

铁路桥梁简支箱梁预制拼装施工技术探讨

陈白捷

中铁十二局集团第一工程有限公司 陕西 西安 710038

摘要：铁路桥梁简支箱梁预制拼装需严格把控各环节精度与工艺。预制阶段以高精度模具为基础，通过数控加工、分层浇筑、蒸汽养护及双控张拉确保梁体质量；拼装阶段聚焦运输存放的受力均衡、吊装对位的三维精准、拼接缝的密实连接及支座安装的规范操作。全过程实施原材料复验、施工参数监控、测量双复核及成品保护等质量控制措施，实现从预制到拼装的一体化精准管控，保障桥梁结构的安全性与耐久性。

关键词：铁路桥梁；简支箱梁；预制拼装；施工技术

引言

简支箱梁作为铁路桥梁的核心构件，其预制拼装质量直接影响线路运营安全。当前，高精度、标准化施工成为行业发展趋势，需通过模具精确定位、智能钢筋加工、温控养护等技术提升预制精度，依托专用设备与科学工法保障运输、吊装及拼接质量。本文围绕预制工艺与拼装技术展开探讨，阐述各环节关键控制点与质量保障措施，为铁路桥梁简支箱梁施工提供技术参考，推动施工效率与工程质量的协同提升。

1 铁路桥梁简支箱梁预制工艺

铁路桥梁简支箱梁预制需以高精度模具为基础，模具进场前需通过三维坐标测量系统完成定位校准，确保底模、侧模及端模的线性偏差控制在2mm以内，模体拼接处采用榫卯结构配合密封胶条，避免混凝土浇筑时出现漏浆现象。钢筋加工采用数控弯箍机与智能焊接机器人协同作业，主筋连接优先选用镦粗直螺纹套筒，丝头加工精度需满足通规能顺利旋入并达到全程咬合、止规旋入深度不超过3个丝扣的标准，钢筋骨架绑扎时借助胎架实现空间定位，确保保护层厚度偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 范围内。模板安装前需进行表面处理，先采用角磨机配合钢丝轮清除锈迹，再均匀涂刷专用脱模剂，侧模支撑系统采用液压同步驱动装置，通过位移传感器实时监测模板开合度，确保浇筑过程中模板变形量不超过 $L/5000$ （ L 为梁长）。混凝土浇筑采用分层连续推移式工艺，布料厚度控制在30-50cm，插入式振捣棒以50-100mm的间距呈梅花状布置，振捣至混凝土表面泛浆且不再下沉为止，腹板与底板交界处需采用附着式振捣器辅助密实，避免出现蜂窝麻面等缺陷。混凝土初凝后立即覆盖土工布并喷洒养护剂，终凝后转入蒸汽养护阶段，升温速率控制在每小时不超过 10°C ，恒温阶段保持内部温度在 $50\pm 5^{\circ}\text{C}$ 且相对湿度不低于90%，降温速率不超过每小时 8°C ，确

保梁体内外温差不超过 20°C 。预应力张拉需在混凝土强度达到设计值的85%且龄期不少于7天后进行，采用两端对称同步张拉工艺，张拉控制力通过应力传感器与伸长值双控，实际伸长值与理论值偏差需控制在 $\pm 6\%$ 以内，张拉完成后及时进行孔道压浆，水泥浆水胶比控制在0.26至0.28之间，采用真空辅助压浆工艺确保孔道饱满度。

