

高速公路大跨度变截面波形钢腹板 PC 组合梁关键施工技术研究

叶安密

湖北交投建设集团有限公司交通工程分公司 湖北 武汉 430000

【摘要】：针对大跨度变截面波形钢腹板 PC 组合梁施工中截面参数动态变化、钢腹板安装精度差、钢混协同难度大、线形应力控制难等问题，分析截面变化、钢腹板对接、材质差异等核心影响因素。提出变截面钢腹板空间姿态精密调控、分段浇筑、线形与应力同步控制三项改良技术。工程实践表明，改良工艺可有效控制施工偏差，提升拼装精度与成型质量，改善受力性能与耐久性，为同类桥梁施工提供技术支撑。

【关键词】：波形钢腹板；变截面组合梁；大跨度桥梁；施工技术；线形控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.060

引言

波形钢腹板 PC 组合梁凭借自重轻、抗裂性能优等优势，逐步替代传统混凝土箱梁。但大跨度变截面结构参数动态变化，传统工艺存在钢腹板安装精度不足、钢混协同效果差、线形应力管控难度大等问题，难以满足精细化建设标准。为解决上述技术痛点，提升施工质量与结构耐久性，开展关键施工技术优化研究，从钢腹板姿态调控、分段浇筑、线形应力同步控制等方面进行系统改良，为复杂工况下同类桥梁施工提供技术支撑。

1 大跨度变截面波形钢腹板组合梁施工现状

1.1 组合梁整体结构施工特点

大跨度变截面波形钢腹板 PC 组合梁以波形钢板替代传统混凝土腹板，大幅减轻梁体自重，有效降低桥梁下部结构荷载与基础施工工程量。其变截面结构可适配高速桥梁跨径与线形布设需求，梁体截面参数沿桥跨连续渐变，施工需适配动态结构参数作业。波形钢腹板剪切屈曲性能与变形适应性优异，可释放混凝土顶底板预应力收缩徐变应力，规避传统箱梁腹板开裂病害^[1]。该结构采用专用构造实现钢混连接，钢结构加工、现场安装与混凝土浇筑工序衔接紧密，对施工精度和工序协同性要求极高。

1.2 大跨度变截面施工固有难点

梁体截面参数随桥跨连续变化，导致挂篮行进、模板校准基准持续变动，固定施工参数无法适配全跨施工工况。波形钢腹板不承担纵向弯矩，易造成钢混衔接区域应力紊乱、截面过渡处应力集中，引发构件微变形。悬臂施工阶段，梁体自重、预应力及温差产生的形变波动较大，渐变区域线形难以精细调校。此外，渐变段钢筋排布、混凝土浇筑厚度把控难度高，混凝土密实度不均，易造成梁体线形不顺滑，直接影响桥梁成型质量与结构稳定性。

1.3 现有施工工艺存在的不足

现有施工工艺对变截面曲率、跨径动态变化的精细化管控体系不完善，钢混衔接区域施工精度难以保障。传统工艺对钢腹板波形规整度、对接焊缝的管控精度不足，施工中易出现钢腹板偏移、混凝土振捣不密实等问题。常规作业流程无法适配构件渐变受力特性，钢腹板吊装定位、预应力张拉参数匹配度差，导致梁体线形偏差。钢混衔接处抗滑移、抗剥离处理手段单一，结构长期受力易产生细微裂隙，施工质量稳定性和结构耐久性难以满足高速路桥高标准建设要求。

2 波形钢腹板 PC 组合梁施工影响因素研究

2.1 截面参数变化对施工精度的影响

大跨度变截面波形钢腹板 PC 组合梁施工中，腹板波高、板厚、截面倾角及顶底板尺寸等截面参数的动态偏差，会直接影响桥梁线形与施工精度^[2]。桥梁跨中、墩顶等区段截面设计标准不同，腹板波高的细微误差会改变梁体竖向刚度，造成梁段拼装错位、线形起伏。钢腹板厚度波动会改变构件自重与受力状态，导致支架沉降、预应力张拉形变的预设数据出现偏移。截面倾角偏差会降低钢腹板与混凝土顶底板的贴合精度，引发孔位、接缝施工误差，各类偏差经多段梁体累积后，会进一步降低桥梁整体成型规整度。

2.2 钢腹板安装对接质量影响要素

钢腹板构件预制精度是现场对接质量的基础，板材加工的尺寸、波形弧度、端口平整度缺陷，易造成对接缝隙不均、板面错台等问题。施工现场工况同样影响对接精度，吊装设备精度、作业平台稳定性，以及风力、温差等环境因素，都会干扰钢腹板就位效果。现场对位调校方式、临时固定措施的可靠性，直接决定拼接质量，螺栓孔位、接触面的微小偏差会形成累积隐患，且焊接、螺栓紧固等关键工序工艺把控不到位，会导致对接区域受力失衡，影响结构整体稳定性。

