

大型斜拉桥索塔钢锚梁-钢牛腿制造相关问题探讨

吕建锋

(中铁宝桥集团有限公司, 陕西 宝鸡 721006)

摘 要: 索塔锚固结构是大型斜拉桥主要受力结构, 质量要求高、制造难度大。针对钢锚梁-钢牛腿这种锚固结构, 结合工程实例, 对其结构特点及制造难点、制造过程中的注意事项、焊接变形控制措施等进行了介绍, 并提出了一些设计优化建议, 可供类似工程借鉴。

关键词: 斜拉桥; 索塔锚固结构; 钢锚梁-钢牛腿; 精度控制; 有关建议

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)12-0179-04

0 引言

索塔锚固结构是斜拉桥主要传力结构, 索力通过锚固结构传递至塔柱, 受力状态较为复杂。常用的锚固形式有钢锚板组合结构、钢锚箱组合结构、钢锚梁-钢牛腿组合结构等。其中钢锚板组合结构构造较为简单、受力明确, 主要适用于中小跨径斜拉桥; 钢锚箱组合结构承载力大, 结构复杂, 适用于大跨度、超大跨度空间索面斜拉桥^[1,2]; 钢锚梁-钢牛腿组合结构可避免混凝土牛腿根部开裂, 壁板沿索塔通长设置也有利于索塔滑模施工^[3], 是近年来运用较多的锚固方式。本文以青海海黄大桥为例, 对钢锚梁-钢牛腿这种锚固结构在制造过程中存在的问题进行了探讨。

1 结构简介

海黄大桥采用主跨 560 m 的双塔双索面组合梁斜拉桥, 索塔锚固采用钢锚梁-钢牛腿组合结构(见图 1)。单个索塔设置 44 对斜拉索, 上下游各 22 对, 每对斜拉索对应一套锚固系统。钢牛腿壁板与索塔内壁采用剪力钉及 PBL 剪力键连接, 竖向分力通过钢牛腿传递至混凝土塔壁。水平分力通过钢锚梁与钢牛腿之间的摩擦力传递给牛腿壁板, 再由壁板传递给塔壁^[4]。钢锚梁与钢牛腿采用钢-钢机加工面密贴接触, 设计要求接触面摩擦系数不大于 0.05, 其中边跨侧钢锚梁底板与钢牛腿采用焊接固定, 主跨侧钢锚梁与钢牛腿采用高强螺栓临时固结。

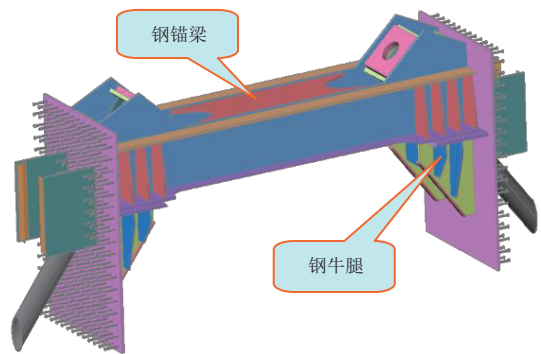


图 1 索塔锚固结构简图

钢锚梁采用箱形结构, 主要由上盖板、下盖板、竖板、腹板、锚箱单元、底座板、加劲板及连接板等部分组成, 见图 2。锚梁腹板与下盖板、锚箱单元、连接板采用熔透焊接, 与上盖板、竖板、加劲板等采用坡口角焊缝。

