

连续梁悬臂造桥机施工关键技术研究

文 / 李文明 中铁十四局集团第四工程有限公司

摘要：为响应国铁集团成渝中线智能建造 2.0 总体规划和部署，积极探索智能建造新工艺工法，解决传统连续梁悬臂挂篮施工存在结构重心高、构件零散、操作繁琐、功效低的问题，依托成渝中线铁路连续梁采用新型悬臂造桥机施工，其采用下承式受力结构，相比传统挂篮受力结构进行了创新性改变，配套设计了全方位的安全防护系统，将液压传动、智能操控、信息化监测等多项技术进行集成，结果表明，可以大幅提高悬臂现浇连续梁施工智能化、自动化和信息化的建造水平，节省了大量的工序时间和人工成本，提高了连续梁施工的综合效率，经济效益显著。

关键词：悬臂造桥机；下承式受力结构；自平衡体系法；连体造桥机

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.08.041

引言

成渝中线铁路作为国家 400 公里时速高铁的重要示范工程，对智能建造技术提出了更高要求。传统连续梁挂篮施工存在结构重心高、构件零散、操作繁琐等问题，难以满足现代工程的智能化和安全性需求。为此，项目团队结合智能建造 2.0 规划，创新采用悬臂造桥机施工技术，通过下承式受力结构、智能操控系统和信息化监测技术的应用，全面提升了连续梁施工的效率、安全性和经济效益。

一、工程概况

成渝中线铁路是沪渝蓉高速铁路的重要组成部分，是国家 400km 时速高铁建设的先行线以及铁路智能建造 2.0 示范应用工程。成渝中线重庆段 4 标位于重庆市大足区境内，起讫里程为 DK81+540 ~ DK102+706，全长 21.166km，设计有桥梁 10.5 座 / 7.457km，采用悬臂造桥机施工 3 处现浇连续梁（刚构），分别为南渝泸高速双线特大桥（40+2×56+40）m 连续梁，一碗水双线特大桥（48+88+48）m 连续刚构、（40+72+40）m 连续刚构。

二、造桥机设计

悬臂造桥机采用下承式受力结构，主要由承重杆件、液压模板、自动走行、自动调节、智能监测、全方位防护、自动喷淋、信息化等八大系统组成；下承式受力结构位于梁面以下，高度小、重心低，稳定性好，造桥机安装安全方便；采用锚拉板式后锚，抗倾覆系数大幅度提高，走行状态安全，可靠。

（一）受力结构

承重杆件系统前后横梁、C 型钩、主桁、吊桁、底篮组成，形成明晰的结构受力体系。与全自动液压模板系统、全方位平台防护系统组成智能造桥机的主体结构，造桥机主要结构见图 1。

（二）智能控制

利用液压传动、智能操控、信息化监测技术，实现了造桥机自动走行，实时监控，故障急停，精准控制走位；实时感知模板状态，自动进行内外模开合和标高、姿态调节。

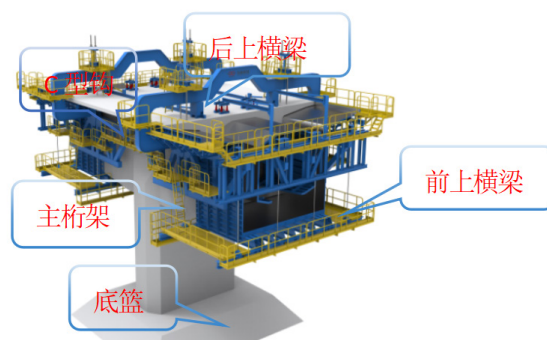


图 1 悬臂造桥机主要结构图

（三）信息化

在项目部钢构件智造中心设置本标段信息化管理中心，通过造桥机三维数字化监管平台，与信息化中心智能综合管控平台互联，综合应用物联网、大数据等新技术，将造桥机关键部位监控、各种工况主要杆件应力变化、行走位置和速度、模板开合位置、混凝土温湿度、张拉压浆信息等重要施工参数关联到数字孪生模型中，实现信息预警、远程监控、远程操控。

（四）工况转换

在拼装、预压完成后，造桥机工作状态主要分为浇筑、行走两种工况。

浇筑工况时：上横梁通过钢棒连接主吊架，吊起主桁架，主桁架上后支点承受悬臂段传递的反力。

行走工况时：后支点切换为后顶轮，主吊架钢棒解除锁定，由 C 型钩承受下部结构自重；自动行走系统控制油缸推动上横梁，造桥机向前行走。

三、造桥机悬臂施工

（一）施工准备

造桥机进场前，进行施工人员培训交底，检查连续梁 0# 块预留孔是否埋设准确，检查扳手、倒链葫芦等拼装用工具及设备是否齐全完好，清理好桥下拼装场地；造桥机进场后，组织技术、质量、安全、物资人员根据图纸清单对造桥机零配件进行清点和验收，熟悉各零部件的卸货位置，对易丢失部件（如精密零部件传感器的螺栓、开口销、螺栓、销轴等）进行有效管理存放，电

