

大跨度连续箱梁桥挂篮施工控制技术研究

何 平

新疆生产建设兵团交通建设有限公司 新疆 石河子 832017

摘 要：大跨度连续箱梁桥悬臂浇筑施工中，挂篮作为核心作业载体，其施工控制水平直接决定桥梁整体成型质量与结构受力状态。本文围绕挂篮结构体系适配管控、悬臂浇筑工序细化、长线线形动态调控及专项病害防控四个维度展开梳理，结合长悬臂施工的特殊工况，梳理各环节的实操控制要点，形成适配大跨度箱梁施工的完整管控路径，为同类桥梁现场作业提供可落地的实操参考。

关键词：大跨度连续箱梁；挂篮施工；线形控制；悬臂浇筑；病害防控

引言：大跨度连续箱梁桥凭借跨越能力强、行车平顺性好的优势，广泛应用于跨江、跨谷等复杂建设场景，悬臂浇筑是这类桥梁施工的主流工艺。随着桥梁跨径不断提升，悬臂延伸长度持续增加，传统粗放的挂篮作业模式已难以适配高精度施工要求，长悬臂状态下的结构变形、线形偏移、隐蔽病害等问题逐步凸显。从现场施工的全流程管控入手，细化挂篮各环节的控制标准，理顺长悬臂循环作业的管控逻辑，对保障大跨度箱梁桥施工质量有着重要的现实意义。

1 大跨度箱梁适配型挂篮结构体系施工控制

1.1 适配大跨度悬臂的挂篮结构选型原则

大跨度连续箱梁桥采用悬臂浇筑工艺时，悬臂延伸距离长，单段梁体荷载大，施工工况相对复杂。常规挂篮结构承载储备不足，变形性能较差，难以适配长悬臂循环施工的作业条件。实际施工中，需结合桥梁悬臂延伸尺度与箱梁截面构造特点开展挂篮选型工作^[1]。依托现场实际荷载条件挑选适配的挂篮结构，优先选用自重更低、承载性能优异、形变可控的设备类型，弥补传统挂篮刚度不足、易变形的短板。选型过程兼顾结构受力稳定性与现场操作灵活性，适配大跨度箱梁分段逐段浇筑的施工节奏。

1.2 大跨度荷载适配挂篮结构构造控制

挂篮整体承载能力由主桁、底模平台及横向连接构件的构造状态决定。大跨度箱梁施工荷载基数大，对各受力构件的构造精度与连接质量有着较高标准。施工过程中，需严格把控各类构件的截面规格，规范节点连接构造方式，使其适配现场持续变化的施工荷载。构件加工阶段细致校正外形尺寸与板面平整度，处理好构件变形、端口错位等加工偏差。通过调整整体受力构造形式，疏导悬臂端部集中应力，避免局部构件长期处于超限受力状态，以精细化构造管控满足多节段连续浇筑的

施工要求。

1.3 大跨度长悬臂挂篮刚度与稳定性控制

长悬臂施工状态下，挂篮作业跨度大幅增加，整体受力体系更为复杂。施工过程中的荷载波动与外界扰动，都会造成结构轻微变形或位置偏移。施工期间需针对性管控挂篮整体刚度，约束结构竖向沉降与侧向偏移问题。悬臂浇筑属于循环作业模式，挂篮结构会长期承受交变荷载作用。现场施工可通过调整支架布设方式、加固主次连接节点的手段，提升结构抗疲劳性能。持续优化挂篮整体稳定状态，规避节点松动、结构走位等常见问题，让长悬臂施工全过程保持结构稳定。

1.4 挂篮安拆及移位工序控制

挂篮安装作业遵循分层拼装、逐点固结的施工思路，逐步完成各构件对接安装，保证构件衔接密实、连接牢靠，成型结构整体受力状态符合施工标准。拆除作业依照安装逆向顺序分段推进，循序渐进完成拆解作业，防止大范围拆卸引发的结构失稳问题。挂篮移位时保持平稳低速滑移，精准把控对位精度。滑移到位后，及时完成结构锁固与位置固定。规范的工序操作能够提升挂篮反复作业的可靠性，适配大跨度箱梁不间断连续施工的作业需求。

