

下承式系杆拱桥拱肋结构施工技术

郭瑛, 张勇, 刘永祥

(中交一航局第五工程有限公司)

摘要: 为了深入探索下承式系杆拱桥的施工技术, 以蒙华铁路跨兰嘎一级路大桥为实例, 优化拱肋加工工艺和安装技术, 研究混凝土压注和在寒冷冬季通过对拱肋升温、保温控制混凝土温度的方法, 使拱肋在加工精度、安装质量以及后期使用寿命上都达到了极高标准, 形成了一套较为完善的拱肋结构施工技术。此外, 考虑到北方地区冬季的气候特点, 特别强调了混凝土浇筑保温措施的重要性, 以防止因温差导致的结构性能下降或裂缝问题。此技术的应用, 可以大大提高下承式系杆拱桥的建设效率和安全性, 同时也可以为北方地区其他类似结构桥梁的施工提供经验和参考。

关键词: 下承式系杆拱桥; 拱肋; 合龙; 混凝土压注

0 引言

铁路在跨越既有公路时通常以大跨径桥梁通过, 下承式钢管混凝土系杆拱桥作为一种具有较高承载力的桥梁结构, 是大跨度桥梁的理想结构形式, 具有材料强度高、使用寿命长、造型优美等特点。拱肋是该结构形式的关键, 拱肋结构的施工质量直接决定桥梁的承载能力与使用寿命, 本文以蒙华铁路跨兰嘎一级路大桥 64 m 系杆拱施工为例, 总结了拱肋结构施工技术。

1 工程概况

蒙华铁路跨兰嘎一级路大桥处于内蒙古自治区鄂尔多斯市乌审旗县城边缘, 为项目控制性工程, 是一座主跨度为 64 m 的下承式系杆拱桥, 拱肋的设计横断面为直径 0.9 m、截面高 2.2 m 的“哑铃形”钢管混凝土等截面, 使用腹板对拱肋的 2 道钢管进行连接, 拱管内使用 C50 补偿收缩混凝土进行压注, 左右 2 道拱肋之间设“一字形”横撑 3 根、“K 字形”横撑 2 根。拱肋采用矢高 12.8 m 的二次抛物线, 计算跨度 64 m, 矢跨比 $f/L=1:5$, 拱肋中心间距 8.11 m。

2 拱肋加工方法

2.1 管节加工

用计算机进行放样, 数控切割机下料, 在平台上开四周坡口; 将板材的两端在液压压弧机上预压压弧, 将预压好的板材在辊板机上滚圆, 板材轧制方向与滚圆方向保持一致, 然后进行临时焊接; 将辊制好的管节在专用平台上采用气保焊打底, 埋弧焊焊接, 焊缝两端均设置引弧板; 最

后检测焊缝、探伤、校圆。

2.2 拱圈组拼单元制造

按照现场和拱肋的尺寸加工胎架及调整丝杆。依据细化后的图纸使用丝杆调整管节, 制造拱圈小拼装段, 将小拼装段在特殊焊接作业平台上用气保焊打底、埋弧焊焊接。最后对焊接好的管节环焊缝进行 100% 探伤, 并校核尺寸。

2.3 拱肋加工

钢管拱的曲线设计为二次抛物线^[1], 拱肋整体采用平面制作成型, 在现场安装尺寸到位, 为保证其线形符合设计要求, 采用计算机进行拱肋施工高精度坐标放样。为防止拱肋扭曲变形, 必须设置专用胎架, 并对胎架严格验收。

1) 专用胎架制作

由于拱肋结构的特殊性, 且制作精密度要求极高, 因此制作的成型胎架要大于 1/2 跨, 在每节拱肋上下弦管两端接缝处, 设置相应的胎架模板, 拱轴线以及外形控制点采用高精度测量仪器校核, 保证整个胎架体系的精度符合要求。平面成型胎架放样顺序为: 标记上下管段的轴线和轮廓控制线→放样腹板的安装位置中心线→标记上下管段的接缝控制线→放样吊杆锚箱安装位置的中心线。

2) 拱肋平面成型

上下弦管节段上平面胎架定位(拱脚部位定位、向中间分)以 11 分段为单元, 接头位置与平面大样的对应位置保持相同, 避免积累误差的产生。

按照胎架处地面大样位置,采用高精度测量仪器引线,分别标记导管、锚箱、横撑的中心线。管接头安装到位后,用垂线对基线以及外形控制点检验复核,将拱肋在平面上安装成型,经严格检验符合要求后方可焊接。焊接作业完成后,将其翻转 180°,然后将腹板与弦管焊接。在平面组装胎架上完成单元管节平面组装,确保焊接质量和拱肋拼装的准确性。

