

公路桥梁建设中的钢混组合梁施工技术

邱 豪

(四川川交路桥有限责任公司, 四川 广汉 618300)

摘 要 随着公路交通网络不断完善, 桥梁结构正向大跨径及装配化方向发展。钢混组合梁能够充分发挥钢材与混凝土材料受力优势, 具有结构自重轻、施工效率高等特点, 广泛应用于公路桥梁建设中。本文探讨了公路桥梁建设中的钢混组合梁施工技术, 借助工程施工技术分析法, 系统总结了钢混组合梁结构构成、施工流程及关键施工环节的重点, 旨在为提高桥梁施工质量提供参考。结果表明, 规范钢梁拼装精度、优化吊装定位并加强连接构造质量管理, 可有效保证钢混组合梁的施工质量。规范施工技术可提高桥梁整体施工质量, 为公路桥梁工程安全提供技术参考。

关键词 公路桥梁建设; 钢混组合梁; 钢梁节段拼装; 桥面板安装; 剪力连接件施工

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.16.015

0 引言

钢混组合梁是一种融合钢材与混凝土双重材料优势的新型结构形式, 凭借受力合理及耐久性佳等核心特点, 逐渐成为公路桥梁主梁选型的主流方案之一, 在高速公路等各类桥梁工程中得到广泛应用。现阶段, 公路桥梁钢混组合梁施工技术虽已形成相对完善的体系, 但随着桥梁建设场景日趋复杂, 如何优化施工工艺流程, 攻克复杂工况下的施工难题, 仍是行业内亟待深化研究的核心问题。

1 钢混组合梁的基本介绍

1.1 钢混组合梁的构成

钢混组合梁是一种借助剪力连接构件连接钢结构与混凝土结构, 形成整体受力体系的桥梁结构形式, 能够充分发挥钢材抗拉性能强、混凝土抗压性能优的材料特性, 进而在满足承载能力要求的基础上减轻结构自重。其由钢梁、钢筋混凝土桥面板及剪力连接构件等部分组成。其中, 钢梁是钢混组合梁结构的主要承重构件, 主要承担桥梁结构中的拉应力与弯矩作用, 分为工字形截面与槽形截面结构, 且钢梁间设置横梁, 用于增强主梁间的横向联系, 提高整体结构稳定性。部分桥梁结构中, 横梁间存在小纵梁, 以进一步加强桥面结构受力均匀性。钢筋混凝土桥面板是组合梁结构中承受车辆荷载的重要构件, 是在钢梁顶面浇筑而成, 内部配置预应力钢筋。钢梁与混凝土桥面板之间使用剪力连接件焊钉或开孔板连接件进行连接, 以限制钢

梁与混凝土间的相对滑移, 提高组合梁的抗弯刚度^[1]。

1.2 钢混组合梁的适用条件

从工程实践看, 该钢混组合梁适用于跨径较大或中等偏大的桥梁工程, 能够以钢梁作为主要受力构件, 明显降低桥梁结构重量, 保持较高的结构刚度。由于钢混组合梁结构的钢梁构件在工厂分段加工, 现场施工阶段主要以拼装、吊装作业为主, 湿作业较少, 其也适用于城市道路桥梁工程, 能够缩短施工周期, 减少施工期间对既有交通系统的影响。在跨越铁路、公路主干线等工程中, 桥梁施工需要减少对既有设施运行的干扰。而钢梁结构自重相对较小, 可采用分段拼装方式进行架设, 依赖支架程度较低, 也适用于跨越条件复杂或施工窗口期受限的工程环境。总体来看, 钢混组合梁结构主要适用于城市大跨径或较大跨径的公路桥梁工程, 以及对施工周期、交通影响要求较高的工程环境。合理选择结构形式并结合工程实际条件组织施工, 能够提高桥梁工程的施工效率, 减少对周边交通环境的影响^[2]。

