

跨度悬臂节段箱梁的挂篮施工技术分析

鲍益生

武义县交通运输技术中心 浙江 金华 321200

摘要:挂篮技术通过悬臂浇筑方式,无需搭设大型支架或依赖重型吊装设备,有效解决了跨越江河、峡谷或复杂地形时的施工障碍。其灵活的空中作业平台使大跨径桥梁(尤其在深水、山谷或立体交通枢纽区域)的建设更具可行性。本文分析悬臂节段箱梁挂篮施工技术,并对该技术方案下的挂篮设计技术、连续梁悬臂浇筑施工技术、预应力张拉施工技术等工艺流程和技术要点进行了详细总结。挂篮刚度不仅会对箱梁线形造成影响,也会严重影响施工质量和施工安全,本文给出的挂篮设计技术、施工方法,可以为后期其他项目施工提供一定的参考。

关键词:跨度悬臂节段箱梁;挂篮施工;技术分析

挂篮需具备足够强度承受梁段自重及施工荷载,且总重量误差不得超过设计值的10%。其抗倾覆系数和自锚固系统安全系数均需 ≥ 2.0 。挂篮需具备大刚度以最小化施工变形,确保梁体线形符合设计要求,提升施工效率与经济性,挂篮设计遵循“轻量化、易拼装、可重复利用”原则。其模块化结构支持快速移动周转,大幅缩短工期并降低综合成本。

1 概况

悬臂节段箱梁挂篮施工技术是现代大跨度桥梁建设的关键工艺,其核心要点如下:

1.1 挂篮定义与特点。挂篮是一种沿梁顶移动的承重支架,无需大型支架或起重机,通过分段悬臂浇筑实现箱梁施工。其特点包括:结构轻巧(自重通常为50-80吨)、拼装简便、承载力强(可承受125吨以上节段重量),且能适应变截面梁高变化。施工时,挂篮锚固于已浇筑梁段,提供模板支撑、混凝土浇筑及预应力张拉平台,循环推进至合龙。

1.2 挂篮核心组成系统。主承重系统,主桁架:菱形或三角形桁架(由H型钢/槽钢组焊),承担全部施工荷载。前/后上横梁:连接主桁并传递荷载。悬吊与模板系统,吊挂系统:精轧螺纹钢吊杆+千斤顶,调整底模标高。底篮系统:型钢纵梁+前后下横梁,直接承载混凝土重量。模板系统:整体钢制侧模+组合式内模(适应梁高变化)。行走与锚固系统,行走系统:液压/机械驱动装置+滑道滚轮,确保平稳前移。锚固系统:后锚通过竖向预应力筋($\phi 32$ 精轧螺纹钢)与梁体锚固,抗倾覆系数 ≥ 2.0 。

2 跨度悬臂节段箱梁施工流程

跨度悬臂节段箱梁施工的核心流程概述,涵盖悬臂浇筑与悬臂拼装两类方法的技术要点:

2.1 施工准备阶段。挂篮施工准备阶段是确保后续悬臂浇筑安全高效的核心环节,需系统落实以下要点:

(1)组织与人员准备,专项管理架构,成立挂篮施工领导小组,统筹协调技术、安全与资源调配。人员资质与培训,特种作业人员(电工、起重工)须持证上岗,全员接受安全技术交底并签字确认;禁止恐高症、心脏病患者及酒后人员参与作业。(2)技术准备,挂篮设计验算,按混凝土自重+施工荷载+风荷载组合验算强度、刚度及稳定性,优化结构适应工况;施工方案审批,编制含安装、拆除、浇筑等全流程方案,经专家论证后执行;预拱度设定,基于挠度监控数据动态调整线形控制参数。(3)物资与设备管控,材料质量控制,钢材、锚具等原材料需复验力学性能,焊接工艺符合规范;新挂篮提供探伤报告,旧挂篮关键部位(如吊杆、主梁)需重新探伤。设备安全验收,起重机、千斤顶等特种设备经质检合格,定期维保并记录;挂篮轨道安装时需调平,中心距误差 $\leq 5\text{mm}$,锚固后利用精轧螺纹钢压紧。(4)现场安全保障,临时用电:执行三级配电二级保护,禁止私拉乱接,电工每日巡检;环境管理:清理桥面杂物,轨道位置打磨平整,预埋孔疏通垂直;气象管控:风力 > 6 级或雷雨天气立即停止作业。(5)关键预施工措施,临时固结施工:永久支座与临时支座同步安装,锚栓孔定位偏差 $\leq 10\text{mm}$;挂篮预压试验:拼装后分级加载($60\% \rightarrow 100\% \rightarrow 120\%$ 设计荷载),消除非弹性变形并记录弹性曲线。特别提示:后锚吊杆与梁体斜面接触处需增设钢楔块,确保吊杆轴心受力;吊装用钢丝绳安全系数 ≥ 6 (捆绑作业)或 ≥ 5 (卷扬系统)。

