

# 高速公路桥梁桩基施工质量控制要点分析

张永红

山西交通建设监理咨询集团有限公司 山西太原 030012

**摘要：**高速公路桥梁桩基作为传递上部结构荷载至深层地基的核心隐蔽工程，其施工质量直接决定桥梁整体稳定性、通行安全性及使用寿命。本文以高速公路桥梁桩基施工为研究对象，从施工前期准备阶段的地质勘察与方案优化入手，系统剖析成孔工艺、钢筋笼制作安装、混凝土浇筑等核心工序的质量控制要点，结合常见质量问题提出针对性防控措施，最后阐述全流程检测验收体系的构建方法。研究成果可为规范桩基施工操作、提升质量管控水平提供技术参考，助力筑牢高速公路桥梁工程安全防线。

**关键词：**高速公路桥梁；桩基施工；质量控制；成孔工艺

## 引言

高速公路作为交通基础设施的核心组成部分，其桥梁工程承担着跨越复杂地形、保障通行顺畅的重要职能。桩基作为桥梁下部结构的关键承载构件，深埋于地下或水下，具有隐蔽性强、施工工序复杂、受地质条件影响大等特点。在软土、岩溶、流沙等复杂地质环境下，桩基施工易出现塌孔、断桩、缩径等质量问题，直接威胁桥梁结构安全，甚至引发重大工程事故。因此，针对高速公路桥梁桩基施工全流程建立科学完善的质量控制体系，明确各环节关键控制点，对提升工程建设质量、降低运营维护成本具有重要现实意义。本文基于桩基施工技术规范，结合工程实践经验，系统梳理质量控制要点，为工程实践提供指导。

## 一、施工前期准备阶段质量控制

前期准备工作是桩基施工质量控制的基础环节，其完善程度直接影响后续施工的顺利开展。该阶段需重点围绕地质勘察深化、施工方案优化、资源配置管控三个维度开展工作，为桩基施工提供精准依据和可靠保障。

### （一）地质勘察深化

地质条件是桩基桩型选择、工艺确定及参数设计的核心依据，深化地质勘察需突破常规勘察局限，聚焦高速公路桥梁建设的特殊性需求。勘察工作应重点查明桩位区域土层分布规律、岩土力学性能、地下水位变化及腐蚀性、持力层埋深与分布特征，针对岩溶、孤石、流沙等复杂地质区域，需采用超前钻探技术加密勘察点位，明确特殊地质的分布范围与发育程度。同时，应结合勘察数据建立详细的地质剖面模型，标注各土层的承载力

特征值、压缩模量等关键参数，为桩长、桩径确定及成孔工艺选择提供精准数据支撑，避免因勘察疏漏导致施工方案与实际地质条件不符，引发质量安全风险<sup>[1]</sup>。

### （二）施工方案优化

施工方案作为桩基施工的指导性文件，需结合地质勘察成果、设计要求及工程实际条件进行系统化优化。方案编制应明确桩型选择依据，软土地区可采用钻孔灌注桩结合后注浆工艺，通过浆液加固桩端与桩周土体提升承载性能；狭窄场地或对振动控制要求高的区域，宜选用静压预制桩减少环境影响；岩溶地区则需采用嵌岩灌注桩，确保桩端嵌入完整基岩达到设计要求。同时，方案需细化各工序工艺参数，包括泥浆配比、成孔速度、钢筋连接标准、混凝土配合比等，针对塌孔、断桩等潜在风险制定专项应急预案。对于人工挖孔桩、超深灌注桩等危大工程，必须组织专家进行方案论证，确保施工技术的可行性与安全性。

### （三）资源配置管控

人员与设备是保障施工质量的关键资源，需建立严格的管控体系。人员方面，应对钻机操作工、钢筋工、混凝土工等关键岗位人员开展专项技术培训，重点培训施工规范、工艺要点及质量控制标准，考核合格后方可上岗，关键工序实行“操作+监督”双岗负责制，确保施工过程全程受控。设备方面，施工前需对钻机、钻杆、导管、混凝土输送泵等设备进行全面检修与调试，检测钻头磨损情况及钻杆直线度，对导管进行水密性试验，确保设备性能符合施工要求。

## 二、核心施工工序质量控制

桩基施工核心工序包括成孔、钢筋笼制作安装、混

混凝土浇筑三个关键环节，各环节施工质量环环相扣，共同决定桩身完整性与承载性能。需针对各工序技术特点，建立精细化质量控制标准，实现全过程动态管控。

### （一）成孔工艺质量控制

成孔质量直接决定桩身成型效果，是桩基施工质量控制的首要环节。不同桩型成孔工艺差异显著，需结合桩型特点针对性制定控制措施。

钻孔灌注桩成孔需重点控制泥浆护壁质量与钻进精度。根据土层特性配置专用泥浆，砂层、卵石层应选用高比重、高黏度泥浆增强护壁效果，防止孔壁坍塌；黏土层可适当降低泥浆比重，提升排渣效率。钻进过程中需确保钻机定位准确，通过水平仪调整钻机平整度，避免孔位偏移。在软硬土层交界面应减速钻进，防止钻杆晃动导致孔壁不规则或孔斜。终孔后需及时进行清孔处理，采用正循环与反循环结合的清孔工艺，彻底清除孔底沉渣，确保沉渣厚度符合设计要求。

