

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.02.022

悬索桥锚索拉杆更换设计研究

张建平, 胡林洲

(贵州宏信创达工程检测咨询有限公司, 贵州 贵阳 550014)

摘 要: 为了提升营运桥梁安全防护能力,以跨径 636 m 的某单跨钢桁梁悬索桥为例,对悬索桥主缆锚固系统锚索拉杆更换进行设计研究。主要探讨悬索桥锚固系统索股连接件中拉杆更换设计时的施工及监测要求、防腐措施、材料性能要求等,对于营运桥梁的预防性养护工程和提升营运桥梁的安全防护能力具有较大的参考价值,指导借鉴作用显著。

关键词:悬索桥;锚索拉杆更换;锚固系统;设计

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)02-0087-04

0 引言

悬索桥是靠两岸索塔上锚固的缆索受拉体系为主要承重构件的桥梁。其通过吊杆传递荷载至主缆系统,主缆承受荷载后再传递到两岸锚碇结构,其力的传递路线明晰。

主缆锚固体系属于悬索桥中极其重要的一部分,对于施工时的精度有非常高的要求,并且还要承受极大的主缆系统传递来的拉力。同时,在施工过程中,锚固系统的施工也是非常重要的工序之一。锚固系统通常分成预应力锚固系统和锚杆式型钢锚固系统^[1]。锚杆式型钢锚固系统由锚杆和后背梁两个主要构件组成,主缆系统索股与锚杆连接,最后在混凝土锚固块中浇筑了整个型钢框架。预应力锚固体系则由索股连接件系统和预应力系统两个主要部件构成,经由连接件系统使得预应力筋和主缆索股相互连接在一起。此前预应力锚固系统和锚杆式型钢锚固系统都成功地应用在了国内的悬索桥中。

至今为止,国内还未出现对于预应力锚固体系的规范或者标准要求,因此悬索桥锚固系统设计时样式较多,并且暴露出了其中存在的某些亟须解决的问题^[2]。本文分析了预应力锚固系统中索股连接件系统设计、施工中存在的问题,针对其拉杆断裂综述了拉杆更换维修处置方案,提出了拉杆断裂更换设计中的施工及监测要求、防腐措施及材料性能要求等,供工程应用参考,指导借鉴作用显著。

收稿日期：2021-11-03

作者简介: 张建平(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁结构试验检测与监测工作。

1 工程概况

某主桥跨径为 636 m 的钢桁梁单跨悬索桥,主缆跨径组成为 192 m+636 m+192 m,桥梁全长 964 m。两主缆之间的中心间距为 28.0 m,采取预制的平行钢丝束股,矢跨比为 1/10.5。每一根主缆由 91 根索股组成,每一股索股的高强镀锌钢丝规格数量为 $\phi 5.1-91$,其抗拉强度标准值为 1 770 MPa。主缆锚固系统则由索股连接件系统和预应力钢绞线两个主要部件构成,主缆索股通过散索鞍,然后再通过锚固连接件将荷载传递到处于混凝土锚体中的预应力钢绞线上。

桥梁结构总体布置如图 1 所示。主缆锚固系统布置如图 2 所示。

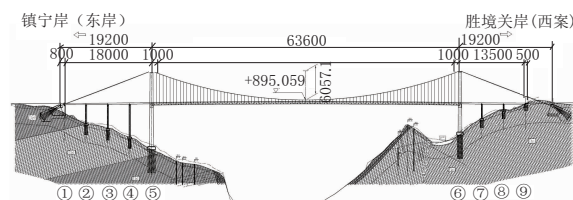


图 1 桥梁结构总体布置图(单位:cm)

