

浅谈高速公路钢箱梁安全吊装与施工技术分析

文 / 林到本 广东省南粤交通仁新高速公路管理处

摘要: 为加强交通网络建设, 带动区域经济发展, 在高速公路建设领域, 钢箱梁凭借其优越性能在大跨径桥梁工程中得到广泛应用。本研究结合国内某高速公路工程的工程实践, 对钢箱梁吊装施工技术和安全管理措施展开深入探究, 指出其中分段方式选择、施工准备以及梁段吊装、现场焊接等技术要点, 围绕技术实施、人员管理、临时用电、高空作业和应急管理提出针对性的安全管理措施, 旨在保证工程投入使用后的整体性能, 为其他工程实践提供参考借鉴。

关键词: 高速公路; 钢箱梁; 吊装施工; 安全管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.061

引言

随着我国高速公路网络的不断完善, 跨越江河、峡谷、既有道路的大型桥梁日益增多。在此类高速公路匝道桥施工过程中, 钢箱梁因具有跨度大、强度高、自重轻、施工周期短等优势, 得到了广泛应用。但在实际的施工技术操作中, 发现吊装作业中存在技术要求严、作业风险高等问题, 对此, 需对吊装施工技术和安全保障措施进行深入分析。

一、工程概况

某高速公路工程枢纽互通设置 B 匝道桥与 E 匝道桥上跨临近高速公路主线。B 匝道斜跨临近高速主线上方 (夹角 8 度), 跨径 50m, 采用分离式主线桥设计, 在上部构造第 29-32/34-38 孔应用 30m 简支小箱梁, 第 33 孔应用 50m 钢箱梁。下部构造则采用“钢盖梁+实心方墩+承台+群桩基础”构造, 在本工程的钢箱梁施工中, 应用 Q345C 钢板完成加工, 在两端设置厚 16mm 的顶板、18mm 的腹板、20mm 的底板, 中间设置厚 16mm 的顶板、16mm 的腹板、24mm 的底板。顶板设置厚 8mm 的 U 型加劲肋, 底板与腹板则设置厚 12mm 的 I 型加劲肋。在钢箱梁施工中, 采用工厂分段加工、现场大型起重机械结合支架法安装的方式, 按照 B 匝道桥钢箱梁纵向分五块、纵向分三段, E 匝道桥钢箱梁纵向分四块、纵向分五段的方式, 在工厂完成加工制作与涂装, 在现场实施规范的安装操作。

二、高速公路钢箱梁吊装施工技术

(一) 施工准备

1. 测量放样

按照《工程测量标准》(GB50025-2020) 规范要求, 钢箱梁吊装前, 对各个桥支墩基础中心线及高程进行复测, 确保误差控制在 4mm 以内; 经工程监理师签字确认后, 有序推进后续工作。根据现场实际情况, 采用全站仪完成支撑体系定位, 在路面上用红色油漆清晰标注钢箱梁中心线投影, 分别控制直线段梁测设点间距为 12m~16m、曲线段梁测设点间距为 5m, 并安排专人检

查复核测设点位。严格依据支撑体系布置图, 沿纵向在路面上精确确定每组支撑体系位置, 使用水准仪对支撑体系柱脚实施找平, 并配置斜垫板。

在支撑体系的上部控制中, 依据控制点坐标, 应用全站仪在支撑体系横梁上完成道路中线点、钢盖梁、钢箱梁分段处中心线投影点及左右边点返投, 并根据中心线完成横向分段尺寸投影线返投, 应用油漆等设置明确标识。在支撑体系的高程控制中, 从支撑体系底座开始, 观测底座高程的相对高差, 应用高差法调整支撑体系底座, 同时依据箱梁底板外表面高度要求调整横梁牙板高度。在钢箱梁安装施工中, 针对支撑体系开展持续性的沉降观测, 一旦发现沉降超差, 则及时采取措施控制沉降^[1]。

