

桥梁施工中大跨径连续桥梁施工技术

唐翰林

重庆巨能建设集团路桥工程有限公司 重庆 400700

摘要: 大跨径连续桥梁施工涉及系统的技术体系与过程控制。结构体系中连续刚构与多跨连续梁受力特性差异显著,超静定结构对温度、收缩徐变敏感。上部结构施工以悬臂法为核心,涵盖挂篮系统调整、线形精度控制及特殊结构协同技术。基础施工突破深水围堰、高墩稳定及特殊地质处理难题。全过程通过实时监测、预拱度控制与数字化管理保障质量安全。各技术环节相互关联,共同构成完整的施工技术体系,确保桥梁结构安全与成桥状态符合设计预期。

关键词: 桥梁工程;大跨径;连续桥梁;施工技术

引言: 大跨径连续桥梁施工是集结构力学、材料科学与工艺控制于一体的复杂系统工程。连续刚构与多跨连续梁的受力差异、超静定结构的环境敏感性,决定了施工方法必须与力学特性相匹配。悬臂浇筑、顶推法等工法在受力模式与变形控制方面各具适用条件。上部结构施工需解决挂篮调整、线形精度与特殊结构协同问题,基础工程面临深水围堰、高墩稳定及特殊地质处理等技术挑战。全过程动态控制通过实时监测与误差主动修正保障结构安全,质量保障体系以标准化管理和数字化手段确保关键工序受控。

1 大跨径连续桥梁施工的核心技术体系

1.1 结构体系与力学特性

连续刚构体系与多跨连续梁的力学对比主要体现在结构约束形式的根本差异。连续刚构桥采用墩梁固结,形成刚架结构,而多跨连续梁桥则通过支座实现梁体在桥墩上的支承。这一差异导致两者在荷载作用下的弯矩分布规律不同,连续刚构桥能够利用墩柱的抗推刚度参与受力,从而有效降低跨中区域的弯矩峰值。桥墩与梁体固结的受力传递机制在于将梁体承受的竖向力和水平力直接通过刚性节点传递给桥墩,再由桥墩传递至基础,这种整体作用方式增强了结构抵抗变形的能力。由于墩梁固结取消了支座,结构的整体性和稳定性得到提升,但同时也使结构成为高次超静定体系。超静定结构对温度应力与收缩徐变的敏感性分析表明,环境温度变化引起的热胀冷缩以及混凝土材料随时间发展的收缩与徐变变形,均会在结构内部产生显著的附加内力,这些因素是设计和施工控制的关键考量。

1.2 施工方法分类与适用性

悬臂浇筑法与悬臂拼装法的技术特点在于施工方式与结构形成过程的不同。悬臂浇筑法采用移动挂篮作为

工作平台,在已施工梁段上逐段进行钢筋绑扎、混凝土浇筑和预应力张拉,结构整体性强且适应各种截面形式。悬臂拼装法则将梁体划分为若干节段在预制场提前制作,然后运至现场通过起重设备吊装就位并施加预应力使之连接成整体,施工速度快且预制质量易于控制。顶推法与支架现浇法的应用场景取决于桥梁所处的地形与环境条件。顶推法适用于桥下需要保持通行或跨越深谷河流的情况,通过在桥台后方设置预制场地逐段制作梁体并向前顶推就位。支架现浇法适用于桥下空间开阔、地基条件良好且高度不大的桥梁,在满布支架上完成模板安装、钢筋绑扎和混凝土浇筑作业。不同施工方法的结构受力与变形控制差异显著,悬臂施工过程中梁体主要承受负弯矩且变形随悬臂增长而加大,顶推施工时梁体经历正负弯矩交替变化且轴线控制要求高^[1]。

2 大跨径连续桥梁上部结构施工关键技术

2.1 悬臂施工法实施要点

悬臂施工法的实施依赖于挂篮系统的合理设计与动态调整。挂篮作为主要承载设备,其结构形式需结合梁段重量、悬浇长度和桥面宽度综合确定,必须具有足够的刚度、稳定性和行走顺畅性。在施工过程中,挂篮锚固系统的可靠性直接影响施工安全,需定期检查锚固力状态。随着悬臂长度的增加,挂篮变形呈现非线性特征,需根据监测数据动态调整立模标高,抵消挂篮弹性变形和梁体挠度的影响。平衡对称浇筑是悬臂施工的核心原则,两悬臂端浇筑混凝土方量偏差需严格控制,防止产生过大的不平衡弯矩。预应力张拉顺序遵循先纵向后横向、先腹板后顶底板的基本要求,按照设计分级张拉,确保应力均匀传递。边跨与中跨合龙段施工是体系转换的关键环节,合龙前需对两悬臂端进行临时锁定,采用劲性骨架抵抗温度变化引起的伸缩变形,在设定温度范围内完成合龙混凝土浇筑,