1.3 钢混组合梁施工基本工艺流程

钢混组合梁施工属于装配化结合现浇施工的结构施工形式, 涉及钢结构加工、构件吊装、桥面结构施工等多个环节。施工单位在实施该类桥梁工程时, 需按照既定施工顺序组织各工序衔接。一般以钢梁加工与焊接剪力连接件为起始工序。首先, 在钢结构加工厂分段制造钢梁, 并在加工过程中按照设计位置焊接剪力连接件, 运输至施工现场。随后, 进入架设阶段,

作者简介: 邱豪 (1993-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 技术现场管理。

以履带吊、汽车吊或架桥机等大型起重设备吊装钢梁节段至桥墩位置,进行定位安装。安装钢梁结构后,进入桥面结构施工阶段,需根据设计要求,安装预制混凝土桥面板或现浇桥面板,并预留板间接缝区域,为浇筑混凝土做好准备。混凝土浇筑施工过程中,还需连接混凝土与剪力连接件,保证钢梁与混凝土桥面板间的组合受力。同时,进行养护,待混凝土结构强度满足施工条件后,进行预应力钢束张拉施工,改善桥梁结构受力状态。最后,拆除施工过程中设置的临时支架,形成完整的钢混组合梁桥梁结构。

2 钢混组合梁施工技术要点

2.1 钢梁节段拼装

在钢混组合梁施工中,钢梁节段拼装直接影响后续架设精度及桥梁整体线形。受运输条件限制,组合梁钢主梁多由专业钢结构加工厂分段制造,在经专用运输设备运至施工现场后完成节段拼装。施工单位在此过程中,应系统化管理拼装场地条件、拼装设备及连接施工等方面,确保钢梁拼装精度满足设计要求。其中,施工单位需选择地基稳定、地势平整的位置作为拼装区域,根据钢梁重量验算承载力,明确拼装场地地基承载力高于150 kPa,必要时加固地基,防止局部沉降影响后续的钢梁拼装精度^[3]。同时,控制场地平整度在5 mm以内,设置稳定可靠的拼装胎架,使用水准仪进行精确调整,使胎架标高与设计梁底线形一致,为精确定位钢梁提供支撑条件。钢梁节段拼装过程中,施工人员需复核梁段编号、制造尺寸以及连接部位加工质量,清理拼接面油污、锈蚀及杂物,利用全站仪测量钢梁轴线,确保节段间轴线偏差不超过2 mm,同时利用千斤顶微调梁段高程,控制节段间的纵向错台小于1 mm,横向偏差不超过2 mm,以保证钢梁整体受力均匀,减少结构应力。钢梁节段拼装连接分为高强度螺栓连接与现场焊接两种。若使用高强度螺栓连接,施工人员应按照摩擦型高强度螺栓施工工艺进行操作,先是选取摩擦面抗滑移系数在0.45以上的螺栓,然后采用扭矩法或转角法扭紧螺栓,按照“初拧—复拧—终拧”顺序分级紧固。若采用现场焊接方式,则控制焊接环境、焊接顺序及焊缝质量,并在焊后进行超声波检测,确保焊缝内部质量满足结构安全要求。对于连续梁结构,施工单位更要重点检查节段连接位置的标高是否符合设计要求,保证钢梁结构线形平顺,为后续桥面板施工奠定基础。

