

重力式锚碇抗滑移稳定性设计参数敏感性分析

曹茜

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:以重力式锚碇设计方案为背景,对影响锚碇抗滑移稳定性的设计参数开展了敏感性分析,识别出其中对锚碇稳定性具有显著控制性的设计参数。此外,对作用于锚碇主缆缆力的主要影响参数进行了敏感性分析。分析结果可以为重力式锚碇的设计优化提供一些基础数据,并为挖掘锚碇设计空间提供技术支撑。

关键词:重力式锚碇;悬索桥;敏感性分析;抗滑移稳定性;仿真分析

中图分类号: U443.24

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)06-0235-03

0 引言

随着我国大跨径悬索桥修建数量的不断增加和技术水平的提高,桥梁结构设计已经逐渐轻盈化、纤细化,在保证结构受力安全和稳定的前提下,尽量减小结构尺寸和降低造价的需求日益增加。然而,大跨径悬索桥关键构件的设计分析理论研究相对滞后,限制了大跨径悬索桥的经济性。重力式锚碇是悬索桥中常采用的锚固系统之一,其稳定性对结构安全运营至关重要,也是悬索桥精细化设计理论中亟需解决的关键问题。

对大跨度悬索桥锚碇的稳定性分析得到了众多研究人员的关注,例如刘家峡黄河特大桥的重力锚结构受力稳定性与监控研究^[1]、润扬大桥北锚碇的抗滑动和抗滑移稳定性研究^[2]、虎门大桥东锚碇稳定性分析和评价^[3]、矮寨大桥的锚碇稳定和应力分析^[4]、泰州大桥锚碇稳定性和变形分析^[5]。通过对影响锚固系统各参数的分析,孙华安^[6]识别出主缆缆力大小、主缆缆力转角、散索鞍与前锚面的距离以及前后锚面之间的距离是影响锚固系统安全性和决定锚碇尺寸的关键设计参数。苏静波等^[2]采用有限元软件,分析了锚碇基础前后墙土体压力对其稳定性的影响,发现后墙土压力对锚碇稳定性的影响略大于前墙土压力的影响,此外摩擦系数是至关重要的影响参数。

重力式锚碇作为大跨径悬索桥中的关键构件,是悬索桥设计经济性指标的关键影响因素。本研究

以一大型重力式锚碇为对象,对影响其优化的设计参数进行敏感性分析,以识别出其中的关键因素,为优化设计提供基础。

1 工程概况

本研究以某一跨径为1 490 m的悬索桥为背景,采用钢结构包括钢箱梁为主梁、钢混组合结构桥塔和高强钢丝主梁。该桥重力式锚碇采用69 m×50 m的矩形基础,基坑开挖深度约48 m,地下连续墙围护。依据地勘资料,锚碇基础覆盖层自上而下为填土、粉质黏土、淤泥质粉质黏土、淤泥质黏土、黏土、粉质黏土、粉质黏土夹黏质粉土、砂质粉土,在基坑开挖之前对基坑进行了降水处理。

2 计算模型

2.1 有限元模型建立及网格划分

为计算恒载和活载共同作用下的主缆拉力,首先采用ANSYS建立全桥模型(见图1),包括采用梁单元beam44模拟桥塔与加劲梁,材料采用Q345钢;杆单元link10模拟主缆及吊杆单元,其中主缆材料为1 860 MPa高强钢丝,吊杆是1 770 MPa高强钢丝。据此建立的有限元模型包含主梁和索塔单元共计276个单元,主缆和吊杆共计902个单元。依据设计,全桥二期恒载取9 t/m,活载按照公路-I级车道荷载加载,横向8车道,横向折减系数取0.5,冲击系数取1.3。

其次采用Solid45单元模拟锚碇及基础实体。在建模过程中不考虑地下连续墙复合基础受力,将锚碇及基础视为共同受力的整体结构,建模范围至封底混凝土底面位置(-48 m)。锚碇模型共有节点

