

# 深圳地铁前海停车场冲孔灌注桩混凝土超方原因探究

文 / 龙 艺 四川水利职业技术学院  
陈 卓 首胜国际工程咨询集团有限公司

**摘要：**冲击钻孔桩施工过程中，由于工程地质条件复杂、钻头选型不当、施工工艺控制不严以及管理不到位等原因，常导致混凝土充盈系数过大，造成混凝土浪费和成本增加。本文以深圳地铁2号线前海停车场冲孔灌注桩施工为例，结合工程实际，详细分析了混凝土超方的主要原因，包括地质条件、施工工艺、设备选型及管理问题，并提出了针对性的预防措施。通过优化钻头选型、调整冲程、加强泥浆管理和工序衔接等措施，有效降低了混凝土超方现象，为类似工程提供了参考。

**关键词：**地铁；停车场；冲孔灌注桩；混凝土超方；原因分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.077

## 引言

随着我国城镇化建设的快速推进，轨道交通作为城市基础设施的重要组成部分。冲孔灌注桩因其承载力高、适应性强等特点，在地铁工程中得到了广泛应用。然而，在实际施工中，混凝土超方问题频发，不仅造成资源浪费，还增加了工程成本，甚至可能影响桩基质量。深圳地铁2号线前海停车场项目在冲孔灌注桩施工过程中，因地质条件复杂、施工工艺控制不严等原因，出现了显著的混凝土超方现象。本文结合该工程实例，系统分析了混凝土超方的主要原因，并提出了一系列针对性的预防措施，旨在为类似工程提供技术参考和管理经验，以优化施工工艺、降低工程成本、提升施工质量。

## 一、工程概况

### (一) 工程背景

深圳地铁2号线前海停车场位于深圳前海湾东角头，深港西部通道西侧。停车场出入段线路右线设计起点与地铁2号线正线接驳于YDK6+685.7，场坪基线里程范围为JK0+000~JK1+450，宽70~76m。停车场上部拟建建筑物包括运用库、综合楼、洗车机泵间等，轨面设计高程约6.0m。

该工程场地原为潮间带地貌，经人工填海造地形成。停车场运行十年后出现大面积地面沉降，整治施工中冲孔灌注桩混凝土超方问题突出，实际灌注量远超设计方量。

### (二) 地质构造

场坪范围内地层复杂，上覆第四系全新统填石、素填土、海积淤泥及粗砂，下伏残积粘性土层和燕山期花岗岩基岩。北东向赤湾断裂(F4)及北西向蛇口断裂组对场地影响较小，但淤泥层和饱和砂层易引发坍塌、缩颈等问题，为施工带来挑战。