2 铁路桥梁简支箱梁预制拼装施工技术

2.1 箱梁运输与存放技术

箱梁运输采用专用运梁车，车组轴距与箱梁支点间距匹配，通过液压悬挂系统实现竖向微调，确保运输过程中梁体支点反力偏差不得超过设计值的5%。运输前需对梁体进行全面检查，梁端棱角采用橡胶护垫包裹，腹板两侧设置可调节限位装置，防止箱梁在运输途中发生横向位移。运梁车行驶速度在直线段控制在 5km/h 以内，曲线段降至 3km/h 以下，通过桥梁接缝处时保持匀速缓慢通行，避免因惯性力导致梁体产生附加应力。箱梁存放场地需进行地基处理，采用级配砂石分层碾压，压实度不低于96%，基础顶面浇筑20cm厚C30混凝土垫层，垫层表面平整度误差控制在 3mm/m 内。存放时采用两点支撑，支点位置与梁体设计支点一致，支撑垫石采用5cm厚钢板与橡胶板组合结构，橡胶板硬度控制在邵氏A80 ± 5 度，确保荷载均匀传递。多层存放时上下层支撑中心线对齐，层间设置10cm厚木垫块，垫块含水率控制在15%以内，避免因木材变形导致梁体受力不均，存放期超过30天时定期检查梁体挠度变化，确保累计变形量不超过 $L/1000$ （ L 为梁长）^[1]。

2.2 箱梁吊装与对位技术

吊装设备选用大吨位架桥机，主吊钩设置四组可调式吊具，通过液压千斤顶实现吊点高程微调，吊具与梁体接触部位安装压力传感器，实时监测吊装过程中各吊点受力状态，确保荷载偏差不得超过10%。吊装前对架桥机

承重结构进行预压试验,预压荷载为设计吊装重量的1.2倍,持荷12小时后检查结构变形情况,主桁挠度恢复量需达到95%以上。箱梁起吊时保持匀速上升,起升速度控制在0.5m/min以内,离地30cm后暂停10分钟,检查吊具连接可靠性及梁体平衡状态,确认无误后继续提升。对位过程中采用全站仪进行三维定位,梁体两端设置定位基准点,通过架桥机横移机构实现横向微调,纵向对位精度控制在 $\pm 10\text{mm}$ 内,横向偏差不得超过5mm。梁体落位时采用分级加载方式,先将梁体放置在临时支座上,通过支座顶部的螺旋调节装置进行高程精调,确保梁体顶面高程误差在 $\pm 2\text{mm}$ 内,轴线偏差控制在3mm以内,对位完成后立即安装临时固定装置,防止梁体在后续施工中发生位移。

2.3 箱梁拼接施工技术

箱梁拼接前需清理梁端结合面,采用高压水枪冲洗表面浮浆,露出新鲜混凝土面,边角处采用钢丝刷进行人工清理,确保结合面粗糙度达到2mm以上。拼接缝处设置橡胶止水带,止水带采用遇水膨胀型,宽度为30cm,截面拉伸强度不低于15MPa,伸长率 $\geq 400\%$,安装时确保止水带中心线与接缝中心线重合,偏差不得超过5mm。接缝钢筋连接采用焊接或机械连接,焊接接头采用双面搭接焊,焊缝长度不小于5d(d为钢筋直径),焊缝厚度 $\geq 0.3d$,机械连接选用挤压套筒,挤压后的套筒长度变化率控制在1%~3%范围内。拼接缝混凝土采用微膨胀高性能混凝土,设计强度比梁体混凝土高一个等级,坍落度控制在 $180\pm 20\text{mm}$,初凝时间 ≥ 6 小时,浇筑前对接缝处进行湿润处理,保持基层含水率在8%~12%之间。混凝土浇筑采用小型振捣棒分层振捣,振捣棒插入深度控制在50~100mm,每点振捣时间为20~30秒,直至混凝土表面泛浆且无气泡溢出,浇筑完成后覆盖塑料薄膜保湿,24小时后拆除模板,转入洒水养护阶段,养护期不少于14天,确保接缝处混凝土强度达到设计值的100%后方可承受荷载。