收稿日期:2021-01-04

作者简介:曹茜(1983—),女,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

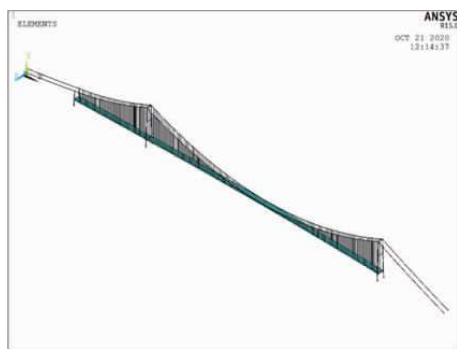


图1 全桥有限元模型

55 992个、实体单元135 540个,锚碇模型简图见图2。依据设计,基础及以下受到地下水浮力影响,竖向反力在计算完成锚碇及基础整体重力后,按照基础体积扣除相应浮力。

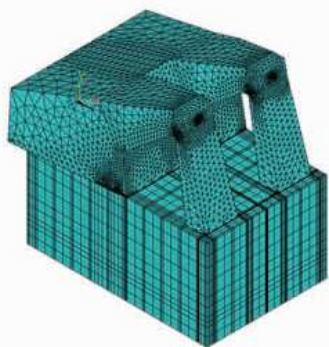


图2 锚碇模型简图

2.2 计算参数选取

本文所研究的悬索桥桥塔与加劲梁采用Q345钢,主缆及吊杆分别采用1 860 MPa 高强钢丝和1 770 MPa 钢丝。锚碇由混凝土构成,其中基础和锚体混凝土为C30、锚碇前支墩混凝土为C40、填芯混凝土为C20。主桥各构件所采用的材料属性设计值见表1。

3 锚碇稳定安全性验算和敏感性分析

《公路悬索桥设计规范》(JTG/T D65-05—2015)规定,锚碇滑动安全系数取值平时大于2.0,地震时大于1.2。

表1 材料属性设计值

参数	全桥模型				锚碇模型		
	加强筋 Q345	吊杆	主缆	桥塔	填芯 混凝土	基础及 锚体 混凝土	锚碇前 支墩 混凝土
密度 / ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	7 850	7 850	7 850	7 850	2 360	2 370	2 390
弹性模量 /GPa	2.1	2.0	2.0	2.1			
摩擦系数					0.4		

3.1 抗滑动稳定安全系数计算

利用前述建立的全桥有限元模型,考虑恒载与活载共同作用下的基本组合,计算得单根主缆缆力为 $6.77 \times 10^8 \text{ N}$,缆力方向根据主缆入射角与折射角间的关系确定。为分析锚碇在主缆缆力作用下的结构响应,根据主缆缆力作用方向分解后可知,其分别作用在前支墩(面压力)和锚固面(面拉力)上。在主缆缆力作用下,锚碇产生水平方向的位移,同时在竖向缆力分量和自重共同作用下产生竖向位移。缆力的作用使得锚碇存在沿水平方向滑动的风险,此外在竖向自重、基础变位等共同作用下可能引起锚碇倾覆。

对控制重力式锚碇设计的抗滑移稳定性进行验算。首先,采用前述建立的锚碇有限元模型,分别考虑锚体混凝土、填芯混凝土、填芯水以及地下水等共同作用,并且将2根主缆缆力作用于锚碇上,计算得到锚碇的作用力;其次,从计算结果中提取出基础底面竖向反力 $7.72 \times 10^9 \text{ N}$ 、水平力 $1.51 \times 10^7 \text{ N}$;最后,对锚碇抗滑动稳定性进行验算,验算时考虑基础底土层为黏性土,并根据工程经验将其与混凝土锚碇基底的摩擦系数取为0.4,再按照《公路悬索桥设计规范》中的抗滑稳定性验算公式,求得锚碇安全系数为2.049,大于上述规范规定的限值2.0,表明设计符合要求。

3.2 敏感性分析

敏感性分析假定结构响应 $Z(x_i)$ 中各设计参数在可能范围内进行变动,研究这些变动对最终输出值的影响程度,影响程度的大小即为该属性的敏感性系数。对于锚碇抗滑稳定性的敏感性分析,可假定抗滑安全系数函数为 $Z(x)=K(x_1, x_2, \dots, x_n)$,那么其中第 i 个参数的敏感度 S_i 可表示为: $S_i = \Delta Z / \Delta x_i$ 。其中 ΔZ 为极限状态函数的变化; Δx_i 为第 i 个参数的变化。 S_i 越大,在对应条件下 $Z(x_i)$ 对 x_i 越敏感。