## 二、冲孔灌注桩施工

### (一) 施工工艺流程

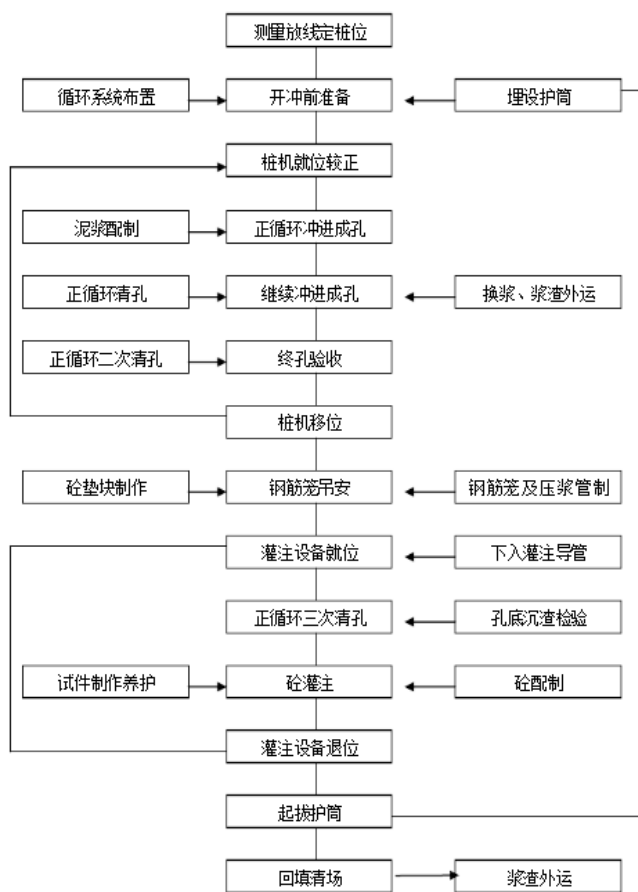


图1 冲孔灌注桩施工工艺流程图

### (二) 施工方法

#### 1. 设浆池、浆沟

冲孔桩施工会产生大量泥浆，做好泥浆处理是确保现场文明施工的重点。为保持施工环境整洁有序，应在冲孔灌注桩施工前先行建设泥浆沟槽和循环池系统。同时，需

配备足量泥浆运输车辆，以便及时外运泥浆，这既能保障混凝土浇筑时的泥浆排放需求，又可维护场地地基稳定性。

2. 埋设钢护筒

冲孔灌注桩成孔时，应采用孔口护筒，其埋设应符合以下要求：

(1) 定位要求：护筒应埋设牢固，中心与桩位中心的偏差不得超过 50mm。

(2) 构造要求：护筒采用 4~8mm 厚钢板制作，内径应比冲锤直径大 200mm，顶部设 1 个溢浆孔。

(3) 埋设深度：黏性土中≥1.0m，砂土中≥1.5m，同时，护筒高度应满足孔内泥浆液面控制要求。

(4) 特殊地质或水文条件：受水位变化影响或水下施工时，护筒应适当加高、加深，必要时打入不透水层。

3. 桩机对位

立好机架并调整和安设好起吊系统，将冲锤吊起，徐徐放进护筒内。冲击钻应对准护筒中心，偏差不大于±20mm。

4. 冲孔

(1) 开孔阶段

初始冲孔时应采用低速稳进方式，控制进尺速度在 1m/h 以内，并采用低锤高频率冲击（参数见下表），以减小冲击力，使孔壁在水平挤压力作用下逐步密实。若冲击过猛或进尺过快，易导致孔壁成型不良甚至坍孔。因此，开孔阶段需严格控制冲孔进度，确保孔壁稳固。护筒底以下 3~4m 范围应重点加强护壁，待孔壁稳定后再转入正常冲孔，可有效降低坍孔风险。

土壤	提锤高度(厘米)	冲击次数(次/分)	泥浆浓度
土	40~60	20~25	1.1~1.3
砂 砾	40~60	20~25	1.3~1.5

(2) 正常冲孔阶段

完成开孔并形成稳定孔壁后，可进入正常冲孔阶段。此时可适当加大提锤高度（1.5~2m），并调整泥浆比重至 1.5 以下，以提高冲孔效率。正常情况下，进尺速度可提升至 1~1.5m/h，部分地层条件下可进一步加快。

(3) 岩层冲孔阶段

岩层表面通常存在高低不平或倾斜情况，初始进入岩层时易发生偏孔。施工时应采取以下措施：抛填片石找平：向孔底抛填 20~30cm 片石，填补岩层斜面或凹凸部位，形成初步找平层。低锤快击密实：采用绷绳低锤高频冲击，形成稳固平台，确保冲锤受力均匀，防止偏孔。逐步调整冲击方式：待岩层基本整平后，方可转为高锤强力冲击，提高冲孔效率。泥浆控制：岩层冲孔时，泥浆比重宜降至 1.2 左右，以降低冲击阻力并减少粘锤现象，但不宜过低，以免影响石渣上浮。

5. 下钢筋笼

(1) 钢筋笼制作

钢筋等原材料进场后须经复验，确保力学性能及工艺性能符合规范要求，检验合格后方可投入使用。施工技

术人员应提前进行钢筋翻样，绘制配筋大样图并标注精确尺寸，组织作业人员进行专项技术交底，明确制作标准及质量控制要求。严格按设计图纸及《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 要求施工，成型后应及时报验，经监理验收合格后方可进行吊装作业。沿钢筋笼长度方向每间隔 2m 设置一道定位装置：采用 φ10 圆钢弯制环形定位件，外缘直径应确保主筋保护层厚度符合设计要求，定位件高度统一控制为 60mm。

(2) 钢筋笼吊安

根据长度选择设备：小于 10 米用桩机，大于 10 米用吊机。吊点设置 4-6 个并加强焊接，确保稳固。采用扁担法对称起吊，吊点设在箍筋与主筋连接处。下放时对准孔位，保持垂直缓慢下沉，避免碰撞。遇阻立即停查，禁止强制下入。技术人员需在场，测量护筒顶标高并计算吊筋长度（采用 4 根 φ16 吊筋），控制笼顶标高及防上浮。安装后复测标高并立即固定。从安装到灌注混凝土间隔不超过 4 小时。

