

桥梁桥墩设计及抗冲刷分析研究

刘智鸿

湖北省交通规划设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430051

[摘要]桥梁桥墩是桥梁的重要承载部分,因此桥梁桥墩设计合理与否以及抗冲刷性能如何直接影响着整个桥梁的安全及使用寿命,文章通过全面研究桥梁桥墩的设计理论及方法、桥墩冲刷原理及其影响因素、桥墩抗冲刷的计算分析方法及保护措施,经研究得出:桥梁桥墩的选择要同时兼顾结构受力特性和水文地质条件的影响,在桥梁桥墩的设计尺寸大小及形状方面都会影响到桥梁基础局部冲刷情况的发生,在桥梁基础局部冲刷情况下,桥梁桥墩尺寸大小以及形状会对墩周水流分布造成一定的变化从而引起不同的桥墩局部冲刷发展过程以及平衡冲刷状态存在差异性。针对冲刷防护来说,结构优化的设计手段以及主动防护工程技术和有机结合可以有效提高桥墩抵抗冲刷的能力,环翼型防冲板、开缝组合防护对圆柱形桥墩的局部冲刷防护效能较好。文章的研究成果可以为桥梁工程建设及冲刷防护提供一定的理论指导和技术借鉴作用。

[关键词]桥梁桥墩; 结构设计; 冲刷机理; 抗冲刷防护

DOI: 10.33142/ec.v9i5.19645

中图分类号: U443.35

文献标识码: A

Research on Bridge Pier Design and Anti-erosion Analysis

LIU Zhihong

Hubei Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430051, China

Abstract: Bridge piers are important load-bearing parts of bridges, so the rationality of bridge pier design and the anti erosion performance directly affect the safety and service life of the entire bridge. This article comprehensively studies the design theory and methods of bridge piers, the principle and influencing factors of pier erosion, the calculation and analysis methods of pier anti erosion, and protective measures. Through research, it is concluded that the selection of bridge piers should take into account both the structural stress characteristics and hydrogeological conditions. The design size and shape of bridge piers will affect the occurrence of local erosion of the bridge foundation. In the case of local erosion of the bridge foundation, The size and shape of bridge piers can cause certain changes in the distribution of water flow around the piers, resulting in differences in the local erosion development process and equilibrium erosion state of different piers. For erosion protection, the design methods of structural optimization, active protection engineering technology, and organic combination can effectively improve the ability of bridge piers to resist erosion. The combination of annular wing shaped anti erosion plates and joint protection has better local erosion protection effectiveness for cylindrical bridge piers. The research results of the article can provide certain theoretical guidance and technical reference for bridge engineering construction and erosion protection.

Keywords: bridge piers; structural design; erosion mechanism; anti-erosion protection

引言

桥梁桥墩是联系上部结构及地基的重要传递荷载构件,它的设计好坏关系到桥梁的安全性、耐用性和经济效益。近年来,跨江、跨海大桥的发展趋势向着更深、更高以及更大的跨度发展,而桥墩承受着越来越复杂的水文环境的影响,冲刷现象也更加明显起来。桥墩局部冲刷现象已经成为造成桥梁水毁的重要原因,因此对桥墩的设计及其抗冲刷的研究有着十分重要的理论和实际意义。对于桥

梁桥墩的设计包括选型设计、力学分析以及构造设计等,目前的规范标准需要在复杂的环境条件下进行检验;冲刷机理研究方面,还需进一步探究其多种因素相互作用的影响,防护措施也在逐步由过去的被动防护转向主动防护及结构优化相结合的方式。本文从桥梁桥墩的设计理论与方法、冲刷机制及影响因素、抗冲刷验算方法以及抗冲刷保护手段四个方面进行研究,以期对桥梁桥墩设计及冲刷防护有所启示。

1 桥墩结构设计理论与方法

1.1 桥墩类型与选型原则

桥墩是桥梁下部结构的重要部分之一,主要作用就是把主梁传来的全部荷载安全可靠地传给基础,并能抵抗水流、风荷载等因素的影响。按结构形式和受力特点的不同,桥墩可归纳为两大类:一类是重力式桥墩;另一类是轻型桥墩。重力式桥墩常用钢筋混凝土或者现浇混凝土以及石砌实心体构造,依靠自身的较大截面和重量来抵抗竖直方向上的外力,结构稳定可靠,施工方便,就地取材,但是圯工量较大,体积笨重庞大,对于地基承载力有较高的要求;轻型桥墩主要有空心式桥墩、构架式桥墩、薄壁桥墩和桩柱式桥墩等,外观较轻巧,圯工量较小,地基承受的压力较轻。

