

贵阳市开州湖特大桥散索鞍设计要点

苏芳彬¹, 刘赐文², 王保², 姜有志², 李浩然², 许建凯³

(1. 中铁开发投资集团有限公司, 云南 昆明 650501; 2. 中铁广州工程局集团有限公司, 广东 广州 511466;

3. 贵州瓮开高速公路发展有限公司, 贵州 贵阳 550306)

摘 要: 散索鞍是设置在锚碇支墩顶部的重要受力构件, 它的工作正常与否直接关系到大桥的安全。以瓮安至开阳高速公路开州湖特大桥为工程背景, 详细阐述了国内悬索桥首次设计采用的分体式散索鞍结构。该新型散索鞍结构为同类桥梁设计提供了新思路。

关键词: 开州湖特大桥; 悬索桥; 散索鞍; 分体式

中图分类号: U443.24

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)12-0081-03

1 概 述

贵阳市瓮安至开阳高速公路是“678”高速公路网规划中“第三横”——江口至都格高速公路的组成部分, 是《贵州省交通运输“十三五”发展规划》项目之一。

开州湖特大桥位于贵阳市瓮安至开阳高速公路K35~K37路段, 为跨越洛旺河峡谷而设。桥梁孔跨设置为3×30 m 预应力混凝土箱梁+1 100 m 单跨钢桁梁悬索桥+2×30 m 预制T梁。其中主跨为单跨钢桁梁悬索桥, 跨径1 100 m, 边跨分别为302 m和143 m。主梁采用板桁组合钢桁梁加劲梁, 瓮安岸引桥采用预应力混凝土现浇箱梁, 开阳岸引桥采用先简支后结构连续预应力混凝土T梁^[1-2]。开州湖特大桥立面布置图见图1。

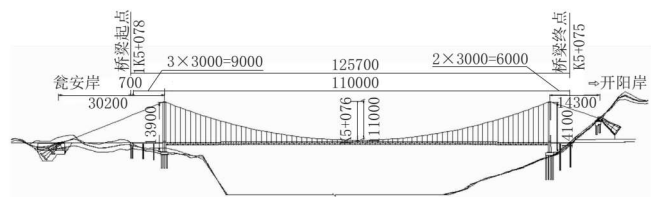


图1 开州湖特大桥立面布置图(单位:cm)

开州湖特大桥为单跨千米级板桁结合加劲梁, 是亚洲第二大山区双塔单跨钢桁梁悬索桥, 主跨长度为贵州省第二。大桥按双向4车道设计, 设计速度为80 km/h, 桥梁设计荷载为公路I级。结合大桥两岸地形地貌以及地质条件, 瓮安岸采用重力式锚碇, 开阳岸采用隧道式锚碇。

收稿日期: 2022-12-16

作者简介: 苏芳彬(1985—), 男, 学士, 工程师, 从事工程项目管理工作。

2 散索鞍结构形式

散索鞍是悬索桥中的重要受力构件, 它位于锚碇散索鞍支墩的顶部, 将边跨的主缆进行分散并实现主缆各丝股在水平和竖向的转向, 与锚固系统连接, 实现主缆索股分散锚固的功能。

散索鞍按不同的移动摩擦副分为摆轴式、滚轴式和滑动式等^[3]。由于悬索桥成桥后边跨主缆线形的变化只能由散索鞍的移动摩擦副来调整, 因此散索鞍下设置的移动摩擦副是永久构件, 它的受力与主缆在该处的转角成正比。由于滚轴式和滑动式散索鞍后期运营维护费用较高, 并不能完全适应主缆线形的变化, 因此大跨度悬索桥采用摆轴式散索鞍较为普遍。

开州湖特大桥场区瓮安岸位于贵阳市开阳县米坪乡大坪村内, 桥区距离乡村道路约200 m; 开阳岸位于冯三镇堕秧村, 桥区距乡村道路约600 m, 两岸交通条件较差。为了便于散索鞍的运输和安装, 降低施工措施费用, 开州湖散索鞍在国内悬索桥建设中首次采用一种新型分体摆轴式散索鞍, 将传统的摆轴式散索鞍体由铸焊结合的整体结构优化为鞍头、鞍身两部分嵌合, 再通过高强螺栓铆合装配成一体的组合结构, 单件产品的重量降低为整体结构的一半; 其结构设计受力合理、安全性高、质量可靠, 具有与传统的铸焊结构摆轴式散索鞍完全相同的作用和功能^[4]。

3 散索鞍结构设计

开州湖特大桥散索鞍主要由鞍头、鞍身、底座、底板、上下承板及其余附属构件组成^[5]。瓮安岸散索鞍总质量109.206 t, 开阳岸散索鞍总质量109.652 t。散

