

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（φ32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%→100%→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。设计需结合具体跨径、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（精轧螺纹钢筋）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-->穿钢绞线束-->安装工作锚具与夹片-->安装限位板与千斤顶-->分级对称张拉-->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→限位板→千斤顶→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→初应力（ $10\%\sigma_{con}$ ）→2倍初应力→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 $0.5\text{--}0.6\text{MPa}$ 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 $0.3\sim 0.5$ 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、移动等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 $160\text{--}200\text{mm}$ ，入模温度 $5\text{--}30^\circ\text{C}$ ，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研究[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.
- [6]施文生.大跨度预应力混凝土箱梁悬臂节段挂篮施工技术研究[J].福建建材, 2020(05):70-72.
- [7]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.