器元件、传动机构等零部件载货后，请注意防潮防尘，勿将其暴露在露天中，以免影响正常使用。

（二）造桥机拼装

1. 地面预装

（1）主桁架安装

主桁架在地面拼装好之后固定牢固，完成后支点油缸、后滑轮、顶升系统、限位轮、平台支架、油缸座、主吊架、液压管路等的安装。

（2）安装前上横梁

主桁架安装好之后，使用 10.9 级 M20 螺栓将前上横梁与主桁架连接在一起。

（3）起吊准备

地面预装完成后，拆除主桁架斜撑，连接吊装吊杆，准备起吊。

2. 吊装

吊装时，先通过吊装吊杆完成造桥机的提升，当提升至合适高度，再使用钢丝绳穿过 0# 预留吊装孔绑定在主吊架上，缓慢完成主桁架的位置调整和固定，主桁架吊装见图 2。

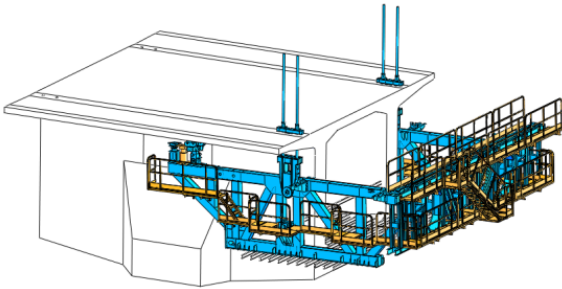


图 2 造桥机主桁架吊装图

3. 梁面预装及底篮安装

地面预装构件锚固到梁面后，可进行后上横梁及平台的梁面预装，其中轨道、卡轨座等可以与梁面预装同步进行。在梁面预装的同时，可以完成底篮及其平台防护的安装。

4. 梁面组装

在完成上横梁安装后，开始进行梁面组装工作。先后安装主吊架锚固系统、C 型挂腿、内外模及平台、底篮及前端爬梯、液压泵及电气液压线路等附属结构，现场拼装完成见图 3。

5. 调试

调试前，需确认除内模系统外，所有构件已完成安装，电控、液压线路已完成接线，检查线路确保线路安全无漏电点位。

输入造桥机控制程序，按照操作流程点动相关控制单元，注意观察与记录，根据结果反馈做出相应的调整，确定各油缸动作方向，将动作方向相反的进行调整；完成所有动作调试，调整主桁架的姿态；调整底篮系统标高；调整外模位置；核对各监测点监测值；整个调试过程应保持高度警惕，谨防触电。调整底模时务必观察，禁止无限制向上提升。



图 3 造桥机现场拼装成型图

（三）预压

在造桥机安装完成后，采用自平衡体系法对造桥机进行反力预压。加载装置由预埋件、反力架、横向分配梁、纵向分配梁、锚杆及液压设备组成。

1. 自平衡体系设计

①预埋件埋设于 0 号段前端梁体腹板上，作为反力架与 0 号段的连接节点。每道腹板上设上下两个预埋件，由 Q355 钢板组焊而成。

②反力架由水平杆和斜杆组成焊件，使用精轧螺纹钢与预埋件锚固。

③横向分配梁与纵向分配梁置于反力架下，置于底篮纵梁上，作为底篮加载油缸的分配梁。

④油缸置于反力架前节点下，油缸加载的力向下通过横向分配梁与纵向分配梁传递至底篮纵梁，使底篮系统受力状况更接近混凝土灌注工况；油缸加载的力向上通过反力架传递至预埋件，预埋件将力最终传递至梁体。

⑤液压设备包括加载油缸和液压泵站。

2. 造桥机预压总荷载的确定

根据连续梁最重节段（1# 段）施工荷载 1.2 倍进行预压。

3. 预压加载及卸载观测

造桥机由于均为钢结构，支撑位置在变形较小的钢筋混凝土 0# 块上，结构变形发生速度较快，按以下静置时间考虑：0 → 50%（1 小时）→ 75%（1 小时）→ 100%（1 小时）→ 120%（6 小时）→ 100%（1 小时）→ 75%（1 小时）→ 50%（1 小时）→ 0。如果在静置过程中变形还在继续，则需延长静置时间，特别是达到最大值 120% 荷载时，需等变形稳定后才能开始卸载。卸载过程同加载时一样，需要对称均匀卸载，避免局部卸载过多形成偏载，引起结构失稳。

（四）节段循环施工

1. 智能监测

通过智能检测系统和信息化控制平台，对造桥机在施工和行走工况下的关键结构（后上横梁、C 型钩、主吊杆、底篮吊杆）应力变化和整体姿态（俯仰角、翻滚角）进行监控，超出阈值时会显示超标或报警。现场操作人员（机长）可通过监测数据进行设备急停操作。

2. 模板调整

通过模板液压传动系统、智能控制系统对造桥机底篮、内外模进行调整，模板调整及安装顺序为：底篮标高调节→外侧模标高、横移调节→梁体底腹板钢筋、预应力管道安装→底腹板堵头安装→内模调节→内外模板对拉杆安装→顶板堵头安装。

