

# 高速铁路硬岩地层钻孔灌注桩施工技术

唐林

济青高速铁路有限公司

**摘要:** 钻孔灌注桩是高速铁路桥梁使用最广泛的一种地基基础处理工程,桥梁钻孔桩基础施工过程中常遇到各类复杂地质条件,在现有施工工艺中,制定合适的施工方案是高铁桥梁桩基础进度的关键。本文主要以南菊寺村306省道特大桥(60+100+60)m连续梁主墩硬岩施工钻孔灌注桩施工为实例,通过与传统硬岩地层钻孔桩施工工艺做对比,总结一种高效的施工工艺。

**关键词:** 高速铁路;硬岩地层;旋挖钻

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.04.027

## 一、前言

钻孔灌注桩是高速铁路桥梁使用最广泛的地基基础处理工程,由于高速铁路自身的线形要求,高铁线路需穿越不同地形条件<sup>[1]</sup>。因此,桥梁钻孔桩基础施工过程中常遇到各类复杂地质条件,在现有施工工艺中,制定合适的施工方案是高铁桥梁桩基础进度的关键<sup>[2]</sup>。

在地质坚硬地区桥梁施工中,常用桩基施工方法为人工挖孔桩法和冲击钻法。人工挖孔法由于桩基施工周期较长,技术落后,而且由于需要进行爆破作业,危险隐患较大,逐渐被淘汰;采用冲击钻进行施工也存在一定问题,主要体现为在地质较硬的岩层冲击钻成孔速度极慢,甚至出现全天不进尺现象,如果地质溶岩较发育,经常出现卡钻情况,一旦出现卡钻情况,一根钻孔桩的施工经常需要1-3个月的时间,甚至更长。采用旋挖钻机进行桩基施工,不仅施工速度大幅提高,施工成本大幅降低,在施工质量方面也体现出明显的优越性。

本文依托南菊寺村306省道特大桥(60+100+60)m连续梁主墩硬岩施工钻孔灌注桩施工项目,总结现场旋挖钻钻进成孔施工关键技术,并与传统硬岩地层钻孔桩施工工艺做对比,说明其优越性,以为类似工程提供借鉴。

## 二、工程概况

南菊寺村306省道特大桥地处胶东半岛北部,沿线地貌单元为胶莱平原区及鲁东丘陵区,地层属华北地层区鲁东地层分区,该地层岩性复杂多变,受构造、变质作用及岩浆岩侵入影响岩石风化剧烈且差异大,岩石软硬不均发育。桥址区勘探范围内地层由第四系全新统人工堆积层( $Q_4^{ml}$ )填筑土、素填土;第四系全新统冲洪积层( $Q_4^{al+pl}$ )黏土、粉质黏土、粉土、粉砂、细砂、中砂、粗砂、砾砂;第四系全新统坡洪积层( $Q_4^{al+pl}$ )粉质黏土、粉土;下伏下元古界荆山群(Pt1j)片麻岩;上太古界胶东群(Arj)变粒岩;中元古代晋宁期( $\gamma^2$ )花岗岩。下伏花岗岩存在不均匀分化现象,局部为球状分化。

南菊寺村306省道特大桥采用(60+100+60)m连续梁跨越S306省道,该连续梁主墩采用20根设计桩长为37m、桩径1.5m的柱桩基础,设计阶段该处钻探两处,

分别为20-ZBD-2097、20-ZBD-2098(见图1)。根据地质钻探孔20-ZBD-2097揭示,主墩处0~-3.1m为素填土,-3.1~-6.9m为 $\delta_0=300\text{kPa}$ 中砂,-6.9~-11.6m为 $\delta_0=300\text{kPa}$ 花岗岩,-11.6~-30.4m为 $\delta_0=500\text{kPa}$ 花岗岩,-30.4~-32m为 $\delta_0=800\text{kPa}$ 花岗岩,-32~-35.6m为 $\delta_0=500\text{kPa}$ 花岗岩,-35.6m以下为 $\delta_0=1200\text{kPa}$ 花岗岩;根据地质钻探孔20-ZBD-2098揭示,主墩处0~-2.6m为素填土,-2.6~-3.8m为 $\delta_0=130\text{kPa}$ 粉土,-3.8~-4.5m为 $\delta_0=350\text{kPa}$ 粗砂,-4.5~-6.3m为 $\delta_0=300\text{kPa}$ 中砂,-6.3~-10.5m为 $\delta_0=300\text{kPa}$ 花岗岩,-10.5~-23.6m为 $\delta_0=500\text{kPa}$ 花岗岩,-23.6~-30m为 $\delta_0=800\text{kPa}$ 花岗岩,-30~-36.8m为 $\delta_0=500\text{kPa}$ 花岗岩,-36.8~-41.4m为 $\delta_0=800\text{kPa}$ 花岗岩,-41.4m以下为 $\delta_0=1200\text{kPa}$ 花岗岩(见图2)。该处地质条件较为复杂,主要表现为地层岩性复杂、岩石软硬不均发育,且钻孔中遇地下斜岩,斜岩主要为 $\delta_0=1200\text{kPa}$ 花岗岩,岩层强度高,完整性好。