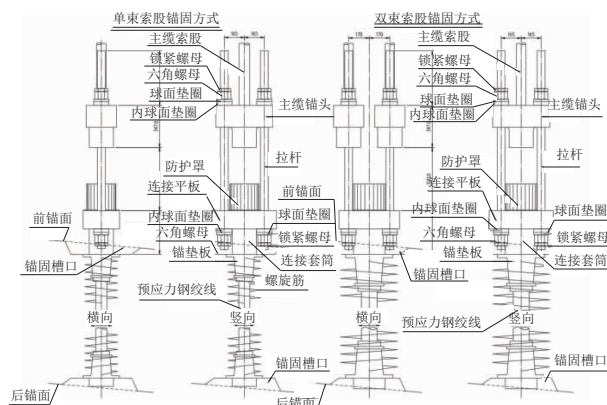


图 2 主缆锚固系统布置图

运营阶段通过对悬索桥定期检查发现,东锚左侧锚室内 60# 连接拉杆断裂 1 处,且相邻拉杆弯曲变形,可能是由于:(1)施工安装时拉杆位置安装定位误差比较大,使得拉杆产生不均匀受力;(2)拉杆制造时工艺控制不稳定,拉杆材料的力学指标未达到设计要求。现场拉杆断裂病害缺陷图如图 3 所示。



图 3 现场拉杆断裂病害及缺陷图

针对拉杆断裂维修处治方案如下:首先核实前锚面处预应力锚固连接器的锚点位置与设计位置是否相符。若锚点位置正确,则对东锚左侧锚室内 60# 已经断裂的拉杆及已经发生弯曲变形的拉杆(共 2 根)及其组件进行更换。在更换之前,必须对锚头及钢丝做进一步检查。

2 索股连接件系统的局限性

预应力锚固系统主要组成部分可以分为索股锚固连接器和预应力钢束锚固系统^[3]。索股锚固连接器主要组成部分可以分为拉杆组件、连接器构件以及其他组成构件。锚具、钢绞线、管道及锚头防护帽等主要组成部分构成了悬索桥预应力锚固系统。拉杆前端与主缆索股相互连接在一起,而拉杆的另一端则与索股连接器相互连接,由此完成了主缆系统与混凝土锚块中的预应力锚固系统的相互转化。

设计及施工索股连接件系统时的问题及局限性主要体现在以下几个方面:

(1)设计时安全系数偏小。通常主缆索股、索股连接件等在设计过程中,应该按照小于 2.5 的安全系数来考虑,而实际设计图纸中往往出现小于 2.0 的安全系数的情况。

(2)连接器结构形式多种多样。索股连接器通常设计为整体和分体这两种形式。整体式连接器安装定位便捷快速,但加工制造较难。分体式连接器在缺少连接件时安装定位比较复杂,但是加工制造时比较方便。

(3)原材料使用不统一。如拉杆组件,有 40CrNiMoA、

40Cr、35CrMnSiA、35CrMo 等多种材料。

(4)检验要求不合理。零件有时要求射线探伤,但对锻造件并不适用,实际操作较难。

3 拉杆更换设计

3.1 拉力分级张拉设计

预应力锚固系统中采用位于拉杆上的平垫圈、六角及锁紧螺母等对主缆锚头和拉杆相互连接并固定在一起,采用球面螺母及垫圈、锁紧螺母同连接器的平板相互连接并固定在一起^[4]。为提升拉杆的疲劳性能,拉杆、螺母螺纹等材料的性能全都采取军用 MJ 标准,连接器的平面位置可以使用球面垫圈及螺母来调节误差,使得索股的轴线方向同拉杆的中心位置处于一条直线上,预防由于偏心受力而产生次应力,并设计锁紧螺母预防动荷载作用工况下螺母产生影响。

为了便于在施工中进行控制,明确在更换拉杆过程中拉力分级张拉。拉杆更换首先要求拉杆方向均与其对应的索股方向一致,预应力钢绞线对应于索股的发散布置方向。本项目单根拉杆的永存拉力为 533 kN,应该采用分级进行张拉。本次张拉分 3 级进行张拉,每次张拉 150 kN,并且每次张拉后需对锚头、钢丝、拉杆进行检查。若发现异常,必须立刻暂停拉杆张拉,并找到相应的解决方案后才可继续下一步。现场拉杆更换及张拉如图 4、图 5 所示,拉杆更换设计施工程序如图 6 所示。