2.4 拱肋涂装

本项目拱肋设计共有 3 道涂装,其中底漆和中间漆要在工厂内涂装完毕,面漆在吊杆二次张拉之后再全桥涂装。

2.5 加工质量控制措施

加工质量控制措施主要有以下 3 点:

1) 为保证结构精度,全部采用数字化对拱肋构件放样,并使用数控编程下料,以防止现场拼装时出现偏差。

2) 在号料前务必确认材料的材质并熟悉其工艺要求,再按排料单、下料单、材料采购单以及零件草图进行号料,保证号料质量合格。

3) 为保证相贯线几何尺寸的精密度和管口面的光洁度,使用数控相贯线切割机切割钢管,切割断面要符合质量标准,无撕裂、棱边、裂纹、夹渣等。

3 拱肋安装方法

拱肋安装方式可根据现场地形选择,由于本项目是上跨公路,地势平坦,场地开阔,因此采用支架搭设安装方法,在现浇梁梁面上利用型钢和钢管架设临时托架,使用轮式起重机将拱肋依次、分段、对称吊放至支架顶端进行焊接组装,在吊装过程中,要做到前后对称、左右对称,最大偏心量不能超过 2 节^[9]。

拱肋安装顺序为:在梁面上标记架拱支架的准确坐标,并利用在梁面上预留的钢筋连接牢固→安装架拱的支架和支架连接系统→安装拱肋节段及横撑,并实时进行测量监控,在安装过程中及时调节线形,先对称均匀安装两侧的拱肋,然后安装中间合龙段→安装 2 道拱肋间的横撑,并进行整体性焊接。

3.1 支架搭设

本项目架拱支架共设置 8 根 $\phi 630\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 的 Q235B 螺旋钢管立柱,钢管之间采用型钢桁架连接系,以保证支架的整体稳定性。

钢管底采用 12 mm 厚的钢板封底,在桥面各立柱位置预留 8 根 $\phi 25\text{ mm}$ 钢筋并与主桥钢筋焊接牢靠。在地面上进行钢管立柱间的桁架连接^[9],使用汽车吊对钢管整体吊装,每安装完成 2 根钢管立柱后,立即进行连接系安装,如此类推。现场架拱支架搭设图如图 1 所示。



图 1 现场架拱支架搭设

3.2 拱肋吊装

本桥拱肋最重节段约为 14.3 t,因此采取 2 台 50 t 轮式起重机整体吊装。安装拱肋前,在梁面设置支架,在支架上组装拱肋构件,安装顺序自两端拱脚位置向上对称安装,在拱肋吊装到支架顶端时,下端插入上一节拱肋的衬管内,并用千斤顶按照测量员监控数据实时调整标高^[9],精准定位后立刻组织临时焊接稳固。

当每个拱肋安设完毕并经临时固定好后,立即组织永久性焊接作业,同时为防止拱肋出现位移,焊接要从拱脚向拱顶对称进行,且每个节段间、每个拱管焊缝的施焊作业均要对称。拱肋和横撑均采用手工焊接,并优先焊接对接环焊缝,保证每节拱肋的对接环焊缝不少于 3 道,焊接作业结束后切割掉临时连接的钢板,并将焊缝打磨平整,及时开展无损检测。

3.3 拱肋合龙

拱肋合龙节段在安装前保证合龙口每侧端头至少有 5 cm 的预留量。在吊装拱肋前必须进行温度监测,在安装前一天且在指定温度条件下使用高精度仪器对合龙口的长度精确测量,并对合龙节段精确切割并打磨坡口,安装当天也要在相同的指定温度条件下对合龙节段进行焊接。拱肋合龙段如图 2 所示。



图 2 拱肋合龙段

3.4 安装质量控制措施

椭圆度与拼接错台的处理方式: 拱肋钢管的外露端如在运输或存放过程中出现失圆现象^[9], 拱肋节段在安装过程中如出现错台现象, 均可利用千斤顶及顶架处理, 并用杆件斜撑及时固定。