表 1 桥梁桥墩类型对比

桥墩类型	结构特点	适用条件	主要优点	主要缺点
重力式桥墩	实体结构、自重为主	地基条件良好、大跨度桥梁	坚固耐久、施工简易	圯工量大、地基负荷高
空心桥墩	中空薄壁结构	高桥墩、地基承载力较低	节省材料、自重较轻	施工工艺要求较高
构架式桥墩	桁架或刚架结构	高墩、软土地基	结构轻盈、适用性强	受力复杂、节点设计关键
薄壁桥墩	钢筋混凝土薄壁	柔性墩体系	纵向刚度小、受力合理	需与刚性墩协同工作
桩柱式桥墩	桩柱一体结构	深水区、软土地基	适应地基变形、施工便捷	抗侧向力能力较弱

桥墩选用时应以保证安全、实用、经济、美观为准则,在满足结构受力、水文地质状况、施工技术水平的基础上进行选择,在跨河桥中,应充分考虑到深水或不良地质对于基础建设的影响。在多跨矮塔斜拉桥超高墩的设计中,根据截面形似的原理可以得出双薄壁墩、单薄壁墩、组合式墩、叠合式墩四种方式,通过有限元分析可以得出不同类型的墩对于主梁和桥墩受到的应力情况有较大的差异。

1.2 桥墩受力特性与荷载组合

桥梁墩台结构复杂,不仅要承担上部结构传来的竖向力还有水平方向的作用力外,还需要考虑外界环境的影响因素。竖向力包括上部结构的恒载、车辆活载以及本体的自重;水平力则包含制动力、温度力、风力、水流力、地震力等等;环境影响有温差、收缩徐变、基础沉降等等。桥墩受力情况取决于桥墩类型的选择。重力式桥墩是以压缩为主要受力形式,主要是靠加大截面积来满足其稳定性;轻型桥墩则受力更复杂,它既要承受压,也要承受弯。对于高墩大跨连续刚构桥主墩优化分析发现,单肢空心薄壁墩比组合墩更稳定,但是两者在梁体应力上有相近的地方。

这说明进行墩型设计可以在满足结构安全的同时减少投资成本。荷载组合要符合《公路桥涵地基与基础设计通用规范》的要求,既要有承载能力极限状态又要考虑到正常使用极限状态这两种情况。水压力是桥墩独有的一个荷载种类,它的计算需要结合设计水流速度、水深以及墩型系数来确定,在洪水期或者是航道上的河道更为重要。

1.3 桥墩构造设计要点

桥墩构造设计要符合强度、刚度、稳定性和耐久性的标准,墩身截面形状的选择对结构所受内力以及抵抗冲刷有决定作用,圆端形、半圆形及其他流线形截面能减少水流阻力,减弱局部冲刷力;墩帽构造需遵循支座布置的要求并设置好排水坡、挡块等附属构造,而对于高墩构造,更应该重视其稳定性的问题,在进行高墩结构时使用空心薄壁墩是非常有利的,采用滑模浇筑方式能够加快施工进度,壁厚的设计也要兼顾受力的要求以及构造的限制,墩身配筋必须能满足承载力和裂缝宽度的要求,纵筋配筋率要控制得当。基础设计为桥墩构造的重要方面需要结合当地地质情况及荷载大小来选择合适的基础方案。浅基础用于地质条件较好的河流地段,而深基础适用于淤泥质土层或深水地区,基础埋置深度应计及冲刷的影响,在设计冲刷线下方留有足够大的安全余量。

2 桥墩冲刷机理与影响因素

2.1 冲刷基本类型与形成机理

桥梁墩台冲刷就是由于水流的作用而使桥梁墩台周围的河床物质遭到掏蚀的过程,可以分为一般冲刷和局部冲刷两种方式。一般冲刷就是在桥孔缩窄了水流造成河床整体降低的冲刷过程。局部冲刷则是因为桥墩阻挡水流形成复杂的水流结构,在桥墩周围形成局部降低的冲刷凹坑,桥梁墩柱局部冲刷机理较为复杂,有墩前下降水流、墩侧绕流、墩后尾涡等多种水流形式,墩前下降水流直冲河床,呈马蹄形涡系,是局部冲刷的主要动力源,墩侧绕流使得水流从桥墩两侧加快通过,增加侧向冲刷力。桥梁墩周流态是造成局部冲刷的重要因素,墩前马蹄涡使得其底部床面剪应力不仅均方差大而且还会有较大的峰谷变化,从而使得输沙量增大。