2.2 主体节段施工。悬臂浇筑法(适用跨径 $\leq 100\text{m}$);墩顶块施工,利用支架浇筑0#、1#块,作为挂篮安装基础。挂篮安装与调试,挂篮质量需控制在梁段

混凝土重量的0.3~0.5倍(特殊 ≤ 0.7), 组拼后加载试压验证刚度(变形 $\leq 20\text{mm}$)。循环施工流程, 挂篮前移→锚固调整→钢筋绑扎→混凝土浇筑→预应力张拉→孔道压浆, 对称施工控制线形偏差 $\leq L/5000$ 。悬臂拼装法(适用跨径 $> 100\text{m}$), 节段预制, 长线法或短线法预制, 分段误差 $\leq \pm 5\text{mm}$ 。吊装与接缝处理, 梁段吊装定位后, 采用湿接缝、胶接缝或干接缝拼接。

2.3 合龙段施工。合龙顺序, 按"先边跨后中跨"顺序施工, 边跨现浇段采用支架法完成。关键技术, 平衡配重: 悬臂端配重防止混凝土凝固变形。低温浇筑: 选择低温时段施工减少温度应力。

2.4 体系转换与收尾。解除临时约束, 合龙后拆除临时支座, 恢复永久支座受力。预应力体系转换, 按设计顺序张拉剩余钢束, 完成结构体系转换。

3 跨度悬臂节段箱梁施工挂篮设计分析

针对跨度悬臂节段箱梁施工挂篮设计的综合分析:

3.1 设计关键参数。承载力, 需覆盖节段最大重量(如432吨宽幅箱梁); 刚度控制, 主桁变形 $\leq L/500$, 确保线形精度; 锚固力, 后锚能力不足时需增设配重; 适应性, 底模需适应抛物线变高梁底。

3.2 特殊工况应对。大悬臂斜腹板箱梁: 采用菱形挂篮优化受力, 增设横向加劲肋提升宽幅箱梁(38.3m)稳定性。多室箱梁: 单箱三室结构需强化底模横梁, 分散荷载至吊带。合龙工序: 挂篮前移后需精确控制临时连接与压重调整。

3.3 设计流程要点。荷载计算: 含混凝土重量、施工动载、风载及挂篮自重。有限元验算: 分析主桁应力、吊带强度及整体稳定性。预压试验: 消除非弹性变形, 实测弹性变形值指导立模抛高。

3.4 技术发展趋势。若前支点挂篮应用于斜拉桥, 利用斜拉索作为前支点提升跨度适应性。设计需结合具体跨度、截面形式及施工环境综合优化, 重点保障承载力与变形控制能力。

3.5 挂篮悬浇箱梁预应力: 根据实际要求和刚度、应力、安全度验收, 挂篮箱梁可以设置纵、横、竖三向预应力, 也可以在满足桥梁刚度与安全的条件下, 采用纵、横两向预应力, 在挂篮箱梁施工实践中, 这两种方式均是可靠安全的。

4 挂篮施工混凝土浇筑过程

挂篮施工中的混凝土浇筑过程是悬臂节段箱梁施工的核心环节, 需严格遵循对称、分段、分层原则以确保质量与安全。具体流程及控制要点如下:

4.1 浇筑前的准备。模板调整与锚固, 挂篮就位

后, 通过吊杆系统精确调节底模、侧模标高, 确保模板与已浇梁段紧密贴合, 消除错台。锚固系统(精轧螺纹钢)需锁紧, 并通过预压试验验证承载力。钢筋与预应力管道安装, 按设计要求绑扎底板、腹板钢筋, 预埋三向预应力管道(纵向、横向、竖向), 定位误差 $\leq 5\text{mm}$ 。检查管道密封性, 防止漏浆堵管, 同步安装预埋件及挂篮后锚固预留孔。

