

全钢结构预制拼装式框架墩施工技术研究

赖忠林

中铁六局集团有限公司 北京 100080

摘要:以新建宣城至绩溪铁路上跨皖赣线框架墩施工为例,介绍全钢结构预制拼装式框架墩施工技术在上跨既有有线施工中的应用,对全钢结构预制拼装式框架墩工厂分体制造、汽车运输、现场拼装、整体吊装、钢混连接等施工技术组织进行阐述。通过采用预制拼装施工技术,缩短了施工周期,有利于整体施组控制;采用气体保护焊和陶瓷衬垫单面焊双面成形工艺,确保了现场焊接质量;同时采用整体吊装方案,避免了传统分步施工带来的接缝处理和多次要点等问题,减少了对营业线运输的干扰。此技术因其独特的技术经济优势,获得了建设单位和铁路部门高度赞誉,在实践中取得了较好的综合收益,可为类似项目提供参考。

关键词:上跨既有有线;预制拼装;全钢结构框架墩;整体吊装

1 工程概况

新建宣城至绩溪高速铁路中塔华阳河特大桥第16A#、17A#墩上跨既有国铁Ⅰ级干线皖赣铁路,跨越里程为DK71+681~DK71+721,对应皖赣里程为K71+614~K71+654。新线与既有线交角为28°,跨越处既有铁路为路基地段。

中塔华阳河特大桥16A#、17A#墩均采用预制拼装式全钢结构框架墩结构,结构分为横梁、立柱、垫石和检修附属设施等。横梁采用单箱单室箱形结构,截面尺寸为2.8×2.4m(宽×高),跨度为26m,梁内每隔2m设1道横隔板,板间设加劲肋。立柱采用单箱单室箱形结构,截面尺寸为2.2×2.8m(横桥向×纵桥向),高度为8m。立柱底部采用混合连接构造,由承压钢板、加劲板、剪力钉、以及预埋件及混凝土等构成。结构总用钢量为173.021T。本框架墩采用工厂预制,分段运输,旁位焊接拼装,整体吊装,柱底对位连接的施工方案。钢横梁和钢立柱在生产厂家整根加工成型,分段运输抵达施工现场,在设计位置旁边进行现场拼装,安装完毕后采用大型吊装设备完成吊装作业,钢立柱底部通过预埋法兰盘与承台上的预埋螺栓连接,其底部设置钢混结合段,立柱外包40cm厚C50补偿收缩混凝土,立柱内填充C45自密实补偿收缩混凝土。钢混之间通过连接螺栓、连接钢筋、剪力钉与混凝土组合受力确保运营期间连接稳定可靠。

2 主要施工技术及措施

2.1 结构工厂预制

本框架墩主要结构采用Q345qE钢材,钢材弹性模量 $E = 2.1 \times 10^5 (\text{MPa})$;次要构件及附属结构采用Q235-B.Z钢材,钢材弹性模量 $E = 2.0 \times 10^5 (\text{MPa})$;剪力钉为关键受力构件,采用圆柱头焊钉M22×150,材质为ML15AL合金

钢;部分位置采用了28-20mm变厚钢板。加工和制造应严格按照《铁路钢桥制造规范》、《铁路桥梁钢结构设计规范》等规定。

(1) 研究制定制造方案

框架墩总体的制造流程为:零件下料→边缘处理→单元件制作→节段制造→总成→标记、标识→余量切割→预拼装→存放

(2) 全过程质量控制和预拼装

在制造前,开展焊接工艺评定试验,选定施工参数;对焊材进行复验,确保原材料可靠。过程中对单元件、产品试板等结构的焊接加工质量进行严格的过程控制。加工后对焊缝进行检测,根据方案对缺陷进行相应处理。

为及时发现问题,减少安全质量隐患,在工厂内对框架墩进行预拼装试验。预拼装采用卧拼,在预拼胎架上划出结构中心线和两端定位线,预拼时钢梁对线预拼,接头采用定位工装进行固定,合格后进行标记。

出厂时,应提交产品合格证、钢材及辅材质量证明书或检验报告、施工图、杆件发送表及包装清单、工厂栓接面抗滑移系数试验报告、焊缝重大修补记录、产品试板的试验报告、成品检查记录、探伤检查记录、工厂试装记录等资料。

2.2 场地处理

场地处理包括钢框架墩组装场地及吊装场地两部分。其中,组装场地的面积应满足钢构件存放及拼装要求,一般为30×20m(长×宽)。现场可设置辅助地坑来降低作业高度,辅助地坑轴线应垂直于既有线路布置,间距根据框架墩跨度进行设置,基坑尺寸为5×4×3m,地坑底采用30cm厚C30混凝土加固,基坑采用三侧插打钢板桩