2 大跨度箱梁悬臂浇筑施工工序控制

2.1 钢筋与预应力管道布设控制

大跨度箱梁梁体截面尺寸大，内部钢筋排布密集，单节段钢筋总用量超30吨，预应力管道布设路径更长，整体施工布置难度高于常规桥梁。钢筋施工依照设计间距与排布顺序有序铺放，理顺多层钢筋的层次关系，保持整体骨架规整统一。钢筋接头位置错开1米以上，弱化局部受力集中的问题，保障梁体结构的整体性^[2]。预应力管道依托定位骨架固定点位，定位骨架纵向布设间距不大于60厘米，严格控制管道线形与空间位置，避免管道

出现偏移、上浮等问题。管道接口做好密封处理,阻挡混凝土浆液渗入管内,维持孔道内部通畅,为后续预应力施工提供良好作业条件。

2.2 大跨度箱梁模板安装调校控制

模板结构直接决定箱梁成型尺寸与外观形态,长悬臂施工环境对模板精度有着严格要求。底模与侧模安装前检查板面平整度,清理表面杂物与残留砂浆,修复细微变形部位。模板就位后开展多层次调校工作,校准结构标高与平面位置,匹配大跨度箱梁的线形走势。模板拼接位置压紧固定,消除拼接缝隙,杜绝混凝土浇筑阶段出现漏浆现象。依托可靠的支撑与紧固结构约束模板形变,抵抗混凝土自重与振捣产生的侧向压力,维持模板体系在浇筑过程中的稳定状态。

2.3 长悬臂混凝土浇筑与养护控制

长悬臂区域无下部支撑结构,混凝土浇筑成型质量完全依托挂篮体系承载与约束。浇筑作业遵循分层、对称的施工方式,控制每层浇筑厚度,保持两侧浇筑进度均衡,减少挂篮不对称受力产生的变形。振捣作业均匀到位,消除混凝土内部空隙,保证梁体密实度。浇筑完成后及时修整梁体顶面平整度,处理好表层收面工序。根据现场温度与湿度条件开展养护作业,保持梁体表面湿度稳定,延缓水分蒸发速度,规避表面干裂、收缩变形等质量问题,保障混凝土强度稳步增长。

2.4 预应力张拉压浆工艺控制

大跨度箱梁配置的预应力束长度大,张拉作业的形状特征更为明显。张拉作业等待混凝土强度达到设计标准后开展,按照合理顺序分步施加张力,让预应力均匀传递至梁体各个部位。张拉过程平稳操作,保持应力施加匀速稳定,规避张力骤变引发的结构损伤。张拉作业结束后及时开展孔道压浆作业,调配合规浆液配比,保证浆液流动性与密实度。饱满填充孔道内部空间,包裹预应力筋,隔绝外界水汽侵蚀,依托完整的预应力体系维持大跨度箱梁长期受力性能。

3 大跨度箱梁长线悬臂施工线形控制技术

3.1 长线悬臂线形偏移诱发机制

大跨度桥梁长线悬臂施工过程中,悬臂延伸长度不断增加,结构整体形变趋势会持续累积。施工阶段产生的线形偏移不存在单一诱因,多由结构自身特性与现场施工条件共同引发。箱梁自重会让悬臂端产生持续性的竖向下挠,悬臂长度越大,形变积累幅度越明显^[1]。挂篮设备、施工机具及作业人员带来的临时荷载,会改变结构原有受力状态,产生阶段性形变。混凝土材料自身存在收缩、徐变特性,成型后的梁体随时间推移会出现

