

# 桩基钻孔垂直度控制实操技术与质量提升

周磊

江苏省地质矿产局第五地质大队

DOI: 10.12238/jpm.v6i12.8585

**[摘要]** 桩基钻孔垂直度是保证基础工程承载能力及结构安全的重要技术指标。本文根据大量的工程实践，对钻孔垂直度偏差产生的原因进行了系统分析，对设备安装精度、地层条件变化、施工工艺参数等影响成孔质量的因素做了详细的分析。研究建立了一个包括钻前准备、钻进过程控制、实时监测和动态纠偏的全流程质量控制体系，提出了软硬互层、砂卵石层、承压水层等特殊地质条件下的差异化施工技术方案。通过优化钻机调平工艺、完善钻具配置方案、精准调控泥浆性能等关键技术环节，建立系统的垂直度监测方法和质量评价标准，为桩基工程施工质量提供完整的技术解决方案和操作指导，对工程的安全保证有着重要的意义。

**[关键词]** 桩基工程；钻孔垂直度；质量控制；纠偏技术

## Practical Technology and Quality Improvement of Verticality Control in Pile Foundation Drilling

Zhou Lei

The Fifth Geological Brigade of Jiangsu Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources

**[Abstract]** The verticality of pile foundation drilling is an important technical indicator to ensure the bearing capacity and structural safety of foundation engineering. This article systematically analyzes the causes of vertical deviation in drilling based on extensive engineering practice, and provides a detailed analysis of factors that affect the quality of borehole formation, such as equipment installation accuracy, changes in geological conditions, and construction process parameters. A comprehensive quality control system has been established, including pre drilling preparation, drilling process control, real-time monitoring, and dynamic correction. Differentiated construction technology schemes have been proposed for special geological conditions such as soft hard interlayers, sand and gravel layers, and confined water layers. By optimizing the leveling process of the drilling rig, improving the drilling tool configuration plan, and accurately regulating the mud performance, a systematic verticality monitoring method and quality evaluation standard are established to provide a complete technical solution and operational guidance for the construction quality of pile foundation engineering, which is of great significance for ensuring the safety of the project.

**[Key words]** pile foundation engineering; Drilling verticality; Quality Control; Correction technology

桩基是建筑结构中传递荷载的重要构件，桩基成孔质量的好坏直接影响到整个工程的安全和耐久性。钻孔垂直度偏差会造成桩身有效截面变小、承载力大幅降低，同时也会使钢筋笼安装吃力、混凝土灌注不均等质量隐患加重。随着现代建筑朝着高层化、大跨方向发展，复杂地质条件下的工程建设项目也越来越多，桩基钻孔垂直度控制面临更大的困难。本文结合多个典型工程案例，从设备因素、地层特性、工艺参数等各方面分析垂直度偏差的形成机理，对钻孔施工各环节的质量控制要点进行系统的总结，形成科学有效的垂直度控制方法。研究成果给复杂地质条件下桩基工程施工提供可靠的支撑和技术支持，对推动行业技术发展有重要意义。

## 1 钻孔垂直度偏差成因分析

### 1.1 钻机设备安装因素

钻机就位精度是保证垂直度的基础条件。钻机底盘安置于不平整场地或者软弱地层时，受荷之后容易出现不均匀沉降，造成钻杆倾斜。钻机导向架和底座之间如果存在间隙或者磨损，就会造成钻具在转动过程中发生摆动。钻杆自身的弯曲变形、接头磨损和加压装置的偏心都会使钻进过程中累积偏差。钻机液压系统压力不稳定或者单侧油缸动作不同步，造成钻杆受力不均，垂直度偏差加大。定期检测设备几何精度，保证各部分的配合间隙在允许范围内，是减小设备影响的主要方法。

### 1.2 地层条件影响

地层软硬不一，是造成钻孔偏斜的主要地质因素。钻头在穿越不同的地层交界处的时候，会受到非对称阻力的作用而偏向软弱一侧。倾斜岩层、软硬互层的地质构造会使钻具产生侧向推力，钻孔会沿着层面方向发生偏移<sup>[1]</sup>。孤石、废弃桩头等地下障碍物导致钻头局部受阻，钻具被迫绕行而偏离轴线。承压含水层侧向水流冲刷孔壁产生偏心扩孔，钻具在扩大段内无导向约束。粘性土层钻进时，泥皮附着不均匀会造成单侧阻力差。砂卵石层里大颗粒对钻头的冲击是随机的，加大了轨迹控制的难度。