沉管灌注桩成孔需强化垂直度监测与拔管工艺控制。采用双向垂直度仪实时监测桩管垂直度，发现偏差及时调整，避免桩身倾斜。锤击沉管应控制落距，防止冲击力过大破坏桩端持力层；振动沉管需根据土层特性匹配振动频率，砂层采用高频低幅模式提升沉管效率，黏土层采用低频高幅模式减少阻力。拔管过程严格执行“密锤慢拔”或“复振法”，控制拔管速度，确保混凝土在初凝前完成灌注，复打桩需保证二次沉管深度超过第一次，提升桩身密实度。

人工挖孔桩成孔需兼顾质量与安全控制。孔口应设置高出地面的混凝土护圈，防止地表积水流入孔内；每挖深一定距离浇筑混凝土护壁并配置钢筋，增强孔壁稳定性。孔内作业前必须检测有毒气体浓度，采用通风设备保障作业环境安全，照明选用安全电压避免触电事故。开挖过程中定期检查孔径与垂直度，遇流沙层采用钢套筒护壁或缩短护壁段长，确保成孔质量符合要求。

### （二）钢筋笼制作与安装质量控制

钢筋笼作为桩身受力骨架，其制作精度与安装质量直接影响桩基抗裂性能与承载能力。钢筋笼制作需严格控制钢筋规格与加工精度，主筋与箍筋间距、钢筋笼直径偏差应符合设计标准。主筋连接优先采用机械套筒连接，连接前需检验丝扣质量，确保连接紧密；采用焊接连接时，需保证焊缝长度与饱满度，单面焊与双面焊应满足相应焊接长度要求，接头需错开布置，避免应力集中。

钢筋笼吊装与安装需防止变形与定位偏差。根据桩长合理划分钢筋笼分节长度，采用扁担梁吊具吊装，避

免单点起吊导致钢筋笼弯曲变形。下放过程中控制垂直度，缓慢下放避免碰撞孔壁，孔口临时固定后再拆除吊具。为确保保护层厚度，需在钢筋笼外侧设置定位筋或混凝土垫块，垫块间距应均匀布置，水下桩与干作业桩需按规范要求设置不同的保护层厚度标准。钢筋笼顶标高采用全站仪精准定位，确保偏差控制在允许范围内。

### （三）混凝土浇筑工艺质量控制

混凝土浇筑是桩身成型的关键环节，需根据作业环境（水下或干作业）采用差异化控制措施，确保混凝土密实度与强度。

水下混凝土浇筑核心在于导管管控与浇筑连续性。导管选用高强度钢管，接头采用橡胶圈与法兰双重密封，使用前进行水密性与承压试验。导管安装时确保底端距孔底距离合理，首次浇筑混凝土量需满足导管埋深要求，形成稳定封底。浇筑过程中实时监测混凝土面高度，控制导管埋深在合理区间，避免埋深过浅导致泥浆混入形成夹泥，或埋深过深引发导管堵塞。混凝土应具备良好的和易性与流动性，坍落度符合水下浇筑要求，浇筑过程连续进行，避免中断时间过长导致混凝土初凝形成断桩。桩顶需超灌一定高度，确保凿除浮浆后桩顶混凝土强度达标<sup>[2]</sup>。

干作业混凝土浇筑重点控制振捣密实度。采用插入式振捣器分层振捣，振捣间距均匀，至混凝土表面泛浆无气泡为止，避免漏振导致蜂窝麻面或振捣过度引发离析。浇筑过程中需观察混凝土坍落度变化，若出现离析现象及时处理。桩顶浮浆需彻底凿除，露出新鲜混凝土面，确保桩顶与上部结构连接牢固。混凝土浇筑完成后及时覆盖养护，防止因水分过快蒸发产生裂缝。

## 三、施工过程质量风险防控

高速公路桥梁桩基施工受地质条件、施工工艺等多重因素影响，易出现各类质量问题。需建立风险预判机制，针对常见问题制定防控措施，实现质量问题早发现、早处理。

### （一）常见质量问题成因分析

塌孔是桩基施工最常见的质量问题之一，主要成因包括泥浆比重不足、护壁措施不到位、钻进速度过快、地下水位过高未采取降水措施等，在松散砂层、流砂层等复杂地质区域尤为突出。断桩多由混凝土离析、导管拔空、浇筑中断时间过长、钢筋笼挂碰导管等因素导致，直接破坏桩身连续性。缩径主要发生在沉管灌注桩施工中，因桩管拔速过快、黏土遇水膨胀或混凝土侧向压力不足引发。此外，还存在桩身混凝土蜂窝麻面、钢筋笼