防护,未插打钢板桩一侧采用1:1.25放坡开挖施工。采用 $\phi 316 \times 8$ 钢管制作2个 $3\text{m} \times 3\text{m} \times 5\text{m}$ 钢支撑座用于钢横梁拼装存放,4个 $2\text{m} \times 1\text{m} \times 0.5\text{m}$ 的支撑座用于钢立柱拼装存放。支撑座与钢梁间用5mm厚的橡胶垫进行隔离,防止梁面遭受破坏。支撑座底采用C25混凝土基础并加预埋垫板进行固定。

现场采用260T汽车吊配合完成装卸车及框架墩组拼工作,将预制拼装式全钢结构焊拼成整体;现场搭设盘扣脚手架等辅助措施以确保劳动作业安全;采用全站仪测量、校核钢结构轴线,调整拼装垂直度,以轴线为安装基精准定位,标高 $\pm 2\text{mm}$,水平 $\pm 1\text{mm}$,可事先准备部分2~20mm厚、 $140 \times 50\text{mm}$ 垫板作为抄垫法兰,以提高调整效率。

吊装场地主要用于大型履带吊站位和整体吊装使用,一般为 $15 \times 12\text{m}$ (长 $\times$ 宽),背向垂直于既有有线布置。为确保施工安全,场地需进行适当处理,其中作业平台位置地基承载力需 $\geq 300\text{KPa}$,不满足条件的应进行换填加固处理^[1]。

在正式施工前,要结合施工内容和现场条件,多次对现场开展踏勘研究,以便优化完善施工方案。在场地的整体规划中,要充分考虑框架墩进场后装卸车、存放及后期吊装等工况,合理设置货物进出场通道、合理进行现场规划布置,存梁平台和钢结构摆放顺序要便于施工,杜绝出现现场调头等问题,整体做到现场进出有序、安全可控、杜绝重叠作业。

2.3 大型起重设备吊装作业

在进行大型起重设备吊装前,需进行四个方面的工作,一是设备选型,二是设备进场组装及报验,三是试吊检验,四是正式吊装。

(1) 设备选型。根据吊装构件的重量和现场条件,确定最不利工况下作业半径、起升高度和臂长等参数,对照起重设备性能参数表,匹配起重设备的选型,在进行设备选型时,还需考虑适当的安全冗余,安全系数一般设为1.3。在确定了吊装设备后,还需结合设计吊点位置对吊装使用的钢丝绳、吊钩、吊耳等吊具进行选择,吊具的安全系数一般设为6~8。钢丝绳与框架墩横梁夹角是一个重要的安全因素,一般设为 $45^\circ \sim 60^\circ$,且不得小于 30° ,以避免钢丝绳受到过大的拉力而发生断裂,具体可经过受力检算进行复核^[2]。

(2) 设备进场组装及报验。大型机械设备进场后,应按规定进行自检和报验。

在设备报验前,由安装单位对设备的承重系统、安全装置、电气液压系统等进行全面自检。自检合格后提

交报验申请,相关单位到现场对设备进行初验,核实设备的型号、规格等是否与报审资料一致,检查设备的基本性能和状况是否满足施工要求。

在设备组装前,到当地市级人民政府负责特种设备安全监督管理的部门(宣城市市场监督管理局)办理安装告知,将施工相关信息告知监管部门,方便监管部门提前介入监督;编制专项的安装拆卸方案,主要内容应包括安装拆卸流程、相关的安全措施、人员安排等;提交安装单位资质证书、安装人员的特种作业操作证等材料。安装完成后,由具有资质的检测机构对履带吊进行检测,检测内容包括设备的各项性能指标、安全装置等,检测合格后取得检测合格证。安装完成并经检测合格后,使用单位向特种设备安全监督管理部门申请登记,确认设备可以合法投入使用。

在正式吊装前,应安排专人对地基承载力、夜间照明、周边障碍物、现场安全防护措施等进行复核,及时消除各类安全隐患。

(3) 试吊检验。为检测设备吊装性能,确保吊装安全,在正式正式封锁吊装作业点前应进行试吊,试吊工作宜选择在原位背离既有有线进行,主要检测机械设备性能及吊装场地地基承载力,及时发现可能存在的问题以便制定和完善相关措施。试吊内容应在吊装前研究确定,流程一般为:起吊钢丝绳、卸扣及缆风绳安装完毕后进行安全确认;起吊使梁底离开地面(支撑座)0.2m并静止5-10min,安全确认 $\rightarrow$ 继续上升使梁体到安装高度位置并静止5-10min,安全确认 $\rightarrow$ 正常速度向背离既有有线方向旋转与正式吊装相同的角度(由12名人员分两组在地面用2根缆风绳辅助进行框架墩空中定位,防止摆动侵限)静止5-10min,安全确认 $\rightarrow$ 实验过程安全后梁体返回原位后落梁。

