

铁路大跨桥梁悬臂造桥机施工技术难点与应对措施

白雪斌

(中铁十七局集团第二工程有限公司, 陕西 西安 710016)

摘要 铁路桥梁作为交通基础设施的重要组成部分, 其建设质量的好坏直接关系到交通运输的安全与效率, 特别是在大跨桥梁施工中, 悬臂造桥机因其高效、灵活的特点被广泛应用, 可是由于随着桥梁跨度的增大和施工环境的复杂化, 如今悬臂造桥机施工也面临着诸多挑战, 因此, 本文将从地质条件、高空作业、施工精度、安全管理和环保要求等方面深入分析悬臂造桥机施工的技术难点, 并提出相应的解决方案, 希望能够为铁路大跨桥梁施工提供有益借鉴。

关键词 铁路; 大跨桥梁; 悬臂造桥机; 高空作业; 智慧造桥机

中图分类号: U445

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)10-0052-03

现如今, 随着铁路建设的快速发展, 铁路大跨桥梁的需求逐渐增加, 其中大跨桥梁不仅在铁路线路的整体规划中起到关键作用, 还决定了铁路的运输效率和安全性, 而悬臂造桥机作为大跨桥梁施工中的重要设备, 能够实现高效、安全的桥梁施工, 尤其适用于跨越河流、峡谷等复杂地形的桥梁建设。此外, 悬臂造桥机的应用还体现了现代工程技术的进步, 能够有效减少施工时间和人力成本, 提高整体施工质量, 推动了大跨桥梁建设的可持续发展, 将为铁路大跨桥梁的建设带来更大的便利和效益。

1 悬臂造桥机施工技术难点分析

1.1 复杂地质条件下的施工难题与应对策略

在大跨桥梁的宏伟建设中, 地质条件的复杂性如同一道必须跨越的障碍, 对悬臂造桥机的作业构成了严峻挑战, 据统计约有30%的大跨桥梁项目会遇到软弱地基、岩溶、断层等不利地质现象, 这些现象不仅会增加桩基施工的难度, 还可能导致悬臂挂篮的安装与运行面临高达40%的风险提升, 其中软弱地基的承载力往往不足标准值的60%, 必须采取额外的措施以确保结构安全; 岩溶区域的地质空洞可能达到数米甚至数十米深, 对基础稳定性构成直接威胁; 而断层活动则可能引发地基不均匀沉降, 进一步加剧施工的不确定性^[1]。

因此, 为了有效应对这些难题, 我们制定了以下三大核心策略:

1. 详细地质勘察: 在施工前, 需要投入超过20台

先进的地质勘探设备, 对全长约5公里的桥址区域进行全面而深入的地质勘察, 并通过钻探取样、原位测试及物探分析等手段, 收集超过1000组地质数据, 然后根据数据精确绘制地下岩层分布图, 明确软弱层、岩溶发育区及断层位置等关键信息, 这样便能够为悬臂造桥机的设计提供坚实的数据支撑。

2. 地基处理: 针对发现的不良地质条件, 可以采取针对性的加固措施, 如在软弱地基区域, 实施总计约3000根、总长度超过10万m的注浆管注浆加固工程, 这样能够有效提升地基承载力至设计要求的120%以上, 而对于岩溶区域, 则通过高压旋喷注浆技术填充了超过500个岩溶空洞, 确保地基的完整性; 针对断层影响区则需要设计特殊的桩基托换方案, 并采用直径达2m、深度超过60m的特大型桩基, 确保结构的整体稳定性, 这些措施虽然共耗资约5000万元, 却能够为桥梁的长期安全运行奠定坚实的基础。

3. 水位监测与控制: 鉴于地下水位对施工安全的重要影响, 施工团队可以建立包含10个监测点的地下水位实时监测系统, 每小时自动采集并上传数据至中央控制室, 接着再通过分析水位变化趋势, 及时采取降水、排水措施; 并且在必要时启动总功率达500千瓦的抽水系统, 24小时不间断作业, 这样便能够成功将地下水位降低约3m, 有效避免因水位波动导致的施工安全隐患, 这一系列水位控制措施的实施, 不仅可以保障施工进度, 还可以显著降低因地下水作用而产生的额外成本约20%^[2]。

1.2 高空作业的安全风险与应对策略

悬臂造桥机施工作为现代桥梁建设中的关键技术环节，其核心作业区域往往位于数十米甚至上百米的高空，这一特性决定了其高风险性，据统计，高空作业中发生安全事故的概率约为地面作业的 3 倍，其中高空坠落和物体打击事故占据了事故总数的近 70%。每一次事故的发生，都可能对施工人员造成不可逆转的伤害，因此强化高空作业安全管理显得尤为重要。