待混凝土达到强度后张拉合龙束，最终解除临时约束，实现结构体系的平稳转换。

2.2 梁段施工精度控制

混凝土箱梁的线形控制贯穿悬臂施工全过程，需建立完整的监测网络。在每个梁段施工前根据理论计算值设定立模标高，浇筑后测量实际线形变化，通过与设计线形对比分析，识别偏差趋势。下一梁段立模时需对累积误差进行修正，采用参数识别法调整后续施工标高，使成桥线形平顺流畅。预应力管道定位精度直接影响结构受力性能，管道坐标放样需在钢筋绑扎过程中完成，采用定位钢筋网片固定，防止混凝土浇筑时管道移位。管道接头处应密封严密，防止水泥浆渗入堵塞孔道^[2]。压浆密实度是保障预应力长期效果的关键，需采用真空辅助压浆工艺，在管道两端建立压力差，使水泥浆填充饱满，压浆结束后进行检查，对不密实部位进行补压处理。梁体截面尺寸控制涉及模板安装精度，腹板厚度、顶底板厚度需符合设计要求，偏差过大会改变截面特性，影响应力分布。钢筋保护层厚度采用专用垫块控制，确保垫块数量足够、分布均匀，防止钢筋锈蚀风险。

2.3 特殊结构施工专项技术

斜拉桥拉索安装与张拉需与主梁悬臂施工同步协调。拉索在工厂预制后运至现场，通过塔吊或卷扬机提升就位，锚固端与张拉端安装到位后进行初张拉。随着悬臂节段增加，拉索需进行多次调索，每次张拉按照索力与标高双控原则进行，索力通过油压表读数或频率法测定，标高变化反映主梁线形状态，两者相互校核确定合理张拉值。拱桥与连续梁组合体系施工需解决拱肋与梁体协同受力问题。先梁后拱工法中，梁体采用支架或悬臂法施工，形成连续梁体系后安装拱肋，拱肋安装过程中梁体承担拱肋自重和施工荷载，需对梁体进行临时加固。拱肋合龙后张拉吊杆，吊杆力分级施加，调整梁体应力状态，实现组合体系共同受力。宽幅箱梁施工面临横向受力复杂问题，需采取抗裂与抗扭专项措施^[3]。箱梁翼缘板悬挑长度大，在混凝土硬化过程中易出现收缩裂缝，可通过优化混凝土配合比、加强保湿养护、设置临时横向预应力等措施控制裂缝发展。抗扭设计体现在施工顺序安排上，优先采用对称浇筑方式，避免偏心荷载产生扭转效应，必要时增设临时横向支撑或抗扭支座，确保箱梁在施工阶段的抗扭刚度满足要求。

3 大跨径连续桥梁基础与下部结构施工技术

3.1 深水基础施工难点突破

深水承台施工需采用围堰技术创造干施工环境，钢吊箱与钢套箱是两种主流形式。钢吊箱适用于高桩承

台，其底板悬挂在钻孔桩钢护筒上，侧板形成封闭围水结构，封底混凝土与吊箱底板共同抵抗水压力。钢套箱则适用于低桩承台，整体下沉至河床以下，依靠侧板与封底混凝土形成防水体系。两种围堰在设计时均需验算浮力、水流冲击力和波浪荷载，下沉过程中保持水平偏位在允许范围内。大直径钻孔灌注桩施工需解决深水复杂地质条件下的成孔难题，钻机选型需匹配岩层强度，钻进过程控制泥浆指标防止塌孔，终孔后采用气举反循环或泵吸反循环清孔，将孔底沉渣厚度降至设计标准。水下混凝土浇筑采用导管法施工，导管埋深控制在合理区间，确保混凝土在上升过程中连续密实，顶面浮浆层需在后续施工中凿除。在水流速度较大区域，需考虑抗冲刷设计，采取提高混凝土早期强度或设置临时防冲措施，防止水泥浆在终凝前被水流稀释。

3.2 高墩施工稳定性保障

空心薄壁墩施工广泛采用翻模或爬模工艺。翻模以三节段为一循环，每节模板交替上升，混凝土接缝处理是质量控制要点，需在模板接茬处设置止浆条防止漏浆。爬模系统依靠液压顶升装置带动模板整体爬升，减少模板拆装次数，加快施工进度，但需保证爬锥锚固可靠，预埋件位置精确。高墩垂直度是核心控制指标，采用激光垂准仪或全站仪进行多方向校核，每施工节段均需测定中心偏差，发现偏移及时调整模板支撑系统。高墩受风荷载影响显著，在强风天气条件下需进行风振响应监测，通过设置临时揽风绳或调整爬模附着刚度增强抗风能力，必要时暂停高空作业。墩身与梁体连接部位钢筋密集，锚固技术要求严格，墩顶预留钢筋需与梁体预应力束或普通钢筋准确对接，采用定位胎架固定钢筋位置，确保锚固长度满足受力要求，在混凝土浇筑前进行隐蔽工程验收。