4 拱肋混凝土压注方法

拱肋混凝土可采用泵送顶升法压注, 两侧对称、均衡加载, 以每根钢管拱拱顶为对称中线, 在拱肋两端分别泵送浇筑。

4.1 泵送设备选择

结合各方面因素综合分析, 并经过受力计算, 最终选定 3 台 80 型高压固定式混凝土输送泵作为泵送机械, 在两侧各布置 1 台同步进行泵送, 留 1 台作为备用。按照每台输送泵平均泵送 $40 \text{ m}^3/\text{h}$ 混凝土计算, 1 根钢管拱在 2 h 内即可灌注完成。输送泵的系统泵压控制在 8 MPa 左右为宜, 最大不可大于 16 MPa, 以免泵管爆裂发生质量事故。

对照混凝土运输距离, 合理配备混凝土运输车数量, 保证混凝土能够连续浇筑。同时, 准备 2 台运浆车, 使用软管连接出浆孔和运浆车, 避免混凝土从出浆孔冒出后污染桥面及拱肋。

4.2 泵送材料选择

本项目拱肋混凝土采用 C50 高流态、自密实、补偿收缩混凝土。通过理论计算研究和多次试验, 得出混凝土配合比, 主要试验指标包括膨胀率、J 环坍落扩展度、坍落扩展度以及离析率, 在满足各项试验指标的标准下, 加入防冻剂保证混凝土的抗冻性能; 该混凝土在自重作用下无需振捣就能自动流平并充满模具, 具有黏聚性、抗离析性和高流动性, 能明显改善混凝土的施工性能, 并提高混凝土的匀质性, 确保整个混凝土压注施工顺利进行, 同时保证混凝土具有良好的力学和耐

久性能, 且能与钢管拱肋紧密接触。

在混凝土配合比的研制试验中, 根据当地气候条件, 采用不同的水胶比、膨胀剂掺量和胶凝材料用量分别试验, 最终研定每 m^3 混凝土原材料组成比重为水泥:粉煤灰:砂:碎石:水:防冻减水剂:膨胀剂=371:106:828:880:156:21.2:53。

4.3 泵管布置

4.3.1 孔道布置

在单侧单根拱肋的上部且与拱肋轴线成 30° 的管壁上分别设置 1 个灌浆孔, 在沿拱肋轴线上跨中位置设置 2 个直径为 20 cm 的灌浆孔, 并在上面焊接阀门, 保证随时可以封堵。

4.3.2 泵管安装

泵送用管选择直径为 125 mm 的高压管, 混凝土输送泵管要搭设支架进行架立, 保证压注孔及管道的稳固性, 并在架立过程中尽量使管道减少弯头。每节泵管安装之前, 检查接头和密封圈的完整性以及管内壁的清洁度, 避免在灌注混凝土的过程中发生管道堵塞、泄露或爆裂等。泵管安装完成后, 再次对输送管道逐节检查, 保证每个管节接口严密、牢固, 防止在作业过程中发生管道脱落。同时, 准备好备用材料, 如不少于使用长度的泵管、弯头、密封圈等, 可在出现紧急情况时使用。

混凝土灌注之前, 再次对管道、拱肋钢管和法兰盘接口等关键位置的焊缝全面检查, 必要时, 做加劲处理, 在压浆管上还要安装防止倒流的截流阀, 避免出现混凝土回流。

4.4 混凝土压注

4.4.1 泵送砂浆

在混凝土灌注前, 先用同标号或高等级的砂浆冲洗泵管, 这样可以使泵管变得湿润, 降低后续混凝土输送阻力。

4.4.2 混凝土顶升

混凝土灌注前将拱肋管内污物等冲洗干净并润湿管壁, 输送适量高等级砂浆后再灌注混凝土, 灌注顺序为由两侧拱脚向拱顶对称均衡进行灌注。泵送开始后, 先低压慢速输送混凝土, 观察泵的压力和各配件工作情况是否良好, 待输送顺利后再加大混凝土灌注速度, 直至钢管顶端排气孔有合格的混凝土排出时停止。混凝土要不间断一次泵送顶升完成, 待压注完成后将钢管的所有开孔封闭。