索鞍总成效果图见图2。

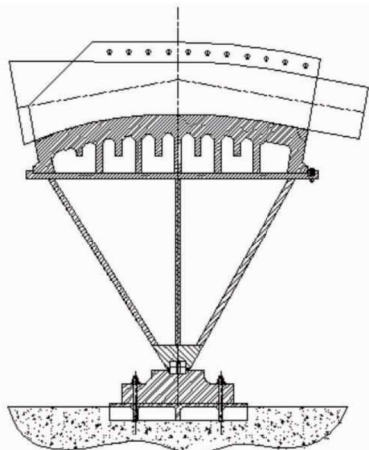


图2 散索鞍总成效果图

3.1 基础设计参数

开州湖特大桥主缆由 $173 \times 91 \times \phi 5.3$ mm 镀锌铝合金高强钢丝组成,标准抗拉强度 $\sigma_b \geq 1\,860$ MPa。主缆直径为 743.5 mm(索夹外,空隙率 20%),734.4 mm(索夹内,空隙率 18%)。

瓮安侧成桥状态主缆散索点 IP 点跟前锚面中心点的连线与水平线的夹角 $\alpha_m = 41.000^\circ$,边跨侧切线角 $\alpha_b = 20.824\,2^\circ$ 。开阳侧成桥状态主缆散索点 IP 点跟前锚面中心点的连线与水平线的夹角 $\alpha_m = 36.200^\circ$,边跨侧切线角 $\alpha_b = 17.992\,9^\circ$ 。

3.2 鞍头

散索鞍鞍头横断面见图3。

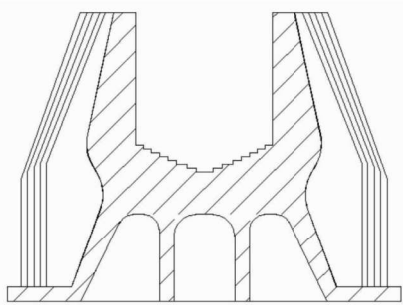


图3 散索鞍鞍头横断面图

鞍头为铸钢件,按《焊接结构用铸钢件》(GB/T 7659—2010)要求,材料牌号采用 ZG270—480H。鞍槽理论散索点(IP点)到散索鞍底混凝土面的距离为 5 m。主缆中心处理论散索点(IP点)至边跨侧索鞍端部距离为 2 100 mm,至锚跨侧索鞍端部距离为 2 300 mm。

在永久作用的条件下,主缆各个索股对散索鞍的总压力线和鞍体自身重力的合力线宜通过摆轴接触点,此时散索鞍头底部竖向弯曲半径的设置十分关键。依据索股脱离散索鞍的情况,将散索鞍竖向弯曲半径从边跨至锚跨依次设置为 8 000 mm、6 500 mm、

4 000 mm、2 000 mm,每个竖向弯曲半径对应的弯曲角度为 12° 、 9° 、 8° 。

鞍槽边跨侧总宽 790.5 mm,其中隔板厚度 4.5 mm,槽路尺寸为 $48.5\text{ mm} \times 53\text{ mm}$,每个散索鞍共设置有 14 道隔板。鞍槽锚跨侧总宽约 1 596.3 mm。为了使散索鞍承揽槽侧壁的平面圆弧半径 r_h 不小于竖向圆弧半径 r_v 的 1.3 倍,且各索股的平弯圆弧段要完全包容在该索股的竖弯圆弧段内,本项目散索鞍平弯圆弧半径最小设置为 12 000 mm。索股在锚跨侧进行平弯,其中瓮安岸索股平弯角度最大为 8.453° ,开阳岸索股平弯角度最大为 8.495° 。

鞍槽侧壁厚度为 150 mm。为改善鞍槽侧壁的受力情况,提高鞍槽侧壁的应力富裕,设置有 11 根 M20 钢拉杆,拉杆材料为 40Cr,符合《合金结构钢》(GB/T 3077—1999)的标准。全部索股架设完成后,各槽路用销质填块填平,安装压紧装置,然后上紧拉杆,拉杆拉力按 50 kN/级分级均匀上紧,每根拉杆最终上紧力为 400 kN。

3.3 鞍身

散索鞍鞍身平面图见图4。

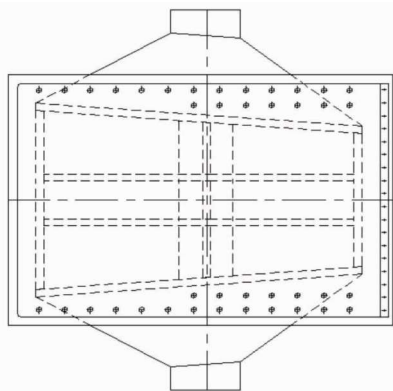


图4 散索鞍鞍身平面图

散索鞍鞍身为焊接件,采用《锅炉和压力容器用钢板》(GB 713—2014)中材料牌号为 Q345R 的钢板焊接形成。鞍身设置有承托、外纵肋、内纵肋、外横肋、内横肋、盖板和挡块。通过外纵肋、内纵肋、外横肋、内横肋支撑位于鞍头底部的盖板。其中,外纵肋、内纵肋、外横肋、内横肋、盖板厚度均为 80 mm。承托位于鞍身的底部,厚度设置为 120 mm。

