

铁路全封闭声屏障钢结构施工技术研究

黄占彪¹, 崔兆峰²

(1.中铁十二局集团第一工程有限公司, 陕西 西安 710038; 2.中国铁路北京局集团有限公司, 北京 海淀 100860)

摘要: 国内早期的铁路声屏障多为直立式,当沿线为高层建筑密集区域时,传统的直立式声屏障降噪效果难以达到要求。目前国内建设的城际铁路增多,为满足环保要求,安装全封闭声屏障的趋势逐渐上升。津兴铁路穿越城区处,两侧居住区繁多密集,需要安装全封闭声屏障来有效地减轻噪声。钢结构骨架是全封闭声屏障的主要受力构件,其加工和安装质量影响着声屏障的稳定性。根据津兴铁路固永特大桥工程实例,对铁路全封闭声屏障的钢结构施工技术进行研究。

关键词: 铁路;声屏障;钢结构;施工技术

中图分类号: U213.8

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)06-0196-05

1 工程背景

1.1 工程概况

津兴铁路是一条连接天津市与北京市大兴国际机场的城际铁路,运行速度为250 km/h。固永特大桥作为其组成部分,部分线路位于河北省廊坊市区永清县城区内,安装全封闭声屏障全长941.7 m。

声屏障设计情况:主要由钢结构圆形拱架、金属吸声板、节点连接板、柱脚板、柱间支撑、顶部支撑和系杆等组成。钢拱架是声屏障的主要受力构件,它固定在桥梁翼缘板边的预埋螺栓上。吸声板通过拱架固定挡板和外侧翼缘板将其固定在H型槽内,形成声屏障。主体结构总高9.23 m,标准钢拱架间距2 m,两侧柱脚中心间距11.381 m。钢拱架共有491榀。

1.2 重难点分析

(1)钢结构焊接作业多,每榀钢拱架一级焊缝15条,二级焊缝12条,焊缝质量要求高。

(2)钢拱架高度和跨度大,精准加工和安装难度高。

(3)声屏障基础共有982个,每个基础预埋螺栓5根,位置设计允许偏差小,精度要求高。

(4)线路位于城区内,两侧高楼密集,上跨三条主要城市道路,且桥梁平均高度10 m,作业空间受限,安全风险高。

(5)安装的钢结构数量多,时间紧,桥面铺设道砟后难以作业。施工前必须合理组织规划,提前勘察

线路,制定详细计划。

2 施工方法

2.1 总体施工方案

全封闭声屏障梁采用预制架设,制梁时已预埋声屏障基础的U型螺栓和钢板。混凝土基础施工采用外挂钢模板现浇施工。为保证后期安装质量,绑扎钢筋前对所有基础预埋件间距及标高进行复测并校正。

所有钢结构按照设计图纸在加工厂内进行加工。由于钢拱架尺寸较大,不便于整体运输,在厂内分三段制造,运至现场后于组装台座上拼装焊接。安装方法分为桥下原位直接吊装和桥面运输安装两种方式。钢结构、连接杆件和检修通道等安装过程均应严格按照对应编号进行匹配安装。津兴全封闭声屏障钢结构施工流程如图1所示。

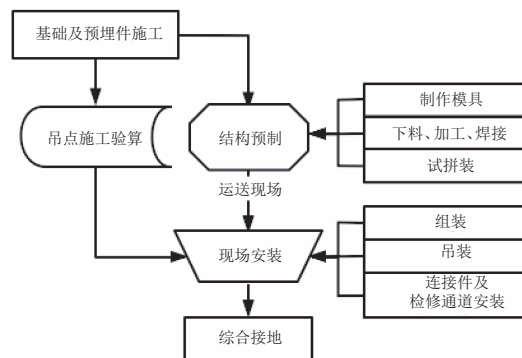


图1 津兴全封闭声屏障钢结构施工流程

主体结构焊接采用CO₂气体保护焊,杆件连接方式为高强螺栓和焊接,防腐使用喷涂漆层。

2.2 预埋件校正

每个基础上的预埋螺栓均安装上下两块定位钢

收稿日期: 2023-03-03

作者简介: 黄占彪(1991—), 男, 专科, 助理工程师, 主要从事铁路工程施工与管理工作。

板固定成整体,垂直度和孔位由钢板上下同时卡控调节,基础混凝土达到设计强度后拆除钢板。应注意螺栓下部是否受钢筋影响没有完全垂直对位,当有偏差时,仅为两块钢板强行卡控,会导致拆除钢板后螺栓有明显偏斜。

