

索夹构造参数对抗滑性能的影响研究

康文平

云南省普洱市西盟佤族自治县交通运输局, 云南 普洱 665700

[摘要]随着悬索桥跨度的增大, 端索夹倾角较大, 该位置索夹下滑力增大影响索夹抗滑安全系数, 故有必要通过改善索夹局部构造参数, 使其下滑力满足规范的要求。文中以长 1600mm 的某索夹为例, 建立了考虑主缆非线性刚度特性的索夹与主缆三维实体非线性接触作用分析 ANSYS 精细化有限元模型, 并对索夹局部构造参数进行深入分析, 研究其对抗滑性能的影响。研究表明: 增加索夹壁厚至 50cm 对影响索夹极限抗滑性能影响范围为 1% 左右, 不能有效提高索夹极限抗滑性能, 而索夹极限抗滑力随着摩擦系数的增大而线性增加。研究结果有助于对影响索夹抗滑性能的索夹构造参数提供必要的理论依据。

[关键词] 悬索桥; 索夹参数; 索夹精细化; 下滑力; 抗滑性能; 摩擦系数

DOI: 10.33142/ec.v5i5.5927

中图分类号: TU394

文献标识码: A

Research on the effect of cable clamp structure parameters on anti-slip performance

KANG Wenping

Transportation Bureau of Ximeng Va Autonomous County, Pu'er City, Yunnan Province, Pu'er 665700, Yunnan

Abstract: As the span of the suspension bridge increases, the inclination angle becomes larger at the end of cable clamp. The increase in the sliding force of the cable clamp at this position affects the anti-sliding safety factor of the cable clamp. Therefore, it is necessary to improve the local structural parameters of the cable clamp to make the sliding force meet the specification Requirements. Taking a cable clamp with the length of 1600mm as an example, the ANSYS refined finite element model of the three-dimensional solid non-linear contact between the cable clamp and the main cable is established, which considers the nonlinear stiffness characteristics of the main cable and the local structural parameters of the cable clamp are analyzed deeply. To study its impact on anti-slip performance. The research results show that increasing the thickness of the cable clamp to 50cm only affects the limit anti-slip performance of the cable clamp by about 1%, which cannot effectively improve the anti-slip performance of the cable clamp, and the limit anti-slip force of the cable clamp increases linearly with the increase of the friction coefficient. The research results help to provide the necessary theoretical basis for the structural parameters of the cable clamp that affect the anti-slip performance of the cable clamp.

Keywords: suspension bridge; cable clamp parameters; refinement of cable clamps; sliding force; anti-slip performance; friction coefficient

引言

由于跨越能力强, 抗震性能好, 斜拉桥及悬索桥正在中国基础建设中起着不可替代的角色^[1]。悬索桥中主缆在吊索处应设置吊索索夹, 无吊索处设置紧固索夹, 主缆与吊索之间通过索夹连接, 索夹将吊索力传递给主缆, 并通过紧固主缆, 一方面保证离散的主缆形成整体, 另一方面依靠索夹壁与主缆外表面的摩擦力提供抗滑力。索夹按结构分为销接式索夹与骑跨式索夹; 上下对合型索夹主要适用于销接式索夹, 而左右对合型索夹主要适用于骑跨式索夹; 按成型方式可分为铸造索夹、焊接索夹及铸焊索夹^[2]。迄今为止, 悬索桥所用的索夹基本采用全铸造结构。

索夹与主缆的共同粘结是否可靠决定了索夹与主缆的是否产生相对滑移。对于上下对合型销接式索夹, 在较大吊索力作用下, 下半索夹可能会与主缆部分分离, 产生脱空现象。且在实际工程中, 螺栓预紧力会随着施工阶段产生松弛现象, 更减小了结构的安全性。这使得索夹螺栓下滑力需要一定的安全储备。赵承新^[3]通过滑移试验及有限元相结合的方法研究了索夹与主缆间摩擦系数及螺栓力衰减变化规律;