为使鞍头与鞍身紧密相连,在盖板和鞍头底部均设置有 M56 螺栓孔,待两者安装就位后,通过 M56 高强螺栓进行连接。此外,为了准确安装就位,在盖板、挡块上设置有 M30 高强螺栓。单个散索鞍 M56 高强度螺栓共计 40 套,M30 高强螺栓共计 18 套。M56 高强螺栓的数量依据主缆两侧不平衡的水

平力计算而来,高强螺栓的位置满足规范规定的构造要求。

3.4 其他构件

为使散索鞍能够转动,散索鞍设置上、下承板和销来实现该功能。其中上承板位于鞍身承托的底部,尺寸为 4 000 mm×250 mm×80 mm;下承板位于上承板的下方,尺寸为 3 996 mm×244 mm×100 mm;下承板的上缘与上承板的接触面为圆弧面,半径为 4 000 mm,上下承板通过 $\phi 50\times 175$ mm 的销连接在一起。

散索鞍的底座、底板采用铸钢件,按《大型低合金钢铸件》(GB/T 6402—2006)要求,材料牌号采用 ZG20Mn,纵向尺寸为 1 700 mm,横向尺寸为 5 200 mm。下承板嵌入在底座中。底座通过设置在两侧的地脚螺栓 AM64×1 500 mm 与基础相连。

4 效益分析

分体摆轴式散索鞍的鞍头与鞍身均为单独制造,将传统的摆轴式散索鞍铸焊结合为一体或者全焊接成整体结构的形式改为分体结构的形式,具有以下优点:

- (1)降低了索鞍厂内焊接制造技术难度,显著提高了生产效率。
- (2)减小了重量和尺寸,降低了索鞍厂内起吊设备、机械加工设备要求,减少了对大型设备的投入,具有明显经济效益。
- (3)解决了传统铸焊结构散索鞍只能整体运输至施工现场的难题,降低了运输难度及成本,降低了现场安装措施费用及建设运输便道等配套设施的费用,具有明显经济效益。

传统整体式散索鞍和分体式散索鞍的制造难度比较见表 1。通过对两者的经济效益进行分析可知,1 套分体式散索鞍平均可以节省 15 余万元,而本项目有 4 套主索鞍,合计可节约 60 余万元,具有明显的经济效益。

表 1 制造难度比较

项目	散索鞍整体式制造	散索鞍分体式制造
机械加工设备	需要大型加工设备,局限性大	只需常用加工设备,适应性强
吊装设备	需要大型吊装设备,吊装及翻身难度大,危险性大	中型吊装设备即可满足,吊装及翻身更安全
施工情况	焊接操作繁杂,施工难度大	焊接操作简单,劳动效率高,施工难度小

5 结 语

针对开州湖特大桥位处地形陡峭、交通运输条件较差的实际情况,散索鞍设计采用了鞍头和鞍身分离的设计思路,一方面便于制造加工,另一方面降低了施工安装的难度和施工措施费。开州湖特大桥已于 2022 年 1 月 1 日正式通车,目前运营状况良好。本项目为同类项目提供了参考。

参考文献:

[1] 吴扬.隧道锚散索鞍支墩承台施工技术要点[J].交通世界,2022(22):93-95.

[2] 向文奂.隧道锚散索鞍支墩承台施工技术及质量控制措施分析[J].交通世界,2020(36):35-36.

[3] 曹春明.贵州镇胜公路北盘江特大桥索鞍设计[J].山西建筑,2009,35(14):325-326,368.

[4] 刘昌华,苏兰,陈龙,等.分体式散索鞍加工技术研究[J].大型铸锻件,2021(6):38-40.

[5] 董小亮,叶觉明,李汉梅.悬索桥索鞍设计制作主要问题及对策[J].钢结构,2015,30(1):59-64.

(上接第 64 页)

多不确定性,在现场施工配合时,设计代表应加强与施工单位、监理单位及业主单位的沟通与联系,保证设计能及时解决施工中的问题,确保设计方案符合实际。

参考文献:

[1] 成都市交通规划勘察设计院.蒲丹快速路(S401 线蒲江绕城段)新

建工程初步设计文本[R].成都:成都市交通规划勘察设计院,2016.

[2] 胡方健,缪璋妮.张家界市西部旅游通道杨家界大道桥梁设计[J].城市道桥与防洪,2022(4):75-78.

[3] 杨健.山区公路设计的特点和方法分析[J].运输经理世界,2021(6):29-30

[4] 石璞,王志群.山区桥梁设计要点研究[J].交通世界,2020,558(36):48-49.