

# 道路桥梁施工中桩基施工技术与质量控制

文 / 张 曜 济南能源工程集团有限公司

**摘要：**本文针对道路桥梁施工中桩基施工技术与质量控制进行了系统性研究。桩基作为桥梁结构的重要组成部分，直接影响到桥梁的稳定性与安全性。本文深入分析了桩基施工中的质量控制策略，涵盖了施工前、施工中和施工后的全过程质量管控，包括材料验收、施工监控、质量检查与检测等方面的管理措施。通过提高施工过程中的智能化水平和加强质量控制的精确性，能够有效提升桩基施工的质量与效率，减少施工风险并保障工程的安全性，推动行业技术的持续进步。

**关键词：**道路桥梁施工；桩基施工技术；质量控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.05.045

## 前言

桩基质量直接影响到桥梁的长期使用性能，研究桩基施工的技术与质量控制，不仅能够提高施工过程中的安全性，还能提升桥梁的使用寿命与稳定性。通过优化桩基施工工艺和完善质量控制措施，可以有效避免桥梁在后期运营过程中出现因桩基质量问题引发的沉降、裂缝、倾斜等安全隐患，从而提高桥梁的耐久性与可持续性，为城市交通系统的长远发展提供坚实保障。

### 一、道路桥梁施工中对桩基施工技术的要求

桩基是桥梁的支撑部分，必须具备足够的承载力来支撑上部结构的重量和外部荷载。因此，桩基的施工技术必须确保桩基的设计承载力得到充分实现，桩身稳定，避免出现沉降过大或倾斜现象。为了确保桩基的稳定性，施工过程中必须严格控制桩基的深度、垂直度、桩身完整性以及桩尖的承载力。桩基施工需要高度的精度，以保证桩的位置、方向、深度等符合设计要求。在大跨度桥梁和高速公路桥梁建设中，桩基的施工精度尤为重要，尤其是在软弱地质或复杂地质条件下，施工精度更是确保基础稳固性的关键。为了确保桩基在施工后的长期稳定性，桩基施工需要具备实时监测和评估系统。例如，智能传感器和BIM技术的应用可以实现对桩基的实时监控，包括承载力、沉降量、应力等参数，确保桩基在运营期内的安全性。

### 二、桩基施工中的关键技术

#### （一）钻孔灌注桩施工技术

钻孔灌注桩施工广泛应用于软土、淤泥层等复杂地质条件下，常见于道路桥梁、建筑基础建设中。施工首先进行钻孔，使用旋转钻机、冲击钻机或潜孔钻机等设备，根据设计要求打孔至指定深度，穿透不同土层。钻孔时需要严格控制孔径、深度和垂直度，防止孔壁偏斜或孔深不足。钻孔过程中，需实时监测孔径、深度，避免孔壁坍塌。接着进行清孔，去除钻孔过程中产生的岩屑、泥浆等杂物，为灌注混凝土创造条件。清孔方法有水力清孔和气压清孔，依据土质和孔深选择合适方式。

清孔后，孔壁需保持平滑，无杂物或水泥浆残留，确保灌注质量。

灌注混凝土是钻孔灌注桩施工的核心步骤，旨在填充桩孔并形成桩体。在灌注过程中，需严格控制混凝土的质量、均匀性及灌注过程的稳定性。混凝土配合比应符合设计要求，确保强度、流动性等指标达标。通常采用导管灌注法，通过导管将混凝土泵送至孔底，灌注时应保持导管沉入孔底，避免空气进入混凝土中。灌注过程中，要避免混凝土分层，确保桩身质量均匀。灌注后，桩体应进行适当养护，保持湿度与温度，确保混凝土凝结和硬化。通过钻芯取样或静载试验检查桩基的承载力，确保符合设计要求，桩体无裂缝和空洞等缺陷。



