

涉铁项目钻孔灌注桩施工安全技术探析

李秉轲 江辉煌 陈沛沛

中土城联工程建设有限公司 石家庄 长安 050000

【摘要】 涉铁项目钻孔灌注桩施工紧邻运营铁路，存在机械侵限、地层扰动、振动影响、坍塌风险等多重安全隐患，施工安全管控标准远高于普通工程。本文以临近既有运营铁路的钻孔灌注桩施工为研究对象，系统分析施工全过程核心安全风险点，从施工准备、成孔作业、钢筋笼吊装、混凝土灌注、监测预警及应急处置六大维度，梳理关键安全技术措施，结合工程实践数据优化施工参数，形成适配涉铁场景的安全施工技术体系。研究表明，通过低扰动钻进、强化防护、实时监测、规范吊装等技术手段，可将铁路路基沉降控制在 2mm 内、振动速度控制在 1.5cm/s 内，有效保障铁路运营安全与桩基施工质量。研究成果为同类涉铁桩基工程安全施工提供技术参考与实践借鉴。

【关键词】 涉铁工程；钻孔灌注桩；施工安全；风险防控；监测技术；临近营业线

1 引言

随着我国铁路网络不断完善，新建工程与既有铁路交叉、临近的涉铁项目日益增多，钻孔灌注桩因承载力高、适应性强，成为涉铁基础工程的主要形式。涉铁钻孔灌注桩施工核心难点在于紧邻运营铁路，施工空间受限、安全标准严苛，施工过程易引发地层变形、振动扰动、机械侵限等问题，直接威胁铁路行车安全与结构稳定。

与普通钻孔灌注桩相比，涉铁项目需同时满足桩基施工质量与铁路运营安全双重要求，现行规范对施工振动、路基沉降、设备限界等指标提出严格限值。目前相关研究多聚焦单一工艺或风险防控，缺乏对全流程安全技术的系统梳理，且针对不同地质、不同铁路等级的差异化安全措施研究不足。基于此，本文结合涉铁工程施工特点，全面辨识安全风险，从前期准备到后期监测构建全链条安全技术体系，明确关键参数与管控要点，为涉铁钻孔灌注桩安全施工提供技术支撑。

2 涉铁钻孔灌注桩施工安全风险辨识

涉铁钻孔灌注桩施工风险具有复杂性、关联性、高危害性特征，主要集中在场地环境、施工机械、成孔工艺、吊装作业、扰动影响五大方面，具体风险点及危害如表 1 所示。

3 涉铁钻孔灌注桩施工关键安全技术措施

3.1 施工准备阶段安全技术

3.1.1 场地规划与加固

场地布置遵循 **“远离铁路、分区隔离、稳固可靠”原则：施工区域与铁路线路间设置硬质隔离防护栏（高度 $\geq 2.5\text{m}$ ）及警示标志，严禁无关人员、设备侵入限界；钻机操作平台背对铁路布置 **，防止机械倾覆侵限；软土地基采用碎石换填 + 分层压实处理，压实度 $\geq 95\%$ ，必要时铺垫钢板或枕木，确保钻机承载力 $\geq$ 设备自重 1.2 倍。

3.1.2 设备选型与检查

优先选用低扰动、低振动设备：成孔设备优先旋挖钻（振动小、成孔效率高），临近高铁或敏感区域采用全套管全回转钻机，隔绝地层扰动；严禁使用冲击钻（振动大、扰动强）紧邻铁路施工。设备进场前全面检修：钻杆、钻头无裂缝变形，吊车限位、制动系统灵敏，泥浆泵、灌注设备运转正常，特种作业人员持证上岗。

3.1.3 技术交底与方案审批

施工前编制专项安全施工方案，明确施工流程、安全参数、防护措施、监测方案及应急预案，经铁路产权单位审批后方可施工；对所有作业人员开展三级安全技术交底，重点强调铁路限界、振动控制、吊装安全、应急处置等要点，考核合格后方可上岗。