何恺^[4-5]通过建立有限元模型, 表明索夹抗滑设计时应考虑吊索力作用; 罗改霞^[6]对分析研究了某悬索桥索夹滑移的原因并针对索夹滑移提出了一系列增大抗滑力方法; 侯苏伟^[7]通过实桥试验设计与实验研究, 研究了 CFRP 主缆与索夹的接触摩擦系数随接触面压应力变化的变化规律; 陈国红^[8]通过有限元模型分析对比了在各工况下, 索夹各板件的受力状况、应力扩散规律, 并给出了其简化计算公式。

但以上研究并未深入考虑索夹与主缆接触关系及共同抗滑机理, 未研究索夹构造参数对索夹抗滑性能的影响, 因此以某大桥长索夹大直径主缆为背景, 本文采用 ANSYS 大型通用有限元软件建立索夹—主缆非线性接触的精细化有限元模型, 研究索夹局部构造措施对索夹在竖向吊索力作用下的抗滑性能和抗滑过程, 深入探讨索夹抗滑性能的影响因素及评价指标。

1 索夹应力分布理论计算

主缆由成千上万根钢丝组合而成, 平行钢丝间整齐排列, 但仍然不可避免有一定的间隙, 为忽略钢丝间间隙的作用, 假定索夹内径向压应力均匀分布, 且索夹在轴向仅受拉、不受弯。

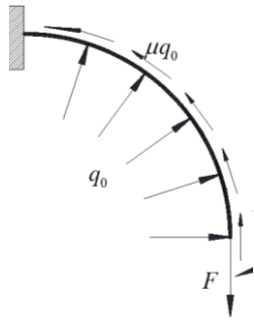


图1 索夹内表面受力简图

索夹内表面受力简图如图1所示。假定径向压力分布沿弧长均匀分布，索夹环向摩擦力为滑动摩擦力，且索夹与主缆接触面符合库伦定律。取半圆，列竖向平衡方程，得：

$$\int_0^\pi qR \sin \theta d\theta + 2 \int_0^{\pi/2} \mu qR \cos \theta d\theta = 2F \quad (1)$$

径向压应力为：

$$q_0 = \frac{F}{R(1 + \mu)} \quad (2)$$

可根据其径向压应力计算公式反算索夹紧固所需螺栓紧固力，为螺栓排列及螺栓力设计提供一定参考依据。

2 有限元模型

2.1 ANSYS 有限元模型的建立

索夹按作用分为有吊索索夹与无吊索索夹，有吊索索夹既要主缆进行紧箍，又要传递通过吊索的桥面荷载，而无吊索索夹仅对主缆进行紧箍。

为得到索夹紧固下的极限抗滑力，详细研究索夹紧固作用机理，本文选取索夹（图2）长1600mm，索夹水平倾角24.5°，共有16根1100kN的高强螺栓与其连接，高强螺栓纵向间距200mm。端索夹与主缆单元均采用SOLID187单元，主缆采用柱坐标系下的各向异性弹性材料，其环向及横向弹性模量依据索夹内外主缆空隙率之差2%进行拟合计算。主缆与索夹间的接触单元为主缆外壁，划分网格较目标单元密，采用Conta174单元，而目标单元为索夹内壁，采用Conta170单元，通过共用实常数形成接触对。螺杆与索夹连接通过公用节点的形式，螺栓采用Beam188单元，并通过插入Prets179单元生成预紧截面，施加预紧荷载模拟高强螺栓紧固索夹的作用。主缆端部施加固定约束并在一端释放纵向约束。其主缆一索夹非线性接触精细化有限元模型如下：