图1 桥梁钻孔灌注桩施工现场

#### （二）打桩技术

打桩设备的选择直接影响施工效率和桩基质量，常用的打桩设备主要包括液压打桩机、气动打桩法等，不同的设备适用于不同的土质条件与工程需求。液压打桩机通过液动力驱动桩锤，采用较大的击打能量将桩基打入地下，其设备操作较为灵活，能够应对不同地质条件，适用于较深桩基的施工。液压打桩机通常具有较

强的打击力，能够有效穿透坚硬的岩层、黏土和沉积物层。其具有较高的打桩效率和较好的稳定性，适用于需要快速施工的工程项目，广泛应用于坚硬的岩层、粗粒土、以及有大颗粒物质的地质条件，特别适用于公路桥梁、铁路桥梁等项目的桩基施工。气动打桩法利用空气压力驱动打桩工具，借助气动锤击打桩头，将桩体沉入地下。气动打桩设备相对较轻，结构简便，操作成本较低，气动打桩法一般适用于软土或含水量较大的沙土层，且适合浅桩基施工。该技术适用于地质条件较好、土层不深的地方，尤其是城市建设中的浅基础或水泥路基建。

### 三、桩基施工中的质量控制

#### （一）施工前的质量控制

（1）地质勘察与桩基设计的精确性。地质勘察可以帮助评估土壤的承载力，为桩基设计提供依据，防止桩基过度沉降或无法满足设计要求的情况发生。地质勘察可详细了解各土层的分布情况，从而合理选定桩基的类型和施工方式。根据地质勘察结果，桩基设计应精确匹配土壤条件，科学合理地选择桩型、桩长、桩间距及其承载能力等参数。根据土层条件和承载力要求，选择合适的桩型，不同的桩型适应于不同的土质和施工环境。设计时需根据地质勘察数据，确定桩基的承载力要求，合理选定施工方法。同时，桩基设计不仅要考虑地质条件，还要与上部结构的荷载要求相匹配，确保整体结构的稳定性。

（2）材料选择与验收。材料是桩基施工质量的一个重要保障，选择合适的建筑材料，并确保其质量符合标准，是确保桩基施工顺利进行的重要环节，材料的质量直接影响桩基的承载力、耐久性和施工过程中的安全性。根据施工环境和设计要求，选择合适的水泥品种如普通硅酸盐水泥、矿渣水泥等，不同的水泥品种具有不同的耐久性和强度特性。检查水泥的细度、凝结时间、抗压强度等指标，确保水泥符合设计要求，同时，水泥应储存在干燥、通风的环境中，避免受潮结块或变质，影响施工质量。根据桩基设计要求，选用符合标准的钢筋规格和数量，确保钢筋的强度和稳定性。钢筋进

场后，必须进行质量检验，包括直径、长度、抗拉强度、延伸率等参数的检测（图2，图3）。根据桩基设计要求和施工环境，合理设计混凝土的配合比，确保其强度、工作性和耐久性，对砂、石、水泥和外加剂等原材料进行质量检测，确保其符合相关标准。所有材料必须提供合格证书及检验报告，施工单位对材料进行抽样检测，对材料进行现场检查，包括外观检查、性能测试和合规性审查。合格的材料应按工程需求使用，不得随意替换或调换，确保施工质量。

#### （二）施工中的质量控制

通过现代化的监测设备和数据处理技术，可以在施工过程中对桩基的施工状态进行持续追踪，及时发现潜在问题并采取措施，以保证桩基施工质量。在现代桩基施工中，振动监测系统可以监测施工过程中由打桩或钻孔产生的振动，以防止周围环境的损害，如邻近建筑物或地下设施的破坏。桩基沉降监测通过安装沉降监测仪器，对桩基和周围土壤的沉降情况进行实时监控，确保沉降符合设计要求。桩基垂直度监测通过实时监控桩基的垂直度，确保桩基垂直度误差在允许范围内，防止出现偏斜、弯曲等质量问题。通过现场测试和监测，可以实时了解混凝土的凝固状态和强度发展趋势，确保其达到设计标准。

