# 高速公路桥梁工程桩基施工技术及质量控制研究

邱龙波

（四川蜀通港口航道工程建设有限公司，四川 南充 637000）

**摘 要** 高速公路桥梁建设具备跨度偏大、承载要求高的特点，施工现场的地质环境存在明显差异，持续影响桥梁基础结构。系统化桩基施工工艺适配各类地层固有理化属性，规避地基沉降失衡、结构受力异常等常见工程问题，稳固全桥受力体系，为高速公路常态化安全运行提供基础保证。基于此，本文分析了高速公路桥梁工程桩基施工技术，覆盖施工各环节，并提出质量控制策略，旨在为促进桥梁基础施工实现标准化发展提供参考。

**关键词** 高速公路桥梁工程；桩基；护筒埋设；成孔施工；钢筋笼安装

**中图分类号**：U445.551 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.28.035

## 0 引言

《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-2020）明确要求，桥梁基础施工应满足安全可靠、长期耐久的技术标准为桩基项目划定精细化技术管控门槛。在我国高速公路建设不断发展的背景下，地质条件复杂多样，软土、淤泥及高地下水位区域广泛分布，现场施工环境潜藏多项可变干扰因素，需要精确控制成孔质量，实时反馈施工监测数据。因此，施工单位要严格按照施工规范，科学组织桩基施工工序，落实全过程质量监控管理，保证桩基施工安全。

## 1 高速公路桥梁工程桩基施工技术

### 1.1 施工准备

进入施工阶段前，施工单位应结合设计文件，做好系统性技术准备，让施工组织与现场条件形成有效衔接，为桩基施工创造稳定环境。其中，技术管理人员需全面核对桩位布置、桩径参数等关键数据，重点分析桥位区地层结构，结合勘察报告确定存在粉质黏土层区域的成孔工艺，避免施工过程出现设备选型不合理或施工参数不匹配等问题。而且，施工现场还要利用导线控制网建立测量基准点，采用全站仪复核桥梁中心线，待桩位坐标确定后，应设置明显标识并采取保护措施，防止施工车辆运行或场地整平过程出现控制点偏移现象[1]。与此同时，施工单位要完成施工区域的清表作业，清除杂草、杂物以及松散土层，保证机械设备具备稳定作业条件，并采用换填压实或铺设钢板等方式，提高软弱地基区域的地面承载能力，避免旋挖钻机、履带吊等大型设备产生倾斜。设备进场前，施工单位要检测旋挖钻机、冲击钻机的性能，重点检查动力系统，并核验导管连接部位的密封性，保持各类机械设备处于良好工作状态。钢筋原材进场后，施工单位要查明质量证明文件，按照规定开展力学性能检测，依据配合比要求分类储存水泥、粉煤灰等原材料，防止受潮变质，并提前储备泥浆制备材料，保证护壁泥浆具备稳定的比重。

### 1.2 护筒埋设

护筒埋设是高速公路桥梁桩基施工的重要工序，能够固定桩位、隔离地表水，防止孔口坍塌，施工单位需要结合工程地质条件确定护筒规格，保证桩基施工处于稳定状态。施工单位应该采用钢护筒形式制作护筒，保持护筒内径大于设计桩径，控制差值在 200 mm～400 mm 范围内，以满足钻头运行需求，其中控制护筒钢板厚度在 8 mm～20 mm 范围内，以保证其具有足够刚度[2]。护筒进场后，施工单位需检查外观质量以及焊缝质量，避免因局部变形影响定位精度，并加强跨河桥梁或地下水丰富区域护筒防渗性能检查，以稳定施工期间孔内水位。护筒定位阶段，施工单位需要依据测量控制网复测桩位，利用全站仪精确放样，让护筒中心重合设计桩位中心，同时监测垂直度，维持垂直偏差在 1% 以内，待埋设完成后，宜控制护筒中心偏差在 50 mm 以内，以满足《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-2020）相关要求。同时，施工单位要按照土层

作者简介：邱龙波（1987-），男，本科，工程师，研究方向：道路与桥梁工程。

性质确定埋设深度，让普通土层区域护筒埋深在2 m～4 m范围内，若施工区域存在流砂层或地下水位较高情况，应适当增加埋设深度。

### 1.3 成孔施工

成孔过程中，施工单位要按地层条件合理选择施工工艺，保证孔壁稳定，为后续安装钢筋笼及灌注混凝土创造良好条件。施工开始前，施工单位应调试设备，稳固钻机底座，控制水平偏差在允许范围内，防止钻进过程出现孔位偏移。高速公路桥梁工程常见的钻孔灌注桩施工中，旋挖钻机与冲击钻机应用较为广泛，其中旋挖钻机适合黏土层、粉质黏土层以及部分砂层施工，冲击钻机用于卵石层、漂石层以及强风化岩层施工，因此施工单位应该结合地层变化及时调整钻进参数，不断提高成孔效率[3]。钻头进入表层土体时，施工单位需要保持低速钻进状态，减少孔口扰动，进入稳定地层后，可适当提高钻进效率，同时监测钻杆垂直度，保持桩孔倾斜率在1%以内，若遇桩长超过30 m的大直径桩基，应增加检测频率，及时修正钻进方向，避免孔斜影响桩基受力性能。与此同时，施工期间要采用膨润土泥浆或优质泥浆材料进行循环护壁，控制泥浆相对密度在1.05～1.20之间，保持黏度在17 s～22 s，维持含砂率在4%以内，并实时检测泥浆指标，如果泥浆性能下降，及时调整配比参数，以防发生塌孔现象。