在每孔梁的大小里程两端各测量放样出横向两侧基础中心2个控制点,共计4个点,标记在定位钢板上。左右侧各自从基础中心顺桥向从小里程向大里程拉1条工程线,注意不可使用棉线等易断易回弹的线绳,应选用刚性大、硬度高的钢绳以防止拉线距离过长造成测量误差。通过两条线间拉尺控制校正基础中心横向间距,顺桥向基础中心由跨中位置向梁端调整,基础应以横向左右2个为一组同时调节,先校正每组横桥向间距,再调整顺桥向距离。

2.3 钢结构厂内加工

2.3.1 制作模具

在平整的16 mm厚钢板上使用激光雕刻1:1放样1/3拱架外轮廓和内轮廓圆弧,腹板位置焊钢板定位腹板高度,外侧制作活动夹具用来固定翼板,方便放料和取出H型材。

2.3.2 下料、加工、焊接

翼板使用火焰数控分条机下料,下料前计算出割缝损耗,保证成品尺寸准确,不变形。腹板使用激光数控下料,下料时一侧直接雕刻固定隔板、斜撑板、系杆板位置,并开好防坠孔和活动挡板孔。另一侧固定隔板、斜撑板、系杆板位置用制作好的模具定位。固定隔板、斜撑板、系杆板也用激光下料开孔保证尺寸无偏差。机器冲孔要严格保证孔位置准确,并用角磨机磨去毛刺。高强螺栓孔严禁机器冲孔或火焰割孔。当螺栓孔的允许偏差超过规范规定时,不得采用钢块填塞,可采用与母材材质相匹配的焊条补焊后重新制孔。所有下好的料要去掉毛刺,打磨平整光滑。下好的翼板用轧机压好9mm焊接反应力,保证满焊后翼板抽回正好是一个垂直面。

因为限位板、斜撑板、系杆板会阻挡半自动焊接机器人焊接翼板与腹板角焊缝的运行轨迹,所以在模具上组装时,限位板、斜撑板、系杆板先不拼接,待拱架满焊矫正完成后由工人按照原先激光打好的位置标安装(反面使用模具定位),最后使用全自动机器人满焊(见图2)。伸缩缝位置处两侧钢柱翼板与单元板固定挡板加宽40 mm,限位板内边距腹板24 mm。非伸缩缝1.58 m间距处两侧钢柱限位板内边距腹板30 mm。2 m间距方向处限位板内边距腹板

38 mm。



图2 全自动机器人满焊

2.3.3 厂内矫正和试拼装

在平整的16 mm厚钢板上使用激光雕刻1:1放样完整拱架内外轮廓,制作检验平台。将单个钢柱的3段拆分拱架放置于检验平台上试拼装检验拱架外径是否完全重合,将合格后的钢柱编码分类放置,不合格的重新矫正直至合格。

采用机械或加热方法进行矫正。采用加热方法矫正时,加热要缓慢,加热温度严禁超过900℃,以防止材质过烧。构件加热矫正后宜采用自然冷却,严禁急冷。合格后的产品应整齐垫平码放,防止变形。每一根钢柱都要检验。