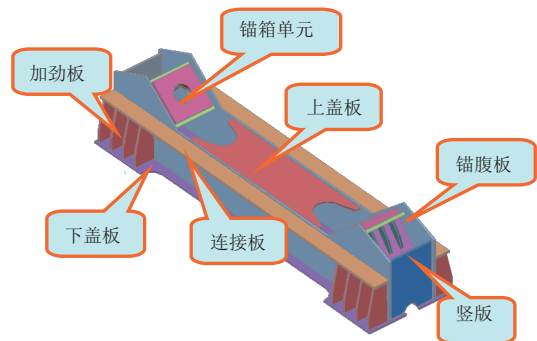


图 2 钢锚梁结构简图

钢牛腿由壁板、上承板、托架腹板、索导管、加劲板、剪力钉及 PBL 件等部分组成, 见图 3。上承板与壁板、托架腹板、加劲板, 托架腹板与壁板采用熔透焊接。

2 结构特点及制造难点

钢锚梁-钢牛腿结构复杂、受力大、熔透焊缝多、

收稿日期: 2022-04-15

作者简介: 吕建锋(1980—), 男, 学士, 高级工程师, 从事钢桥梁施工技术研究工作。

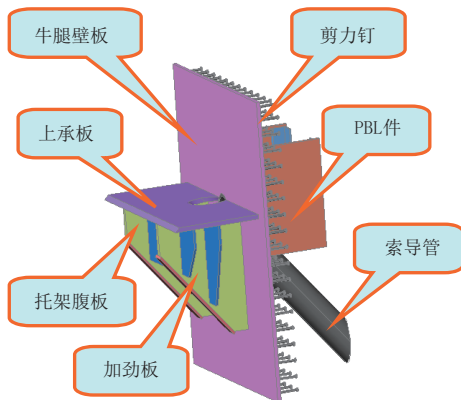


图3 钢牛腿结构简图

质量要求高,存在多项难点:

(1)加工精度要求高。由于钢锚梁及钢牛腿的连接精度要求高,锚垫板、承压板、锚梁下盖板(两端头)及牛腿上承板接触面均需要机加工,其中锚梁下盖板(两端头)及牛腿上承板接触面加工精度要求高,表面粗糙度不大于 $6.3 \mu\text{m}$ 。

(2)钢牛腿与钢锚梁接触面平面精度不易保证。由于钢锚梁与钢牛腿连接面较大,需保证整体密贴。牛腿托架上承板与壁板焊接后无法整体机加工,只能采用托架单元焊后机加工,之后,再与壁板采用熔透焊接。因焊接变形大,与钢锚梁密贴接触的牛腿上承板顶面平面度难以控制^[5]。

(3)接缝处锚孔需匀顺过渡,相关板件拼接质量要求高。斜拉索经过区域各板件均设有锚孔。锚孔的斜面加工质量及各板件组拼精度须严格控制,否则影响锚头安装。

(4)锚箱部位板件密集,熔透焊缝、坡口焊缝多,导致焊接变形不易控制。

3 制造过程中注意事项、质量保证措施及有关建议

针对钢锚梁—钢牛腿的结构特点、制造难点及制造过程中经常遇到的一些问题,研究并提出了必要的应对措施,以保证其制造质量。

3.1 钢锚梁、钢牛腿上的锚孔精度控制及建议

钢锚梁承压板、底板单元(或钢锚梁竖板)及牛腿上承板、牛腿壁板上的锚索孔中心要求在一条直线上,若锚索孔位置精度及同心度偏差较大,会影响锚管组装及现场斜拉索的安装,需采取切实可行的措施予以保证:

(1)加强锚索孔加工精度控制。随着斜拉索角度变化,锚孔在板厚方向上的斜度及加工宽度也在变化。当锚孔轴线与板面夹角大于 60° 时可采用仿形切

割;当锚孔轴线与板面夹角小于 60° 时需采用数控铣床加工,加工前先采用数控精密切割出索孔两侧相交区域,然后进行斜坡面加工。

(2)应适当加大锚孔直径。核查锚孔与锚头直径的匹配关系,在不影响板件组焊的情况下,宜加大锚孔直径,建议比锚头直径大 20 mm 以上,保证单侧至少有 10 mm 间隙,以方便桥位安装。

(3)建议调整索导管与壁板连接方式。鉴于索导管主要起拉索导向作用,不参与斜拉索受力,可将索导管在壁板外侧断开(见图4),牛腿壁板上锚孔直径与索导管内径相同,周边采用角焊缝焊接,这样可以克服锚孔加工精度、索导管圆度偏差的影响,有利于导索管组装。

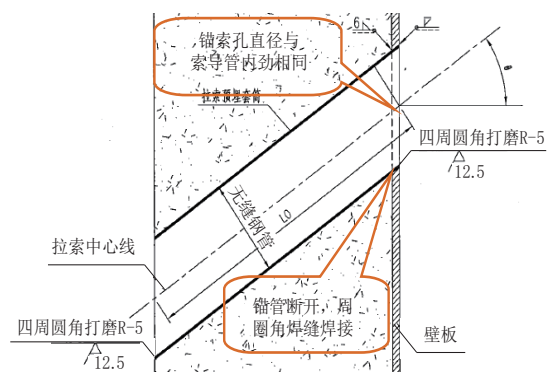


图4 索导管连接方式建议

(4)钢锚梁及钢牛腿组装时锚孔位置精度控制措施。钢锚梁上的锚箱单元在组装时,要保证其承压板上锚孔与下盖板或竖板上锚孔的空间关系;钢锚梁与钢牛腿连接时,要保证牛腿壁板上锚孔与锚梁下盖板或竖板上锚孔的对应关系。另外,当斜拉索存在多个方向角度时,还要注意各方向角度叠加和斜拉索下挠的影响,并加强组装精度控制。