### 1.4 清孔与验孔

由于钻孔达到设计深度后，孔内往往存在钻渣沉积，如果未能及时清除，将影响桩端与持力层之间的有效接触，降低桩基承载能力，同时增加桩身夹泥风险，施工单位必须完成高质量清孔作业，并采用规范验孔保证孔内各项指标满足施工要求[4]。钻孔结束后，施工单位应持续置换泥浆，逐步排出孔内含有大量钻渣的泥浆，用新鲜泥浆维持孔壁稳定状态，并重点控制泥浆性能参数，保持泥浆相对密度在1.03～1.10之间，维持黏度在17 s～20 s，把含砂率宜控制在2%以下。若参数过高容易影响混凝土与孔壁之间的结合效果，参数过低可能削弱护壁能力，进而增加孔壁失稳风险，因此现场技术人员需基于泥浆检测结果，及时调整膨润土掺量，保持泥浆良好的工作性能。鉴于钻孔过程产生的岩屑、砂粒以及土体颗粒容易沉积于孔底，形成松散沉渣层，需利用循环冲洗作用持续带走孔底杂质，提高孔底洁净程度。同时，施工单位要采用测绳配合测锤检测孔深，保证实际孔深达到设计要求，采用检孔器复核，其中检孔器外径宜接近设计桩径，如此能顺利下放至孔底，不存在明显缩径现象。而且，施工单位可借助测斜仪检测垂直度，控制高速公路桥梁工程桩基施工的孔斜率在1%以内，以保证桥梁基础受力均匀。

### 1.5 钢筋笼安装

作为桩基内部主要受力构件，钢筋笼需要与混凝土共同形成稳定的承载体系，因此施工单位必须严格控制制作精度，保证钢筋笼在桩孔内保持设计位置，为后续混凝土灌注创造良好条件[5]。钢筋笼制作完成后，施工单位应全面检查其外观尺寸、主筋间距等，让钢筋笼直径较设计桩径小100 mm～200 mm，如此下放过程可具有足够操作空间，若安装长度较大的桥梁桩基钢筋笼，应采用分节制作方式完成加工，并在现场连接，保证接头强度满足设计要求，防止下放过程出现变形或局部失稳现象。钢筋笼吊装前，施工单位应该再次复核孔深、孔径以及垂直度等指标，要求成孔质量满足安装条件，采用履带起重机或汽车起重机配合专用吊具实施吊装作业，保持钢筋笼整体受力均匀，以免局部受力过大造成钢筋变形。安装长度超过20 m的大型钢筋笼时，可采用两点起吊或多点起吊方式，以此提高吊装稳定性，待钢筋笼进入孔口后缓慢下放，以防与孔壁发生碰撞，导致孔壁坍塌或损害钢筋笼保护层。下放过程中，施工单位要持续监测钢筋笼中心位置与桩孔中心位置的对应关系，让钢筋笼处于设计轴线范围内，待安装完钢筋笼后，控制中心偏差在10 mm以内。定位钢筋笼后，施工单位需要采用定位筋或吊筋系统来稳固处理，防止混凝土灌注过程出现上浮或偏移现象，并严格按照设计要求控制钢筋笼顶面标高，保持高程偏差在±50 mm范围内。

### 1.6 混凝土灌注

灌注施工开始前，施工单位要最终检查孔内情况，确定沉渣厚度、泥浆指标以及钢筋笼位置符合施工标准，保持导管连接严密，控制导管内径在250 mm～350 mm范围内，保持导管下口距离孔底300 mm～500 mm，以保证首批混凝土顺利排出孔底泥浆并形成稳定封底层。而且，混凝土配合比设计应兼顾流动性能及抗离析性能，把坍落度控制在180 mm～220 mm范围内，保证混凝土能依靠自重在导管内顺利流动并均匀扩散，并可合理掺加粉煤灰，保持混凝土良好工作状态。灌注过程中，施工单位需维持导管埋深在2.0 m～6.0 m范围内，保证混凝土连续上升，同时避免埋置过深增加提升阻力，伴随孔内混凝土液面不断升高，应及时测量混凝土面标高，并按照实际情况调整导管位置。通常情况下，灌注不可中途停工，否则会影响品质。混凝土灌注阶段为强化效果，要注意孔内水位升降，并在实践中测量孔内混凝土高度。需注意的是：导管

提升时保持垂直，且导管始终居中，在灌注时缓慢将导管提升。现实中，如果导管内混凝土缺失，中间掺杂空气时，混凝土需缓慢灌入，同时严防导管漏水，进而保障混凝土成型质量。混凝土面接近设计桩顶标高时，施工单位应适当增加超灌高度，控制超灌高度在 0.5 m～1.0 m 范围内，以清除顶部浮浆层，让桩顶混凝土强度满足设计要求。