6. 清孔

桩孔成孔满足要求后，需用优质泥浆对桩孔进行清孔换浆，排除桩孔中的泥渣，以降低泥浆比重及砂率，确保桩身砼的灌注质量。在成孔过程中通过泥浆的循环换浆，已将大部分泥渣排出孔外。

每根桩终孔验收后，在安装箍筋笼之前，均必须使用泥浆指标检测仪器检测桩孔底部的泥浆指标参数，包括泥浆比重、砂率、粘度等三项泥浆指标，确保泥浆指标符合质量要求，并做好泥浆检测记录。钢筋笼安装前，孔底 500mm 范围的泥浆指标参数控制标准：比重应介于 1.15~1.25 间，含砂率≤8%，粘度 22~28S。清孔后，由于安装钢筋笼及导管一般需要约一个小时，因此灌注水下砼之前必须再次测量孔底沉渣厚度，如沉渣厚度小于 50mm（抗拔桩为 200mm），方可灌注砼，否则必须进行二次清孔。

7. 灌注水下混凝土

水下砼必须具备良好的和易性，配合比要通过试验确定，坍落度宜为 180~220mm。为保证水下砼具有良好的和易性，需选用性能较好的水泥，选用适当粒径的碎石，并掺入适当的外加剂提高砼的和易性及流动性，延长初凝时间和终凝时间，使之适应水下砼浇筑的工艺要求。本工程为防止砼被腐蚀还需在砼中掺入 BC-502 复合氨基醇阻锈剂掺量为 8kg/m<sup>3</sup>。

本工程主要采用预拌商品砼，开工前先安排有关人员联系好预拌砼的供应商，并与供应商的技术人员进行砼配合比设计及试配工作，安排好运输路线，制定好有关措施。采用 f250 导管，导管壁厚 3mm，导管底部分节长度不少于 4m。开塞时导管底离孔底 300~500mm，导管顶部安装砼漏斗，使用砼隔水塞，隔水塞上部垫一块橡皮，确保砼与水隔离，采用漏砣球法开塞。导管及漏斗吊在冲桩机上，随着砣面的升高而适度提升。拟采用两种开塞方式：

(1) 搅拌车（或汽车砼泵）直接灌注方式

对于桩位场地比较宽敞的桩孔，在铺设好场地的基础上，将砼搅拌车开至桩孔位置，直接将砼卸入

砗漏斗中,待砗漏斗装满一斗砗后开塞,并让搅拌车的砗连续灌入漏斗中,确保砗连续灌注,满足开塞时的埋管深度要求。搅拌机无法到达的桩位,采用汽车泵灌注。

### (2) 挖掘机(或吊车)吊斗灌注方式

适用于搅拌机无法到达的狭窄桩位场地。采用吊斗将砗灌入漏斗,开塞时需确保漏斗及吊斗各备满一斗砗,实现连续灌注。水下灌注控制要点:(1)开塞条件:砗初灌高度 $\geq 800\text{mm}$ ,导管底距孔底 $300\text{mm}$ ,埋深 $\geq 500\text{mm}$ 。(2)埋管深度:灌注过程中保持 $2\sim 6\text{m}$ ,随砗面上升分段提管、拆管,严禁拔空。(3)超灌要求:桩顶标高以上预留 $800\text{mm}$ 浮浆层。(4)质量管控:每 $50\text{m}^3$ 砗或每桩至少留置1组抗压试块;每车检测塌落度并记录;专人负责灌注及导管管理,全程记录。

## 三、冲孔灌注桩混凝土超方原因分析

### (一) 充盈系数

充盈系数一般用于桩基工程的灌注桩浇灌混凝土,是判断桩基工程的一个质量指标。灌注桩的混凝土充盈系数是指一根桩实际灌注的混凝土方量与按桩外径计算的理论方量之比( $V_{\text{实}}/V_{\text{理论}}$ )。在实际施工过程中,成孔出现的偏差大于设计尺寸,以及由于施工过程中可能会出现桩身侧壁裂缝、孔洞及塌孔等原因,导致实际灌入量大于理论计算量。