### 1.3 施工操作工艺

操作人员技术水平好坏直接影响垂直度控制效果。钻进参数选得不合适，偏斜趋势就会上升，钻压过大，钻头就不灵活，转速过高，钻具就会产生离心摆动。提钻速度过快会产生负压抽吸效应，造成孔壁坍塌物料堆积，孔底不平。泥浆性能失调，护壁效果、携渣能力就会降低，孔内沉渣太厚会形成虚土层，钻头在松散介质中没有定位基准。接钻作业时若吊放不正或者强行对接，就会在钻杆的连接处产生折角。长钻杆柱受到自重和水浮力的共同作用而产生弯曲变形，在复杂地层中没有及时纠偏措施，偏差就会不断增大。

## 2 钻前准备与设备调校

### 2.1 场地平整与钻机定位

施工场地应做硬化处理，地基承载力不足处应铺设路基箱或混凝土垫层，使地基承载力均匀。用水准仪检测钻机底盘水平度，控制四个支腿标高差在规定范围内。调节液压支腿或加垫钢板来达到找平的目的，防止钻进过程中底盘姿态的变化。钻机定位用全站仪或者激光铅垂仪进行轴线校核，保证钻头中心与设计桩位偏差在允许范围内。导向架垂直度用双向水平尺或电子倾角仪测量，两个方向的倾斜度都必须达到要求<sup>[2]</sup>。固定钻机底座和地基牢固地连接起来，必要时设置地锚来增强稳定性。

### 2.2 钻具检查与组装

钻杆使用前要全面检验，测量杆体直线度，检查丝扣磨损和焊缝完整性。弯曲超标的钻杆应矫直或者淘汰，防止缺陷传递。钻杆接头密封面要清理干净，涂上丝扣油后按规定的扭矩拧紧。钻头选择根据地层特性来定，软硬交替地层用合金刀口钻头提高破岩能力。检查钻头中心孔与钻杆轴线是否同心，偏心量过大，会造成径向跳动。加压短节与钻杆配合的精度会影响受力均匀性，磨损大要立即更换。改善钻具组合长度，减少接钻次数来降低误差。

### 2.3 泥浆体系配置

泥浆的性能应根据地层特性来调整，粘性土层用低粘度泥浆，砂卵石层用高粘度泥浆提高护壁能力。用重晶石粉来调节比重，使静水压力大于地下水压力。控制粘度和切力在合理范围，过低不能形成有效泥皮，过高增加循环阻力。含砂率用净化设备控制，防止磨损钻具和孔底沉积。调节酸碱度以保持化

学稳定性，防止粘土颗粒絮凝或者分散。保证有足够的泥浆储备量，并及时补充消耗掉的泥浆。配置专用泥浆罐进行沉淀处理，使用前用振动筛过滤杂质。

## 3 钻进过程垂直度控制

### 3.1 开孔定向技术

开孔阶段是控制钻孔轨迹的环节。采用导孔法施工，先用小直径钻头钻进到设计深度，经垂直度检验合格后扩孔至设计孔径。导向筒埋设深度根据地层条件确定，松软地层要埋入稳定土层，硬质地层可以浅埋。导向筒和钻杆间隙需要适当控制，既不能太小影响导向效果也不能太大造成摩擦阻力过大。混凝土护筒施工时，严格控制中心位置偏差，用吊线锤或测斜仪检测垂直度。护筒应穿过松散土层到达密实土层，顶部要高于地下水位。开孔时用低速钻进，轻压慢转使钻头平稳切入。超过护筒底部后立即进行第一次测斜，检验开孔质量。