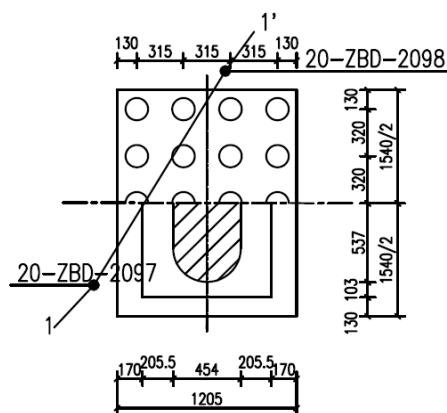


图1 地质勘探孔位平面布置示意图

## 三、施工方案

高速铁路施工工期紧,硬岩地区采用传统冲击钻成孔,施工功效低,进度缓慢,同时冲击钻施工钻孔桩普遍存在混凝土超耗严重情况。反观采用旋挖钻钻进成孔时,旋挖钻通过更换不同钻头来适应不同的地质,效率稳定,功效与岩石强度相关,工期易于掌握,加之旋挖钻成孔时,可利用旋挖钻机自带的车载电脑进行桩身垂直度、桩长控制,施工质量易于掌控,与传统冲击钻相比,旋挖钻施工钻孔桩混凝土超耗普遍小于冲击钻施工。但旋挖钻机因自重较大,进出场费用高、对施工场地要求高,对于部分施工条件恶劣,现场无法成片施工区域,旋挖钻机仍具有一定的局限性。

### (一) 旋挖钻施工工艺原理

旋挖钻机采用柴油提供动力,钻机由机身主体、液压力杆、导向架、钻杆、钻头等组成,可完成自行行走、对中、调整垂直度、钻进、出渣、清孔等钻孔桩全部成

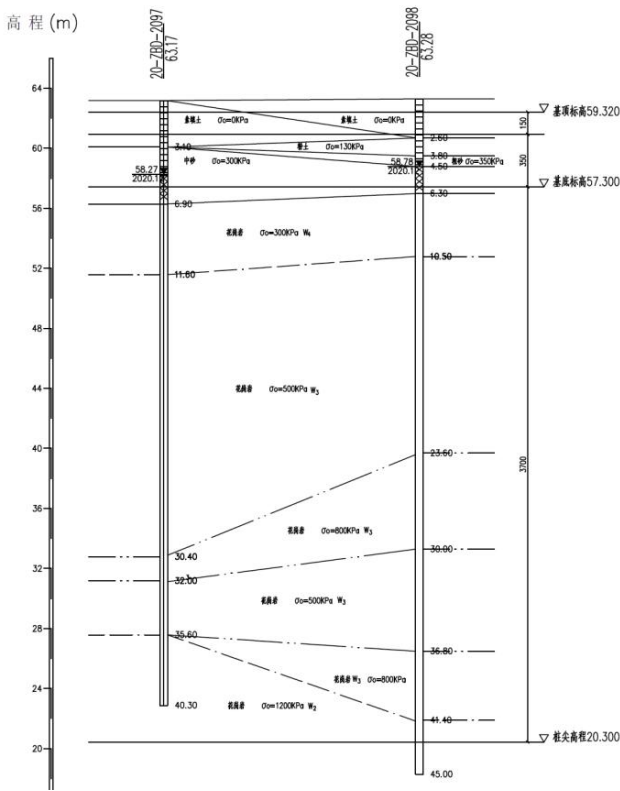


图2 地质勘探孔位立面布置示意图

孔动作。旋挖钻施工时由旋挖钻机的发动机系统提供运行动力，通过液压系统将发动机提供的动力传递到动力头，在动力头旋转驱动下将扭矩传递到钻杆，使安装在钻杆的钻头旋转，钻头旋转时将孔内的岩体进行切削、磨碎，对磨碎的岩体碎渣通过旋转进入钻头套筒内，随钻杆提升至孔外卸渣，如此反复循环，最终成孔。施工过程中通过使用不同钻具适应不同地质，粉质黏土、砂土等地质一般采用双底捞砂钻头；软岩、硬岩一般可采用筒钻钻进，双底捞砂钻头清渣；大孔径硬岩桩基成孔采用多级筒钻，分级成孔。

