

高架桥钢混组合梁施工工艺优化与受力性能研究

彭天赐 余乾 周勇鸿

浙江交工集团股份有限公司 浙江 杭州 311300

摘要：本文聚焦于高架桥钢混组合梁施工工艺优化与受力性能研究。首先阐述了钢混组合梁在高架桥建设中的应用优势与现状，接着深入分析了传统施工工艺存在的问题，进而提出针对性的优化措施，包括预制拼装技术改进、连接节点优化等方面。同时，分析了钢混组合梁的受力性能。期望为高架桥钢混组合梁的设计与施工提供理论依据和实践参考。

关键词：高架桥；钢混组合梁；施工工艺优化；受力性能

1 引言

随着城市化进程的迅猛推进，城市交通拥堵问题日益严峻，高架桥作为缓解交通压力的关键工程结构，其建设规模不断扩大。钢混组合梁凭借钢材高抗拉强度与混凝土良好抗压性能的优势互补，具备自重轻、承载能力高、施工速度快等显著特点，在高架桥建设中展现出巨大的应用潜力。然而，当前钢混组合梁的施工工艺仍存在诸多不足，影响了施工效率与工程质量，同时其受力性能的深入研究对于保障桥梁的安全性和耐久性至关重要。因此，开展高架桥钢混组合梁施工工艺优化与受力性能研究具有重要的现实意义。

2 钢混组合梁在高架桥建设中的应用优势与现状

2.1 应用优势

钢混组合梁在高架桥建设中应用优势显著：一是结构性能优越，结合钢材抗拉与混凝土抗压优势，提高承载能力和刚度，减小截面尺寸，降低自重；二是施工速度快，可工厂预制、现场拼装，保证构件质量精度，减少现场工作量，缩短施工周期，减少对交通和环境影响；三是抗震性能好，有较好延性和耗能能力，柔性连接节点适应地震变形；四是经济效益显著，虽初期造价高，但施工快、自重小，可降低相关费用，且维护成本低。

2.2 应用现状

近年来，钢混组合梁在高架桥建设中得到了广泛应用。在国内，许多大城市的高架桥项目都采用了钢混组合梁结构，如上海的南北高架、北京的西直门立交桥等。以上海南北高架为例，其部分路段采用了钢混组合梁结构，跨度最大达到了60m，有效缓解了城市交通压力。然而，目前钢混组合梁的施工工艺还存在一些问题，如预制构件的精度控制、现场拼装的连接质量等，影响了钢混组合梁的推广应用。同时，对于钢混组合梁在不同荷载工况下的受力性能研究还不够深入，需要进

一步加强。

3 施工工艺优化措施

3.1 预制拼装技术改进

(1) 建立统一的预制标准：制定详细的钢梁预制标准，包括构件的尺寸精度、表面平整度、预留孔洞位置等要求。规定钢梁的长度偏差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内，宽度偏差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内，高度偏差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内；混凝土板的厚度偏差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内，表面平整度偏差控制在 $2\text{mm}/\text{m}$ 以内^[1]。要求预制厂家严格按照标准进行生产，并建立质量追溯体系，确保每个构件的质量可追溯。在构件上设置唯一的标识码，记录构件的生产日期、原材料批次、生产工人等信息，以便在出现问题时能够及时追溯。

(2) 采用先进的加工设备：引进高精度的数控加工设备，提高预制构件的加工精度。例如，采用数控火焰切割机对钢材进行切割，切割精度可达 $\pm 0.5\text{mm}$ ；采用高精度的数控折弯机对钢材进行折弯，折弯角度偏差控制在 $\pm 0.5^\circ$ 以内。对于混凝土板的浇筑，采用高精度的模板，模板的平整度偏差控制在 $1\text{mm}/\text{m}$ 以内，保证构件的尺寸精度和形状质量。

(3) 加强预制构件的质量检测：在预制过程中，加强对构件的质量检测。采用三坐标测量仪等先进的检测设备，对构件的尺寸精度进行检测，检测精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$ 。对于钢材的焊接质量，采用超声波探伤、磁粉探伤等方法进行检测，确保焊缝内部无缺陷。对于混凝土板，采用回弹仪、超声波检测仪等设备检测混凝土的强度和内部质量。对于不合格的构件，及时进行返工或报废处理，确保进入现场的预制构件质量合格。在某高架桥项目中，通过加强质量检测，预制构件的合格率从原来的80%提高到了95%以上。

3.2 连接节点优化

(1) 研发新型连接方式：针对传统连接方式存在的问题，研发新型的连接方式。例如，采用自锁式螺栓连接，通过螺栓的自锁功能，提高连接的可靠性和稳定性。自锁式螺栓在拧紧后，能够自动锁紧，防止螺栓松动。在某工程中，采用自锁式螺栓连接后，螺栓松动的比例降低到了1%以下。同时，采用高强度胶粘剂连接，增强钢材与混凝土之间的粘结性能。高强度胶粘剂的粘结强度可达15-20MPa，能够有效提高连接节点的承载能力。