(4) 正式吊装。利用铁路天窗点内完成框架墩吊装就位工作。整体吊装专业程度高、危险性较大,在施工过程中要统一指挥,保持指挥信息畅通,无关人员不得进入施工区域。封锁命令下达后,防护人员上道设置安全防护,在确认安全防护工作到位后,方可进行吊装作业。在地面由12名人员分两组用2根缆风绳辅助进行框架墩空中定位,防止摆动侵限。吊装过程中应统一指挥,起吊旋转动作应平缓,司索人员注意加强监护和预警。将框架墩提升至安装高度上方1.5米左右,开始旋转履带吊,待框架墩抵达安装位置上方时静止1~2分钟;由缆风绳协助控制下落,人工辅助完成柱底精调和对位连接。

2.4 框架墩对位引导

因钢立柱柱底连接部位的横隔板、剪力钉及基础预

留连接钢筋、螺栓密集,需采取适当对位引导措施确保对位安装。可采取如下措施:

(1) 在进行基础预埋钢筋时,加强定位控制,使测量放样及施工误差在允许范围内;采用BIM技术和亚克力板模拟钢立柱螺栓位置和尺寸,在正式吊装前对预埋螺栓进行校核,发现问题及时处理。

(2) 采用箍筋将基础预留连接钢筋绑扎形成整体以增加整体刚度,并形成漏斗状分布,避免吊装过程中结构碰撞变形,同时起到对位引导作用。

(3) 在基础预埋连接钢板的4个角点预埋螺栓顶部设置不锈钢锥形螺帽,配合撬棍完成精调定位。

(4) 在试吊过程中对结构的整体平衡性进行复核,由于吊点及锁具等误差影响,起吊后左右会存在微小的不平衡高差,可通过在垫石位置设置配重调整消除,以确保在吊装过程中整体结构的相对平衡,降低对位调整难度。

3 整体运用效果

3.1 安全技术运用效果

宣绩高铁全线共有10处以跨线桥形式跨越既有皖赣铁路,结合工程特点,共有3处采用了全钢结构框架墩跨越方案,取得了较好的运用效果。

首先大幅度降低营业线施工风险。由于采用旁位焊

接拼装及整体吊装方案,只需采用邻近既有开展焊接及组作业,准备妥当后,利用1个Ⅱ级天窗点完成整体吊装就位,无需在营业线旁立模、绑扎钢筋、浇筑混凝土等风险较大的施工,大幅度减少了对营业线的干扰,降低了跨线施工风险。

其次大幅度缩短施工周期。本次全钢结构框架墩从生产到安装共计用时57天,其中工厂预制40天,运输5天,邻近既有焊接拼装7天,吊装2天(含试吊1天),附属施工3天(含无损检测、测量、垫石浇筑、外包混凝土、填芯混凝土等)。较连续梁施工方案节约时间45~60天,较钢横梁-立柱分体施工方案节约时间30-45天。

另外解决了钢横梁对位难度大问题。传统方案由于考虑结构变形等因素,采用混凝土立柱+钢横梁方案,该方案需在立柱顶预埋钢构件,存在对位难等问题。本次采用柱底混合连接构造,减少了天窗点内工作量,降低了预埋件定位难度,也便于操作及纠偏,有效的解决了结构对位难的问题。

3.2 经济性运用效果

通过对宣绩铁路、昌景黄铁路类似工点进行对比分析,采用框架墩方案较转体连续梁方案节约造价约44.54%~47.75%,考虑营业线因素,整体吊装相较于分体式吊装节约造价5.8%左右^[3]。

框架墩经济性对比

					单位: 万元/延米	
方案	经济指标			营业线增加费(万元)	考虑营业线因素指标	施工周期(d)
	上部工程	下部工程	合计			
简支箱梁-全钢结构框架墩	3.195	3.417	6.612	17	7.1604	57
简支箱梁-钢横梁+混凝土立柱	3.195	3.374	6.569	32	7.6013	65
转体连续梁-混凝土桥墩	6.233	3.827	10.06	113	13.7052	210

注:参照宣绩铁路和昌景黄铁路,以310m左右长度作为对比指标

结语

按宣绩铁路上跨皖赣线应用经验,在不考虑地质等因素的情况下,如新线与既有交角大于30.5°,可选用全钢结构框架墩跨越方案。(当30.5°<α<37°时需2个框架墩,α>37°时1个框架墩)

采用全钢结构框架墩一次性整体吊装跨越代替分体式吊装和连续梁跨越方案,提升了结构的整体性,减小了施工对既有线的影,控制了安全风险;通过严格控制现场焊接和涂装质量,优化钢混结构连接措施,优化整体吊装施工技术措施,有效的保证了现场施工效率和

安装精度;同时比照传统施工方案,方案的经济性十分明显;可为类似施工提供有益参考。

参考文献

[1]李文京.新建高速铁路上跨营业线装配式框架墩设计与施工关键技术[J].世界桥梁,2023,51(05):47-52
[2]张晓明.铁路全钢结构框架墩设计与施工关键技术[J].世界桥梁,2024,52(01):39-44.DOI:10.20052
[3]邢雨,左家强,万明.昌景黄铁路高框架墩设计关键技术研究[J].城市道桥与防洪,2022,(09):86-90