位置偏移、桩端未进入设计持力层等质量缺陷，需针对性分析成因。

### (二) 针对性防控与处理措施

针对塌孔问题，预防阶段应根据地质条件优化泥浆配比，增强护壁效果，砂层段采用钢护筒跟进施工，控制钻进速度；地下水位过高时采用井点降水，确保降水深度超过孔底。若发现轻微塌孔，可加大泥浆比重，投入黏土块夹小片石反复冲击形成泥皮护壁；严重塌孔需立即提钻，回填黏土与水泥混合物静置后重新成孔。

断桩防控需从混凝土质量与浇筑操作两方面入手，优化混凝土配合比，掺加减水剂提升和易性，确保混凝土供应连续；浇筑时专人监测导管埋深与混凝土面高度，避免导管拔空。对于小范围断桩，可采用高压注浆工艺加固；严重断桩需通过钻芯检测确定缺陷位置，采用植筋接桩或补桩措施处理。

缩径问题可通过改进拔管工艺解决，采用复打桩工艺提升桩身直径精度，或在混凝土中掺加膨胀剂补偿收缩。桩身蜂窝麻面需加强模板清理与拼缝密封，确保模板表面光滑并涂刷脱模剂，优化混凝土配合比，加强振捣控制。钢筋笼位置偏移需在吊装时精准定位，下放过程避免碰撞孔壁，采用定位筋固定位置。

### (三) 环境与安全协同管控

质量控制需与环境、安全管控协同开展。泥浆处理应设置专用泥浆池，容量满足施工需求，采用沉淀池与压滤机组合工艺进行干化处理，严禁直接排入市政管网或周边环境。施工过程中建立安全巡查制度，重点检查钻机稳定、用电安全、孔口防护等情况，确保施工安全。同时，根据天气变化调整施工计划，雨天做好孔口防雨措施，高温天气加强混凝土养护，避免环境因素影响施工质量。

## 四、桩基施工检测与验收质量控制

检测与验收是验证桩基施工质量的关键环节，需建立“施工过程检测+竣工后验收”的全流程检测体系，通过科学检测方法准确评估桩基质量，确保符合设计与规范要求。

### (一) 施工过程动态检测

施工过程检测需贯穿各工序，实现质量动态管控。成孔阶段采用测绳、超声波孔壁检测仪检测孔深、孔径与垂直度，采用重锤法或沉渣仪检测沉渣厚度，超标时及时处理。钢筋笼安装后逐节检查钢筋规格、连接质量与保护层垫块设置，采用全站仪复核顶标高。混凝土浇

筑过程中检测每车混凝土坍落度，偏差超标禁止使用，记录浇筑量与浇筑时间，确保浇筑连续<sup>[1]</sup>。

### (二) 竣工后综合检测

竣工后检测重点围绕桩身完整性与单桩承载力两大核心指标开展。桩身完整性检测需根据桩型与直径选择合适方法，中小直径桩可采用低应变法快速检测缺陷位置；大直径灌注桩优先采用声波透射法，精准定位缺陷范围；对检测结果存疑的桩基，采用钻芯法验证，通过钻取芯样直接观察桩身混凝土质量与桩底沉渣情况。

单桩承载力检测需结合工程规模与设计选择检测方法，静载试验作为最可靠的检测手段，适用于验证桩基极限承载力；高应变法可同时评估桩身完整性与承载力，适用于预制桩与打入式灌注桩；超长桩或场地受限项目可采用自平衡法，通过桩身预埋荷载箱测试承载力。

### (三) 验收标准与资料归档

桩基验收需严格执行相关技术规范，桩身完整性检测中Ⅰ、Ⅱ类桩比例需满足设计要求，Ⅳ类桩必须进行补强或报废；单桩承载力实测值需不低于设计值的安全系数倍数。验收过程中需重点核查施工记录与检测报告的一致性，包括成孔记录、钢筋检验报告、混凝土试块强度报告、检测报告等。资料归档需确保内容完整、数据真实、可追溯，为工程竣工验收与后续维护提供依据。

## 结语

高速公路桥梁桩基施工质量控制是一项系统工程，需贯穿施工全流程，涵盖前期准备、核心工序、风险控制、检测验收等多个维度。通过深化地质勘察、优化施工方案、强化核心工序精细化管控、建立科学检测体系，可有效规避塌孔、断桩等质量风险，提升桩基施工质量。实践表明，只有将质量控制理念融入每一道工序，落实岗位职责，加强技术创新与管理升级，才能确保桩基工程质量符合要求，为高速公路桥梁结构安全与长期稳定运营提供坚实保障，推动交通基础设施建设高质量发展。

## 参考文献

- [1] 李清平. 高速公路桥梁工程桩基施工技术及其质量控制研究[J]. 工程建设与设计, 2023(9): 202-204.
- [2] 胡刚. 高速公路桥梁大直径桩基施工关键技术与其质量控制[J]. 工程建设(维泽科技), 2025, 8(4): 119-121.
- [3] 张晓华. 高速公路桥梁桩基质量检测评估及加固措施[J]. 山西建筑, 2023, 49(2): 171-173.