(二) 硬岩地层旋挖钻施工技术

1. 场地布置

钻孔桩施工场地布置根据桩基尺寸、钻机作业及移位要求进行布置，同时同步布置泥浆循环系统、排水系统、混凝土浇筑作业通道等。钻孔桩施工前对桥址处杂物清除并平整压实，确保钻机就位于坚实的土层上。

2. 桩位放样

按照设计图纸要求，组织测量人员进行桩位放样，放出桩中心点，然后埋设护桩进行保护，护桩要以桩位中心为圆心，以大于桩身半径在四周设立十字护桩，把中心桩引出护筒外，用4个正交方向的点做十字交叉控制桩中心点，做好标记并固定好（见图3）。桩位放样，按“从整体到局部的原则”进行桩基的位置放样，进行钻孔的标高放样时，应及时对放样的标高进行复测。采用全站仪或GPS准确放样各桩点的位置，使其误差在规范要求内。

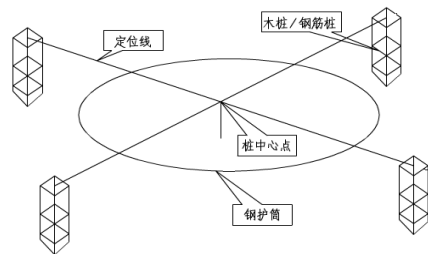


图3 桩位放样示意图

3. 埋设护筒

护筒采用6~12mm厚钢板制作，内径大于桩径20cm，通过定位控制桩找出钢护筒的中心位置，护筒中心与桩位中心的偏差不大于50mm。钢护筒埋置深度为护筒外径的1-1.5倍，且不得少于1m，钢护筒埋设后，顶部高出施工地面不小于50cm。

4. 钻机就位

(1) 将钻机行驶至施工孔位，调整钻杆角度，操作卷扬机，将钻头中心与钻孔中心对准，放入孔内，调整钻机垂直度参数，使钻杆垂直，同时稍微提升钻具，确保钻头自由浮动孔内。

(2) 钻机就位后，测量护筒顶、地面及钻机平台标高，用于钻孔时孔深测量参考用，钻头中心与孔位中心的偏差不得大于2cm。

5. 泥浆制备

泥浆池建设以“简洁、实用、美观、见效”为原则，统一防护方式和标示牌设置。距离泥浆池边80cm设置一周防护栏网。防护网采用立柱加钢筋网片相结合的形式。钢筋网片高1.2m，网片下部设置高20cm的挡脚板。防护网靠近便道侧悬挂安全标志牌。

(1) 泥浆制备

采用泥浆池造浆的方式进行泥浆制备，选用黏性较好的黏土按一定比例加水调制，制备出的泥浆性能指标应能满足钻孔要求。钻进至砂层地段时，为避免塌孔，可适当调整泥浆比重。

(2) 泥浆循环系统：在孔位附近开挖水池及泥浆池，同时配备水泵、泥浆泵等进行钻孔过程中的加水及清孔过程中的加水作业。清孔时，泥浆靠加水自流入泥浆池，需要时再用泥浆泵抽泥浆入孔形成循环利用系统。

(3) 泥浆排放：泥浆沟槽根据现场情况合理设置，沟槽应有专人清除沉淀，保证不淤塞，维护泥浆沟槽、沉淀池、泥浆池的工作性能。沉渣集中堆放，在泥浆池未满前及时运走，避免乱排乱放、污染河流及环境现象。

(4) 在钻孔桩施工过程中，对沉淀池中沉渣及浇筑混凝土时溢出的废弃泥浆随时清理，严防泥浆溢流，并用汽车弃运至指定地点倾泄，禁止就地弃渣，污染周围环境。

(5) 钻孔施工时随着孔深的增加对孔内泥浆及时添制、净化，维持护筒内应有的水头，防止孔壁坍塌。对于灌注返出的泥浆，经处理后符合要求的泥浆用于后续施工的钻孔桩施工。泥浆性能指标，按钻孔方法和地

质情况确定。旋挖钻机施工时,粉土和黏性土泥浆比重宜为1.1~1.15,软黏土和淤泥质粉土泥浆比重宜为1.15~1.25,细砂、中砂等不良岩层时,泥浆比宜为1.2~1.3。

#### 6. 钻进成孔

##### (1) 钻头选取

在土层、砂层及全风化( $\delta_0=300\text{kPa}$ )、强风化( $\delta_0=500\sim 800\text{kPa}$ )岩层时采用底部带截齿的双底捞砂钻,在弱风化( $\delta_0=1200\text{kPa}$ )岩层时采用多级筒钻扩孔钻进、双底捞砂钻清理钻渣。桩径1.5m桩基多级筒钻组合为 $\Phi 1.0\text{m}+\Phi 1.25\text{m}+\Phi 1.5\text{m}$ 。