2. 试吊

综合考虑本工程钢箱梁重量及实际工况, 吊装作业选用 220t 全地面起重机实施单台吊装。施工准备阶段需根据构件重量与空间位置实施试吊。

选择平整坚实的场地, 结合有利天气, 清除起重臂起落及回转半径内障碍物, 进行空载试验, 确保机构运转灵活、安全控制装置灵敏有效、仪表与信号显示正常。按 100% 额定荷载进行满载试验, 重点检查提升、回转、变幅等系统运行状态。最后实施 110% 额定荷载的超载试验, 设定 20cm 起升高度, 保持重物悬空停留时间不少于 10 分钟, 全面检测提升、回转、变幅等关键环节, 确认无异常后方可正式进行吊装作业。

(二) 梁段吊装

在公路两侧进行汽车吊吊装作业时, 须严格遵循交通组织方案要求, 协调落实好交通疏导。务必强化吊装参数控制, 确保吊装区域地基承载力不低于 338kpa, 水平横坡与纵坡分别控制在 0.5% 和 5% 以内。在汽车吊支腿下方铺设 2m×2m×0.02m 钢板, 保障吊装全过程的稳定性。同时于钢箱梁两端设置 20m 牵引绳, 配合人工操作及小型牵引滑轮等设备, 精准调整钢箱梁吊装姿态。

为调整钢箱梁线型, 确保中心轴线与设计方案保持

一致，按照如下步骤完成接口粗匹配，并控制标准桥轴线偏位不超过 2mm，板的错台低于 15mm，焊缝宽度偏差在 2mm 以内。

(1) 调整梁段斜率与高度，确保顶板中轴线区域保持基本平齐后，完成两侧匹配件的螺栓连接。(2) 调整梁段高度，确保顶板 U 型肋保持平齐，而后对吊装梁段的前后点标高进行测量，保证其满足设计要求。(3) 对梁段底板的缝隙进行检查，根据预拼状况进行调整，保证匹配件密贴或者焊接间隙低于 15mm。如果在这一环节发现主控点标高与接口底板匹配存在矛盾，则在调整钢箱梁线型中需要兼顾线型和焊接缝隙，完成相互勾借。(4) 应用千斤顶使待匹配箱口主腹板保持平齐。(5) 对标高进行复测，合格后连接其他配件，对桥轴线进行测量。

在焊接前进行接口精匹配，调节节段标高、预拱度及横坡度，确保接口面板高差不超过 0.5mm，严格遵循“先硬约束、后弱约束”顺序调整接口匹配度，保证腹板与顶板交界处高差符合标准，随后调整底板与顶板、悬挑板的接口匹配精度^[2]，精匹配过程中，采用千斤顶压平接口进行精调，并辅以马板固定实现精匹配目标。

在钢箱梁吊装的全过程中，细致检查各种起重设备和工具，依据不同梁段的重量选择适宜的吊索具。在起吊环节，控制起吊钢梁的钢丝绳与钢箱梁顶板夹角小于 60°，严禁在钢箱梁起吊中使其长时间悬挂在高空。当钢箱梁吊装高度达到 100mm ~ 300mm 时，对吊钩、钢丝绳和吊耳进行检查，在确保无异常且钢箱梁整体稳定后继续起吊。

(三) 现场焊接

钢箱梁拼装完成后，按国家规范逐缝检查接口尺寸，对超出规范允许范围的缝口进行打磨修整。待所有缝口满足规范要求后彻底清理工作面，随即正式施焊。本工程现场焊接施工涵盖顶板纵向对接焊缝、顶板横向对接焊缝、底板纵向对接焊缝、底板横向对接焊缝、腹板横向对接焊缝，以及横隔板与嵌补段焊接。整体焊接工程量大，且钢箱梁主要采用 Q345C 钢板，焊接质量要求严格。因施工以高空作业为主，经综合研判，选用 CO₂ 气体保护焊与埋弧自动焊进行焊接。

根据不同焊接要求、焊接位置及障碍环境，选用质量合格、性能优良的焊材与辅材，严格按规范在焊接前烘干焊条，并采用纯度不低于 99.5% 的 CO₂ 作为保护气体。为确保现场焊接质量，应选择气候干燥、无风的天气实施焊接；若现场风速过大或需在雨天施工，须搭建防风棚或临时工作棚，并配备除湿设备。针对箱梁腹板与顶板、支座横隔板与顶板、底板、腹板、支座支承加劲肋与横隔板、底板、顶板板肋与顶板等部位的焊缝，均采