2.4 支座安装技术

支座安装前需对墩台顶面支座垫石进行处理,采用打磨机将垫石表面找平,平整度误差控制在2mm/m内,四角高程差不超过1mm,清理干净后在垫石表面涂刷界面剂,涂刷厚度均匀控制在0.5~1mm。支座安装采用坐浆法施工,坐浆材料选用无收缩灌浆料,水料比控制在0.12~0.14之间,流动度 $\geq 300\text{mm}$,初凝时间 ≥ 3 小时,浇筑前在垫石周边设置模板,模板高度比设计坐浆层厚高20mm,灌浆料浇筑后采用平板振捣器振捣密实,确保表面平整度误差不超过1mm。支座就位时通过全站仪

和水准仪联合定位,支座中心线与设计位置偏差不超过2mm,顶面高程误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内,安装完成后检查支座上下钢板是否水平,倾斜度不超过1/500。固定支座与活动支座按设计位置准确放置,活动支座的滑移面需清理干净,涂抹专用硅脂润滑剂,润滑剂厚度控制在0.5~1mm,确保支座在温度变化时能自由伸缩。支座安装完成后进行承载力试验,施加设计荷载的1.5倍,持荷1小时后检查支座变形情况,残余变形量不超过总变形量的5%,确认合格后安装支座防尘罩,防尘罩与梁体、墩台之间密封严密,防止杂物进入影响支座性能^[2]。

3 铁路桥梁简支箱梁预制拼装施工质量控制

3.1 原材料质量控制

(1) 钢材作为箱梁结构的主要受力材料,其质量直接影响桥梁的安全性与耐久性。进场时需严格核查质量证明文件,对每批次钢筋进行力学性能试验,包括屈服强度、抗拉强度及伸长率等指标,确保符合设计及规范要求。对钢筋表面锈蚀、油污及裂纹等缺陷进行目视检查,剔除不合格材料,从源头把控结构安全。(2) 水泥作为混凝土胶凝材料,其品种、强度等级及安定性对混凝土性能至关重要。优先选用低碱、低水化热的水泥品种,进场时按批次检验强度、凝结时间及安定性,确保与外加剂适应性良好。对砂石骨料实施分级管理,严格控制含泥量、粒径级配及有害物质含量,避免因骨料质量波动导致混凝土离析或强度不足。(3) 预应力筋及锚具是箱梁预应力体系的核心组件,其质量直接影响张拉效果及结构承载力。对预应力钢绞线进行力学性能复验,重点检测抗拉强度、松弛率及弹性模量,确保符合设计要求。锚具进场时需进行硬度试验及静载锚固性能试验,验证其与钢绞线的匹配性,杜绝因锚具失效引发的预应力损失或结构破坏。

3.2 施工过程质量控制

(1) 混凝土浇筑是箱梁成型的关键环节,需严格控制分层厚度、振捣时间及布料顺序。采用分层连续推移式浇筑工艺,布料厚度控制在30~50cm,插入式振捣棒按梅花状布置,间距50~100mm,振捣至表面泛浆且无气泡溢出为止。腹板与底板交界处采用附着式振捣器辅助密实,避免因振捣不足导致蜂窝麻面等缺陷,确保混凝土密实度达到设计要求。(2) 预应力张拉需在混凝土强度及龄期双达标后实施,采用应力传感器与伸长值双控模式确保张拉力准确传递。张拉时实时监测油压表读数与伸长量,将实际伸长值和理论值偏差控制在 $\pm 6\%$ 内,以防结构开裂变形。张拉完成后立即进行孔道压浆,水泥浆水胶比0.26~0.28,用真空辅助工艺保孔道饱满。(3)

箱梁拼接缝施工需严格控制结合面处理及混凝土浇筑质量。拼接前用高压水枪清理梁端浮浆,使结合面粗糙度 $\geq 2\text{mm}$ 。采用微膨胀高性能混凝土,坍落度控制在 $180\pm 20\text{mm}$,分层振捣密实,保湿养护不少于14天,待接缝处混凝土强度达设计值100%方可承荷,避免结构整体性受损。