图2 主缆—索夹接触模型

2.2 索夹参数化设计

下半索夹耳板收到吊索力作用时，螺栓会受到下半索

夹传递的拉力，从而产生螺栓附加力，因此有必要分析考虑索夹受耳板吊索力的影响。

在螺栓紧固后，在索夹一端施加轴向力，分级施加至极限下滑力，分级为足够多子步，并提取每一个荷载子步下另一端索夹的轴向位移作为其滑移量。

为研究索夹壁厚对索夹抗滑移性能的影响，并设置对照模型，取主缆摩擦系数为0.15，索夹壁厚为35mm、40mm、45mm、50mm四个模型，分别研究其影响。

为研究索夹与主缆间摩擦系数对索夹极限抗滑移性能的影响，并设置对照模型，取索夹壁厚为35mm，主缆一索夹间摩擦系数分别为0.1、0.15、0.2、0.25四个模型，深入研究摩擦系数对抗滑移性能的影响。

3 结果分析

3.1 索夹壁厚对极限抗滑力的改善情况

取索夹壁厚为35mm、40mm、45mm、50mm四个模型，分别计算不同壁厚模型索夹滑移量在随下滑力变化下变化情况，并研究其极限抗滑力，如图3所示。由图可知，索夹到极限抗滑力时，滑移量会明显突变，这即是索夹滑移的明显标志。索夹壁厚越大，其极限抗滑力反而越小，但壁厚对索夹极限抗滑力的影响范围在1%以内，工程上可忽略不计。结果表明增加索夹壁厚不能有效改善索夹极限抗滑移性能并提高索夹抗滑安全储备。

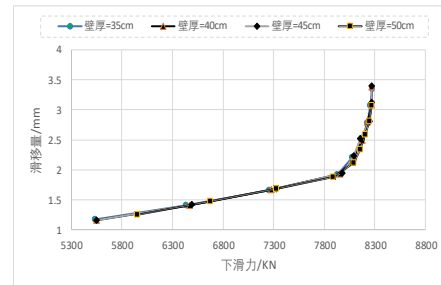


图3 不同索夹壁厚下滑移量随下滑力的变化趋势

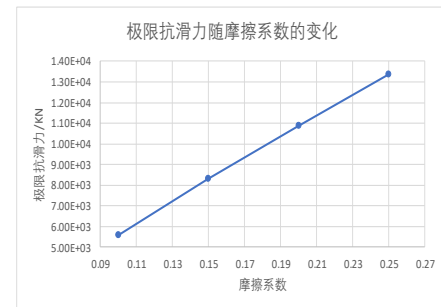


图4 极限抗滑力随摩擦系数的变化

3.2 摩擦系数对抗滑移性能的影响

在索夹螺栓紧固过程的索夹—主缆接触模型中，主要由索夹与主缆接触面的轴向摩擦力提供索夹的抗滑力，由库伦定理，轴向摩擦系数及径向压

应力的影响大小直接影响索夹抗滑力。

由有限元可计算出不同摩擦系数条件下索夹极限抗

滑力, 极限抗滑力随摩擦系数的变化如图 4 所示, 由图可知, 索夹抗滑力随摩擦系数的增大几

乎是线性增大, 说明增大主缆与索夹之间的摩擦系数能有效改善索夹抗滑移性能。

不同摩擦系数条件下, 滑移量随下滑力的变化情况如图 5 所示。由图可知, 滑移前, 滑移量与下滑力呈线性变化, 当荷载到临界荷载时, 滑移量突然增大至不可收敛; 主缆与索夹的摩擦系数越大, 极限摩擦力越大, 其索夹的抗滑移性能越好。