缓慢形变。外界环境温度变化会让箱梁结构产生温差变形,不同施工时段的温度差异,会让各节段形变状态出现差异化特征,逐步形成整体线形偏差。

3.2 大跨度箱梁空间线形调控技术

长线悬臂施工的线形调控需要兼顾竖向标高与横向平面位置,实现箱梁空间形态的精准把控。施工前期结合箱梁结构参数与长线悬臂施工特点,设定各梁段合理施工预拱度,抵消结构自重与后期形变带来的下挠问题。现场施工过程中,常态化观测悬臂端标高变化与平面偏移情况,根据结构形变趋势微调模板布设位置与高程参数。针对温度形变问题,固定适宜的观测与调校时段,削弱温差变形对线形的干扰。通过动态化的调控方式,持续修正梁体空间位置,让单节段梁体成型状态保持规范标准。

3.3 多梁段线形衔接控制

大跨度箱梁由多节段悬臂梁逐段浇筑成型,前后梁段的线形衔接质量,直接决定桥梁整体平顺度。单节段梁体施工产生的微小偏差,会随着悬臂延伸持续叠加,形成累积性线形误差。每一节段施工前,复核已成型梁段的线形状态,结合既有偏差调整当前节段施工参数。统一各梁段的施工调控标准与观测基准,避免不同节段出现线形衔接断层。严控新旧梁段结合部位的过渡形态,弱化线形突变、折角等问题,让多节段梁体形成连续、平顺的整体线形状态。

3.4 大跨度箱梁合龙线形调整控制

合龙阶段是长线悬臂线形控制的收尾关键工序,两侧悬臂长期累积的形变偏差,都会在合龙阶段集中体现。合龙施工前全面检测两侧悬臂端的标高、间距及平面位置,梳理整体线形偏差情况。依据检测数据制定针对性的微调方案,修正两端悬臂的线形差值。选择稳定的环境条件开展合龙作业,降低外界环境扰动对线形调整的影响。完成合龙施工后,持续监测梁体线形变化,稳定结构整体形态,保障大跨度连续箱梁整体线形平顺规整,满足桥梁成型使用的施工标准。

4 大跨度箱梁挂篮施工专项病害防控技术

4.1 混凝土结构成型病害防控

大跨度连续箱梁单次悬臂浇筑体量较大,箱体结构构造复杂,腹板、倒角、锚槽等节点密集,混凝土成型阶段易产生多种质量病害。浇筑速度把控失衡、下料高度不合理,会引发混合料离析,让梁体表层出现蜂窝、麻面、孔洞等外观缺陷^[4]。振捣作业覆盖不全、振捣深度不足,会造成结构内部密实度不足,留存隐性空隙。钢筋保护层布设厚薄不均、表层收面工序处理粗糙,会让

箱梁表层产生不规则干缩裂缝,长期影响结构抗渗与耐久性能。针对以上成型问题,施工环节需要落实全过程精细化管控。根据箱梁截面特点划分浇筑分区,匀速控制下料速度,保持混合料整体均匀性。针对结构复杂节点采取定点补振方式,消除振捣盲区,保障整体浇筑密实度。结合现场温湿度条件把控收面时间,分两次完成表层压实收光。落实阶段性保湿养护措施,延缓混凝土表层水分蒸发速度,有效抑制收缩裂缝生成,保障大跨度箱梁整体成型质量均匀稳定。