试拼场地放置两排12 m长双拼工字钢校正固定,在上面焊制4排预埋螺栓,用螺帽调平高度。将加工好的4榀钢架顶部用花篮杆固定用吊车进行安装。

2.4 钢结构现场安装

2.4.1 钢拱架组装

在全封闭声屏障线路附近设置钢结构拼装厂,用于分节段制造的钢拱架组装成整体。场地采用C20混凝土硬化,厂内设置拼装胎架,胎架为9个混凝土短柱台座,其中2个1 m×1.5 m台座固定拱架柱脚,其余7个1 m×1 m台座固定拱架。台座按照拱架图纸实际尺寸间隔放置,需避开焊接位置。混凝土台座浇筑前,顶部预留有预埋钢板,钢板顶部焊接定位卡具,将1/3节段拱架放置在胎架上,使用卡具和千斤顶固定定位焊接。

采用25 t汽车吊进行拼装。将节段1拱架吊至在设置好的组装平台上固定,再将顶部拱架节段2吊装到平台上与第1段拱架对位,位置校准后进行临时连接固定,节段3拱架如上与顶部横梁拼接。

2.4.2 安装调平螺母及垫圈

按设计标高在预埋螺栓上安装调平螺母及弹性

垫圈,并用水平尺调平,具体做法为从第一个预埋螺栓至最后一个预埋螺栓拉条工程线,确保声屏障中心在一条直线上。底部用 M30 薄型螺母找设计高度,10 个薄型螺母安装后用水平尺逐一找平,控制相邻两个钢立柱高差 5 mm。调整完毕后,在每个螺母上安装 1 个弹性垫圈。

2.4.3 拱架吊点验算

在吊装之前需要根据相关规范,进行吊点施工安全验算,主要包括两部分,分别是拱架结构强度验算和拱架结构焊缝强度验算。本文采用容许应力法,计算中安全系数取 2。

首先是结构强度计算,查询规范得 Q355D 钢材抗拉、抗压、抗弯的设计强度 $f_y=305\text{ MPa}$,容许剪切应力 $f_{vy}=175\text{ MPa}$ 。荷载包括结构自重,风荷载取 $\omega_0=0.4\text{ kN/m}^2$,另外动力系数取 1.5。许用拉压应力 $[\sigma]=152.5\text{ MPa}$,许用剪应力 $[\tau]=87.5\text{ MPa}$ 。在 Ansys Workbench 中,用 beam188 梁单元模拟钢拱架,用 combin14 弹簧单元模拟吊装吊带,建模计算结构在重力和风荷载作用下的受力情况,拱架的弯矩、剪力和轴力计算结果如图 3 至图 6 所示。



图 3 Ansys Workbench 拱架建模

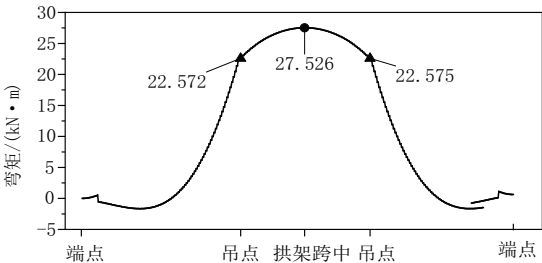


图 4 拱架弯矩计算结果

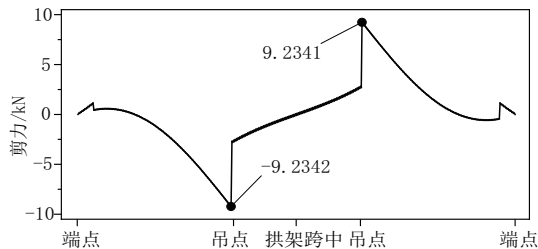


图 5 拱架剪力计算结果

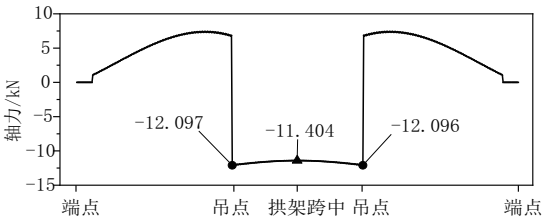


图 6 拱架轴力计算结果

计算得,拱架跨中截面正应力 $\sigma_{跨中}=23.8\text{ MPa}$,拱架吊点截面正应力 $\sigma_{吊点}=18.1\text{ MPa}$,均小于 $[\sigma]=152.5\text{ MPa}$,截面正应力满足强度要求。拱架吊点截面剪应力 $\tau_{吊点}=1.2\text{ MPa}$,远小于 $[\tau]=87.5\text{ MPa}$,故截面剪应力满足强度要求。