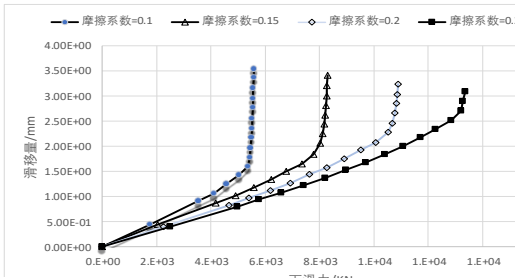


图 5 不同摩擦系数下索夹滑移量随吊索下滑力的变化趋势

3.3 吊索力对螺杆紧固附加力的影响

在强大吊索力作用下, 索夹会通过螺杆把吊索力传递给高强螺杆, 并由高强螺杆传递给上半索夹。因而随着吊索力的增加, 高强螺杆会产生螺杆附加力。

为验证这一结论, 提取高强螺杆总拉力随吊索力的变化规律, 如图 6 所示。由图可知, 在加载吊索力前, 螺杆总拉力为 17600KN。随着吊索力的增大, 索夹螺杆拉力增大, 且增大速率(二阶导数)特逐渐增大。说明由于吊索力的加载, 索夹紧固螺杆会产生螺杆紧固附加力。

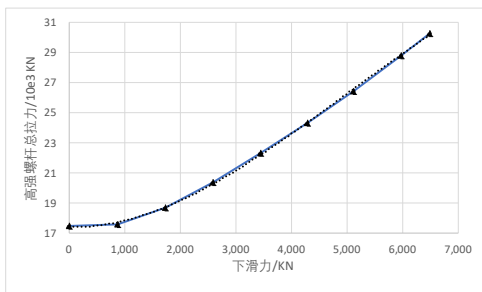


图 6 螺杆总拉力随下滑力化趋势

由于螺杆力增大并结合吊索力作用, 将导致上半索夹

径向压应力增大, 下半索夹径向压应力减小甚至脱空, 对索夹抗滑移性能有较大影响, 有必要深入研究探讨。

4 结论

通过建立大直径主缆长索夹螺栓紧固力下的主缆-索夹接触非线性有限元模型, 考虑不同索夹壁厚、摩擦系数的 ANSYS 精细化模型, 得出如下结论:

①索夹壁厚越大, 其极限抗滑力越小, 但对索夹极限抗滑力的影响在 1% 以内, 工程上可忽略不计。

②索夹极限抗滑移性能随着摩擦系数增大而线性增加; 适当增大索夹与主缆的接触摩擦系数, 可显著提高索夹的抗滑移性能。

③此 ANSYS 精细化模型能较为准确地模拟主缆与索夹的接触关系, 为研究索夹精细化模型提供一种新的建模方法。

④索夹到极限抗滑力时, 滑移量会明显突变, 这即是索夹滑移的明显标志。

⑤索夹在强大吊索力作用下, 随着吊索力的增大, 螺杆拉力会产生非线性增长。

[参考文献]

[1] 韩锋. 矮塔斜拉桥结构设计分析[J]. 山西交通科技, 2020(4): 101-105.
[2] JTG/TD65-05-2015, 公路悬索桥设计规范[S].
[3] 赵承新, 严敏兰, 张安户, 魏洋, 王甫胜. 洪都大桥索夹抗滑试验研究[J]. 世界桥梁, 2013(1): 24.
[4] 何恺. 铁路悬索桥长索夹下主缆应力及索夹抗滑承载力研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.
[5] 沈锐利, 何恺, 苗如松. 基于多尺度模型的销接式索夹极限抗滑摩阻力分析[J]. 桥梁建设, 2018, 48(5): 16-20.
[6] 罗改霞. 某悬索桥索夹滑移原因分析与处理对策[J]. 交通科技, 2016(3): 25.
[7] 侯苏伟, 强士中, 刘明虎, 诸葛萍. CFRP 主缆与索夹间摩擦学性能试验研究[J]. 深圳大学学报(理工版), 2012(3): 26.
[8] 陈国红, 刘文, 宋晓莉, 黎志忠. 某悬索桥索夹空间受力分析[J]. 世界桥梁, 2015(5): 18.

作者简介: 康文平(1982.8-)男, 彝族, 云南澜沧人, 工程师, 主要从事公路工程施工管理工作。