2.3 混凝土与钢结构协同施工制约条件

钢材与混凝土的材质特性差异,是两类结构协同施工的核心制约。钢结构强度高、自重轻但形变敏感度高,易受温差、临时荷载影响产生微变形;混凝土硬化周期长,存在明显的收缩、徐变特性。钢腹板拼装、焊接产生的形变,会干扰混凝土浇筑成型效果,变截面梁体的渐变曲率也加大了构件匹配难度。同时,两类结构施工工序衔接紧密,若钢结构未完成精确定位、固定验收便浇筑混凝土,易出现梁体错位、结合面密实度不足等问题,大幅削弱组合梁整体承载性能。

3 大跨度变截面组合梁核心施工技术改良

3.1 变截面钢腹板空间姿态精密调控技术

大跨度变截面波形钢腹板具备曲率渐变、梁高动态变化、腹板自重分布不均等特点,施工中极易产生空间扭转、线形偏移与标高偏差,严重降低梁体拼装质量和结构受力性能。项目运用三维数字化建模技术对标设计线形,对各梁段变截面曲率、倾角、高程差异开展精细分析,明确钢腹板安装偏差控制要点。现场采用定制可调限位工装与多维微调设备,适配渐变结构尺寸,全程管控钢腹板竖向高程、水平位移及扭转角度^[3]。同时依托实时监测数据动态调整安装参数,弥补吊装、焊接引发的微小变形,不断提升钢腹板空间定位精度,保证各节段拼接平顺,全面满足大跨度变截面组合梁的施工精度要求。

3.2 变截面梁体分段浇筑施工工艺

大跨度变截面波形钢腹板 PC 组合梁的梁体线形、截面尺寸随跨径位置不断变化,工程采用挂篮悬浇工艺开展标准化分段施工。结合梁高、顶底板厚度渐变特点划分浇筑节段长度,适配墩顶至跨中不同位置的结构受力与变形特征。施工按照跨中向墩顶双向对称的方式推进,控制混凝土分层浇筑厚度,依次完成底板、横梁、顶板浇筑,避免一次性浇筑引发沉降与形变偏差(见图1)。针对波形钢腹板与混凝土结合区域加强振捣,选用合适频率设备清除结合面气泡、空隙,保证钢混连接部位密实完整。相邻节段衔接处进行凿毛、润湿处理,契合变截面渐变受力要求。依托实时监控量测数据动态调整浇筑高程与线形,减少节段错台、裂缝及线形偏差,确保梁体成型精度

与整体结构稳定。

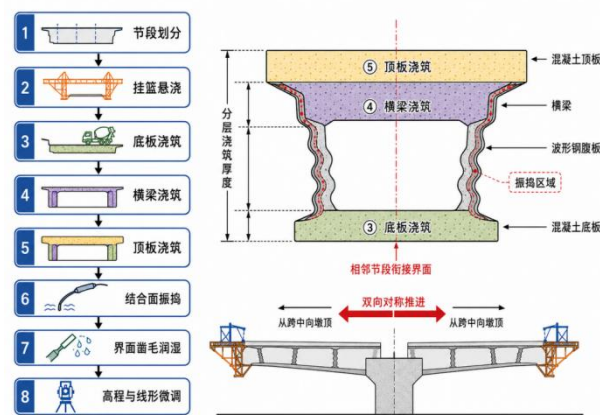


图1 波形钢腹板 PC 组合梁分段浇筑施工工艺示意图

3.3 梁体线形与应力同步控制技术

大跨度变截面波形钢腹板 PC 组合梁施工中,钢腹板变形、混凝土收缩徐变、环境温差及挂篮附加荷载,会干扰梁体线形与内力分布,易引发线形偏移、局部应力集中等问题。现场布设智能监测设备,实时采集梁段标高、轴线位移及截面应力数据,结合构件渐变构造特点搭建动态调控体系。依托钢腹板与混凝土顶底板协同受力特性,针对性调整挂篮张拉参数、模板标高及预应力张拉力度,适配各区段截面变化规律。通过实时比对实测数据与设计标准,及时纠偏施工偏差,兼顾线形与应力双重管控,规避单一调控带来的隐患,最终使梁体线形平顺规整,截面应力始终处于合理范围。

4 结语

大跨度变截面波形钢腹板 PC 组合梁施工工艺改良,有效解决了传统技术在精度管控、协同施工、线形应力控制等方面的短板。钢腹板空间姿态调控、分段浇筑、线形应力同步控制等核心技术的应用,可规避线形偏差、应力集中、钢混结合不密实等质量问题,提升拼装精度与施工质量。工程实践表明,改良技术适配复杂高速路桥工况,可缩短工期、降低能耗、保障结构稳定与耐久性,为同类工程提供可靠技术借鉴。

参考文献:

- [1] 郇小兴.城镇快速通道大跨度宽幅桥梁跨高速公路案例分析[J].交通世界,2024,(25):95-97.
- [2] 霍立飞,刘旭政.大跨度变截面波形钢腹板组合箱梁桥剪力滞效应的解析方法[J].公路交通科技,2025,42(8):122-130.
- [3] 张文东,胡君涛,马志亮,等.大跨度波形钢腹板箱梁桥的温度效应研究[J].青海大学学报,2024,42(6):75-82.