3.2.1 缆力敏感性分析

锚碇抗滑移稳定性受设计参数、材料属性和几何尺寸参数的影响,如基底摩擦系数、材料密度、缆力大小、施工导致的体积误差等。经过ANSYS计算,对主要参数进行5 000次超拉丁立方抽样分析,其敏感性分析结果见图3。图3中条形图表示1%的输入参数变化引起的输出参数百分比变化率;饼状图表示各变量敏感度在所有变量中所占比重。由图3可见,主缆缆力主要受密度,尤其是用料较多的材料密度影响最大,对本文而言为主缆材料密度和加劲梁

材料密度,其次受主缆材料弹性模量的影响,而主塔的材料参数影响不大。可见,为降低主缆缆力中的恒载成分,需考虑采用轻质材料建造主缆和主梁,或进一步提高主梁材料强度以降低主缆和主梁材料用量。

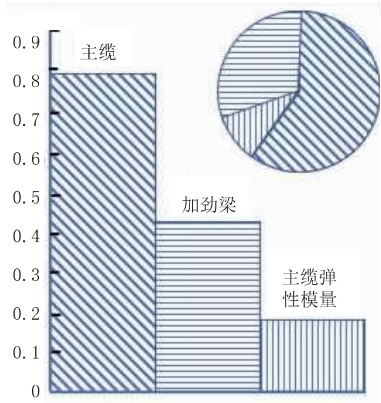


图 3 缆力参数敏感性分析

3.2.2 锚碇抗滑动稳定性敏感性分析

对材料密度、缆力大小进行了锚碇稳定性的敏感性分析,结果见图 4。由图 4 可知,锚碇抗滑移稳定性受基底摩擦系数影响最大;与加劲梁密度、主缆密度呈负相关,与材料的密度呈正相关,且密度的敏感程度大小与材料实际用量直接相关,即主梁与主缆自重是主缆缆力的关键组成部分,增大主梁与主缆自重将导致锚碇滑动风险增大。因此,对于重力式锚碇的抗滑安全性而言,首先应当保证基础底面与地基之间有充足的摩擦,以抵抗主缆水平分力,对于水系发达的桥址,锚碇基底所处土层难以达到所需的摩擦系数,实际工程需采用相关地基处理方法对基础底部土层进行改造以提供基底摩擦系数;其次可以通过增大锚体及填芯材料的用量以提高竖向力来增大抗滑力;最后可通过优化结构设计,降低由结构自重引起的主缆缆力,从而降低其滑动力。

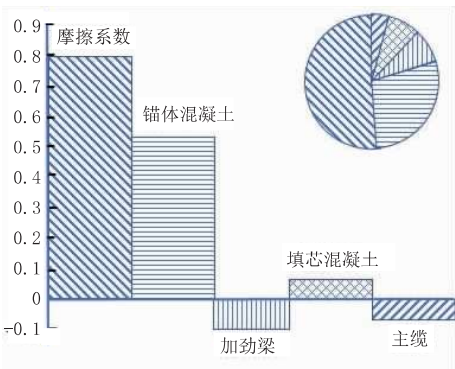


图 4 锚碇抗滑移能力的敏感性分析

4 结 语

本文为探明锚碇设计中的关键控制参数,开展了锚碇抗滑动稳定性设计参数的敏感性分析,分别识别出了主缆缆力和锚碇抗滑动中的关键设计参数,包括材料密度和基底摩擦系数等。其中主缆缆力受主缆材料、加劲梁材料的用量及其密度影响最大,即随着悬索桥跨径的增大,恒载产生效应的是主缆缆力的显著部分;锚碇稳定性受基底摩擦系数影响最大,适当进行基底摩擦系数的处理是提高锚碇抗滑动的重要手段之一。

参考文献:

[1] 郭中宇. 基于软岩地基的重力锚结构受力稳定性与监控研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2013.
[2] 苏静波,邵国建,刘宁.悬索桥锚碇基础的稳定性分析[J].公路,2005(4): 61-65.
[3] 陈有亮.虎门大桥东锚碇重力锚及基岩的稳定性[J].工程力学,1996 (增刊):142-148.
[4] 吴国光,张永健,陈国平,等.矮寨大桥重力式锚碇应力分析[J].桥梁建设,2013,43(6):40-44.
[5] 葛玉梅,邵帅,潘辉,等.泰州大桥悬索桥南锚碇基础的变形及超载安全度分析[J].科技导报,2013,31(26):35-39.
[6] 孙华安.稳定型悬索桥锚固系统的设计及数值模拟[D].昆明:昆明理工大学,2005.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com