3.3 测量放样质量控制

(1) 模具定位是箱梁预制尺寸精度的基础,需采用三维坐标测量系统对底模、侧模及端模进行校准,确保线性偏差 $\leq 2\text{mm}$ 。模体拼接处采用榫卯结构配合密封胶条,避免混凝土浇筑时漏浆。模板安装前进行表面处理,涂刷专用脱模剂,侧模支撑系统采用液压同步驱动装置,通过位移传感器实时监测模板开合度,确保浇筑过程中模板变形量 $\leq L/5000$ (L 为梁长),保障箱梁外形尺寸符合设计要求。(2) 箱梁吊装对位需采用全站仪进行三维定位,梁体两端设置定位基准点,通过架桥机横移机构实现横向微调,纵向对位精度控制在 $\pm 10\text{mm}$ 内,横向偏差 $\leq 5\text{mm}$ 。支座安装时通过全站仪和水准仪联合定位,支座中心线与设计位置偏差 $\leq 2\text{mm}$,顶面高程误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内,确保支座安装位置准确,避免因对位偏差导致结构受力不均或支座损坏。(3) 测量仪器需定期校准,确保测量精度满足规范要求。全站仪、水准仪及位移传感器等设备在使用前需进行精度验证,校准周期不超过3个月。测量数据实行双人复核制,对关键控制点进行交叉验证,避免因仪器误差或操作失误导致测量结果失真,为箱梁预制拼装提供可靠的数据支撑^[3]。

3.4 成品保护质量控制

(1) 箱梁预制完成后需采取覆盖养护措施,初凝后立即覆盖土工布并喷洒养护剂,终凝后转入蒸汽养护阶段,升温速率 $\leq 10^\circ\text{C}/\text{h}$,恒温阶段保持内部温度 $50\pm 5^\circ\text{C}$ 且相对湿度 $\geq 90\%$,降温速率 $\leq 8^\circ\text{C}/\text{h}$,确保梁体内外

温差 $\leq 20^\circ\text{C}$,避免因温度应力导致混凝土开裂。养护期间严禁踩踏或堆放重物,防止梁体表面损伤或变形。

(2) 箱梁运输及存放过程中需采取防撞、防滑及防倾覆措施。运输前全面检查梁体,用橡胶护垫包裹梁端棱角,腹板两侧设可调节限位装置防横向位移。存放场地以级配砂石分层碾压,压实度不低于96%,基础顶面浇20cm厚C30混凝土垫层,支点与设计一致,支撑垫石用钢板与橡胶板组合,避免梁体变形开裂。(3) 支座安装完成后需安装防尘罩,防尘罩与梁体、墩台之间密封严密,防止杂物进入影响支座性能。定期检查支座滑移面润滑情况,及时补充专用硅脂润滑剂,确保活动支座在温度变化时能自由伸缩。对成品箱梁进行定期巡查,重点检查梁体挠度、裂缝及支座变形情况,建立巡查记录档案,对异常情况及时处理,确保箱梁长期使用性能稳定。

结语

综上所述,铁路桥梁简支箱梁预制拼装需以技术标准为核心,通过模具校准、材料控制、工艺优化实现预制精度;依托专用设备、三维定位、受力监控保障拼装质量。全过程质量控制需贯穿原材料检验、施工参数把控、测量复核及成品保护,确保各环节偏差在规范范围内。实践表明,严格执行上述技术要求,可有效提升梁体结构性能,为铁路桥梁的安全稳定运营奠定坚实基础,对类似工程具有重要借鉴意义。

参考文献

- [1]刘凯山.铁路桥梁大节段预制胶接拼装简支箱梁施工[J].价值工程,2024,43(26):165-168.
- [2]陈平.铁路桥梁大节段预制胶接拼装简支箱梁预制拼装施工[J].交通世界,2024(4):251-253.
- [3]魏超.铁路客运专线节段预制拼装箱梁施工线形控制技术研究[J].工程技术研究,2025,10(6):51-53.