## 2 高速公路桥梁工程桩基施工质量控制策略

### 2.1 施工前准备阶段

施工单位应从设计文件审查、施工组织策划等方面系统实施质量控制，要求每项施工条件达到规范要求，其中设计文件审查是控制质量的第一步，需要技术管理人员详细核对桩位布置、桩径桩长等，结合现场地质勘察资料分析土层分布，继而优化施工方案。布设控制点过程，施工单位应采取保护措施，防止施工车辆或土方作业致使基准点移动，保证放样数据长期稳定可靠，为成孔提供精确依据。与此同时，施工单位要检测旋挖钻机、冲击钻机及钢筋加工设备的性能，检查液压系统的运行状态，核查起重设备的额定载荷，以保证设备能承受钢筋笼吊装及导管灌注等作业负荷，减少因设备故障造成的施工偏差。另外，施工单位要检测钢筋、混凝土原材料的力学性能，分析其成分，以适应现场施工。

### 2.2 施工过程控制阶段

桩基施工涉及测量定位、护筒埋设等多个工序，各环节相互关联，任何一道工序出现偏差都有可能影响成桩质量，因此施工单位需建立全过程质量控制体系，加强关键工序监测，让施工参数始终处于受控状态。钻机就位阶段，施工单位应重点检查设备水平状态，防止因设备倾斜造成孔位偏移，定时利用全站仪检测，控制孔斜率在规范允许范围以内（见表 1）。钻进过程中，施工单位需要结合土层变化情况合理调整钻压、转速以及进尺速度，避免因参数不合理导致塌孔或扩孔现象。而且，施工单位要保持泥浆护壁系统连续运行状态，并定时检测泥浆性能，按照检测结果及时调整泥浆配比，以此提高孔壁保护效果。清孔结束后，施工单位需要检测孔深、孔径以及沉渣厚度，待验孔合格后应立即组织后续施工，防止孔内长时间静置再次沉积沉渣。钢筋笼安装阶段，施工单位需重点控制结构尺寸，提前检查焊接质量，吊装期间保持受力均衡，下放后复核中心位置。灌注混凝土前，施工单位应该再次确认导管密封性能，维持灌注过程连续供料状态，并实时记录混凝土方量，以免出现断桩、夹泥以及离析等质量问题。

表 1 成孔质量标准

| 检测项目 | 允许偏差 | 检测方法 |
|---|---|---|
| 孔位中心 | ≤ 50 mm | 测量检查 |
| 孔径 | 不小于设计桩径 | 检孔器（孔规）检测 |
| 倾斜度 | ≤ 1% | 测斜仪或检孔器检测 |
| 孔深 | 不小于设计孔深 | 测绳量测 |
| 沉渣厚度 | 摩擦桩≤ 300 mm，嵌岩桩≤ 50 mm | 测锤量测 |

### 2.3 施工后检测阶段

混凝土达到规定龄期后，施工单位应利用低应变反射波检测技术检查桩体，分析应力波传播规律，判断桩身内部是否存在缩颈、夹泥等缺陷，并采取声波透射法专项检测桥梁重要部位的大直径桩基，明晰波形变化情况，评估桩身混凝土均匀性，提高内部缺陷识别精度。检测阶段，施工单位需结合工程等级选择适宜检测方法，其中静载试验能反映桩基竖向承载能力，其检测荷载达到设计承载力的 1.5 倍至 2.0 倍，并配合高应变动力检测技术验证规模较大区域承载力。除此之外，检测人员应使用全站仪复测桩位坐标，核查实际位置与设计位置之间的偏差情况，待桩顶凿除完成后，检查混凝土表面密实程度，防止存在松散层或劣质混凝土区域。

## 3 结束语

复杂地质条件下，高速公路桥梁工程桩基施工科学合理，严格控制全过程质量管理，可以有效控制桩身完整性，为桥梁上部结构提供坚实支撑。高速公路桥梁桩基作为工程核心隐蔽工程，其施工质量直接决定桥梁整体稳定性，极易受地质、水文等多重因素干扰。因此，精细化的施工与管控模式是规避桩基病害、减少工程隐患的关键。未来，施工单位需要应用实时监测系统，推动桩基施工精细化，同时强化施工标准执行力度，提高现场技术管理水平，为高速公路桥梁长期安全运营提供坚实保障。

## 参考文献：

[1] 陈亮.基于高速公路桥梁工程的桩基施工技术研究[J].运输经理世界,2025(19):77-79.
[2] 唐万里.试析高速公路桥梁工程的桩基施工技术[J].低碳世界,2025,15(04):151-153.
[3] 农定稳,沈杰.公路桥梁工程的钻孔灌注桩高质量施工技术研究[J].企业科技与发展,2024(10):69-72,90.
[4] 李清平.高速公路桥梁工程桩基施工技术及质量控制研究[J].工程建设与设计,2023(09):202-204.
[5] 孙延青,凡长亮.公路桥梁桩基施工质量问题与控制分析[J].工程技术研究,2022,07(11):166-168.