2.2 水流特性对冲刷的影响

水流特点对桥墩冲刷有很大影响,如流速、水深、水流流向、洪水频率等。水流速度影响河床表面剪应力大小,流速大于泥沙启动流速,冲刷就开始了,在流速增大的情况下,冲刷深度是非线性增长。水深对于冲刷的影响主要体现在以下两点上:(1)水深越大,则垂向流速分布越差,下泄水流的冲刷强度越大。(2)水深增大也即单宽流量加

大, 输沙能力强。桥墩局部冲刷程度直接受水流状况的影响, 潮汐环境下桥墩冲刷更加复杂, 波流水力特性如波流转换、回流等使冲刷分析变得困难起来。洪水频率和持续时间对冲刷演变产生影响。洪水期流速加大、水位升高, 侵蚀能力增强, 在洪水过程中侵蚀坑的发展也更为充分; 洪水过程时间愈长, 侵蚀坑发展也就更加完整。对跨海桥梁而言还需要针对涌潮水流的特有影响加以研究。涌潮水流造成的桥墩附近局部冲刷特点是强烈而迅速, 物理模型试验显示涌潮对桥墩周围冲刷坑的变化影响很大。

2.3 桥墩几何形态对局部冲刷的影响

桥墩几何形状对局部冲刷深度以及形态有至关重要的作用主要是由于墩形、墩宽以及墩群布置等因素所引起。圆形墩、圆端形墩等流线型墩形较矩形墩局部冲刷深度要大很多这是因为它绕流量比较小, 下降速度也较低。桥墩尺寸和墩型对桥梁基础局部冲刷作用明显, 局部冲刷时两者对墩周水流结构能够产生较大影响, 最终导致不同桥墩局部冲刷演变过程及平衡冲刷形态有所差异。墩宽是影响局部冲刷深度的重要几何参数, 经验公式通常以墩宽作为基本变量。随着墩宽增大, 墩前下降水流强度增加, 冲刷坑尺度增大。桥墩群布局会产生复杂的干扰作用, 多个桥墩并排或者串联起来的时候, 相邻墩位之间的水流相互干扰, 冲刷坑有可能累加或者互相作用。

3 桥墩抗冲刷计算分析方法

3.1 局部冲刷深度经验公式

表2 局部冲刷深度经验公式对比

公式名称	核心变量	适用范围	主要特点
HEC-18 公式	墩宽、弗劳德数、修正系数	通用, 适用于多数桥墩	考虑因素全面, 应用广泛
Neill 公式	墩宽、中值粒径、流速	砂质河床	形式简单, 计算便捷
韩海骞公式	墩形系数、水深系数、墩宽	国内河道	考虑国内河道特点

局部冲刷深度计算是桥梁墩台基础设计的基础, 在国内专家根据理论研究以及实验测试基础上也得出了一系列的经验公式。桥梁墩台的局部冲刷深度为桥梁设计的主要指标, 然而随着建桥技术的进步, 桥梁墩台局部冲刷计算的经验公式对于计算较大尺寸的桥梁墩台局部冲刷深度误差较大, 有必要按照相同物理量纲的原则进行修正。HEC-18 是美国联邦道路部推荐使用的一种方法, 综合了墩身形状系数、水流冲撞角度系数、墩宽及弗劳德数等参数, 普遍性较强; 而 Neill 公式结构简洁明快, 在砂性河床上进行冲刷量的估算较为准确。砂性河床墩台局部冲刷深度预报应以冲蚀规律的研究为基础, 并结合能量守恒定

律来提出一个适合窄墩深流类型的计算公式。而韩海骞公式正是针对我国河流状况而研究得出的一种计算方式, 被用于桥梁工程的设计之中。

3.2 数值模拟方法与应用

数值模拟是对桥墩冲刷的研究的一种重要手段, 在一定程度上可以克服物理模型试验的缺陷, 得到较准确的高空间时间和水流结构以及冲刷情况的信息; 而 CFD 数值模拟法则是对 Navier-Stokes 方程求解, 模拟大桥墩附近的复杂三维流场, 并借助泥沙搬运模型可以估计出冲刷的发展过程^[1]。基于 OpenFOAM 开放源代码 CFD 软件, 通过水动力学-输沙学-床面变形三者模型耦合计算, 做到水和沙运动以及床面变形的动态仿真, 从而更好地对桥墩附近水流环境以及冲刷情况进行预报; 数值模拟的技术难点主要有: 湍流模型的选择, 自由表面的处理, 动网格技术等^[2]。为了改进对粗糙床面附近区域流场求解精确性的问题, 在实验中运用 PIV 测量方法获取的数据来修正 k-ε 模型中关于涡黏系数有关参数以及近壁处的湍动能, 得到参数与粗糙度 Re 数的经验公式, 从而增加近壁区域流场计算精确度。