表 1 涉铁钻孔灌注桩核心安全风险点及危害

风险类别	具体风险点	主要危害
场地环境风险	临近铁路限界、场地狭窄、软土地基承载力不足	机械倾覆侵限、设备沉降倾斜、铁路设施损坏
施工机械风险	钻机、吊车等大型机械站位不当、稳定性差	机械倾倒入铁路限界、碰撞接触网及轨道设备
成孔作业风险	砂卵石层塌孔、漏浆；钻进振动过大；孔口防护缺失	路基沉降变形、轨道不平顺；孔口坠物、人员坠落
吊装作业风险	钢筋笼超长、吊点不合理、吊装摆动	钢筋笼侵限、碰撞铁路设施；吊装坠落伤人
扰动影响风险	施工振动、地层位移传递至铁路路基 / 轨道	路基开裂、轨道变形、列车运行颠簸，引发行车事故
临时用电风险	电气化铁路区域用电违规、线路破损	触电事故、影响铁路供电系统



3.2 成孔作业安全技术

3.2.1 钢护筒埋设

临近铁路侧钢护筒加长至 3m 以上，埋深穿透松散层至硬土层，护筒直径比桩径大 10cm，顶部高出地面 30cm，防止地表水流入及孔口坍塌；护筒四周用黏土对称填筑、分层夯实，确保护筒稳固，避免施工振动导致偏移。

3.2.2 低扰动钻进工艺

根据地质条件优化钻进参数，控制施工扰动：

砂层、粉质黏土层：低速慢钻，钻进速度 $\leq 0.5\text{m/h}$ ，泥浆比重控制在 1.1~1.2，黏度 18~22s，防止坍孔、漏浆；

卵石层：减小钻进压力，采用“轻压慢转”，泥浆比重提升至 1.2~1.3，增强护壁效果；

临近铁路 5m 范围内：严禁满负荷钻进，振动速度控制在 1.5cm/s 以内，必要时间歇施工，避开列车通行高峰。

3.2.3 孔口与泥浆安全防护

孔口设置专用防护盖板，非作业状态时封闭，防止人员、杂物坠落；泥浆池设置 1.2m 高防护栏杆 + 密目安全网，周边设置排水沟，防止泥浆溢出污染场地或浸泡地基；泥浆循环系统远离铁路布置，配备泥浆运输车，及时清运废浆，严禁随意排放。

3.3 钢筋笼吊装安全技术

钢筋笼吊装是涉铁施工高风险工序，核心防控侵限、摆动、坠落风险。

钢筋笼分段：临近铁路侧钢筋笼分段长度 $\leq 6\text{m}$ ，减少吊装摆动幅度；

吊点设置：采用四点悬挂法，主钩吊点设在端头向内 2m 处，副钩吊点设在中部加强箍上，吊点焊接牢固，防止断裂；

吊装管控：吊车停放在远离铁路侧，支腿全伸并垫钢板，严禁超载吊装；吊装时用麻绳拉住钢筋笼底部，控制摆动幅度，列车通过时立即停止吊装作业；

就位固定：钢筋笼缓慢下放，严禁碰撞孔壁及护筒，就位后及时固定，防止偏移上浮。

3.4 混凝土灌注安全技术

灌注前检查：清孔后孔底沉渣厚度 $\leq 50\text{mm}$ ，泥浆比重 ≤ 1.1 ，防止沉渣过厚影响桩身质量；检查导管密封性，确保无漏水、漏浆；

灌注过程控制：水下混凝土灌注连续进行，避免断桩；导管埋深控制在 2~6m，提升速度缓慢，防止导管拔出混凝土面；灌注高度超设计桩顶标高 0.5~1.0m，确保桩顶质量；

安全防护：灌注区域设置警示区，严禁非作业人员进入；导管拆装时专人指挥，防止碰撞、坠落；废弃混凝土及时清运，避免堆积影响场地安全。

3.5 临近铁路监测预警技术

为实时掌握施工对铁路的影响，建立自动化监测 + 人工巡检双重监测体系，监测数据实时上传，超限立即预警。

3.5.1 核心监测项目及限值

表 2 涉铁钻孔灌注桩施工监测项目及控制限值

监测项目	监测内容	控制限值
铁路路基	沉降、水平位移	沉降 $\leq 2\text{mm/d}$ ，累计 $\leq 10\text{mm}$ ；水平位移 $\leq 1\text{mm/d}$
轨道状态	轨距、水平偏差、轨道沉降	轨距偏差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ，水平偏差 $\leq 1\text{mm}$
施工振动	路基、轨道振动速度	$\leq 1.5\text{cm/s}$ （高铁）， $\leq 2.0\text{cm/s}$ （普速铁路）
钻机垂直度	钻杆倾斜度	$\leq 1\%$