2.2 精准吊装钢梁

完成现场拼装后,即进入架设钢梁阶段。钢梁具有大自重、高构件刚度及受风影响明显等特点,因此,

施工单位需在吊装作业中充分分析构件重量、吊装半径及施工场地条件,根据钢梁单节段或整体梁段重量、吊装半径选择设备。若钢梁单节段重量在80~150 t范围时,施工单位要选用300~500 t级履带式起重机;若钢梁整体节段重量达到200 t以上,或跨越既有道路等复杂环境,则使用专用架桥机或多机抬吊方式进行架设。吊装前,施工单位还要检测支承地基承载力,要求地基承载力不低于200 kPa,并铺设钢板分散荷载,以避免吊装过程中发生不均匀沉降^[4]。同时,校核吊索具,明确钢丝绳安全系数大于6,且根据钢梁重心位置计算吊点。钢梁起吊后,保持匀速提升,使用导向绳控制梁体摆动幅度,吊装至设计高度附近后,慢速平移至墩顶位置,检测梁体轴线与桥梁中心线相对位置。当钢梁逐步接近支座时,施工人员应降低下降速度至每分钟0.2~0.3 m,以便精细调整位置。除此之外,施工单位还需在支座位置预先设置临时支撑结构,且在支座位置布置三向千斤顶等调节装置,以便微调钢梁的标高、轴线及倾斜角度,控制钢梁落位后的标高误差在±3 mm以内。针对跨径较大的组合梁结构,施工单位则进一步检测梁体横向倾斜度,调整支座垫板进行修正。钢梁落位后,检测人员应检查各支座反力,避免出现个别支座受力过大现象,必要时复核钢梁轴线位置、梁顶标高及纵向线形,比对设计控制值,确认各项指标符合规范要求,为后续钢筋混凝土桥面板施工提供平顺稳定的承重基础。

2.3 桥面板安装

桥面板是钢混组合梁结构中直接承受车辆荷载的重要组成部分。桥面板施工一般分为预制安装与现浇两种,其中预制桥面板安装广泛应用在城市桥梁及装配化桥梁工程中。该施工环节要求施工单位在精准架设钢梁后进行测量复核,明确安装顺序,使桥面板与钢梁形成稳定、可靠的受力体系。安装桥面板前,施工单位需系统检查钢梁顶面,清理钢梁顶面的焊渣、油污及杂物,并复核剪力连接件焊接质量,确认连接件位置、数量及焊接质量方面的设计要求,进而使用栓钉形式连接剪力连接件,控制器高度为80~120 mm,间距在150~300 mm范围内。焊接栓钉完成后,施工人员还应进行弯折试验,且在钢梁顶面铺设10~20 mm的找平层,使桥面板底面密贴钢梁,避免局部空隙影响结构受力。同时,施工单位还要结合钢梁结构受力特点确定合理的安装顺序,采用由跨中向两侧逐步推进的方式,进行安装。在吊装作业过程中,还需使用履带吊实施,确认桥面板吊点位置与板体重心,在吊装过程中利用导向绳控制摆动幅度。板体与钢梁接触

后, 施工人员检查板底与剪力连接件间的配合情况, 保证栓钉顺利穿入预留孔洞, 且在发现局部干涉时, 及时调整板体位置, 保证连接构造完整。完成桥面板安装后, 在相邻桥面板间预留宽度为 200 ~ 300 mm 的湿接缝, 并在板边预留钢筋或连接钢筋套筒, 用于后续混凝土浇筑时连接板间整体。在桥面板安装过程中, 施工单位更需实时监测钢梁结构状态, 定期检测钢梁挠度和支座反力变化情况, 进而在监测数据出现异常时, 调整施工顺序, 防止结构变形, 提升钢混组合梁桥梁结构的整体施工质量。

2.4 剪力连接件施工

剪力连接件在钢混组合梁结构中, 是连接钢梁与混凝土桥面板的主要方式, 能够通过剪力连接件传递界面剪力, 有效限制钢梁与混凝土板间的相对滑移, 提高组合梁结构的整体刚度。剪力连接件分为栓钉式连接件与开孔板连接件, 其中栓钉连接件应用最广泛, 一般为低碳钢材质, 直径多为 16 ~ 22 mm, 常见规格为 $\phi 19$ mm, 高度为 80 ~ 120 mm。连接时, 要以 150 ~ 300 mm 为纵向间距进行排布。在栓钉焊接过程中, 施工人员需严格控制焊接参数, 根据栓钉直径合理调整焊接中的焊接电流、电压及焊接时间, 确保充分熔合焊缝, 形成完整焊环。完成焊接后, 施工人员还要在焊缝周围形成高度高于 1 mm 的均匀焊接金属环^[5]。随后, 利用弯折试验抽检栓钉焊接质量, 保证栓钉能够弯曲至 30° 而不出现裂纹。在发现栓钉脱落、弯曲或焊缝缺陷时, 施工人员还应及时采用与原焊接工艺相同的设备及参数进行补焊, 若局部偏位较小但不影响结构受力, 则调整桥面板预留孔位置进行处理, 以避免影响整体施工进度。对于组合梁结构而言, 剪力连接件承担着传递界面剪力的重要功能, 直接关系到钢梁与混凝土桥面板是否形成组合受力体系, 更承担着为后续桥面混凝土浇筑创造良好施工条件的任务。

