

公路桥梁预制构件现场拼装施工技术难点与对策

郭 静

新疆交通投资(集团)有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要:公路桥梁预制构件现场拼装施工面临多重技术难点。主要难点包括精度控制要求高、拼装部位稳定性与防腐处理难度大等。为确保施工质量,需采取精细的测量与定位技术,严格施工质量控制体系。同时,加强基础处理,确保地基承载力,优化构件运输与支撑固定方式。防腐涂装施工需满足设计要求,强化安全措施。通过科学管理和技术创新,可有效应对施工难点,提升工程质量和施工效率。

关键词:公路桥梁预制构件;现场拼装;施工技术难点;对策

引言:在现代化公路桥梁建设中,预制构件现场拼装施工已成为一种高效、快捷的建设方式。然而,这种施工方式在实际操作中遇到了一系列技术难题,包括但不限于预制构件的精确制造与运输、现场拼装的精度控制、连接处的稳定性和耐久性问题,以及地基处理与线形保持等挑战。本文将深入探讨这些技术难点,并提出针对性的对策,旨在为公路桥梁预制构件现场拼装施工提供更加科学和高效的解决方案。

1 公路桥梁预制构件现场拼装施工概述

1.1 预制构件的种类与特点

(1)梁板、墩柱、桥面板等构件的介绍。梁板是桥梁上部结构的关键承重构件,常见的有简支梁、连续梁等,具有较强的抗弯能力,能有效传递桥面荷载。墩柱作为下部结构的重要组成部分,主要承受竖向荷载和水平力,起到支撑上部结构的作用,其截面形式多为圆形、矩形等。桥面板则直接承受车辆荷载,并将荷载传递给梁板,通常具有较好的平整度和耐久性。(2)预制构件的标准化与模块化设计。标准化设计使得预制构件的尺寸、规格等统一,便于批量生产和质量控制,降低了生产难度和成本。模块化设计则将桥梁结构划分为多个独立的模块,每个模块可在工厂预制完成,现场只需进行拼接,提高了施工的灵活性和效率,同时也有利于后期的维护和更换。

1.2 现场拼装施工工艺流程

(1)构件运输与堆放。运输选用适配车辆,用专用支架固定构件,避免磕碰变形,运输路线需验算通行能力。堆放场地需硬化平整,梁板采用两点支撑,墩柱垂直放置并设侧向稳定装置,不同型号构件分区存放,做好防雨防潮措施。(2)基础处理与拼装准备。基础需压实平整,软基地段采用换填或注浆加固,确保地基承载力达标。拼装前复核基础轴线和高程,清理构件连接

面,检查预埋件位置,调试吊装设备,备好螺栓、密封胶等连接材料。(3)拼装作业与连接技术。按“先下后上”顺序吊装,墩柱校正垂直度后固定,梁板精准对位并临时支撑。连接方式依构件类型选择:干接缝用密封条防水,湿接缝浇筑微膨胀混凝土,钢结构采用高强螺栓或焊接,保证连接强度与整体性^[1]。

1.3 预制拼装施工的优势与挑战

(1)缩短工期、提高质量等方面的优势。工厂预制与现场施工并行,可缩短约40%工期;车间生产环境稳定,构件质量可控,减少现场质量问题。湿作业减少,降低对周边环境的影响,符合绿色施工理念,且构件可批量生产,节约成本。(2)技术难点与施工管理挑战。技术上,构件运输易变形,拼装精度控制难,接缝处易渗漏;大跨度构件吊装对设备和工艺要求高。管理上,需协调设计、生产、施工进度,构件存储需规范,施工人员需专业培训,否则易出现衔接问题影响效率。

2 公路桥梁预制构件现场拼装施工技术难点分析

2.1 构件尺寸与精度控制难点

(1)预制构件尺寸偏差对拼装的影响。预制构件尺寸若存在偏差,会直接影响现场拼装的契合度。例如,梁板长度偏差可能导致拼接处出现缝隙或重叠,墩柱截面尺寸误差会使连接部位受力不均,进而降低结构整体稳定性。尺寸偏差还可能引发连锁反应,如后续构件安装困难,需额外进行切割或填补,不仅增加施工成本,还会削弱结构承载力。(2)精度控制要求与实现难点。精度控制要求构件的几何尺寸、位置偏差需控制在毫米级范围内,以满足拼接后的结构性能。但实现这一要求面临诸多难点:工厂生产中,模板变形、混凝土浇筑振捣不均等易导致尺寸偏差;运输过程中构件受力变形也会影响精度;现场测量仪器的精度局限及环境因素(如温度、振动)也会干扰测量结果,增加精度控制难度。