4.2 预应力施工病害防控

预应力体系承担大跨度箱梁主要受力荷载,施工工序繁杂,任一环节操作不规范都会产生隐蔽性病害,影响结构受力性能。预应力管道固定不稳、接口密封处理不到位,混凝土浇筑阶段会出现砂浆渗漏堵管,阻碍预应力筋穿设施工。张拉工序参数把控不规范、张拉顺序混乱,会造成梁体内部应力分布不均,结构局部出现开裂隐患。孔道压浆不密实、浆液配比不稳定,会让预应力筋长期接触空气与水汽,逐步发生锈蚀退化,降低预应力体系有效作用年限。施工过程需建立专项防控机制,加固预应力管道定位骨架,封堵所有管道接口缝隙,彻底杜绝浆液渗入管道内部。严格遵循分级张拉工艺,稳步施加张拉应力,保证梁体受力传递均匀有序。规范浆液配制与压浆作业流程,保证孔道填充饱满密实,借助固化浆液包裹防护预应力筋,隔绝外界侵蚀介质,维持预应力结构长期稳定受力状态。

4.3 挂篮作业位移偏差防控

长线悬臂施工工况下,挂篮全程处于悬空作业状态,结构受力状态复杂,外界施工干扰极易引发设备位移偏差。滑移轨道铺设不平整、轨道接口存在错台缝隙,挂篮行走过程会产生小幅晃动与偏移。锚固构件紧固力度不足、限位装置布设不到位,浇筑荷载作用下挂篮会出现微量滑移与变形,直接造成新浇梁段尺寸与线形偏差。施工前需要全面检查挂篮行走系统与锚固系统,打磨修整轨道高低差与接口错位部位,保证轨道板面平整顺滑。细化挂篮行走作业流程,低速平稳完成滑移作业,全程观察设备运行状态,及时调整异常工况。挂篮就位后开展多点锚固与限位固定,反复校验平面位置与标高参数,锁定设备所有可活动部位。通过全流程

管控约束挂篮形变与位移,从设备源头规避箱梁施工精度缺陷。

4.4 长线悬臂线形累积偏差防控

大跨度箱梁采用多节段逐段悬臂浇筑工艺,施工周期长、悬臂延伸距离远,线形偏差具备明显的累积特性。混凝土自身的徐变收缩特性、昼夜温差产生的结构变形、挂篮设备的弹性形变,都会让单节段梁体产生细微线形偏差。零散偏差会随着悬臂节段不断延伸持续叠加,最终造成桥梁整体线形不顺、标高超标等问题。线形防控工作重点在于前置预控与阶段性修正。每一节段施工前,全面复测已成梁段的标高与平面线形,梳理前期产生的偏差数据。结合结构变形规律调整当前节段预拱度与模板安装参数,抵消既有偏差影响^[5]。统一全线观测基准与调校标准,保持各节段线形调控标准统一。优化节段衔接施工工艺,平滑处理新旧梁段衔接部位,避免出现线形折角与突变,逐步弱化误差累积效应,保障长线悬臂整体线形平顺连贯。

结束语

整套覆盖挂篮选型、安拆作业、混凝土浇筑、线形调控到病害防控的全链条控制方法,贴合大跨度连续箱梁桥悬臂施工的实际作业逻辑,将管控要求嵌入每一道施工工序的细节当中。现场作业过程中落实这些管控要点,能够逐步理顺长悬臂施工的作业秩序,减少各类不必要的施工偏差,让大跨度连续箱梁的施工过程始终处于可控状态,最终实现梁体结构性能与外观形态的双重达标,为桥梁长期服役筑牢扎实的施工基础。

参考文献

- [1]和立奇.高墩大跨度预应力连续刚构悬浇箱梁挂篮悬臂施工技术研究[J].居业,2026(2):1-3.
- [2]祁仲谦.大跨度连续刚构桥施工控制关键问题分析[J].工程与建设,2023,37(1):261-264.
- [3]杨龙,张嘉鑫.大跨度连续箱梁施工控制[J].工程建设与设计,2023(8):116-119.
- [4]杨开放,孙春辉,牟雨龙,等.大跨度预应力连续箱梁悬浇施工质量控制研究[J].科学技术创新,2022(28):77-80.
- [5]李学俊,毋浩杰,马旭明,等.大跨度空腹式连续刚构桥三角区施工力学行为研究[J].西部交通科技,2025(1):159-161,165.