2.5 浇筑湿接缝

湿接缝是钢混组合梁桥面结构形成整体受力体系的重要连接部位, 通过浇筑预制桥面板以及桥面板与钢梁间的连接区域, 使其成为一个整体结构, 从而参与组合梁结构受力。进行湿接缝施工前, 施工单位需以 5 ~ 10 mm 深度为限, 凿毛处理预制桥面板边缘以及钢梁顶面混凝土接触区域, 使混凝土表面形成粗糙界面, 并确保粗骨料部分外露, 以增强新旧混凝土间的机械咬合作用。完成凿毛后, 施工单位清除松散颗粒及粉尘, 采用高压空气冲洗结合面, 保持表面的清洁湿润状态, 且清理钢梁顶面区域的油污及锈蚀, 保

证混凝土能够有效连接剪力连接件及钢梁表面, 以更好地提高组合结构的整体工作性能。同时, 施工单位一般采用钢模板或组合模板形式, 以吊模方式安装于桥面板底部, 形成封闭浇筑空间。湿接缝宽度通常为 200 ~ 300 mm, 在安装模板后, 施工单位还需复核连接钢筋, 确认钢筋搭接长度不小于钢筋直径的 30 倍, 保证接缝区域能够形成连续受力结构。为减少收缩变形并提高早期强度, 施工人员还应使用微膨胀、早强型配合比的湿接缝混凝土, 且适量掺入膨胀剂, 控制坍落度在 160 ~ 200 mm 范围内, 使其能够充分填充湿接缝区域, 包裹连接钢筋及剪力连接件。在浇筑过程中, 为防止混凝土自重对钢梁产生附加荷载, 施工人员要结合结构受力特点合理安排施工顺序, 按照由跨中向支点逐步推进的方式进行浇筑, 逐渐向支座区域传递荷载分布, 减少钢梁局部受力集中现象。在浇筑过程中, 还能运用插入式振捣器振捣, 充分密实混凝土。浇筑完成湿接缝混凝土后, 则需在混凝土初凝前抹平处理表面, 在混凝土终凝后覆盖湿麻袋或土工布, 保持持续洒水养护 7 d。若温度过高, 便适当延长养护时间, 减少产生混凝土早期收缩裂缝的可能, 提高公路桥梁结构的使用安全性。

3 结束语

钢混组合梁是现代公路桥梁结构体系的重要形式, 其施工质量在很大程度上取决于施工环节的技术水平。“中国智慧桥梁 2025” 树立了桥梁发展新理念 “可持续发展、绿色施工制造, 质量至上、重视耐久性, 全寿命经济性, 重视概念、美学设计。” 在该发展理念的引导下, 钢混组合梁施工既需关注结构安全, 更需要在施工全过程中强化质量管理, 以持续提升组合梁结构的工程品质, 从而推动公路桥梁建设向安全、耐久与高品质方向发展。

参考文献:

- [1] 黄祥. 上跨桥钢混组合梁顶推施工关键技术研究 [J]. 城市道桥与防洪, 2025(12):212-216.
- [2] 曹卫军. 钢混组合梁高位顶推施工技术探讨 [J]. 四川建筑, 2025, 45(05):75-77, 81.
- [3] 杨丰聚. 钢混组合梁跨越既有高速公路安装工艺 [J]. 江苏建筑职业技术学院学报, 2025, 25(03):39-45.
- [4] 卢球星. 钢混组合梁桥施工控制技术研究 [J]. 工程技术研究, 2025, 10(16):84-86.
- [5] 朱慧明, 侯清, 王进, 等. 高速公路钢混组合梁吊装施工节段划分技术探讨 [J]. 山西建筑, 2025, 51(09):130-134.