(2) 优化连接节点设计：对连接节点进行优化设计，提高节点的承载能力和抗震性能。例如，增加连接节点的钢板厚度，将钢板厚度从原来的12mm增加到16mm，提高节点的刚度和强度。设置加劲肋，在连接节点处设置横向和纵向加劲肋，增强节点的局部稳定性^[2]。采用柔性连接方式，如橡胶支座连接，允许节点在地震作用下产生一定的变形，吸收和耗散地震能量。在某高架桥项目中，通过对连接节点的优化设计，节点的极限承载能力提高了20%以上。

(3) 严格控制连接施工质量：在连接施工过程中，严格按照施工工艺要求进行操作。对于焊钉连接，控制焊接电流、焊接时间等参数，焊接电流控制在180-220A，焊接时间控制在0.8-1.2s，确保焊钉与钢材之间焊接牢固。对于螺栓连接，采用扭矩扳手控制螺栓的拧紧力矩，拧紧力矩根据螺栓的规格和设计要求进行精确控制，保证螺栓连接的质量。在某工程中，通过严格控制连接施工质量，连接节点的合格率达到了100%。

(4) 钢板和混凝土之间连接施工优化：在涉及钢板与混凝土连接的工程中，为进一步提升连接质量，需对连接施工进行优化。特别是在混凝土浇筑环节，采用吊模工艺是一种有效措施。吊模能够精准控制混凝土浇筑的范围和高度，确保混凝土均匀、密实地填充在钢板周边，避免出现空洞、蜂窝麻面等质量缺陷。在吊模安装过程中，要保证模板的平整度和垂直度，模板与钢板之间的缝隙需采用密封材料进行封堵，防止混凝土浇筑时漏浆。同时，合理控制混凝土浇筑速度和振捣方式，采用分层浇筑、分层振捣的方法，每层浇筑厚度不宜超过300mm，振捣棒插入下层混凝土深度不小于50mm，确保混凝土充分振捣密实，使钢板与混凝土之间形成良好的粘结，提高连接节点的整体性能。

3.3 施工组织优化

(1) 合理安排施工工序：根据钢混组合梁的施工特点，合理安排施工工序，优化施工流程。例如，在钢梁吊装完成后，及时进行临时支撑的安装，确保钢梁的稳定性。临时支撑采用可调节的钢管支架，能够根据钢梁

的标高进行精确调整。在混凝土板安装前，对钢梁表面进行清理和处理，采用喷砂除锈的方法，将钢梁表面的锈蚀和油污清除干净，然后涂刷防腐涂料，提高混凝土与钢材之间的粘结性能。

(2) 加强施工协调管理：建立高效的施工协调管理机制，加强各专业和工种之间的沟通与协作。定期召开施工协调会，每周召开一次施工协调会，及时解决施工过程中出现的问题。建立信息共享平台，各参建单位可以通过平台及时了解施工进度、质量情况等信息，确保施工顺利进行。

(3) 采用信息化施工技术：利用信息化技术，对施工过程进行实时监控和管理。例如，采用BIM技术进行施工模拟，在施工前对钢混组合梁的施工过程进行三维模拟，提前发现施工过程中可能出现的问题，如构件碰撞、施工空间不足等，并及时进行调整。采用传感器技术对构件的应力、变形等进行实时监测，在钢梁和混凝土板上安装应力传感器和位移传感器，实时采集数据并传输到监控中心，及时掌握结构的受力状态。当应力或变形超过设定值时，系统会自动报警，提醒施工人员采取措施。

3.4 质量控制体系完善

(1) 建立健全质量管理制度：制定完善的质量管理制度，明确各参建单位的质量责任和义务。建立质量检查制度，对预制构件的生产、现场拼装等环节进行定期检查和不定期抽查。建立质量验收制度，对每一道工序进行严格验收，只有验收合格后才能进行下一道工序的施工。

(2) 加强人员培训：对施工人员进行专业技能培训，提高其质量意识和操作水平。定期组织质量培训和技术交流活动，每月组织一次质量培训，邀请专家进行授课，使施工人员熟悉施工工艺和质量标准。对培训效果进行考核，考核合格后方可上岗作业。

(3) 强化质量监督：加强对施工过程的质量监督，邀请第三方质量检测机构对工程质量进行抽检。第三方质量检测机构按照相关标准和规范对预制构件、连接节点等进行检测，出具检测报告。对于发现的质量问题，及时下达整改通知，要求施工单位限期整改，确保工程质量符合要求。