焊缝强度计算,规范查表得 Q235 钢材的角焊缝(用自动焊、半自动焊和 E43 型焊条手工焊)抗拉、抗压和抗剪强度设计值 $f_w^w=140\text{ MPa}$ 。许用强度 $[f]=70\text{ MPa}$,焊脚尺寸 $h_f=8\text{ mm}$,焊缝长度计算:

$$\begin{aligned} I_w &= 2(b+h)+4h_y+2(b-t_w) \\ &= 2\times(12+250)+4\times 0+2\times(12-0) \\ &= 548\text{ mm} \end{aligned}$$

剪应力计算:

$$\tau = \frac{V}{0.7 h_f I_w} = \frac{1.5 \times 9.234\ 2}{0.7 \times 8 \times 548} = 4.6\text{ MPa} < [f]$$

焊缝满足受力要求。

2.4.4 钢拱架吊装

拼装完成后,在钢拱架两侧下部各捆绑一根安全绳。吊装过程中,人工通过松紧安全绳调节拱架姿态,防止因大幅度摆动而歪扭倾覆,以保证位置线性准确及尺寸精度。选择拱架两侧腰部位置绑好吊带,根据拱架重量选择 25 t 吊车吊装。同时根据现场位置、可操作空间、桥梁高度等因素,地面桥墩中心距施工便道边大于 17 m 的区域 50 t 吊车可直接在桥下吊装上桥;小于 17 m 的区域需要先将拱架水平吊装上桥,由运输车运至相应位置,再由 25 t 吊车在桥面上吊装(见图 7)。



图 7 桥面拱架吊装

拱架运输车辆为 13.5 m 平板挂车,车上加装工字钢横纵布置焊接组成的固定平台。平台两侧垂直加焊工字钢,以防止拱架在运输过程中滑动脱落。平台与拱架接触位置包裹棉被,以防止拱架碰撞磕损。

拱架运输到位后,吊车起吊由人工辅助钢拱架就位,通过千斤顶使拱架一侧柱脚钢板孔位对准预埋螺栓后下放,再用同样方法对位下放另一侧柱脚。拱架就位后依次安装小垫板、防松动垫圈及固定双螺母。

第 1 榀拱架安装完成后,大小里程两侧左右各捆绑 1 根钢丝绳,以辅助固定拱架。钢丝绳尾端连接螺杆调节器并固定在桥面上,钢丝绳接触面包裹棉被以防止拱架划伤。测量人员使用经纬仪、水平尺测量拱架垂直度和轴线位置,人工通过螺杆调节器校正偏差。第 1 榀拱架一般选择每孔梁的跨中位置,矫正完成后用同样方法依次向两侧安装相邻第 2 榀拱架。每榀拱架就位后均应校正,允许偏差达到设计要求后方可安装下一榀拱架。

2.4.5 安装连接构件、检修通道

第 2 榀拱架就位校正后应立即将其与前一榀拱架间的系杆、斜撑等连接件全部安装好,以增强拱架整体稳定性和抗风抗震性能。然后以这两榀钢架为起点向另一侧安装,系杆为 M30 高强螺栓连接,斜撑为螺栓临时固定,满焊完成后将螺栓拆除。每安装 5~6 榀拱架就应再次检查调整整体垂直度和间距,两榀拱架间距误差为 ± 5 mm,立柱高允许偏差 5 mm,相邻立柱偏差 5 mm,立柱底板法线垂直度不大于 0.2%,纵横位置偏差 5 mm。

斜撑连接全部满焊,满焊安装与拱架安装同步进行,桥面上使用升降机或曲臂车来辅助高空焊接(升降机应不影响运输车辆通过),焊接速度与安装同步,焊接完成后进行除锈喷漆。检修马道分节段与拱架安装速度同步,与拱架预留基座板螺栓临时固定,满焊完成后拆除螺栓。

