

高层建筑大直径灌注桩钻芯法检测全过程质量控制要点研究

文 / 陆魁球 广州继善建筑技术有限公司

摘要：大直径灌注桩是高层建筑基础工程的核心承重结构，其质量直接决定建筑整体安全与耐久性。钻芯法作为检测灌注桩桩身完整性、混凝土强度及桩底持力层性状的“直接验证手段”，全过程质量控制是保障检测结果精准性的关键。本文以 DBJ/T15-60-2019《建筑地基基础检测规范》（广东省标准）为核心依据，结合大直径灌注桩（桩径 $\geq 800\text{mm}$ ）施工特性与钻芯法检测原理，系统拆解“检测准备-钻芯施工-芯样处理-数据判定-后续反馈”全流程的质量控制要点，明确各环节的规范要求与技术参数，为广东省及周边地区高层建筑大直径灌注桩钻芯法检测提供合规性强、可操作性高的技术指导。

关键词：高层建筑；大直径灌注桩钻芯法检测；质量控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.031

引言

随着城市化进程加快，高层建筑大量涌现。大直径灌注桩（桩径通常 $\geq 800\text{mm}$ ）因承载力高、沉降小、适应复杂地质等优势，成为高层建筑基础的首选。然而，其施工工艺复杂，成孔、钢筋笼安装、混凝土浇筑等环节易出现桩身断裂、夹泥、混凝土离析、桩底沉渣超标等质量问题，严重威胁建筑安全。因此，精准有效的质量检测至关重要。钻芯法通过钻取桩身混凝土芯样，直观判定桩身完整性、混凝土强度、桩长及桩底持力层性状，具有“直接可靠”的特点，广泛应用于大直径灌注桩检测。但钻芯法涉及多个环节，任一环节控制不当都会导致结果偏差，故开展全过程质量控制要点研究具有重要工程意义。

一、大直径灌注桩与钻芯法检测概述

（一）大直径灌注桩特点

大直径灌注桩桩径 $\geq 800\text{mm}$ ，桩长可达数十米甚至百米，单桩承载力高（可达数千吨），能有效传递上部荷载至深层持力层。但施工工艺复杂，易出现以下质量风险：成孔质量：孔壁坍塌、孔径不规则、孔斜度过大，影响钢筋笼安装与混凝土浇筑。桩身混凝土：离析、夹泥、蜂窝、孔洞甚至断桩，降低桩身完整性与承载力。桩底质量：沉渣过厚、持力层不满足设计要求，削弱桩端承载力^[1]。

（二）钻芯法检测原理与优势

钻芯法依据 DBJ/T15-60-2019 第 13 章规定，利用金刚石钻机（功率 $\geq 55\text{kW}$ ）从桩顶钻取连续芯样，通过“实物观察+试验分析”判定桩基质量，核心优势如下：1. 信息直观真实：可直观观察混凝土芯样状况；2. 试验结果精准可靠：根据芯样抗压强度试验评定混凝土强度，准确测量缺陷的位置、范围、程度以及验证施工桩长；3. 可一次提供多项关键指标：混凝土强度、完整性、桩长、沉渣厚度、桩底持力层岩土性质。

二、钻芯法检测全过程质量控制要点

（一）检测准备阶段质量控制

1. 技术准备

工程资料核查：需收集 3 类核心资料：地质勘察报告：重点标注持力层埋深、分层岩性、不良地质；桩基施工记录：筛选“异常时段”（如混凝土浇筑中断 $> 30\text{min}$ 的桩、成孔验收孔斜超标的桩）；设计文件：明确桩径（如 1200mm ）、混凝土设计强度（如 C40）、持力层要求（如中风化砂岩单轴抗压强度 $\geq 15\text{MPa}$ ）。检测方案编制：需明确 4 项关键参数：检测数量：按不少于总桩数 10% 进行检测；钻机选型：大直径桩（ $\geq 1200\text{mm}$ ）需选用 Hz-250 型及以上钻机，配套选用 $\phi 101\text{mm}$ 或 110mm 的金刚石钻头（从经济合理的角度考虑）；钻孔位置：每桩钻 1~3 孔，避开钢筋笼主筋（1 孔时，钻孔中心距桩中心 $10\text{cm} \sim 15\text{cm}$ ，2 孔或 2 孔以上时，钻孔中心距桩中心 $0.15d \sim 0.25d$ ，如 1200mm 桩为 $180 \sim 300\text{mm}$ ）；优先选择“桩身中下部”（2/3 桩长段）钻孔，重点验证潜在缺陷区；试验设备：抗压试验机量程需覆盖芯样预估强度（如 C40 芯样，试验机量程选 $0 \sim 500\text{kN}$ ），且需经计量检定合格（有效期内）^[2]。