对于桩基施工中的关键设备，如钻孔机、打桩机、混凝土泵等，施工人员必须经过系统的操作技能培训，熟练掌握设备的操作流程和故障排除方法。确保施工人员能够理解并执行项目设计中的质量标准，如桩基垂直度、承载力等要求，了解常见的施工质量问题及其处理方法。桩基施工过程中，施工人员需接受严格的安全教育，掌握施工现场的安全操作规范，防止施工事故的发生。项目经理应确保每位施工人员都严格按照操作规程进行作业，避免因个人疏忽或操作不当导致质量问题。工艺操作规范包括钻孔、清孔、灌注混凝土等施工环节的标准操作程序，各个施工步骤要做到精细操作，避免因工艺不规范导致施工质量不达标。施工机械设备的操作应符合相关的安全与技术标准，操作人员应按设备使用手册严格执行操作规程。

通过现场检查和严格的检测流程，可以及时发现问题并进行纠正，确保桩基施工质量符合设计要求。桩基的垂直度是影响其稳定性和承载力的重要因素，在施工过程中，应使用专业设备如全站仪或激光测距仪实时监控桩基的垂直度。在桩基打入或灌注完成后，利用测量工具对桩基进行垂直度测量，确保其误差在允许范围内。若出现桩基垂直度超标，应采取相应的调整措施，如重新打桩、增加支撑等，以保证桩基的垂直性。桩头处理质量对桩基的后续施工及整体结构的稳定性有着重要影响，桩头处理质量不符合标准，会导致桩基连接不

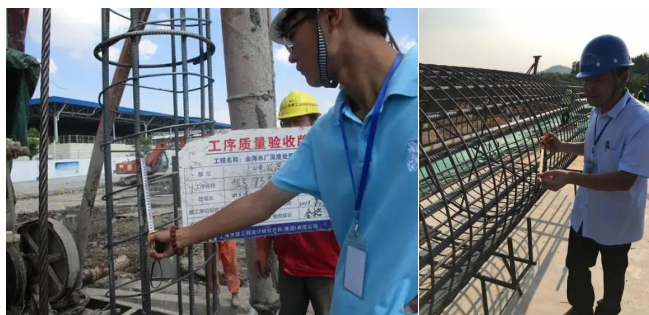


图 2, 3 钢筋材料的验收

牢固，影响结构荷载的传递。采用专用检测工具对桩头的平整度、截面尺寸等进行测量，确保其符合设计要求。桩头不平整、桩头混凝土强度不足等问题应通过切割、修整或补强等方式进行整改，确保桩头的质量满足后续施工需求。

### （三）施工后的质量验收与控制

桩基施工完成后，必须进行一系列的检测工作，以确保其质量符合设计要求，尤其是在承载力、稳定性及耐久性方面，常见的桩基检测方法包括静力试验、动力试验以及桩基承载力检测等。静力试验是桩基验收中最常用的检测方法之一，通过加载试验评估桩基的承载力及变形性能。静力试验通过对桩基施加逐步增加的荷载，监测桩基在不同荷载下的沉降量，从而判断其承载能力及变形特性，通过监测桩基在加载过程中的沉降，判断桩基的沉降曲线及承载力。根据静力试验的结果，可以绘制沉降—荷载曲线，分析桩基的极限承载力、塑性变形区间及弹性区间，评估桩基的整体性能。动力试验主要用于评估桩基的动态特性，如固有频率、阻尼比等，并通过反向分析获得桩基的承载力。动力试验通过对桩基施加一定的动态荷载如锤击或振动荷载，监测桩基的反应如振动、加速度等，进而评估桩基的动弹性模量、阻尼比等参数。通过动力试验可以快速、无损地评估桩基的质量，特别是在条件不允许进行静力试验的情况下。桩基的承载力是衡量桩基质量的最重要指标之一，承载力的检测通常依赖静力或动力试验，但也可以通过其他先进技术进行检测。除传统的静力与动力试验外，还可以通过桩基的压力传感器安装、振动监测等方式实时监控桩基的承载能力。承载力的检测关键在于对桩基极限承载力和安全系数的评估，若桩基承载力不足，会导致沉降过大或破坏失稳，影响后续工程的安全。