### (二) 砗超方原因分析及预防措施

#### 1. 钻机、钻头类型不同造成

工人操作水平不一致。土层、砂层里扩孔较大。沉淀池偏小,与循环池没有分开,造成泥浆含砂率降低过慢。清孔时间过长。

#### 2. 不良地质造成塌孔

本工程场地地质情况复杂。查阅地看图原状土质依次为:素填土层、淤泥层、残积砂质粘土层、全风化花岗闪长岩层、砂砾状全风化花岗闪长岩层、碎块状全风化花岗闪长岩层、中风化花岗闪长岩层。工程区域内不良地质主要表现为:地层中全地段较深范围内分布为淤泥质粘土,具有空隙比大,压缩性高,抗剪强度低等特点,局触变性、流动性和不均匀性,属于不稳定土体,桩基施工中易产生坍孔和缩颈现象;场地还普遍存在海冲积和饱和砂层,富水性大,结构松散,透水性强,且遇水易软化、崩解属较不稳定土体,易发生涌砂、坍塌等现象。这些不良地质挑战在较大的冲击能作用下孔壁不稳,出现不同程度的扩径、塌孔现象造成超方。

#### 3. 地层变化大,易产生斜孔

查阅地勘图,可以看到现场地层呈现高地起伏,凸凹型变化状,存在较多的倾斜岩面,在锤击的过程中极易造成锤头倾斜,随着倾斜的不断积累最终产生了斜孔现象,产生超方。

#### 4. 落锤高、强烈冲震造成偏孔

冲击进入岩层面后,需要高冲程冲进,落锤高度大,冲击震动效应明显,一方因冲击效应震动孔壁造成扩孔,

另外一方面由于岩层硬度大,锤头摆动产生扩孔,双重效应扩孔,产生超方。

#### 5. 不同地层,使用同一直径锤头

现场土层全地层有8个地层,实际施工过程中使用的是同一直径的锤头冲孔锤击成孔,不同地层所受到的冲击效应不同,孔径的大小就会有差别,为了能满足设计孔径,只有在满足最小地层的孔径达到设计孔径的前提下,选择最小锤头,这样就会在不同的地层中产生不同的直径,必然某些地层产生大于设计直径的孔径,造成超方。

#### 6. 工序衔接不连贯,存在塌孔的隐患

冲孔桩基冲进的过程中,普遍存在因为焊锤、更换钢丝绳和停电等原因造成冲击暂停的情况,就使得整个成孔过程时间拉长,塌孔的风险增大。另外由于作业队人员安排不周,常常出现冲孔完成后而钢筋笼不能及时完成的情况,等待的过程中同样塌孔的风险增大,造成超方。

### (三) 冲孔灌注桩混凝土超方预防、处理措施

#### 1. 钻头选型优化

(1)钻头直径选择:根据地质勘察报告,选择比设计桩径小 $40\sim 60\text{mm}$ 的冲击钻头。针对不同岩层特性,采用差异化钻头配置:软岩地层推荐使用沃卡斯钻机配合厚壁定向空心钻头,硬岩地层宜采用手拉式钻机。

(2)钻进参数控制:合理设置冲程参数,避免空锤作业导致的扩孔现象。终孔阶段采取渐进式钻进工艺,最后 $2\text{m}$ 钻进时应同步实施泥浆循环作业。

#### 2. 施工过程控制技术

(1)分层钻进工艺:填土层施工采用低锤密击工艺,控制落锤高度;淤泥层施工重点控制上覆压力;软硬不均地层保持低锤密击;基岩层采用间断冲击工艺;遇孤石时实施高低冲程交替作业。

(2)垂直度控制:建立桩孔垂直度动态监测制度,每钻进 $5\text{m}$ 进行垂直度检测,发现偏差及时纠偏。

#### 3. 泥浆质量控制体系

(1)泥浆性能管理:设置多级沉淀系统,定期清除泥浆池沉渣。终孔后立即启动第一次清孔,采用分级降砂工艺,逐步降低泥浆比重和含砂率。

(2)清孔工艺优化:清孔作业时确保水管下至孔底,避免提前稀释泥浆。配置专用滤砂装置,控制清孔时间在合理范围内。

### 结语

冲击钻孔桩施工过程中,经常会灌注混凝土充盈系数过大,造成混凝土浪费,增加了施工成本。因此,必须要根据现场工程实际情况进行分析,采取科学、合理的措施进行解决。

### 参考文献

- [1] 黄泽林. 冲击钻孔桩施工工艺环节控制[J]. 科技创新导报, 2010(13).
- [2] 刘海真. 准朔铁路乌龙素沟特大桥冲击钻孔桩施工技术[J]. 山西建筑, 2009(31).
- [3] 万斌. 冲击钻孔桩施工工艺分析及常见问题的处理[J]. 科技情报开发与经济, 2009(07).