3.5.2 监测方法与频率

自动化监测：采用北斗定位、倾斜传感器、振动传感器、沉降传感器，实时监测桩位、垂直度、振动、路基沉降，数据每 5 秒采集 1 次，超限自动报警；

人工巡检：每日 2 次检查铁路轨道、路基有无裂缝、变形，检查防护设施、隔离栏完好性，做好记录；

监测范围：施工区域前后各 50m 铁路路基及轨道，重点加密临近桩基段落监测点。

3.6 应急处置安全技术

编制专项应急预案，明确坍孔、机械倾覆、侵限、振动超标等突发事件处置流程，配备应急物资（挖掘机、钢板、应急救援工具、通讯设备），定期开展应急演练。

坍孔应急：立即停止钻进，加大泥浆比重，回填黏土或片石，静置 24h 后重新钻进，严禁强行施工；

机械倾覆 / 侵限：立即切断电源，疏散人员，严禁触碰接触网，及时通知铁路部门，配合处置；

振动 / 沉降超标：立即停工，调整施工参数（降低钻进速度、增加间歇时间），加密监测频次，待数据稳定后复工。

4 工程实践应用与效果分析

4.1 工程概况

某涉铁桥梁桩基工程，紧邻运营普速铁路，桩基直径 1.25m，桩长 30~35m，距铁路路基最小距离 3.5m；场地地层自上而下为素填土、粉质黏土、粉砂、卵石层，地下水位埋深 3.0m；铁路要求施工振动 $\leq 2.0\text{cm/s}$ ，路基沉降 $\leq 2\text{mm/d}$ ，累计 $\leq 10\text{mm}$ 。

4.2 安全技术应用

采用上述安全技术措施：场地硬化 + 钢板加固，钻机背对

铁路布置；选用旋挖钻，钢护筒埋深 3.5m；优化钻进参数，砂层钻进速度 0.4m/h，泥浆比重 1.15；钢筋笼分段 5m，四点吊装；布设自动化监测系统，实时监测振动、沉降、轨道状态。

4.3 应用效果

施工全过程未发生安全事故，核心指标均满足铁路要求：

铁路路基：最大日沉降 1.2mm，累计沉降 6.8mm，水平位移 0.5mm，远低于限值；

施工振动：最大振动速度 1.3cm/s，符合普速铁路限值；

桩基质量：成孔合格率 100%，桩身完整性 I 类桩占比 98%，满足设计要求。

5 结论与建议

5.1 结论

(1) 涉铁钻孔灌注桩施工核心风险为机械侵限、地层扰动、振动影响、坍塌吊装，需从全流程构建安全技术体系，严控关键工序。

(2) 场地加固、低扰动钻进、加长钢护筒、分段吊装、自动化监测是涉铁施工核心安全技术，可有效控制地层变形与振动影响，保障铁路运营安全。

(3) 工程实践表明，采用本文安全技术措施，可将路基沉降控制在 2mm 内、振动速度控制在 1.5cm/s 内，桩基质量合格率达 100%，实现安全与质量双重目标。

5.2 建议

(1) 涉铁施工前必须全面勘察地质与铁路现状，编制专项方案并经铁路部门审批，严禁无方案施工。

(2) 临近高铁或敏感区域，优先采用全套管全回转钻机，进一步降低地层扰动，严控振动与沉降。

(3) 建立施工 - 监测 - 预警 - 处置闭环管理机制，实时优化施工参数，确保风险可控。

(4) 加强作业人员安全培训，重点强化铁路限界、应急处置等实操能力，杜绝违规操作。

参考文献：

- [1] 中国铁路总公司. Q/CR 9212—2015 铁路桥梁钻孔桩施工技术规范 [S]. 北京:中国铁道出版社, 2015.
- [2] 住房和城乡建设部. JGJ 106—2014 建筑桩基技术规范 [S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2014.
- [3] 王浩, 李刚. 临近营业线钻孔灌注桩施工安全控制技术 [J]. 铁道建筑, 2020, 60 (5):45-48.
- [4] 张建军. 全套管全回转钻机在涉铁桩基施工中的应用 [J]. 施工技术, 2022, 51 (12):89-92.
- [5] 刘军, 陈强. 涉铁工程大型机械施工安全风险防控 [J]. 铁路安全技术, 2021, 18 (3):56-59.
- [6] 殷晓林. 邻近既有运营高铁深大基坑变形监测 [J]. 施工技术, 2024, 53 (16):97-101.
- [7] 朱兆斌. 冲击钻施工对既有铁路桥墩安全影响研究 [J]. 岩土工程技术, 2024, 38 (4):440-445.