在桩基施工过程中，应建立详细的记录，包括地质勘察数据、设计变更、施工技术参数、施工质量检测等，确保在出现质量问题时，能够快速定位到问题环节。利用信息化技术，如BIM技术、大数据管理平台等，实现对桩基施工全过程的实时记录、数据存储和信息查询，方便后期质量回溯。当出现桩基质量问题时，管理人员可以通过回溯施工记录、分析设备使用情况、技术方案变更等信息，找出造成问题的具体原因，避免单纯依靠经验或盲目处理。施工人员或监理单位在发现质量问题时，应及时报告，并通过专业检测手段进行初步评估，判断问题的严重性及其可能的影响。通过对施工现场、施工设备、技术方案等多个方面的分析，查找问题根源，例如，桩基承载力不足可能由钻孔质量、灌注混凝土强度不足或地质条件误判等因素引起。在明确问题根源后，制定相应的整改措施，采取修复、重做或

替换等手段解决问题，责任应明确到具体单位或个人，确保整改措施的实施到位。

### （四）未来质量控制的智能化与精细化

智能监测系统通过将现代传感器技术、数据采集与处理技术以及物联网技术结合起来，实现对桩基施工质量的实时监控。智能监测系统能够对桩基施工过程中可能出现的各类问题进行提前预警，确保施工质量和工程安全。采用高精度的沉降传感器如位移计、倾斜计等对桩基沉降、位移变化进行实时监控，这些传感器能够在桩基施工及后期使用过程中，监测桩基的垂直度、水平位移等数据，为工程质量和安全性提供数据支持。应力与应变传感器可以安装在桩基内部，实时监测桩基在施工过程中或使用过程中承受的力学应力与变形情况，帮助判断桩基的承载能力是否符合设计要求。传感器收集到的数据将通过无线网络或有线网络实时传输至中央监控系统，通过物联网技术，实时收集的桩基数据可以被传输到云端，进行大数据分析处理。采集设备将实时监测到的各项参数如沉降量、应力值等通过无线传输方式，传送至中央数据库。智能监测系统可以利用数据分析算法，对采集的数据进行实时处理，分析桩基的当前状态，并与设计标准进行对比，自动识别潜在的质量问题或风险。

### 结论

综上所述，桩基施工技术正朝着自动化、信息化与绿色施工方向发展，质量控制的关键在于优质的材料选择、规范的施工工艺以及高效的现场管理。通过实时监控与数据分析，能够有效识别施工中的问题并及时解决，提升施工质量。同时，桩基施工将更加依赖于智能化和精细化管理，结合大数据与人工智能推动施工效率和安全性提升。

### 参考文献

- [1] 李文辉. 市政桥梁工程桩基施工技术应用[J]. 散装水泥, 2023, (06): 110-112.
- [2] 漆亮, 朱贤荣. 道路桥梁施工技术中的细节问题及处理策略[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022, (35): 80-82.
- [3] 雷靖锋. 道路桥梁施工技术与施工管理[J]. 运输经理世界, 2021, (35): 140-142.
- [4] 赵长伟. 桥梁桩基施工中永久钢护筒施工技术[J]. 工程机械与维修, 2021, (05): 118-119.
- [5] 杜俊毅, 兰悦悦. 公路桥梁桩基施工质量问题及优化措施探析[J]. 四川水泥, 2021, (08): 284-285.
- [6] 魏青卓. 公路、市政工程中桥梁桩基施工技术[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(10): 132-133.
- [7] 刘铁. 道路桥梁的桩基施工检测技术研究[J]. 交通世界, 2020, (24): 85-86.