爬梯设置于全封闭声屏障起点和终点处,爬梯处设置声屏障敞口,爬梯设置应避开接触网挂网钢架。爬梯入口底部与遮板空隙采用 L50 $\times$ 5 横向角钢间距 200 mm 焊接在主体钢架进行封堵(见图 8)。检修马道及爬梯在工厂内加工防腐处理,成节段成品构件,随主体结构安装一同进行安装。

2.5 综合接地安装

声屏障均设置防雷装置,每孔梁的两端钢拱架各选取一根预埋螺栓用铜导线与桥梁接地端子相接。

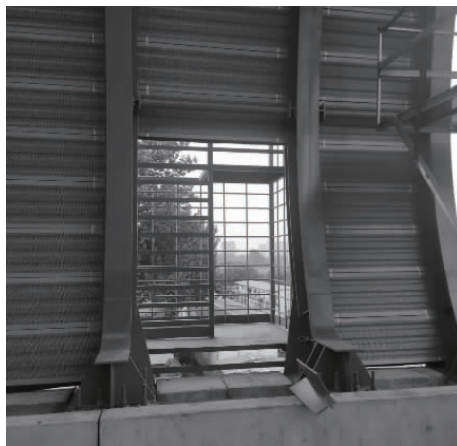


图 8 爬梯入口

3 关键施工工艺

3.1 焊接工艺

3.1.1 焊接形式和质量要求

根据设计图纸,腹板对接焊缝、翼板对接焊缝为一级全熔透焊缝。一级焊缝需进行 100% 超声波检验,一级、二级焊缝不得有表面气孔、夹渣、弧坑裂纹、电弧擦伤等缺陷。且一级焊缝不得有咬边、未焊满、根部收缩等缺陷^[1]。腹板与翼板间角焊缝、固定挡板和腹板角焊缝、斜撑和系杆与腹板角焊缝、固定挡板和限位板角焊缝、骨架 X 支撑角钢与节点板角焊缝、活动挡板角焊缝焊接质量为三级全部满焊,外观质量为二级。柱脚范围内加劲板、翼板、腹板角焊缝质量等级为二级(每条焊缝长度的 20% 进行抽检,且不小于 200 mm 进行超声波探伤)。

一级和二级焊缝需要开坡口,坡口形式:工地节段对接一级坡口采用单面 V 形对接背面陶质衬垫,车间内加工采用 X 形坡口对接背面焊接清根;柱脚范围内加劲板、翼板、腹板角焊缝 K 形坡口 T 接清根。

3.1.2 防焊接变形措施

焊接构件时,在平整的工作平台上用夹子固定牢靠。焊接 H 型钢骨架时,宜采用先焊两侧翼板与腹板角缝再焊中间固定挡板焊缝。长焊缝宜采用多段退焊法或多人对称焊接或采用跳焊法,避免工件局部热量集中变形。

3.2 高强螺栓安装工艺

3.2.1 扭矩的确定

预埋地脚螺栓施工前,在现场进行预拼装足尺拉拔试验。试验结果告知设计单位后,由设计单位根据试验结果确定最终预紧力值。

系杆连接用的高强螺栓预拉力由设计单位确

定,扭矩系数由试验测得。

3.2.2 施拧和质量检查

系杆与拱架的连接使用扭矩扳手。以检定仪或标准扭矩仪的指示值为准,在被检扭矩扳手上读取测量值^[2],以此检定扭矩扳手,周期不超过1 a。扭矩扳手在使用前必须进行标定,其扭矩误差不得大于使用扭矩值的 $\pm 5\%$ 。操作后进行扭矩校正时,若发现其误差超过允许范围,则对该工班用该扳手终拧的高强度螺栓连接副全部用检查扳手进行检查、处理^[3]。

高强度螺栓施拧方法采用扭矩法施工,拧紧工艺分初拧和终拧两步进行。初拧值取终拧值的50%,初拧后须对每个螺栓用敲击法进行检查。终拧用扭矩法,采用电动扳手或带响扳手将初拧后的螺母拧紧至规定扭矩。高强螺栓应对称施拧。