图 4 现场拉杆更换图



图 5 现场张拉图

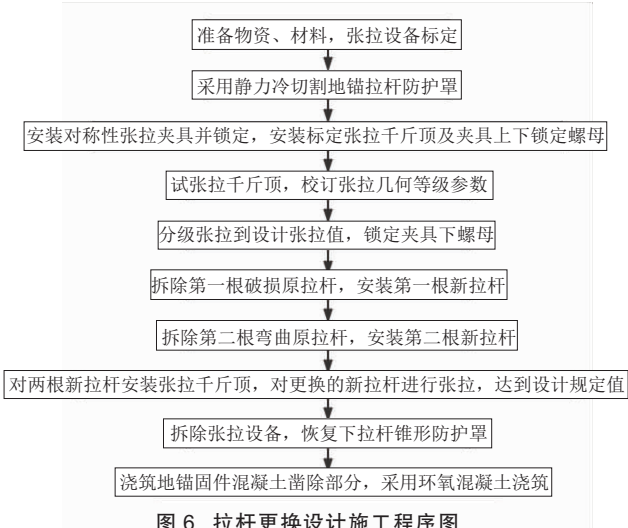


图 6 拉杆更换设计施工流程图

3.2 拉杆更换监控要点

拉杆更换监控可以保证施工宏观质量及安全。更换过程中,可以指导施工、进行安全预警及优化施工过程,根据现场结构实际状态对施工过程各方面做出及时调整,并监测监控整个施工过程,防止误差累积,保证结构安全与稳定。

为保证拉杆更换施工质量,本设计明确应加强施工过程中的数据监控。施工过程中,必须严格对过程中数据进行监控,监控断裂对应索股及锚拉杆,也要监控相邻索股的拉力,防止对邻近索股产生较大影响,影响结构安全,且监控根数不得少于 10 根,并要实时监控断裂拉杆的变位情况。

锚固系统中的主要构件包括拉杆、联结器、螺母及垫圈,需要加大质量管理力度,严格进行检查,因此对锚固系统拉杆及其组件的无损检测做出要求:每一个构件都需要逐个编号,并进行百分之百的声探以及百分之三十的射探。如果Ⅱ级合格,构件的表面需要进行磁探,然后建立构件档案。在出厂前,构件要求封装时使用塑料密封,而且要求必要的措施来保证在运送和储存时不会受损或发生锈蚀。

3.3 拉杆防腐措施

对悬索桥锚固系统的防腐研究及措施包括以下三点:(1)混凝土锚体及锚杆的防腐;(2)连接件系统的防腐;(3)锚固系统中缆索的防腐。大多数学者主要对混凝土锚体及锚杆进行防腐研究,但是目前在连接件系统和锚固系统这两个方面的防腐研究还比较少。

大量防腐研究表明:采用在前锚室内放置抽湿的仪器,让内部湿度相对值小于 50%^[5];并采取以下防腐措施:(1)在出厂前对构件进行一层法兰防腐处置措施,在现场刷一道醇溶性无机硅酸底漆涂料。涂

料为 20 μm 的干膜厚度,经过二次表面处理,再涂一道改性厚浆环氧面漆,涂料为 100 μm 的干膜厚度。(2)向预应力管道及锚头保护罩内灌防腐性的油脂,并且通过前锚面观察窗查看防腐油面。

本次拉杆更换完成后,采用的防腐涂装为:5 层 75 μm 环氧富锌底漆,5 层 125 μm 环氧云铁中间漆,5 层 2 × 50 μm 氟碳面漆。具体见表 1。现场防腐措施如图 7 ~ 图 9 所示。