4.2 混凝土浇筑流程。(1) 浇筑顺序与分层控制, 底板, 由两侧向中间对称灌注 $\leq 30\text{cm}$, 防止偏载导致模板变形腹板, 左右腹板同步对称浇筑40~50cm, 加强侧模支撑, 避免胀模顶板, 先中间后两侧, 最后翼缘板30~40cm, 控制顶面横坡及平整度单次浇筑节段长度通常为2~4m, 从挂篮前端向已浇段后退式灌, 全断面浇筑需分两次完成: 首次浇底板、腹板; 二次支内模后浇顶板及翼板。

(2) 振捣与密实度控制, 采用插入式振捣器, 按"快插慢拔"原则操作, 避免触碰预应力管道。关键部位加强振捣: 锚垫板后方: 确保预应力锚固区混凝土密实。腹板倒角处: 易产生气泡, 需二次复振。分层接缝: 在下层初凝前完成上层浇筑, 防止冷缝。(3) 温控与养护措施, 温度控制: 夏季选择低温时段浇筑, 混凝土入模温度 $\leq 30^\circ\text{C}$; 冬季采取保温措施。埋设测温点监测内部温度, 内外温差 $\leq 25^\circ\text{C}$ 。养护要求: 浇筑后覆盖土工布保湿, 24小时内喷水养护 ≥ 7 天。强度达2.5MPa前禁止踩踏或加载。

4.3 特殊工况处理。不平衡荷载控制, 两侧悬臂端混凝土浇筑量偏差 \leq 设计值(通常 $\leq 5\%$), 采用压重水箱或调节浇筑速度平。实时监测挂篮变形, 发现异常立即暂停调整。合龙段浇筑, 选择昼夜低温时段浇筑, 采用微膨胀混凝土。同步卸载配重水箱, 保持合龙口稳定。

4.4 质量控制要点。强度验证: 每节段留取3组试块, 强度 \geq 设计值90%方可张拉预应力。断面尺寸: 允许偏差 $\pm 5\text{mm}$, 线形误差 $\leq L/5000$ (L为跨径)。裂缝预防: 浇筑后12小时内复拧吊杆螺栓, 补偿沉降裂缝。通过分层对称浇筑、精准振捣与严格温控, 可有效保障箱梁结构密实度和耐久性。根据实践经验, 聘请第三方对挂篮箱梁浇筑总过程进行监测, 对质量控制和确保安全有更大的好处。

5 挂篮施工预应力锚固张拉步骤

5.1 锚固系统安装准备。锚具与垫板检查, 锚垫板需清理灰浆, 注浆孔保持通畅; 锚具锥孔与夹片齿槽无损伤, 确保与锚垫板密贴。精轧螺纹钢预紧, 临时固结螺纹钢逐根预紧, 消除安装间隙(人工或小型千斤顶操作)。

连接器接长螺纹钢,反力架钢板厚度 $\geq 3\text{cm}$ 保证刚度。

5.2 预应力张拉工艺流程。混凝土强度 $\geq 90\%$ 设计值 \rightarrow 穿钢绞线束 \rightarrow 安装工作锚具与夹片 \rightarrow 安装限位板与千斤顶 \rightarrow 分级对称张拉 \rightarrow 持荷锚固。预应力筋穿束,钢绞线逐根理顺,每1.5m捆扎防缠绕;穿束端部套防护带保护。张拉设备安装,

千斤顶、油泵与压力表配套标定,确保张拉力与读数对应。工作锚 \rightarrow 限位板 \rightarrow 千斤顶 \rightarrow 工具锚按轴线对齐安装,工具夹片涂润滑剂。分级张拉控制,张拉程序:0 \rightarrow 初应力($10\%\sigma_{\text{con}}$) \rightarrow 2倍初应力 \rightarrow 控制应力(持荷5min锚固)。双控原则:以油表读数为主,伸长值偏差 $\leq \pm 6\%$,两端伸长量差 $\leq 5\%$ 。对称顺序:纵向束:先中间后两侧,左右腹板同步张拉。竖向束:腹板优先于顶板。

5.3 压浆与封锚。孔道压浆,张拉后48h内完成真空辅助压浆;浆体稠度一致后持压0.5~0.6MPa稳压3min。封端处理,锚穴凿毛露出75%新鲜面,涂聚氨酯防水涂料;绑扎封端钢筋后浇筑C50补偿收缩混凝土。