3.2 钢牛腿制作及焊接变形控制措施

3.2.1 钢牛腿托架单元上承板机加工注意事项

(1)根据传力需要,托架上承板顶面粗糙度要求 $6.3 \mu\text{m}$,加工时要严格控制切削量及加工速度,确保精度要求。

(2)由于设计对托架上承板顶面平面度要求高,上承板需预留合理的加工裕量。根据经验,预留 $4 \sim 6 \text{ mm}$ 加工裕量较为合适。

(3)托架单元机加工后距钢锚梁—钢牛腿整体组拼时间间隔较长,加工后可采用硅脂进行临时防护,避免加工面受损。

3.2.2 牛腿托架单元焊接变形控制措施

钢牛腿托架单元上承板与腹板之间采用 T 形熔

透焊缝,焊接变形较大,采取分两步组焊方案:首先,将牛腿上承板与腹板组装成整体(腹板之间加劲板暂不组装,形成 π 形),焊接完毕后对平面度进行矫正,将上承板平面度控制在2 mm以内。之后,组装其余加劲板。焊接时先焊加劲板与腹板角焊缝,再焊接加劲板与上承板角焊缝,最后对上承板焊接变形进行矫正,使上承板平面度不大于3 mm,以满足机加工要求,见图5。

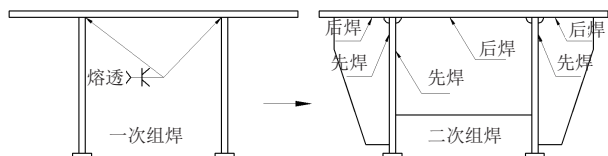


图5 托架单元分步组焊示意图

3.2.3 钢牛腿整体组焊技术

托架上承板及腹板与牛腿壁板采用熔透焊接,焊接变形大会导致上承板四角不平度超差而影响传力。因此,拟从组装、焊接及变形控制等环节采取控制措施:组装时在壁板上设置经过机加工的高精度定位靠档,将组装精度控制在0.5 mm之内;焊接时采用设置预变形、对称施焊及多层多道焊、焊接变形约束等措施将控制变形在1 mm之内,以减少后续矫正量,见图6。

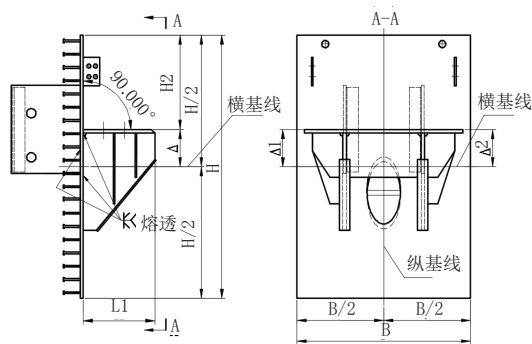


图6 钢牛腿整体组焊精度控制示意图

3.3 钢锚梁焊接变形控制措施

钢锚梁下盖板中间区域设置较大的长圆孔槽(620 mm×3 300 mm),该部位腹板到板边距离只有120 mm,且腹板与下盖板设计为熔透焊缝,焊接变形大,甚至会形成较大“鼓包”,并难以矫正。根据钢锚梁结构特点,应采取一定的工艺对策及优化措施:

(1)调整钢锚梁腹板与下盖板坡口形式,组装时大坡口朝向内侧,小坡口朝向外侧(见图7),且采用小线能量的 CO_2 气体保护焊焊接以减小焊接变形。

(2)钢锚梁腹板单元制作时,在下盖板和腹板之间增设加劲板以约束焊接变形。

(3)调整钢锚梁下盖板上的槽口尺寸。该槽口主

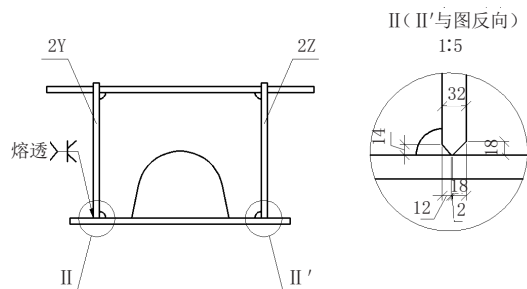


图7 钢锚梁单元腹板组焊制示意图

要在斜拉索施工时作业人员进入箱内作业时使用,应适当减小以满足作业需要。

(4)对于钢锚梁下盖板上的槽口,采用整体后切或预留部分区域后切为宜。

3.4 焊缝优化建议

(1)钢锚梁锚箱单元的两块锚腹板间距较小,一般在400 mm左右,若与其承压板采用熔透焊缝,施工操作空间狭小、焊接难度大,焊缝返修也比较困难。考虑到锚箱为受压件,建议锚腹板与承压板采用顶紧焊接方案,即对锚腹板端面进行机加工,采用K10双面角焊缝或坡口角焊缝(见图8),这样有利于焊接操作,质量可检,也可减少焊接变形和应力集中。