用全熔透角焊缝；普通隔板与顶板、底板、腹板的焊缝则采用部分熔透角焊缝。焊接 U 型肋嵌补段时，应采用 CO₂ 气体保护焊并精确控制焊接电流。进行多层多道焊时，须彻底清除各层各道间的熔渣。焊接完成后，对 I 级、II 级焊缝应在 24 小时内进行无损探伤检测，严格按标准处理焊缝缺陷，详细记录返修情况以备后续复检^[3]。

三、高速公路钢箱梁吊装安全管理措施

(一) 安全技术保证措施

本工程在规范实施钢箱梁吊装技术操作期间，为确保安全管理有序进行，以完善的安全生产管理制度和安全管理领导小组为基础，从技术层面出发，综合运用 BIM 技术和 GIS 技术，整合现场地形、地质、环境等信息，模拟分析不同工况下设备受力、钢箱梁变形情况，提前识别潜在风险。在 BIM 模型中接入传感器，将数据同步至可视化平台中，一旦发现参数超出限值，则会自动发出预警，实现“模拟—监测—预警—处置”的闭环管理。与此同时，在交通围蔽实施过程中，根据施工划分为北行区域吊装、南行区域吊装及钢箱梁吊装三个阶段。兼顾围蔽措施的安全性及经济性，在各阶段封闭最后一日，于匝道桥钢箱梁作业影响区域内保留最外侧车道，供社会车辆在北行封闭结束后临时通行，其余车道则实施封闭。此举旨在提前完成阶段三的交通围蔽，实现阶段二与阶段三的无缝衔接，通过平行施工缩短工期，同时在全封闭条件下完成道路围蔽，切实保障施工安全。

(二) 人员安全管理

针对所有进入现场的管理人员和施工人员，组织系统性安全教育工作，重点结合钢箱梁吊装专项方案中的安全风险与隐患防控要点^[4]。为所有进场人员配备内置 UWB 定位模块、心率传感器及语音对讲功能的安全帽，并在施工现场清晰划分警戒区、作业区与禁止区。该安全帽能在人员进入禁止区或靠近危险源时自动触发声光报警，同时向管理人员发送预警信息，并通过语音对讲功能提醒人员立即撤离。鉴于工程安全风险存在隐蔽性，项目全过程引入“智慧眼”安全监测系统，借助高清摄像头与 AI 智能分析技术，实时捕捉施工区域的违规异常情况，通过即时弹窗提醒监控人员，从而显著提升安全管控的精准度。

(三) 临时用电安全管理

考虑到高速公路钢箱梁吊装施工对临时用电的需求，从安全角度出发，严格依据临时用电施工组织设计布置施工用电，强化保护系统配置，确保满足三级配电、两级保护要求。在配电箱及开关箱内安装智能电表、漏电保护器和电流互感器，实时监测线路电压、电流、功率及漏电电流等参数，并将数据上传至用电管理平台；当

出现过载（电流超过额定值 10%）、漏电（漏电电流 > 30mA）或短路等故障时，系统自动切断电源，并将故障位置与原因（如“3# 配电箱漏电，可能因电缆破损”）实时推送至电工手机端。针对用电设施定期开展安全检查，及时发现火花、短路、发热及绝缘损坏等问题并立即整改。进入雨季后，应定期检查各类物资的防潮防水情况，并安排人员在降雨期间进行值班巡查。施工现场的用电管理必须严格规范，同时需备齐防雨设备。应加强人员培训，提升其在雨天作业时的自我保护与应急处置能力。雨后复工前，必须对机械、地面、临时用电等环节进行专项检查，确保安全后方可恢复作业。

（四）高空作业安全管理

出于对钢箱梁吊装高空作业安全风险的考量，此环节安全管理严禁高血压、心脏病、贫血等疾病患者参与高处及架设作业。高处作业人员必须正确佩戴安全帽、系牢安全带并穿好防滑鞋。悬空作业点应依据实情设置防护栏或栏杆等安全设施，高空作业正式启动前需全面检查各项防护装置。严禁在雨雪天气或支架顶面结冰湿滑条件下进行高空作业。