### 3.2 分层钻进参数控制

钻进参数要根据地层特性的不同进行区别设置。软土中用低钻压、高转速防止孔径过大；中硬地层适当提高钻压，匹配相应转速。遇硬岩层时，应该用冲击钻进来缩短侧向力作用时间。在软硬交界处，要提前改变参数以保证平稳过渡。钻进过程中遇到障碍物时，应停钻，采用小冲程方式破碎。承压水层时则要增大泥浆的比重，并视情况加入堵漏剂。整个过程中要实时观测设备负荷，出现异常立即提钻检查。利用钻进参数动态优化来达到对孔形轨迹的有效控制。

### 3.3 测斜与纠偏措施

垂直度检测频率要根据地层情况和孔深来定。测量前要校核仪器的零点，保证数据的准确性。当偏斜超出允许范围的时候，要分析原因，制定专项纠偏方案。轻微偏斜可调整钻进参数进行修正；中等偏斜用专用纠偏工具处理；偏斜严重时回填原孔后重新钻进。纠偏作业要平稳进行，防止孔身出现急弯。纠偏后应增加检测密度，验证效果符合要求后，方可恢复正常钻进。全过程监控、及时纠偏，保证钻孔垂直度符合设计要求。

## 4 特殊地层垂直度控制技术

### 4.1 软硬互层地质处理

在软硬互层地质中钻具容易向软层偏移，应综合采取措施。钻进至层面附近时降低钻速，感觉地层变化后及时调整参数，使钻头受力均匀穿越界面。用带稳定翼的钻头增大导向面积，用多刃口结构分散冲击力，减小单侧阻力差。在泥浆中加入纤维素等增粘剂，提高泥皮质量及孔壁支撑力，减小软层侧向变形。硬岩夹层钻进的时候采用嵌镶硬质合金的钻头来提高破岩能力，防止钻头在硬面上滑移偏转。倾斜岩层的钻进，用斜向加压的方法，钻压方向与地层层面倾向相反，抵消地层对钻具的推移力。定期投入粘土块或者石屑填充软层的侧部扩孔部分，给钻具提供侧向支撑来控制横向移动。

### 4.2 砂卵石层钻进控制

砂卵石层钻进时，卵石会滚动，孔壁也会坍塌。泥浆比重

适当增大，增强对卵石的悬浮、护壁作用，防止大颗粒沉到孔底堆积。采用筒式取心钻头或双层钻头，内筒取破碎卵石，外筒切孔壁保圆。钻进参数用高转速低钻压的组合，依靠钻头的旋转切削作用来破碎卵石，减小挤压引起的孔壁扰动。碰上大粒径卵石挡住进尺的时候，就往里投入小石块、卵石去研磨破碎，或者用冲抓钻头直接抓取。保持连续钻进，避免长时间停机，静置状态下砂粒快速沉降埋压钻头，重新起钻困难且易造成孔斜。提钻速度要平稳，防止负压抽吸造成孔壁砂层落入孔内。必要时下入护壁钢套管以隔离松散地层，在套管的保护下钻进至下伏稳定层。

#### 4.3 承压水层施工对策

承压水层的水头压力对于孔壁的稳定性及垂直度影响很大。钻进前根据地质资料判断含水层的位置，准备足够多的加重材料和堵漏材料。提前将泥浆比重调至水头压力对应值以上，在钻穿隔水层前建立压力平衡。钻遇承压水层的时候孔内水位会上升或者泥浆会溢出，应该减慢钻进速度，逐渐释放压力，防止突涌。侧向水流冲刷造成偏心扩孔的时候，锯末或纤维材料随泥浆循环进入扩大部位，在孔壁形成低渗透层。采用跟管钻进工艺，钻进和下管同时进行，套管隔绝水层侧向作用力。承压水释放以后，孔内压力变小，需要补充泥浆保持液面高度，防止外部水土压力作用下孔壁被挤<sup>[3]</sup>。钻穿承压水层后增加测斜的次数，受水流扰动的井段容易产生偏斜的累积。

### 5 质量检测与成果评定

#### 5.1 垂直度测量方法

机械测斜仪依靠重锤拉动测量机构，根据摆角来显示偏斜度，结构简单但是精度受人工读数的影响。电子测斜仪用加速度传感器或陀螺仪测量倾角，数字显示精度高，可以连续记录全孔偏斜曲线。测斜前检查测量仪器是否完好，电缆长度是否满足孔深要求，防水接头密封是否可靠。测量操作规程规定仪器匀速下放，避免冲击或者卡阻，到达测点后稳定一段时间以消除晃动。多测点测量时，从孔底向上每隔一定距离取一组数据，绘制偏斜分布图。将测斜数据换算成水平位移、方位角来判断孔口和孔底的位置关系。复测验证用不同的仪器或者不同的时间段进行测量，对比结果来评价数据的可靠性。