3.3 特殊地质条件下的基础处理

岩溶地区桩基施工面临溶洞、裂隙等不良地质条件，需提前进行地质补勘查明溶洞分布情况。根据溶洞发育程度采取不同处理方案，对于小型溶洞可采用片石粘土回填冲击钻进，形成人工护壁；对于大型溶洞需灌注低标号混凝土填充或套打钢护筒穿越，防止漏浆塌孔。施工过程中密切监测泥浆面变化，发现漏浆及时补充并采取堵漏措施^[4]。软土地基处理需控制工后沉降，桩基设计采用长桩穿越软土层进入持力层，通过桩侧摩阻力和桩端阻力共同承载。对于沉降敏感结构，可采用复合地基加固方式，设置桩顶褥垫层协调桩土变形，减少差异沉降。施工过程中进行沉降观测，验证设计参数合理性。地震区基础设计强调延性抗震能力，桩基配筋率

适当提高,加密箍筋间距增强约束作用,墩柱潜在塑性铰区域设置加强钢筋,保证在地震作用下具有足够的塑性转动能力而不发生脆性破坏。基础与地基连接处设置抗震锚栓或阻尼装置,耗散地震能量,减轻上部结构地震响应。

4 大跨径连续桥梁施工过程动态控制与质量保障

4.1 施工监测与数据分析技术

应力应变与位移实时监测系统通过在结构关键断面埋设振弦式应变计、钢筋应力计及精密水准测点,构建覆盖施工全周期的感知网络。监测数据自动采集并无线传输至处理平台,与理论计算阈值进行动态比对,当实测值超出预警界限时系统自动提示复核。温度场监测针对箱梁截面内外温差、日照温差及水化热影响布置温度传感器,风场监测在墩顶和梁端安装风速风向仪,量化分析环境荷载引起的附加应力和变形规律。基于建筑信息模型的施工模拟技术将设计模型与时间维度关联,导入实际材料参数和施工进度计划,进行正装与倒拆迭代计算,通过对比模拟值与实测值识别参数偏差,动态修正后续节段的立模标高和预应力张拉时机,实现施工过程的数字化预演与反馈优化。

4.2 施工误差的主动控制策略

预拱度设置需综合考虑挂篮弹性变形、梁段自重挠度、预应力反拱及后期收缩徐变影响,采用有限元方法计算各节段立模标高的预留抬高值,形成动态预拱度曲线。合龙段施工前精确测量两侧悬臂端高差与轴线偏位,若偏差超出允许范围采用水箱压重调整或劲性骨架锁定配合温差选择进行强迫合龙,确保合龙精度。混凝土收缩徐变对线形的影响建立预测模型,输入实测材料龄期、环境湿度及加载历史参数,估算长期挠度发展趋势,用于指导后期桥面铺装标高调整。施工阶段与成桥状态受力匹配控制通过优化临时支撑解除顺序、调整张拉批次实现,使施工过程中的应力包络值始终处于安全限值以内,最终成桥内力与应力分布符合设计预期状态^[5]。

4.3 质量保障体系与标准化管理

关键工序质量验收制定量化检测标准,钢筋安装采

用定位胎架控制间距与保护层厚度,模板工程验收复核轴线偏位与垂直度指标,混凝土浇筑过程监控坍落度损失与振捣密实程度,形成工序交接闭环管理。预应力张拉引入数字化控制系统,张拉设备集成压力传感器与位移传感器,自动记录张拉力与伸长量对应关系,判定张拉质量是否达标并生成电子档案。压浆作业采用真空辅助工艺,监测进浆口压力、出浆口密度及稳压时间,保障管道填充密实无空洞。施工安全风险评估针对挂篮行走、高空作业、大型吊装等环节开展危险源辨识,评估风险等级后制定专项控制方案,配套应急物资储备与演练计划,确保突发事件响应及时有效。

结束语:大跨径连续桥梁施工技术体系的系统性与复杂性,要求建设过程必须统筹考虑结构力学特性、施工方法适用性以及过程控制的有效性。从上部结构悬臂施工的精度控制,到深水基础与高墩作业的难点突破,再到全过程动态监测与质量保障,每个技术环节均对最终成桥质量产生重要影响。施工监测与误差主动控制策略的实施,使施工阶段的结构响应始终处于受控状态。质量保障体系的标准化与数字化管理,为关键工序提供了可追溯的可靠依据。随着工程实践的持续积累和技术创新的不断深入,大跨径连续桥梁施工技术将持续完善,为复杂条件下桥梁建设提供更加坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]郭克晶.桥梁施工中大跨径连续桥梁施工技术的应用分析[J].越野世界,2025(4):179-181.
- [2]白天军.桥梁施工中大跨径连续桥梁施工技术的应用[J].现代建筑工程技术,2024,1(1):7-9.
- [3]何昌军.桥梁工程施工中的大跨径连续桥梁施工技术探究[J].建材发展导向,2025,23(18):127-129.
- [4]李强.桥梁工程中大跨径连续桥梁施工技术探讨[J].建材发展导向,2025,23(05):118-120.
- [5]李羊站.桥梁工程中大跨径连续桥梁施工技术研究[J].科技资讯,2024,22(13):132-134.