（五）起重作业安全管理

起重作业人员必须接受专业培训，并持有相应资格证书方可上岗。在进行吊装操作时，必须严格遵循安全技术规范，尤其要遵守“十不吊”原则。指挥人员需熟练掌握各类信号，确保发出的指令准确无误且清晰明了。作业开始前，指挥员应与起重机司机商定使用的信号类型，并在作业过程中保持一致；若需更改信号，必须先停机，双方沟通确认后再进行调整。指挥者应始终处于司机视线或听觉范围内，避免进入视觉盲区或隔音区域。钢丝绳须排列整齐，末端牢固固定，作业期间至少保留三圈以上余量。起重机停止作业后，应立即放下起吊物体，同时刹紧制动器，将操纵杆归至空档位置，并确保门窗关闭上锁。施工现场周边排水须保持通畅，防止构件区域积水及泥土污染。雨天进行吊装作业时，务必先检查吊机稳定性，进行试吊，并扩大警戒范围，警惕构件表面湿滑可能带来的风险。

（六）现场应急处置

针对本工程潜在的安全事故风险，依据《中华人民共和国安全生产法》《建设工程安全生产管理条例》及《国务院关于特大生产安全事故行政责任追究的规定》等相关要求，结合工程实际，构建如下应急组织体系，该体系清晰界定应急领导小组职责，规范应急处置流程，并针对起重伤害、机械伤害、物体打击伤害、火灾伤害、

触电伤害等典型事故类型，提出专项处置措施，从而快速响应各类突发安全事故。

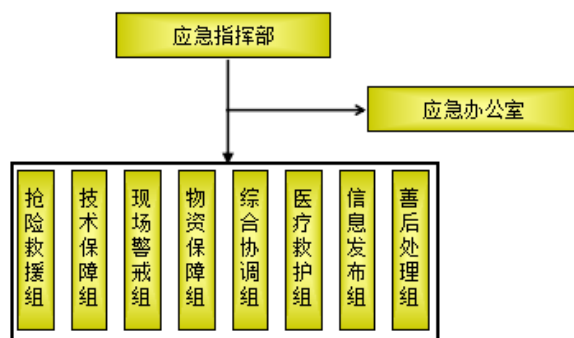


图 1 应急组织机构

如遇突发安全生产事故，现场第一发现人须立即向负责人和现场安全员报告，同时通过呼喊等方式通知其他作业人员紧急避险，接到预警后，负责人与现场安全员需迅速组织人员撤离，并在条件允许的情况下切断危险源，密切跟踪事故进展。此外，应立即将情况上报至应急指挥部办公室，总指挥赶赴现场掌握情况，并同时启动制定的应急预案，召集应急小组制定处理方案，组织临时交通疏导，并根据应急响应级别联系相关部门协同配合，共同商讨处理方案。各救援组在做好安全防护措施后，应按分工开展行动，包括疏散影响区域内的相关人员、救治并护送伤员，同时收集事故信息以供调查使用。

结语

综上所述，在高速公路钢箱梁施工技术操作与管理实践中，既要从技术层面上强调技术实施的专业性，落实规范的技术操作，还要从安全层面上剖析施工过程的安全风险，从不同维度出发，建立全面的安全管理体系，在施工全过程贯彻安全第一、质量为本的理念，未来还可在钢箱梁安全吊装施工中引入智能化技术，推动高速公路桥梁工程与时俱进发展。

参考文献

- [1] 何政. 钢箱梁斜跨既有有线分段吊装施工技术分析[J]. 价值工程, 2025, (6): 133-135.
- [2] 谢宁, 李雄辉, 徐建青, 等. 匝道钢箱梁桥分段支架吊装施工技术探讨[J]. 山西建筑, 2025, (7): 166-170.
- [3] 赖炳斌. 公路工程钢箱梁吊装上跨既有公路施工安全[J]. 四川建材, 2024, 50(9): 172-173, 179.
- [4] 杨文. 钢箱梁制造及吊装施工技术研究[J]. 石油工程建设, 2024, 46(4): 129-131.

作者简介：林到本，男，1983.05.01，广东饶平，汉，本科，初级，研究方向：路桥方向。