#### 5.2 偏斜率计算与评价

垂直度偏斜率用孔底中心偏离孔口中心的水平距离除以孔深，用百分比表示。规范对于不同的桩型以及孔深偏斜率的限值都有明确的规定，实际测量的数值必须同时符合设计以及规范的要求。单点偏斜度是反映某处井段弯曲程度的指标，连续超标段落要分析原因，并评判对成桩质量的影响。偏斜方位角指示偏离方向，与地质构造或者设备布置相关联分析，找到系统性偏差的来源<sup>[4]</sup>。孔身轨迹曲线评价孔形规整度，频繁弯折的狗腿形孔身会阻碍钢筋笼下放、混凝土浇筑。综合考虑桩长、桩径、地质条件等，采用加权评分法或者综合评价指标体系，对垂直度控制质量进行等级划分。

#### 5.3 质量缺陷处理

偏斜超限孔位的处理方案视超标程度和工程要求而定。轻微超标但不影响结构安全的，经设计单位认可后可以接收，通过增加配筋或增加桩数补偿承载力损失。中度超标需要进行工程处理，在偏斜段灌注高强度混凝土或者下入纠偏器、扩底装置增大端承面积。严重超标孔废弃重钻，封孔用粘土分层回填夯实，或灌注水泥土成隔离桩，防止影响新孔施工。相邻桩位偏斜方向相反的时候注意间距满足最小允许值，防止孔壁贯通造成混凝土串孔。质量缺陷处理有记录，检测数据、处理方法、验收结果都存档<sup>[5]</sup>。总结偏斜的原因，制订预防措施，修订施工方案，避免重复出现。

### 6 结论与展望

#### 6.1 结论

本文系统研究了桩基钻孔垂直度控制的主要技术问题。从设备安装、地层条件、施工工艺等影响垂直度因素入手，创建一个包含钻前准备、过程控制、实时监测的全流程质量控制体系。研究提出不同的施工方案、动态纠偏措施，给出特殊地质条件下垂直度控制的解决办法。经过实践证明，采用优化钻机调平、完善钻具配备、准确控制泥浆性能等技术措施，可以明显改善钻孔垂直度控制状况，给保证桩基工程质量赋予重要的技术支撑。

#### 6.2 展望

桩基工程垂直度控制技术未来的发展趋势为：一是研发智能化检测设备，实现钻孔轨迹的实时精确测量；二是完善特殊地层施工工艺，增强复杂地质条件下的适应性；三是推进数字化技术应用，建立钻孔过程的可视化控制系统。加强专业技术人才培养，推广标准化施工流程，促进行业技术交流与合作。依靠不断的科技创新与总结实践来提升桩基工程施工质量把控水平，给工程建设安全赋予更为可靠的科技支撑。

### [参考文献]

- [1]陈嘉帅,李维明.岩溶地区钻孔桩超长钢护筒垂直度控制技术[J].重庆建筑,2025,24(03):70-72.
  - [2]孟庆鹏,孙德科,潘国忠,等.近海勘察钻孔垂直度检测与控制技术[J].中国港湾建设,2022,42(11):34-37+63.
  - [3]赵诗杨.软弱地层大直径超长灌注桩的钻孔垂直度控制研究[J].建筑技术开发,2022,49(18):166-168.
  - [4]赵建隽,王练杰,李琨鹏,等.逆作法施工桩柱合一钻孔灌注桩垂直度控制施工技术[J].建筑技术开发,2021,48(14):48-50.
  - [5]徐斌,付连红,徐新战,等.倾斜岩面处桩孔垂直度控制技术[J].甘肃科学学报,2019,31(04):90-95.
- 作者简介:周磊,出生年月:1990.03,男,汉族,籍贯:湖北省天门市,学历:本科,职称:(现目前的职称)中级工程师,研究方向:桩基施工。