表 1 拉杆防腐设计

油漆品种及工序	层数	厚度 /μm
法兰防腐处理	—	—
环氧富锌底漆	5	75
环氧云铁中间漆	5	125
氟碳面漆	5	2 × 50

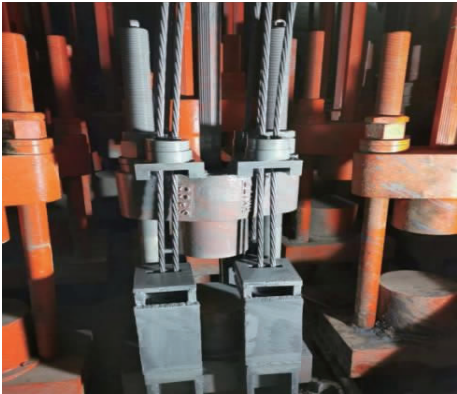


图 7 拉杆底漆防腐涂装



图 8 拉杆中间漆防腐涂装

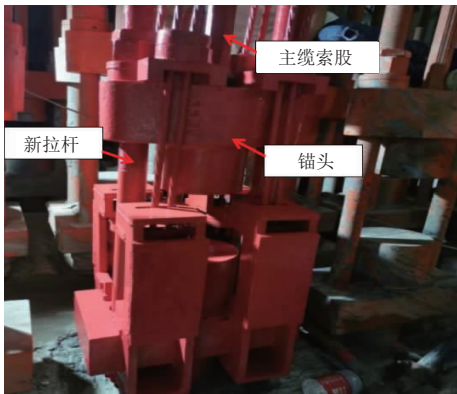


图 9 拉杆面漆防腐涂装

3.4 材料性能要求

预应力锚固系统技术指标如下:

(1)在静荷载工况下的拉杆构件抗拉强度设计,安全系数不小于2.5。

(2)经过200余万次的上、下限荷载不断反复作用,拉杆组装件的拉杆及螺母未出现裂纹,螺母在荷载作用下未发生松动,螺纹在荷载作用下未发生变形。

(3)施加120%索股的设计荷载作用值时,连接件的变形最大值不超过0.5 mm。

(4)对于预应力锚固系统锚具组装构件,其静荷载锚固性能试验下锚具效率系数不小于95%,其破坏断裂时的总应变不小于2%。

在拉杆更换时,锚固系统锚索拉杆及其组件应满足如下材料性能要求:

拉杆更换过程中拉杆及螺母、垫圈分别使用40CrNiMoA钢材及40Cr钢材,其技术条件均应符合《合金结构钢》(GB/T 3077—2015)的有关规定,力学性能要求如下:

40CrNiMoA: $\sigma_b=980\text{ MPa}$, $\sigma_s=835\text{ MPa}$, $\delta_5 \geq 12\%$, $\psi \geq 55\%$ 。

40Cr: $\sigma_b=980\text{ MPa}$, $\sigma_s=785\text{ MPa}$, $\delta_5 \geq 9\%$, $\psi \geq 45\%$ 。

4 结 论

本文主要进行悬索桥锚索拉杆更换设计研究,通过对某悬索桥锚固系统中连接件系统拉杆更换设计,明确了更换拉杆的拉力分级张拉,并且每次张拉后需对锚头、钢丝、拉杆进行检查,并要求加强施工过程中的数据监控,且对拉杆更换的材料性能做出了明确要求,最后明确了拉杆更换完成后拉杆的防腐处理方案,保证了施工质量,提升了桥梁运营期间的安全防护能力,可以极大地减少运营后期的维修成本。通过此次拉杆更换进行设计研究,明确了拉杆更换技术的要点及注意事项,对营运桥梁的预防性养护工程和提升营运桥梁的安全防护能力方面具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] JTG/T D65—05—2015,公路悬索桥设计规范[S].
- [2] 苏强,王强,曾诚,等.悬索桥主缆预应力锚固系统设计探讨[J].预应力技术,2014(5):19-21,30.
- [3] 赵野旋.悬索桥预应力锚固系统设计与安装技术分析[J].理论前沿,2015(7):287.
- [4] 李晓明.万州长江二桥主缆锚固及连接系统设计[J].甘肃科技,2009,25(10):100-102,86.
- [5] 徐国平,刘明虎,黄芳玮,等.悬索桥锚碇可更换无粘结预应力锚固系统试验研究[J].桥梁建设,2006(5):13-16.

《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