4 钢混组合梁受力性能研究

4.1 高架桥钢混组合梁的受力机理

4.1.1 组合作用原理

钢混组合梁的组合作用是通过剪力连接件将钢梁和混凝土桥面板连接成一个整体，使两者在受力过程中能

够协同变形、共同工作。当桥梁受到荷载作用时，钢梁和混凝土桥面板之间会产生相对滑移趋势，剪力连接件则通过自身的抗剪能力阻止这种滑移，从而将钢梁和混凝土桥面板连接在一起。在组合作用下，钢梁和混凝土桥面板的应力分布更加合理，结构的承载能力和刚度得到显著提高。

4.1.2 内力分布特点

在竖向荷载作用下，高架桥钢混组合梁的内力分布具有一定的特点。弯矩主要由钢梁和混凝土桥面板共同承担，但由于钢材的弹性模量大于混凝土的弹性模量，钢梁承担的弯矩比例相对较大。剪力则主要通过钢梁腹板和剪力连接件传递，混凝土桥面板在剪力传递过程中也起到一定的作用^[3]。在水平荷载作用下，如地震作用或风荷载，钢混组合梁的内力分布会更加复杂，需要考虑钢梁和混凝土桥面板之间的相互作用以及结构的整体稳定性。

4.2 高架桥钢混组合梁在不同荷载作用下的力学响应

4.2.1 恒载作用下的力学响应

恒载是高架桥钢混组合梁长期承受的主要荷载之一，包括结构自重、桥面铺装、附属设施等重量。在恒载作用下，钢混组合梁会产生一定的变形和应力。由于恒载作用相对稳定，结构的变形和应力也会逐渐趋于稳定。在设计过程中，需要准确计算恒载的大小和分布，合理确定钢梁和混凝土桥面板的截面尺寸和配筋，以确保结构在恒载作用下的安全性和耐久性。

4.2.2 活载作用下的力学响应

活载是指车辆、行人等在桥梁上行驶或停留时产生的荷载。活载的大小和分布具有随机性和动态性，对钢混组合梁的力学响应影响较大。在活载作用下，钢混组合梁会产生较大的应力和变形，尤其是弯矩和剪力。为了准确分析活载作用下的力学响应，通常采用有限元分析方法，建立钢混组合梁的数值模型，考虑活载的不同工况和组合情况，计算结构的应力、变形和内力。同时，还需要根据桥梁的设计规范，对活载效应进行组合和放大，以确保结构在活载作用下的安全性。

4.2.3 温度荷载作用下的力学响应

温度变化会引起钢混组合梁的热胀冷缩，从而产生温度应力。由于钢材和混凝土的热膨胀系数不同，在温度变化时，钢梁和混凝土桥面板之间会产生相对变形，

导致剪力连接件承受额外的剪力。在高温季节，钢梁和混凝土桥面板都会膨胀，但由于钢梁的膨胀系数较大，其膨胀量会大于混凝土桥面板，使钢梁受到约束，产生压应力，而混凝土桥面板则受到拉应力。在低温季节，情况则相反^[4]。温度荷载对钢混组合梁的影响较大，尤其是在大跨度桥梁中，温度应力可能会成为控制结构设计的关键因素。因此，在设计过程中，需要充分考虑温度荷载的作用，采取合理的构造措施，如设置伸缩缝、温度调节装置等，以减小温度应力对结构的影响。

4.2.4 地震荷载作用下的力学响应

地震是一种突发的自然灾害，对高架桥钢混组合梁的安全性构成严重威胁。在地震作用下，钢混组合梁会产生较大的惯性力，导致结构产生较大的位移和变形。地震荷载的作用具有复杂性和不确定性，其大小和方向难以准确预测。为了研究钢混组合梁在地震荷载作用下的力学响应，通常采用动力时程分析方法，输入地震波记录，计算结构在不同地震强度下的动力响应。同时，还需要考虑钢混组合梁的抗震性能，如延性、耗能能力等，通过合理的结构设计和抗震构造措施，提高结构的抗震能力。

结语

本文通过对高架桥钢混组合梁施工工艺优化与受力性能研究得出结论：传统施工工艺存在预制构件精度低、拼装连接质量不稳、周期长、质控难等问题，采取预制拼装技术改进等措施可提升施工效率与质量；优化后的组合梁受力性能良好，恒载和活载下应力分布均匀、变形小，极限承载时延性佳。展望未来，将进一步研究新型连接方式，考虑环境因素影响，结合智能建造技术开发智能化设备系统，并开展不同地质条件和桥梁形式下的应用研究。

参考文献

- [1]王斐度.公路桥梁引桥钢混组合梁施工技术分析[J].交通世界,2025,(07):135-137.
- [2]李科,陶忠.某高架桥工字型钢混组合梁桥面板施工[J].中国水运(下半月),2019,19(20):198-199.
- [3]徐明华.高架桥大跨度钢混组合梁吊装技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(35):138-141.
- [4]李永光.钢箱梁钢混组合梁桥扭转效应关键参数敏感性分析[J].工程与建设,2025,39(02):355-358.