4.5 混凝土保温

4.5.1 保温措施

混凝土压注顶升前,在拱肋钢管外部包裹电热丝+棉被(至少 2 cm 厚)+外包防水土工膜的形式对钢管进行加热保温。加热电热丝采用加强型防爆阻燃电拌热带并缠绕在拱肋上,根据现场试验确定电热丝布置间距应控制在 10 cm。在灌注前 24 h 开始给拱肋升温,对拱肋保温养护不仅是为了防止混凝土受冻,同时考虑工期等因素,确保混凝土的强度增长速度不会影响吊杆张拉等工序的施工计划(可适当延长升温养护时间,以保证在吊杆张拉时拱肋的混凝土强度满足设计要求)。

全桥共设置 10 个测温传感器,分别在拱脚处、拱肋 $L/4$ 处、拱顶处,与拱肋钢管焊接相连。

4.5.2 保温效果

通过对构件连续 10 d 的实测温度数据(见图 3)分析可得,拱肋检测温度介于 12~20 °C 之间,混凝土实际养护温度处于最佳范围内,说明使用上述的保温措施可以降低外界环境对拱肋内部混凝土温度的影响。在拱肋混凝土养护 7 d 后,通过对现场同条件试块强度试验确认后,在拱肋上开若干孔,用回弹仪测得混凝土强度推定值为 47 MPa,满足施工规范要求,保温养护效果良好,在保证质量的前提下提升工效,对后续工序影响较小。另外,升温养护所使用的电拌热带、棉被和土工膜均可回收再利用,节约成本。综上所述,在北方寒冷条件下采取此措施对拱肋混凝土保温养护是切实可行的。

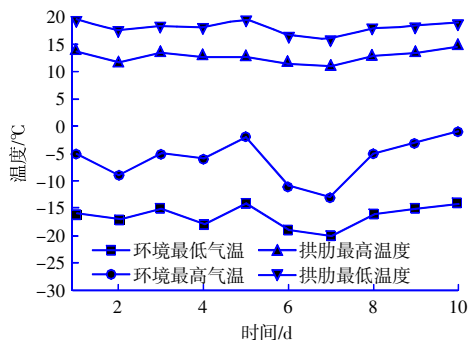


图 3 现场实测温度

4.6 压注质量控制措施

压注质量控制措施主要有以下 3 点:

1) 混凝土输送不利时,切忌强行加大压力泵送,要立即减缓输送速度或使泵反转,并对全线输送管道仔细排查,以防管道崩裂或堵塞。

2) 根据混凝土运输距离及现场温度,控制好混凝土坍落度,确保泵送质量。

3) 混凝土压注时,为防止因一侧抬升过快而引起拱圈纵向震动,严格遵守拱肋两侧对称压注的原则,以两侧管内混凝土高差不超过 1 m 为宜,可以通过混凝土压注方量实时判断。

5 应用效果

项目通过拱肋加工数字化程序规避人工操作误差,保证了拱肋管节加工精度,同时应用支架搭设安装法使拱肋拼装一次成型,误差满足规范要求,验收一次通过,拼装质量合格。通过采取对拱肋加热与保温的方法,不仅满足了低温环境下混凝土的养护条件,还提高了混凝土强度的增长速度,保证后续工序顺利开展,使桥梁整体工期较原计划提前 15 d 完成,降低了施工成本。

6 结语

跨兰嘎一级路大桥上部系杆拱桥拱肋结构施工期间正处于北方秋冬季节,平均气温在 -10 °C 以下。在这种气候条件下,运用成熟的理论分析,合理的组织安排,改进和创新部分工艺,因地制宜地解决了相关技术难题,通过对拱肋加工与安装、混凝土压注与保温措施的系统研究,总结出了一套适用于低温施工环境下系杆拱桥拱肋结构施工技术,为今后类似桥梁工程施工打下坚实基础并积累了宝贵的施工经验,但该工艺仍有需要改进提升的地方,如拱肋压注混凝土配合比的优化等,将在后续工程施工中进一步完善。

参考文献:

- [1] 廖星星. 交叉作业环境下系杆拱桥钢管拱肋整体吊装技术[J]. 安徽建筑, 2019(5): 72-74.
- [2] 李文兵. 京沪高铁跨浚河系杆拱桥施工技术探讨[J]. 西部交通科技, 2010(5): 72-77.
- [3] 卢家友. 郑西客运专线跨 310 国道提篮拱桥拱肋安装施工技术[J]. 铁道标准设计, 2009(7): 47-49.
- [4] 王海川. 连续梁-拱组合式系杆拱桥拱肋施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2014(4): 43-48.
- [5] 周闯. 桥梁工程中简支拱的施工技术[J]. 绿色科技, 2018(14): 204-205.