2. 现场准备

桩头处理：人工凿除桩顶浮浆（厚度通常 $300 \sim 500\text{mm}$ ），露出新鲜混凝土面，用水平仪找平（平整度偏差 $\leq 5\text{mm/m}$ ），避免钻机安装倾斜（DBJ/T15-60-2019 第 13.3.7 条）；水电保障：钻机需 380V 稳定供电（配 100kW 发电机备用），循环水流量 $\geq 50\text{L/min}$ （用于冷却钻头与泥浆护壁）；桩位复核：用全站仪定位，防止钻取“桩边芯样”导致结果失真。

（二）钻芯施工阶段质量控制

水平度控制：用水准仪调整钻机平台，水平偏差 $\leq 0.1\%$ ；垂直度控制：采用“双测斜仪”（顶部+底部

各1台)监测钻杆垂直度,偏差 $\leq 0.5\%$ (桩长 $\leq 30\text{m}$ 时 $\leq 150\text{mm}$,桩长 $> 30\text{m}$ 时 $\leq 0.5\% \times$ 桩长, DBJ/T15-60-2019第13.3.7条);若垂直度超差,需停机调整,不得强行钻进。

开孔阶段:采用低速($\leq 300\text{r/min}$)、低压($\leq 5\text{kN}$)钻进,防止桩头混凝土破碎,若桩头强度低,可预凿除浮浆后再机械钻进。土层与混凝土段钻进:土层段:易坍塌地层(砂层、粉土层)采用泥浆护壁(泥浆比重 $1.1 \sim 1.3$),控制钻进速度 $\leq 0.5\text{m/min}$,防止孔壁坍塌。混凝土段:换金金刚石钻头,根据混凝土强度调参数(转速 $300 \sim 800\text{r/min}$,钻压 $5 \sim 15\text{kN}$),保证芯样完整性。芯样采集与保护:每回次钻进后及时取芯,按“桩号-孔号-回次-深度”编号摆放;芯样置于湿润箱中,破碎芯样需收集碎块并标注深度。孔内情况记录:详细记录进尺、芯样长度、外观(完整/破碎/夹泥)及异常(卡钻、进尺突变),进尺突变可能反映桩身缺陷^[3]。

(三) 芯样处理与检测阶段质量控制

1. 芯样外观检查

完整性:连续完整、局部破碎、断裂;缺陷类型:夹泥(记录厚度、颜色)、蜂窝(孔洞直径 $> 5\text{mm}$)、离析(骨料与浆体分离);尺寸测量:每段芯样测3处直径(两端+中部)。

2. 芯样加工

加工要求:混凝土芯样高径比 $1:1$ ($0.95d \leq$ 芯样高度 $\leq 1.05d$)、岩石芯样高径比 $2:1$ ($2.0d \leq$ 芯样高度 $\leq 2.5d$), d 为芯样平均直径;端面处理:采用金刚石磨平机磨平,端面平整度 $\leq 0.1\text{mm}$,与芯样轴线垂直度 $\leq 2^\circ$;若芯样局部缺陷(如小蜂窝),允许用水泥砂浆或净浆补平(补平层厚度 $\leq 5\text{mm}$,强度 \geq 芯样混凝土强度),硫磺胶泥补平(补平层厚度 $\leq 1.5\text{mm}$)。

试验要求:加载速率:C30~C40混凝土为 $0.4 \sim 0.5\text{MPa/s}$,连续均匀加载,直至芯样破坏;结果计算:单块芯样抗压强度=破坏荷载/芯样承压面积,取一组3个试件强度平均值为该组芯样抗压强度代表值。

3. 混凝土抗压强度试验

加载速率控制在 $0.3 \sim 0.5\text{MPa/s}$,连续均匀加载至破坏,记录破坏荷载并计算强度。若芯样有裂缝、蜂窝,需在报告中注明并分析对强度的影响。

4. 桩底持力层检测

钻至桩底时,观察持力层芯样的岩(土)性(颜色、颗粒、坚硬程度),与勘察报告对比判断是否符合设计;测量桩底沉渣厚度,评估桩端承载力。



(四) 数据处理与结果判定: 规范导向

依据 DBJ/T15-60-2019 表 13.6.4, 结合芯样检测数据, 对桩基质量分为四个等级: I 类、II 类、III 类和 IV 类桩。判定的主要依据包括以下几个方面:

1. 芯样特征: 混凝土的连续性、完整性、密实性, 是否存在缺陷(如裂缝、破碎、夹泥、松散、离析等)。
2. 混凝土芯样强度: 芯样试件抗压强度的试验结果。
3. 桩底沉渣厚度: 桩端持力层表面的沉渣厚度。
4. 桩端持力层: 桩端持力层的岩土性状是否符合设计要求。

判定时需综合芯样外观、采取率及钻进异常情况, 确保分类准确。

(五) 后续处理与反馈: 闭环管控

1. 检测报告编制

检测报告需内容完整、数据准确、结论明确, 应包含以下核心内容: 工程概况(项目名称、桩型、设计参数等); 检测依据(规范、检测方案); 仪器设备(钻机型号、试验设备); 检测过程(钻孔位置、钻进参数、芯样采集情况); 检测结果(芯样照片、外观描述、抗压强度试验数据、桩身完整性判定、桩长及沉渣测量结果); 结论与建议(质量评价、缺陷桩处理建议)。报告编制人员需对数据真实性负责, 确保文字、图表与实际检测一致。

2. 缺陷桩处理与跟踪

对于判定为 III 类、IV 类的缺陷桩, 需根据缺陷类型和严重程度, 提出补桩、注浆加固、扩大承台等针对性处理建议。处理完成后, 采用钻芯法、声波透射法或高应变法等进行验证, 确保处理后桩基质量满足设计要求。同时, 将检测与处理结果反馈至施工环节, 帮助施工单位优化工艺, 避免同类质量问题重复发生^[4]。

三、高层建筑大直径灌注桩钻芯法检测全过程质量控制策略

(一) 钻芯法检测前的质量控制: 以规范为依据, 筑牢检测基础

1. 工程资料的合规性核查

需聚焦持力层参数与不良地质分布, 包括持力层岩性(如中风化砂岩、微风化花岗岩)、埋深、单轴抗

压强度（需满足设计要求，如 $\geq 15\text{MPa}$ ），同时标注易坍塌地层（如砂层、粉土层）、岩溶发育段等风险区域，为后续钻进工艺调整提供依据。若发现勘察报告与现场实际地质存在差异，需暂停检测并组织勘察单位复核，避免因地质资料失真导致检测重点偏移。

需筛选“异常工序节点”，包括成孔验收时孔斜度、混凝土浇筑日志（关注浇筑中断时间，若中断 $> 30\text{min}$ ，需预判该深度段可能存在夹泥、冷缝缺陷）、钢筋笼安装记录（明确主筋数量、间距及保护层厚度，避免钻孔时损伤主筋）。对施工记录中存在的“未达标项”（如混凝土坍落度 $< 180\text{mm}$ ），需将对应桩号列为优先检测对象，提升检测针对性。

2. 检测设备的规范选型

大直径桩（ $\geq 800\text{mm}$ ）需选用功率 $\geq 55\text{kW}$ 的液压钻机（如Hz-250型、XY-4型），且钻机需配备“双速变速箱”，满足不同地层的转速需求（土层段低速、混凝土段高速）。同时，钻机配有相应的钻塔和牢固的底座，立轴不得晃动过大，确保钻进过程中设备稳定性。

钻头需选用金刚石嵌镶钻头，需符合规范第13.2.3.1条要求——钻头外径不宜小于 100mm ，确保芯样截面能完整反映桩身混凝土质量（小直径钻头易导致芯样断裂，无法准确判定缺陷）。钻杆需选用高强度合金钻杆，每节长度 $\leq 3\text{m}$ ，接头处需有“防松动装置”，避免钻进过程中钻杆位移导致钻孔偏斜。