4 桥墩抗冲刷防护措施

4.1 结构优化设计措施

结构改善设计是根本性解决桥梁墩台防冲刷问题的有效方式, 主要措施有墩身改进、基础埋置加深、墩台布置改变等^[2]。流线型墩可减少水流阻力, 减弱局部冲刷能量, 圆端形、尖端形、圆形墩抗冲刷力优于矩形墩, 基础埋置深度是防冲刷设计的主要指标, 在设计冲刷线以下留有足够的安全余量; 针对深水基础, 可使用沉井基础或者打大直径桩基增强基础整体稳定性; 在超高墩设计中, 根据截面相同原理比较分析双薄壁墩、单薄壁墩、组合式墩、叠合式墩等各种墩身形式, 通过有限元计算得出最佳墩型, 既可以满足结构承载又可以满足抗冲刷需要。

4.2 主动防护工程技术

主动防护主要是为了调整水流动态, 减少墩前下冲水流以及墩边绕射流的影响, 以达到从根部抑制冲刷的能力。主动防护主要是设置桩头牺牲桩、四面体、石板等导流装置, 改善墩身周围的水流条件, 从而减少侵蚀力^[3]。环翼型防冲板、开缝组合防护属于新的主动防护方式, 通过对墩前下冲水流的主动干预减少墩边绕射流对于河床的冲击力, 进而达到减少冲坑深度的作用, 在物理模型试验中发现开缝靠近河床的时候, 防冲板和缝的组合可以大大降低近河床处垂向紊动度及紊动动能值, 使水流对河床的影响降低。开口接近河底及距河床高差为 1/3 水深处的组合

方式,在六种组合防护措施中最有效。而导流堤、防冲槽等导流设施也属于主动防护的一种措施,可以疏导水流的方向从而降低对桥墩的冲刷作用力。

4.3 被动防护工程技术

被动防护技术是在冲刷结束后对桥梁墩台基础的一种防护办法,主要有抛石防护、混凝土护砌、护坦等等。抛石防护是最早出现,也是最常用的一种防护方法,用块石抛投出一层护底,使水流的能量消耗掉一部分,从而减轻了河床的冲刷程度。抛石的大小要根据流速来选择,太小会随水流带走,太大则难以施工完成。混凝土护坡主要是预制混凝土块的护坡、模袋混凝土、混凝土护坦等,防护的效果好于抛石但是价格昂贵,而且不能适应河床的变化。护坦结构可以用于桥墩四周一定区域内进行整体防护,能够有效地控制冲刷坑的扩大。

5 结语

本文通过对桥梁桥墩的设计及抗冲刷方面的系统研究,得出了以下几点主要结论:桥墩构造设计要兼顾受力性质以及水文地质情况,重力式桥墩和轻型桥墩适用于不同情况,优化桥墩形式有利于提高抵抗冲刷的能力。桥墩

冲刷原因复杂多样,局部冲刷中墩前马蹄涡起着主导作用;水流特性和墩身形状对冲蚀深度有较大影响。局部冲刷深度的经验公式是工程应用中很有用的一种手段,利用数值计算的方法可以较好地对冲刷情况进行预测。抗冲刷保护措施分为结构加固、主动保护以及被动保护三种,环翼型防冲板与开缝组合防护方式比较优秀,超高性能混凝土是新型防护材料的发展方向之一。未来的研究可以通过加强对多个桥墩之间的影响因素、流体-结构相互作用以及对冲刷情况的实时跟踪监测的研究来深化桥梁墩身的设计理念以及防冲刷措施等相关的知识。

[参考文献]

- [1]苗建宝,刘亚文,张小亮,等.多跨矮塔斜拉桥超高墩合理形式比选[J].交通科技与经济,2024,26(1):57-63.
- [2]陈羿名,李怡,渠庚,等.砂质河道桥墩局部冲刷计算经验公式改进和验证[J].长江科学院院报,2023,40(2):14-18.
- [3]石一,陈佳兴,柳彬,等.桥墩局部冲刷防护措施综述[J].中国水运,2023,23(10):95-97.

作者简介:刘智鸿(1995—),男,江西九江人,工程师。武汉理工大学结构工程专业硕士,现主要从事桥梁设计工作。