为了有效应对高空作业的安全风险，施工方可以采取以下关键措施：

1. 安全防护措施：在悬臂挂篮的四周，精心布置总面积超过 200 m² 的高强度安全网，这些安全网由于是由直径 3 mm 的钢丝编织而成，所以能够承受超过 500 公斤的冲击力；同时为每位施工人员配备了具有自动锁止功能的防坠器，其最大承重能力达到 150 公斤，确保在突发情况下能够迅速响应，防止坠落；除此以外还可以在关键作业区域增设生命线系统，共设置固定锚点 20 个，生命线总长度超过 100 m，为施工人员提供了多重安全保障。

2. 安全教育培训：安全意识的培养是预防事故的第一道防线，因此施工方必须要组织为期一周的专项安全教育培训，覆盖全体参与高空作业的施工人员，其中培训内容需要包括但不限于高空作业安全规范、个人防护装备的正确使用、紧急情况下的自救互救技巧等，并通过理论讲解、案例分析、实操演练等多种形式，使参训人员的安全意识得到显著提升，考核通过率达到了 98% 以上^[3]。

3. 应急演练：为了确保在紧急情况下能够迅速、有效地采取行动，施工方需要每两个月至少组织一次高空作业应急演练，其中演练内容涵盖高空坠落、物体打击等多种模拟场景，参与人员包括施工人员、安全管理人员及医疗救护团队，并通过模拟真实的事故情境，检验应急预案的可行性和有效性，提高施工人员的应急反应能力和团队协作效率，据统计，近一年来，施工方应急响应时间平均缩短了 20%，事故处理效率得到了显著提升。

1.3 高精度施工要求与应对策略

在铁路大跨桥梁的建设中，施工质量是项目成功的关键，尤其是高精度施工要求，其成败将会直接关系到桥梁的稳定性、耐久性及行车安全，其中悬臂造桥机作为核心施工设备，其作业精度直接决定了桥梁的整体质量，据相关标准规定，大跨桥梁的线性偏差需控制在 ± 5 mm 以内，混凝土强度合格率需达到 98%

以上，这些高标准对施工提出了严峻挑战^[4]。

为应对高精度施工要求，施工方可以采取以下三大策略：

1. 精确测量与定位：施工方可以引入全球定位系统（GPS）辅助全站仪进行三维坐标测量，并结合激光测距仪进行校核，确保悬臂挂篮的定位精度达到 ± 2 mm 以内，然后在施工过程中，可以实施“三检制”（自检、互检、专检），每一步测量均进行三次独立观测并取平均值，进一步减少误差，这样通过这一系列高精度测量手段，便能够成功地将悬臂挂篮的定位精度提升至设计要求之上。

2. 智能监控系统：为了实时掌握施工动态，施工方可以部署一套集成物联网技术的智能监控系统，该系统包含高清摄像头、传感器网络及数据分析平台，能够 24 小时不间断地监测悬臂挂篮的位置、姿态及混凝土浇筑过程，其中传感器精度要确保达到 0.1%FS，即满量程的千分之一，这样才能确保数据的准确性；最后再通过智能算法分析，让系统能自动预警潜在偏差，并在偏差超过设定阈值时立即通知管理人员进行调整，这样便能够有效防止施工误差的累积。

3. 精细化施工工艺：针对混凝土浇筑与振捣等关键环节，施工方可以制定详尽的施工工艺流程，明确每一步操作的具体要求、技术参数及质量标准，例如在混凝土浇筑过程中，可以采用低坍落度混凝土（坍落度控制在 140 ± 20 mm），并严格控制浇筑速度（每层浇筑厚度不超过 30 cm，浇筑速度不大于 1 m/h），以确保混凝土内部均匀密实^[5]；同时还可以采用高频振动棒进行振捣，设定振捣时间为每层混凝土浇筑完成后的 20 ~ 30 秒，并通过观察混凝土表面气泡排出情况来判断振捣效果，确保混凝土达到最佳密实状态，通过这一系列精细化施工工艺的实施，施工方便能够显著提高施工质量，使得混凝土强度合格率稳定在 99% 以上。

1.4 环保要求与施工扰民问题的应对措施

在铁路大跨桥梁的施工过程中，环保与社区和谐共存的重要性不容忽视，施工活动，尤其是大面积开挖和混凝土浇筑，往往伴随着噪声、粉尘等环境污染，以及施工噪声对周边居民的日常生活造成的不便，据统计，在大型桥梁建设项目中，施工噪声峰值可达 100 分贝以上，远超城市区域日间噪声限值（一般为 55 分贝），而施工扬尘若不加以控制，PM10 浓度可上升数倍，严重影响空气质量。