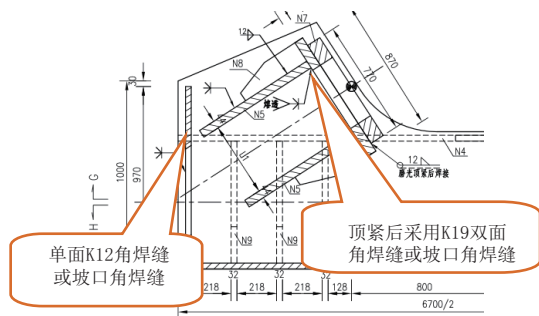


图8 锚箱单元设计焊缝建议(单位:mm)

(2)锚箱单元竖板位于钢锚梁两端头,形成半封闭空间,导致竖板与钢锚梁腹板和下盖板无法实现双面焊接。若采用单面坡口熔透焊接,则会影响锚梁腹板及底板平面度,并增大该部位的应力集中。建议将竖板与钢锚梁腹板及下盖板的熔透焊缝调整为坡口角焊缝或K12的单面角焊缝(见图8)。

(3)钢牛腿托架上承板平面度要求高,一般通过机加工来保证平面度。如果加劲板与上承板、腹板焊缝设计为深坡口焊缝或者熔透角焊缝,过大的填充量引起的焊接变形将导致托架上承板平面度难以保证,影响钢牛腿整体安装精度。结合制造实际,宜在满足结构受力的前提下,可将托架加劲板与顶板、腹板焊缝设计成角焊缝或者焊接量较小的坡口焊缝(见图9)。

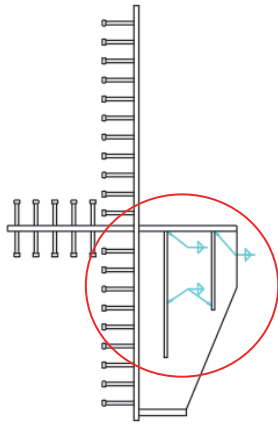


图 9 托架劲板与上承板、腹板焊缝建议

4 结 语

对于索塔采用钢锚梁-钢牛腿形式的锚固结构,锚梁下盖板与牛腿上承板结合面组拼间隙及锚索孔精度控制一直是工厂质量控制的难点。制造中

采用仿形切割、锚孔直径和连接方式优化、相关件组装精度控制等措施提高了锚索孔精度;采用托架单元整体机加工、坡口优化及焊接变形控制等措施保证了锚固结构连接面接触率。相比传统工艺不仅能提高整体精度,也降低了制造难度,在成本控制方面发挥了重要作用,为类似结构制造提供参考。

参考文献:

- [1] 周旭红.斜拉桥钢-混凝土组合索塔锚固结构[R].长沙:湖南大学,2016.
- [2] 王斌.钢-混凝土组合截面斜拉桥索塔锚固区域受力分析[J].城市道桥与防洪,2014(8):88-92.
- [3] 苗通,孙蕊鑫.钢锚梁式钢-混组合索塔锚固结构体系设计与分析[J].广东公路交通,2015(2):11-13.
- [4] 邵旭东,何东升,李立峰.钢锚梁-钢牛腿组合结构水平受力机理试验[J].中国公路学报,2014(4):55-57.
- [5] 岳莹,黄峰.荆岳长江大桥钢锚梁制作工艺[J].钢结构,2009(7):70-72.

(上接第 178 页)

参考文献:

- [1] 魏明.节段预制拼装桥梁适用条件及若干关键技术研究[D].南京:东南大学,2016.
- [2] 曹虹,孙九春,薛武强.复杂工况下大跨度 U 形梁悬臂拼装关键技术研究[J].公路,2022(4):141-146.
- [3] 曾雷.短线匹配预制梁悬臂拼装线形控制研究[J].铁道建筑技术,2016(8):10-13,18.
- [4] 魏雪萍,郝伟,王炜,等.节段预制悬臂拼装梁施工安全风险评价[J].中国安全生产科学技术,2020,16(7):131-137.
- [5] AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).Guide specifications for design and construction of segmental concrete bridges[Z].2003.
- [6] P Bujnakova.Construction of precast segmental box girder bridge[J].IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,2018,385(1):13-15.