溶蚀地段,最后反映到经济上,将是十分有利的选择。一般,钻探取得较多的资料,究竟远远比施工时的工作量为小,在时间上,适当安排勘探、设计、施工,争取最佳的配合,是应当努力达到的目标。

此外,上部结构的布置当然也影响墩台位置。虽然上部结

构是可以斟酌修改型式和跨长的,但是从桥梁整体工程要求而言,常常只允许桥跨在一定范围内变动,不宜也不可能采取特大或尺寸畸零的跨长,这就需要上、下部设计人员,运用精湛的技术,不厌其烦地进行比较抉择。

二、立 面

某一墩台的高度是水上、水中(正桥)或地上(旱桥、引桥)高度及埋置深度的总和。水上高度首先由高水位控制,通航河流应在最高通航水位上留出梁下航行净空的需要。不通航河流则在最高洪水位时不淹没支座,并在梁底及水面间留有漂流物通过的空间。由于洪水位很难精确选定,当有可能时,宜尽量多留余地,避免河水浸没桥面,造成重大事故及妨碍行车。陆上桥孔是要通过车辆、行人的,须提供足够的通行空间,跨线桥及高架桥则将跨越的建筑物标高加净空所控制。不论水上、陆上桥梁都要适应两端线路路面标高做出相应布置。这部分高度距要求差异较大时,可由上部结构的构造型式来加以调整,如用上承梁适应高桥,拱桥跨越峡谷,下承梁压缩路面和墩顶间的建筑高度等,得到合理的桥下净空。此外,尚需注意,在有确保高堤的重要河流,为了运送防汛人员、器材,常要求堤顶通行汽车,则梁下、堤顶间应考虑此项需要,往往成为梁底标高的控制点,影响到全部河槽内外的墩台高度。

河中桥墩的水中高度由高水位下的水深表达。水深是水面与河底面间的距离,两者受流量、流势、流速及河床组成的土质或岩性影响,都是经常变化的。一般设计中采用各种高、低水位,计算营运中有关的各类问题,施工时按工期中高、低水位规划布置;但某一水位确定之后,其它水位可以换算,为了计量方便,且水深对施工有较大的意义,习惯按设计中采用的最高施工水位,作为计算水深的基准。河底面则按最大冲刷

深度,计算设计水中基础的埋置深度,施工中的最大冲刷深度决定施工布置,而墩高将由设计中最大冲刷深度的河床决定。

河床在桥建成后的长时期内,结构的阻水效应将加剧墩位附近的冲淤。在流势平稳的条件下,组成河床的颗粒将在一定流速下冲走;当流速减缓时,流水从上游夹带的泥沙又将在桥位淤积,在连续的季节中,形成反复的河床一般冲刷和淤积。当主流有摆动时,深泓位置可能经常变化,造成集中冲刷及滩地的延展。此外,在墩位四周,因墩身及基础的阻水和平面形状的影响,造成水流的变化和紊乱,多在墩位前端产生较大的冲深,而在墩尾和下游,又有淤高的趋向。在桥孔两墩之间,有时延伸到下游,又有冲刷深坑,形成墩位附近的局部冲刷和淤积。近年发现,河床即使是暴露的岩面,如岩性松软、构造破碎、流速较大,也有剥离现象,当急流又夹带卵石时,磨损将增加岩面的冲刷影响,有时深达数米。

应当看到河床断面是变化的,流量在断面上的分布是不规则的,流速由于弯道、流势、地形、河床组成及粗糙程度、建筑物的阻水,上、下左右的分布也是不均匀的。引用单宽流量计算的一般冲刷、集中冲刷与局部冲刷深度的相互关系及数值只能是概略的,而冲刷时的水深影响,能直接危及基础稳定,或淘空基底土层造成事故。在深水桥墩局部冲淤对施工难易也有决定作用。因此,应当结合具体情况,留有足够的余地,以策安全。

当淤积严重时,虽桥墩将更为稳定,但枯水航道行船可能受到影响,航运部门往往将淤积扩展的原因,委诸桥墩的阻水。客观地研讨,当在主槽外建造过多过密的桥墩,可能影响流量的分配,促成岸滩的扩大。但是一般情况桥墩大多相距很远,阻水有限,主要因素常由于天然河道的固有特征,如弯道处的一侧切深,一侧淤高,或是河心原有不稳定的上游沙洲、

浅滩,逐渐向下游桥位移动,形成难以应付的局面。因此在桥位选择时,应当多作调查研究,避免这类河段。墩位不宜过密,留有深泓摆动的航道。在万一出现难以避免的淤积,最后手段将诉诸挖泥疏浚,这时,桥墩应留有足够的埋置深度,适应疏浚深浅不易掌握的误差。