2.2 拼装连接技术难点

(1) 干接缝与湿接缝的选择与施工。干接缝适用于对整体性要求不高、施工速度快的场景,但对构件精度要求极高,接缝处易因受力产生渗漏。湿接缝能增强结构整体性,但混凝土浇筑后需养护,延长施工周期,且接缝处易出现裂缝,若振捣不密实还会影响连接强度,选择时需结合工程实际综合考量,施工中需严格控制接缝处理质量。(2) 高强螺栓连接与焊接连接的质量控制。高强螺栓连接需保证螺栓预紧力均匀,若扭矩不足或过大,会导致连接松动或螺栓断裂;螺栓孔位偏差会使安装困难,强行安装易产生附加应力。焊接连接受焊工技术、焊接环境影响大,易出现气孔、夹渣、裂纹等缺陷,焊接后的残余应力可能导致构件变形,需通过无损检测和应力消除处理保障质量^[2]。

2.3 基础处理与地基承载力问题

(1) 不同地质条件下的基础处理要求。软土地基需进行换填、排水固结等处理,确保地基沉降均匀;岩质地基要清除表面松散岩层,保证基础与岩层紧密结合;砂土地基则需防止振动导致的液化现象。不同地质条件对基础处理的工艺、材料要求差异较大,需针对性设计方案。(2) 地基承载力不足对拼装稳定性的影响。地基承载力不足会导致基础沉降过大,使预制构件拼装后产生附加应力,引发结构变形、接缝开裂。严重时可能导致桥梁整体失稳,威胁行车安全。尤其在拼装过程中,地基不均匀沉降会使构件安装位置偏移,增加校正难度,影响施工进度和质量。

2.4 施工变形与线形控制难点

(1) 混凝土收缩徐变、温度变化对施工变形的影响。混凝土在硬化过程中会发生收缩,长期使用中还会产生徐变,导致构件长度缩短、挠度增加。温度变化会使构件热胀冷缩,若约束不当,会产生温度应力,引发裂缝或变形。这些变形在拼装过程中相互叠加,影响结构线形和连接精度。(2) 线形控制要求与实现策略。线形控制要求桥梁的平面位置、高程、曲率等符合设计标准,以保证行车平顺性和结构受力合理。实现策略包括:采用高精度测量仪器实时监测,建立变形预测模型,提前调整构件安装位置;合理安排施工顺序,减少温度变化对测量的影响;对混凝土构件进行养护控制,减缓收缩徐变速度,确保线形符合要求。

3 针对公路桥梁预制构件现场拼装施工技术难点的对策

3.1 提升构件尺寸与精度控制的对策

(1) 优化模具设计与制作工艺。模具设计需结合BIM

技术建立三维模型,通过参数化设计实现构件尺寸的精准映射,同时预留合理的变形补偿量,应对混凝土收缩及温度变化带来的尺寸偏差。模具材料优先选用高强度合金钢材,采用整体焊接工艺替代拼接式结构,减少模具自身变形。对于曲线梁、异形墩柱等复杂构件,模具应增设可调节式定位销和支撑框架,允许 $\pm 2\text{mm}$ 范围内的精度微调。制作过程中,通过数控加工中心保证模具型腔的平整度误差 $\leq 0.3\text{mm/m}$,模板拼接缝采用坡口焊接后打磨处理,避免漏浆导致构件表面缺陷。(2) 加强构件生产过程中的质量控制。推行“工厂化预制全流程管控”模式,从原材料检验开始建立追溯体系:钢筋原材料需进行力学性能复试,焊接接头按每300个一组进行拉伸试验;混凝土采用预拌混凝土,进场时需检测坍落度及扩展度,同时留置标准养护试块和同条件养护试块。生产阶段采用自动化生产线,通过机器人布料、高频振动台振捣(振动频率控制在50-60Hz)确保混凝土密实度,振捣时间以表面泛浆无气泡逸出为准。构件成型后采用蒸汽养护,升温速率 $\leq 15^\circ\text{C/h}$,恒温阶段温度控制在 $60\pm 5^\circ\text{C}$,养护至设计强度的75%以上方可脱模。脱模后立即使用三维激光扫描仪进行尺寸检测,重点控制构件长度、截面尺寸及预埋件位置偏差,超标构件需进行修复或报废处理。

3.2 优化拼装连接技术的对策

(1) 选择合适的接缝类型与连接方式。根据结构受力特性选择接缝形式:简支梁桥可采用干接缝,配合榫槽结构和遇水膨胀橡胶条密封,接缝间隙控制在10-15mm;连续梁桥及抗震设防区段优先采用湿接缝,采用微膨胀混凝土浇筑,掺加聚丙烯纤维(掺量 0.9kg/m^3)减少收缩裂缝。连接方式需匹配构件类型:钢结构构件采用10.9级高强螺栓连接,螺栓孔径比螺栓直径大1-1.5mm,安装时采用扭矩扳手分初拧(50%设计扭矩)、终拧(100%设计扭矩)两步施工;预应力混凝土构件采用后张法连接,预留孔道位置偏差 $\leq 5\text{mm}$,压浆采用真空辅助压浆工艺,确保孔道饱满^[3]。(2) 加强连接部位的质量检测与维护。连接施工完成后实施“双控制”:高强螺栓连接需进行扭矩复拧检查,抽检数量不少于螺栓总数的10%,扭矩偏差不得超过 $\pm 10\%$;焊接连接采用超声波探伤检测,I、II类焊缝探伤比例分别不低于100%、20%,发现缺陷需及时返修。湿接缝混凝土需进行回弹法强度检测,龄期达到28d后强度不得低于设计值的100%。运营阶段建立连接部位定期巡检制度,每季度检查一次螺栓松动情况、焊缝锈蚀程度及接缝密封性能,发现螺栓松动立即复拧,锈蚀焊缝采用喷砂除锈