底篮标高调整到位后，锚紧底篮前后所有吊杆；内外侧模调整到位后，将导梁螺杆拧出，将油缸缩回，使吊杆承担全部载荷，油缸不得承受施工荷载。

3. 钢筋、预埋件安装

根据设计图纸安装连续梁各节段钢筋、预应力管道、预埋件/孔、造桥机预留孔等。

4. 混凝土浇筑、养护

混凝土浇筑按先底板后腹板、再顶板，从中间向两侧对称进行浇注。浇筑过程中，实时观测造桥机的应力监测数据，防止施工过程中出现不均匀荷载等情况。

悬臂施工时，应对称浇筑，梁端混凝土浇筑不平衡重最大不超过浇筑节段重的1/6且不超过20吨。每节段需做同条件养护试件不少于2组，每组3块，作为张拉时混凝土强度和弹性模量判定依据。

浇筑完成后，通过监测系统中的温湿度数据，智能养护系统自动对节段进行养生。

5. 张拉压浆

连续梁节段养护至混凝土强度达到设计值的95%，弹性模量达到设计值的100%且混凝土龄期不少于5d，拆除内外模板对拉杆、脱侧模，使用铁路连续梁预应力智能张拉压浆设备进行张拉和压浆作业，数据上传铁路工程管理平台连续梁张拉及压浆模块。

6. 行走

节段预应力张拉及压浆完成后，准备造桥机前移作业。行走前根据操作规程按步骤进行力系转换：拆除锚固措施→后上横梁滑座架到梁面轨道上→主吊架油缸调节，下放主吊架→结构受力从主吊架转换到C型挂腿上，取出主吊杆→主桁架后滑轮顶升、后支点回缩，进入行走状态。

造桥机走行前，须在滑座前安装限位开关，轨道上安装限位挡板，保证造桥机在安全行程内行走。且检查确认：内外模板已经完全脱离混凝土，底篮前后吊杆已经降下，底篮后横梁腹板内侧吊架已拆除，造桥机前滑座已经完全落至轨道上，后顶轮落在桥体翼板下表面。

行走控制也分为同步和独立两种模式。按下同步伸按钮后，造桥机整体前移，当造桥机走到预设输入的前移长度后停止；独立控制依据实际工况对走行进行微调。

7. 造桥机后退

当施工到合龙段时，一侧造桥机后退至适宜位置进行拆除，另一侧造桥机施工完合拢段后，后退至适宜位置拆除。

造桥机后退前，将底篮下放到合适高度，避免后退过程中与梁底干涉；将造桥机转换到行走状态，通过走

行油缸控制造桥机后退至预定位置，在后退过程中，及时检查侧模、底篮等是否与梁体干涉。

8. 造桥机拆除

造桥机在后退至适宜拆除下落的节段后，可通过塔吊或主吊杆将造桥机C型挂腿以下结构整体下放至地面。

四、施工控制要点

(1) (40+2×56+40)m连续梁0#块长度为9m，长度较小，为保证施工安全，需设计为连体造桥机，主桁架在0#块中心处相连；第一节段行走时，需在梁面设置2根导梁作为支撑点。

(2) 浇筑前检查确认各油缸、销轴、吊杆、螺杆及锚杆已正确安装后方可进行梁段混凝土浇筑。

(3) 0#块与1#块梁面预留孔需保留至造桥机下放完成。

(4) 大于6级风时禁止进行造桥机移位作业，突遇大风时应停止前移造桥机，应将造桥机所有锚杆全部按浇注状态要求安装。

(5) 智能控制检测设备庞大、工况复杂，供电方式和控制系统众多，为确保施工安全，必须加强生产作业过程的巡检。

结语

(1) 悬臂造桥机通过自动化、智能化控制和信息化监测，实现了悬臂浇筑连续梁、连续梁刚构施工的智能化，相比于传统挂篮，行走工况下可节省行走时间2小时/节段，减少作业人员4人；浇筑工况下可节省调模时间4小时/节段，减少作业人员6人，综合功效提升15%以上。

(2) 悬臂造桥机通过提高工效，减少了高空作业施工人员，进而降低了高空作业风险；配置的全方位平台防护系统和实时应力智能监测系统，减少和避免不安全行为和 unsafe 状态的发生，对降低现场安全隐患、提高风险防控水平有着极大的推进作用。

(3) 悬臂造桥机在连续梁（刚构）的成功应用，在今后铁路、公路、市政等项目桥梁工程连续梁、连续刚构施工中有广阔的应用前景。

参考文献

[1] 中国国家铁路集团有限公司工程管理中心. 铁路混凝土连续梁（刚构）悬臂浇筑挂篮施工安全管控技术手册. 北京：中国铁道出版社有限公司，2023：15.

[2] 宋海洋. 连续梁0号块托架自平衡体系预压工艺研究——以某桥0号块托架预压施工为例[D]. 淮南：安徽理工大学，2024.

[3] 中铁二院工程集团有限责任公司. 成渝中施桥-43-II DK92+105.5 南渝沪高速双线特大桥(40+2×56+40)m连续梁(双线线间距5m). 成都, 2022.

作者简介：李文明（1987-），男，汉族，山东省无棣县，本科，高级工程师，主要从事工程施工安全技术管理工作。