高强度螺栓施拧完毕,应按下述规定进行检查:

(1)应设专职人员进行检查,当天拧好的螺栓当天检查完毕,并做好施工记录^[4]。

(2)初拧检查。一般用0.3 kg手锤敲击法检查,锤敲击螺母一侧,手按住相对的另一侧,颤动较大者,即认为不合格应予补拧,由紧栓班自检。同时用0.3 mm塞尺插入板缝,插入深度小于20 mm者为合格。初拧用短扳手加力杆(扳手为套筒扳手、套口扳手均可),以一人正常的下压动作拧紧螺母至不转动为止。第一批初拧完毕的螺栓可能因其附近螺栓初拧而又显出拧紧程度不够,故需再拧一遍。

(3)终拧检查。首先检查初拧划线终拧后螺母的转动角度即可判断有否漏拧,同时也可发现垫圈、螺杆是否转动,然后用标定好的扳手再拧紧螺栓,读取螺母刚刚转动时的扭矩值,超拧、欠拧均不得大于规定值的10%^[5]。

扭矩扳手的其他注意事项如下:

(1)要注意电动扳手、带响扳手的标定工作,当发现某把电动扳手或带响扳手误差超过3%时,要复查该扳手拧过螺栓的合格率。标定的要求应在施拧工艺中明确规定。

(2)注意螺栓在终拧时出现卡游现象(指拧动螺母,螺杆跟着转动)。出现卡游时,要用扳手卡死螺栓头。

3.3 防腐工艺

3.3.1 钢材表面处理

厂内除锈等级应达到Sa3级(喷砂除锈至钢材表面洁净,没有可见的油脂、污物、氧化皮、铁锈、油漆涂层和杂质。表面具有均匀的金属色泽是工业上的最高处理级别,也叫做白色清理级)。现场补漆除锈可采用电动工具,等级达到St3级(非常彻底的手工和动力工具除锈。钢材表面应无可见油脂和污垢,并且无附着不牢的铁锈、氧化皮或油漆涂层等,底材显露部分的表面有金属光泽)^[6]。

3.3.2 涂装

现场补漆和厂内采用同等要求,底层为特制环氧富锌防锈漆(3道,40 μm /道),中间层为棕红云铁环氧中间漆(2道,60 μm /道),面层为进口氟碳成品面漆(2道,40 μm /道)^[7],最大总漆膜厚度320 μm 。工地安装焊接焊缝两侧30~50 mm范围暂不涂刷油漆,施焊完毕后应进行质量检查,经合格认可后方可进行涂装。

4 结 语

随着国内城际铁路的增多,以及降噪需求的不断增长,全封闭声屏障将会更加广泛地应用到工程建设中。本文以津兴铁路为工程背景,详细介绍了高铁全封闭声屏障钢结构的各个施工阶段,分析了钢结构从预制到安装的重点和难点,文中的工艺方法和施工组织可为日后类似项目提供参考。

参考文献:

- [1] 刘大军,曲全鹏.浅谈钢结构工程施工的若干质量问题[J].民营科技,2010(4):145.
- [2] 何建新.对JJG 707—2014《扭矩扳手》中扭矩示值检定方法的理解[J].计量与测试技术,2017(10):47-48.
- [3] 侯勇.简支双线钢桁梁桥设计与施工技术研究[J].铁道工程学报,2010(10):62-66.
- [4] 王建.合宁铁路滁河大桥137 m钢混结合梁架设施工技术[J].山西建筑,2010(17):328-330.
- [5] 刘智芳.台风区大跨度钢桁架拱桥施工控制关键技术研究[D].广州:华南理工大学,2014:139.
- [6] 张祖万.供水管道防腐施工技术[J].企业科技与发展,2013(9):52-54.
- [7] 郝超.顶推法施工102 m跨径钢管混凝土拱桥的设计与研究[J].公路,2006(12):55-59.