后重新涂装,密封胶老化部位及时更换,确保连接部位长期可靠工作。

3.3 加强基础处理与提高地基承载力的对策

(1) 根据地质条件制定个性化的基础处理方案。针对软土地基采用“排水固结+复合地基”处理方案:先铺设砂垫层(厚度50cm)和塑料排水板(间距1.5m,深度直达硬土层),然后进行真空预压,预压期不少于90d,确保地基固结度达到85%以上;对于浅层软土(厚度<3m),可采用换填法处理,换填材料选用级配砂石,分层碾压(压实度 $\geq 96\%$)。岩质地基处理重点在于清除表面风化层,采用爆破或机械凿除方式处理至新鲜岩层,然后设置50cm厚C20混凝土找平层,岩层与基础连接面采用植筋技术(植入深度 $\geq 10d$)增强整体性。对于液化砂土地基,采用振冲碎石桩处理,桩径800mm,桩间距2.0m,呈等边三角形布置,处理后地基承载力特征值需 $\geq 250kPa$ 。(2) 采用地基加固技术提升承载力。对承载力不足的地基,可采用高压旋喷桩加固,桩径600mm,桩长根据地质勘察结果确定,水泥掺量不低于30%,施工时控制提升速度15-20cm/min,旋转速度20-25r/min,确保桩体无侧限抗压强度 $\geq 2.5MPa$ 。对于桥头跳车隐患路段,采用注浆加固技术,通过袖阀管分段注浆,注浆压力控制在0.5-1.0MPa,浆液选用水泥-水玻璃双液浆(灰水比1:1,水泥与水玻璃体积比1:0.5),加固后地基承载力需提高30%以上。加固完成后进行平板载荷试验,每500m²不少于1点,试验结果需满足设计承载力要求^[4]。

3.4 施工变形与线形控制的对策

(1) 建立变形监测体系,实时调整施工方案。构建“三维实时监测系统”,在墩柱、梁体关键部位布设棱镜测点,采用全站仪进行全天候监测,数据采集频率为1次/h,监测精度达到 $\pm 1mm$ 。同时在梁体内部植入光纤传感器,监测混凝土温度场变化及应力分布。将监测数据传输至BIM平台,通过有限元分析预测结构变形趋势,当实际变形与理论值偏差超过5mm时,立即调整

拼装顺序:例如先拼装跨中梁段,再向两端对称延伸,减少累积变形。对于大跨度桥梁,采用“预抬量动态调整法”,根据实时监测数据每24h调整一次临时支撑高程。(2) 采用预拱度设置等技术抵消施工变形。根据设计计算的恒载挠度、混凝土收缩徐变及温度应力变形值,叠加设置预拱度,跨中最大预拱度按 $L/500$ (L 为跨径)控制,梁端预拱度为跨中的1/2,预拱度曲线按二次抛物线设置。预制梁生产时通过调节底模高程实现预拱度,安装时采用可调式临时支座(调节范围 $\pm 50mm$),根据监测数据分次调整。对于连续刚构桥,在悬臂拼装阶段采用“挂篮预压+分级张拉”工艺,每节段拼装完成后先进行1.2倍设计荷载预压,消除非弹性变形,再按0 $\rightarrow$ 25% $\rightarrow$ 50% $\rightarrow$ 100%的顺序张拉预应力筋,控制梁体线性偏差 $\leq 10mm$ 。施工完成后进行体系转换时,对称拆除临时支座,确保结构内力平稳过渡。

结束语

综上所述,公路桥梁预制构件现场拼装施工技术虽面临诸多挑战,但通过采用先进技术手段和科学管理措施,我们能够有效解决这些问题。未来,随着技术的不断进步和创新,预制构件现场拼装施工将迎来更多发展机遇。我们应持续关注技术前沿,加强技术研发与应用,不断提升施工质量和效率,为构建更加安全、耐久、环保的公路桥梁贡献力量。同时,也期待更多专业人士加入这一领域,共同推动行业发展。

参考文献

- [1]刘晨,张明.高速公路桥梁施工中预制构件现场拼装技术应用研究[J].公路交通科技,2020,36(8):108-110.
- [2]王晓东,李华.高速公路桥梁预制构件制作技术分析 with 优化[J].建筑科学与技术,2020,45(3):49-51.
- [3]孙衍,杨光强.桥梁预制拼装技术在城市密集区的应用与思考[J].上海公路,2021,(04):62-63.
- [4]许华,杨文江.公路桥梁预制构件施工质量控制研究[J].公路交通科技,2020,37(2):120-121.