埋置深度指墩台在土面以下部分,即墩台身土内部分加基础高度之和。埋置于土层中的墩台首先要考虑墩台的稳定要求,墩台基底至少须低于最大的可能冲刷面,否则冲刷线达到淘空基底的程度,墩台显然将倾倒或被冲走。此外,基底必须达到良好的持力层,最好能用大面积承载的方式承受墩台传来的负荷,包括竖直力、水平力及弯矩(在深基础有时可以利用埋置土层中的适当锚固作用)。采用桩基础由深层下卧土负载时,则桩尖以上土体在冲刷后需有足够的墩台要求的安全强度。放置在岩石或岩石露头的墩台基础,应穿过风化部分,并在坚实的岩盘内嵌入少许,提供足够的支承和抗滑能力。如需钻入岩体使有更好承载和锚固强度时,则应有足够尺寸的钻孔和钻孔深度。因此稳定和强度要求,将是决定一切基础埋置深度的主要因素。不过应当注意,由于桥梁结构的性质,一般不允许有超限的沉陷量,更不能发生不均匀的下沉,造成结构的破损。所以持力层的含义,除了能安全支承外,还包括受力时,不产生不能容忍的变形。

岩土的物理化学特性对埋置深度也产生重要影响。从河床的地质断面,研究历年沉积物质的分布层次,常能帮助确定可靠的一般冲刷线。结合水文计算、汛期观测,必要时进行土工试验,能进一步掌握集中冲刷和局部冲刷深度,估算墩台建成后和施工时的影响,定出墩台的埋置深度。此外,岩土和含水的化学特性将决定各种溶蚀现象的发展,附近的地质构造将影响受力后的基础稳定和变形,因此,研究大面积地质状况

并结合钻孔资料的探讨,是决定承载能力和埋深的重要步骤。我们知道,不扰动的原状土和连续完整的岩芯,是不易获得的,即使取得较好的岩土样品,进行的各种常规试验也很难全面表达受力范围的三轴作用,因此,对岩土强度的经验判断,往往有着很大的意义。假如判断是依据广泛的地质资料,再结合试验结果作深入的科学分析,那就能较中肯地得出正确的结论。

在考虑以上重点问题以后,按照本桥址的自然条件和行车的技术条件,能以初步计算决定桥梁轴线上每一墩台的位置和结构尺寸。

当研讨施工方法和施工组织设计以后,结构主要尺寸,特别是基底深度和大小,经过推敲可能又需进一步修正才能得到施工难易的认识,作出工程安排,计算工程数量,最后较恰当地做出造价概算。再综合上、下部结构的资料,方能反映出一个桥梁完整方案的经济合理性。

§ 1-4 技术论据

进行下部结构的技术工作有它一些特点,理解这些特点的性质、内容及矛盾所在,对下部结构,特别基础部分问题的斟酌、处理与掌握是有帮助的。虽然,这里只提出了几个值得探讨的问题,涉及它们的论证和判断,但是多少反映了必须理论结合实践的观点和考虑。

一、技术规范

上面谈到下部结构的布置将由很多自然条件和技术条件来决定,而更多地取决于自然条件,由于地区条件不同,变化的因素繁多,结构的支承介质也不同,要从这些复杂的事物

中,抽象出普遍适用的规律,是有一定困难的。

技术规范应是多年来理论认识和实践经验的总结,基于上述情况,下部结构规范的条文多是一些概念性的规定和上、下限距离较大的具体数字,对中、小桥已有足够的指导意义,但对重要复杂的大型桥梁,应用时就会感到分类粗略、数字幅度太大,具体进行设计、施工需补充某些特殊的附加实施条文,甚至有时与规范指示不尽吻合,这就应当在送出设计文件时,一并报请审批。

复杂条件下的基础设计,不应将特殊问题简单地一般化处理,套用规范的某一章节中的条目。当发现疑问时,应提出试验研究的关键课题,进行一些工作,结合理论与当前实践(试验)的结果,做出自己的判断。必要时,再请主管部门审定,这是一个设计工程师应有的状态和责任。在一般特大桥梁设计时,须能达到这样的要求,才能使技术工作得以顺利展开。

当然,一个合格的设计工程师,应该在熟记技术规范条文的同时,深刻领会其实质、来源,使得应用时得心应手,不致教条、死板,而将设计限于一个死框框里面,要有所创新而不违犯规范,有所突破而不背离规范,以便积累经验,为修订规范提供素材。

二、力 与 分 析

虽然桥梁规范对上、下部结构的荷载及其应用作了较细的规定,但是只要略加思索,就能看出对下部结构影响很大的一部分荷载,有的数值比较粗略,如制动力、水浮力、流冰压力等,有的不仅数值粗略,力的方向和作用点也可能有出入,如土压力、船筏冲撞力、地震力、墩台沉陷影响以及车辆事故冲击力等;而承载和抵抗这些荷载的岩土阻力和决定它们数值的试验方法,又只是近似值。但是,在墩台设计计算中,这些荷