5.4 特殊工况要点。合龙段张拉:低温时段施工,同步卸载配重水箱,采用微膨胀混凝土。安全控制:张拉时人员避开千斤顶后方;夹片敲击使用专用钢管,禁止重击损伤。

6 跨度悬臂节段箱梁施工注意事项

6.1 挂篮施工安全控制。挂篮设计与验收,挂篮质量需控制在梁段混凝土重量的0.3~0.5倍,特殊情况下 ≤ 0.7 。进场前必须验收出厂合格证、试拼装记录及加载试验报告,主桁焊缝、锚固系统需重点检查。加载预压要求,采用分级加载(砂袋/水箱)至1.2倍施工荷载,测量弹性变形值并消除非弹性变形,预压全程禁止人员停留下方。使用安全规范,行走时抗倾覆系数 ≥ 2 ,锚固系统安全系数 ≥ 2 ,最大变形量 $\leq 20\text{mm}$ 。遇雷雨、大风等恶劣天气严禁移动挂篮。挂篮为保安全,应在就位、预压、浇筑、移动各环节过程中严格控制偏位。

6.2 混凝土浇筑质量控制。模板与钢筋精度,模板安装后复核标高及平面位置,偏差分别 $\leq 3\text{mm}$ 、 $\leq 5\text{mm}$;接缝需粘贴双面胶防漏浆。预应力管道定位误差 $\leq 5\text{mm}$,直线段每1m、曲线段每0.5m设固定点,浇筑前需通孔检查。浇筑工艺要点,混凝土坍落度控制在160~200mm,入模温度 5°C ~ 30°C ,严禁现场加水。采用分层对称浇筑,单层厚度 $\leq 40\text{cm}$,左右腹板混凝土高差

$\leq 30\text{cm}$ 。

6.3 预应力施工关键事项。应充分重视张拉的次序与对称性:节段箱梁预应力张拉,要先纵束、后横束;先长束、后短束;先腹板、再顶板、后底板的优先次序和对称性开展张拉,确保结构体稳定与安全。管道与钢绞线保护,波纹管接头需密封防漏浆,破损处须外包加固。电焊作业时需遮盖预应力钢绞线,防止焊渣损伤。张拉条件与操作,张拉时混凝土强度、弹性模量及龄期需达设计要求,设备使用前需标定。严格按设计顺序张拉,48小时内完成孔道压浆。

6.4 混凝土集料的含泥量、养护措施、混凝土塌落度均是挂篮箱梁浇筑所需严加控制的具体环节,这是减少挂篮箱梁非结构性裂缝的重要技术措施。

6.5 施工实践中,推行两个“一表一档”,指导管理效能与班组施工精细化。第一个是指将节段箱梁预应力束布孔及预应力束数编成口诀,以便班组准确执行;第二个是指将节段箱梁不同类型的预应力束,列表建档予以区分,按伸长量和张拉力双控要求,以便班组精确执行。

6.6 合龙段施工要点。配重与温度控制,合龙前悬臂端需配重平衡,浇筑选择低温时段(夜间或清晨),减少温度应力。合龙精度要求,合龙口高差偏差 $\leq 15\text{mm}$,轴线偏差 $\leq 10\text{mm}$,采用全站仪实时监控。

综上,挂篮施工技术是悬臂节段箱梁施工的核心支撑,其设计合理性、操作规范性及过程控制精度直接决定桥梁工程的质量、安全性与经济性。

参考文献

- [1]李超.大跨度预应力混凝土桥梁悬臂节段箱梁挂篮施工技术[J].价值工程,2020,39(16):167-168.
- [2]施文生.大跨度预应力混凝土箱梁悬臂节段挂篮施工技术[J].福建建材,2020(5):70-72.
- [3]谭蒙.挂篮法施工技术在大跨度现浇悬臂梁施工中的应用[J].长春大学学报,2020,30(2):5-9.
- [4]陈廷龙.大跨度现浇悬臂梁挂篮法施工技术[J].黑龙江交通科技,2017,40(6):135,137.
- [5]刘泽龙,王畅.挂篮悬臂梁施工兜底安全防护技术[J].科技风,2016(12):144.
- [5]施文生.大跨度预应力混凝土箱梁悬臂节段挂篮施工技术[J].福建建材,2020(05):70-72.
- [6]谭蒙.挂篮法施工技术在大跨度现浇悬臂梁施工中的应用[J].长春大学学报,2020,30(02):5-9.