（二）钻芯施工过程的质量控制：以工艺为核心，保障芯样质量

1. 钻机安装的垂直度与稳定性控制

采用水准仪（精度 $\leq 0.5\text{mm}$ ）检测钻机平台水平度，通过调整钻机支腿高度，使平台水平误差 $\leq 0.1\%$ 。平台下方需铺垫“钢板+碎石垫层”（钢板厚度 $\geq 10\text{mm}$ ，垫层厚度 $\geq 200\text{mm}$ ），避免钻进过程中钻机因地面沉降导致倾斜。垂直度监测：采用“双测斜仪”（钻机顶部与底部各安装1台，精度 $\leq 0.1^\circ$ ）实时监测钻杆垂直度，每钻进 3m 记录一次数据。若垂直度偏差超规范（如桩长 40m 时，偏差 $> 200\text{mm}$ ），需立即停机，通过“反向调整支腿+矫正钻杆”的方式修正，严禁强行钻进——否则会导致钻孔偏斜，芯样无法反映桩身实际质量（如将桩边薄弱区误判为桩身缺陷）。固定措施：钻机与平台需采用“螺栓刚性连接”（螺栓直径 $\geq 16\text{mm}$ ，数量 ≥ 4 个），平台与地面需用“地锚固定”（地锚深度 $\geq 1.5\text{m}$ ），防止钻进过程中钻机振动导致位移（振动位移需 $\leq 2\text{mm/小时}$ ）^[5]。

2. 分地层钻进工艺的参数管控

桩头混凝土强度相对较低，开孔时采用“低速（转速 $\leq 300\text{r/min}$ ）、低压（钻压 $\leq 5\text{kN}$ ）”钻进，防止桩头混凝土过度破碎。若桩头浮浆层较厚，需先人工凿除至新鲜混凝土面，再进行机械钻进，防止浮浆层破碎导

致初始芯样缺失。

土层段：对于砂层、粉土层等易坍塌地层，采用泥浆护壁工艺，控制泥浆比重在 $1.1 \sim 1.3$ 之间，形成稳定泥皮保护孔壁；钻进速度 $\leq 0.5\text{m/min}$ ，避免因钻进过快导致孔壁坍塌、芯样破碎^[6]。

混凝土段：更换金刚石钻头，根据混凝土设计强度调整钻进参数（如混凝土强度为C30~C40时，转速控制在 $300 \sim 800\text{r/min}$ ，钻压 $5 \sim 15\text{kN}$ ），确保芯样连续完整。钻进过程中密切关注进尺速度，若进尺突然加快（提示桩身蜂窝、孔洞）或减慢（提示桩身夹泥、断裂），需详细记录深度与异常表现，为后续缺陷分析提供依据。

岩层段：需钻至持力层以下3倍桩径深度，且不少于 5m （如桩径 1200mm 时，钻至以下 5.0m ），验证持力层厚度与完整性，防止桩基坐在一个“表面坚硬、下部软弱”的假持力层上。中风化岩层钻进参数：转速 $300 \sim 500\text{r/min}$ ，钻压 $15 \sim 20\text{kN}$ ，钻进速度 $\leq 0.2\text{m/min}$ ；微风化岩层：转速 $200 \sim 300\text{r/min}$ ，钻压 $20 \sim 25\text{kN}$ ，钻进速度 $\leq 0.1\text{m/min}$ 。针对不同硬度岩层（中/微风化）采用不同参数，是为了在保证岩芯采取率和防止岩芯破碎，确保持力层检测结果可靠。

结语

钻芯法是高层建筑大直径灌注桩质量检测的核心手段，其全过程质量控制直接决定检测结果的准确性与可靠性。从检测前的技术与现场准备，到钻芯施工、芯样处理与检测，再到数据分析与后续反馈，每个环节都需严格遵循规范、优化工艺、精准操作。通过科学的质量控制策略，钻芯法能有效揭示桩身内部质量隐患，为高层建筑桩基工程的安全与可靠性提供有力保障。未来，可结合智能化技术（如钻进参数实时监测、芯样图像AI识别）进一步提升钻芯法检测的效率与精度，更好地服务于高层建筑基础工程质量控制。

参考文献

- [1] 夏梦. 高层建筑大直径灌注桩承载力试验研究[J]. 建筑机械化, 2025, (04): 94-97.
 - [2] 闫少伟. 超高层建筑大直径灌注桩施工技术要点研究[J]. 四川建材, 2025, (04): 175-177.
 - [3] 王乐. 高层建筑大直径灌注桩承载力现场试验研究[J]. 江西建材, 2025, (02): 92-94.
 - [4] 张金, 江南, 邓超. 大直径钻孔灌注桩施工技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (04): 124-126.
 - [5] 孙学龙. 高层建筑工程中大直径灌注桩承载力试验研究[J]. 北方建筑, 2024, 9(05): 70-73+104.
 - [6] 卓越. 建筑地基冲钻孔灌注桩承载力及施工技术分析[J]. 中国新技术新产品, 2024, (16): 114-116.
- 作者简介：陆魁球，1974年11月，男，汉，湖南衡阳人，本科，工程师，研究方向：地基基础检测。