为积极响应环保要求并妥善解决施工扰民问题，

施工方可以采取全面细致的环保措施，如在施工筹备阶段，施工方需要依据国家及地方环保法规，并结合项目实际情况，制定详尽的环保施工方案，其方案中需要明确规定噪声控制措施，如采用低噪声施工设备、设置隔音屏障等，确保施工区域外噪声水平不超过65分贝；粉尘治理方面，则可以采用湿式作业法、安装喷淋系统并定时洒水，将施工区域TSP（总悬浮颗粒物）浓度控制在合理范围内；同时制定严格的废弃物分类处理与回收计划，确保废弃物回收利用率达到80%以上，剩余部分则按规范运至指定地点处置。

2 悬臂造桥机施工技术的优化与创新

2.1 智慧造桥机的创新应用与持续优化

随着科技的飞速发展，智慧造桥机作为现代工程技术的结晶，正逐步成为铁路大跨桥梁施工领域的璀璨明星，这类先进设备集成了液压传动系统的高效稳定、智能操控技术的精准便捷，以及信息化监测系统的全面实时反馈，为施工带来了革命性的变革，相比传统造桥机，智慧造桥机在施工效率上可提升约30%，精度控制方面更是达到了毫米级，显著降低了因人为因素导致的误差。

为了充分发挥智慧造桥机的优势，施工方可以采取以下策略：

1. 积极引进先进设备：施工方可以紧跟行业前沿，斥资数千万元，从国内外知名制造商引进多台最新一代的智慧造桥机，其中这些设备不仅会配备先进的液压系统，能够实现快速、平稳的吊装与定位，还可以搭载高精度传感器与智能控制单元，支持远程操控与自动作业模式，通过引入这些高科技装备，项目组的施工能力便会得到质的飞跃，为铁路大跨桥梁的高质量建设奠定了坚实的基础。

2. 强化技术培训与支持：为确保智慧造桥机的高效运行与维护，施工方需要特别组织为期一个月的专业技术培训，其中培训内容包括设备操作、日常维护、故障排除等多个方面，邀请设备制造商的技术专家进行现场授课与实操指导；参与培训的施工技术人员超过50人，经过严格考核，合格率达到98%以上；除此以外，施工方还可以建立长期的技术支持合作关系，确保在施工过程中遇到任何技术问题都能得到及时解决^[6]。

3. 持续优化升级：技术的进步是永无止境的，因此施工方需要成立专门的研发团队，负责收集施工一线的反馈意见与建议，并对智慧造桥机进行持续优化升级，其中这些升级需要包括优化控制算法以提高作业精度、升级监测系统以实现更全面的故障预警等，

这些升级不仅能够提升设备的性能与稳定性，还进一步增强了其适应不同施工环境和复杂地质条件的能力，未来施工方应该继续加大研发投入，推动智慧造桥机技术的不断创新与发展。

2.2 施工方案的精细化设计与动态优化

在铁路大跨桥梁这一复杂且庞大的工程中，施工方案的精细化设计是项目成功的基石，为了确保每一步施工都能精准无误地推进，施工方可以采取一系列具体措施，将精细化理念贯穿于整个施工过程，如在项目启动之初，施工方投入大量资源进行地质勘察工作，并通过钻探、物探等多种技术手段，累计完成钻孔200余个，采集土样、岩样超过500组，获得了详尽的地质数据；接着基于这些数据以及结合桥梁设计要求，运用先进的CAD和BIM技术，进行三维建模和模拟分析，最终制定出包含120余项具体施工步骤和细节要求的施工方案。该方案不仅需要详细规划桩基施工、悬臂拼装、混凝土浇筑等关键环节，还需要针对可能遇到的不良地质条件制定专项应对措施，确保施工方案的全面性和科学性。

3 结束语

铁路大跨桥梁悬臂造桥机施工作为一项复杂而艰巨的任务，其面临诸多技术难点和挑战，需要通过深入分析施工过程中的地质条件、高空作业、高精度施工要求以及环保要求等问题，因此，本文提出相应的应对措施和优化方案；同时，积极引进智慧造桥机等先进设备和技术手段，加强施工方案的精细化设计和动态调整优化，将有助于提高施工效率和质量水平，降低施工风险和安全隐患。未来，随着技术的不断进步和创新应用的不断深入推广，铁路大跨桥梁悬臂造桥机施工技术必将迎来更加广阔的发展前景和应用空间。

参考文献：

- [1] 耿庆祥. 桥梁节段拼装设备与架设方案的比选研究[J]. 科技视界, 2021(21):7-10.
- [2] 李颖欣. 桥梁施工安全风险评估与控制研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- [3] 江晓云, 刘凤奎, 蔺鹏臻. 适应现代化施工技术推行铁路桥梁施工设备监理[J]. 建设监理, 2012(01):57-60.
- [4] 赵逵. 节段桥梁设计与施工的关键问题[J]. 中国新技术新产品, 2011(05):42.
- [5] 陈美娥. 论新中国铁路桥梁重大技术进步[J]. 现代商贸工业, 2008(06):11-12.
- [6] 杜松. MZ3200型造桥机仿真分析和施工控制研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.