##### (2) 分级扩孔工艺

钻机采用390型旋挖钻,钻机钻进至弱风化( $\delta_0=1200\text{kPa}$ )岩层时,采用3级扩孔工艺完成桩径1.5m桩基,扩孔直径组合为 $\Phi 1.0\text{m}+\Phi 1.25\text{m}+\Phi 1.5\text{m}$ 。

旋挖钻机钻进至强风化岩层时,因基岩整体性好,由于钻机扭矩、钻杆强度等原因无法产生足够的侧压力破碎岩石,因此需采取多级扩孔工艺施工。钻机钻进时先采用 $\Phi 1.0\text{m}$ 钻头进行定位钻进至设计孔深,后更换 $\Phi 1.25\text{m}$ 钻头进行扩孔,最后采用 $\Phi 1.5\text{m}$ 钻头成孔。

筒钻钻进时,利用钻头在岩石面磨、压,形成环形槽,然后将槽内折断取出,钻头内端部设置破岩钢楔块,利于破碎岩石。

##### (3) 清孔

分级钻进至设计孔深时,更换钻头,采用双底捞砂钻清理孔底岩渣。桩孔钻至设计标高后,对成孔的孔径、孔深、倾斜度等进行三级检查,满足设计及规范要求后方可进行下道工序施工。

#### 7. 成孔检验

钻孔桩在成孔过程中、终孔后及灌注混凝土前,均需对钻孔进行阶段性的成孔质量检查。检测指标需满足设计及规范要求。

#### 8. 清孔

在吊入钢筋骨架后,灌注水下混凝土之前,应再次检查孔内泥浆性能指标和孔底沉淀厚度,如超过设计及规范要求,应进行第二次清孔,符合要求后方可灌注水下混凝土。

#### 9. 钢筋笼安装

钢筋笼在钢筋加工场下料、数控成型。钢筋笼整体吊装入孔,吊装过程中应严防孔壁坍塌。钢筋笼入孔后,应准确、牢固定位,上端应均匀设置吊环或固定杆件,防止浇筑混凝土过程中发生移位。

#### 10. 混凝土施工

##### (1) 浇注混凝土前二次清孔

浇注混凝土前,进行二次清孔,清孔时注意保持孔内水头高程。清孔应符合设计及规范要求。

##### (2) 混凝土灌注

第二次清孔后马上灌注水下混凝土。混凝土在拌合站集中拌制,采用混凝土运输罐车运至施工现场,坍落度控制在180~220mm,导管法灌注。为确保桩顶质量,在桩顶设计标高以上应加灌一定高度,以便灌注结束后将此段混凝土清除。桩顶混凝土浇筑面高程应高出设计

桩顶高程0.5m~1m。

#### 11. 钻渣及废浆的处理

施工中产生的钻渣及废浆处理后及时运至弃土场,在弃土场内分区堆放,同时做好周边排水系统,防止水土流失。

#### 12. 桩头处理、基桩检测

承台基坑人工清理到设计标高后,清除桩头的淤泥或土,凿除桩头使用空压机、风镐、钻头,不得使用挖掘机及爆破等,凿桩过程中,注意保持桩头混凝土结构的完整,并预留桩顶伸入承台的10cm高度。根据设计要求,对桩长 $L>40\text{m}$ 或桩径 $\phi>1.5\text{m}$ 的桩基进行超声波法检测桩身完整性。桩长 $L<40\text{m}$ 且桩径 $\phi<1.5\text{m}$ 的桩基进行低应变检测桩身完整性。

### 四、经济效益分析

南菊寺村306省道特大桥(60+100+60)m连续梁主墩钻孔桩桩长37m,桩径1.5m,桩底入微风化 $\delta_0=1200\text{kPa}$ 花岗岩最大深度7.3m。若该主墩硬岩地层采用冲击钻成孔,冲击钻硬岩地层每天进尺2m,入岩7.3m需3.6天;旋挖钻每天进尺4m,入岩7.3m需1.8天,平均每根桩节约工期1.8天。采用冲击钻成孔桩长37m、桩径1.5m桩基需混凝土 $70.1\text{m}^3$ (桩头超灌0.8m计),混凝土平均超耗5%;采用旋挖钻成孔桩长37m、桩径1.5m桩基需混凝土 $68\text{m}^3$ (桩头超灌0.8m计),混凝土平均超耗1.8%。单根桩节省混凝土 $70.1-68=2.1\text{m}^3$ ,按照该处主墩20根钻孔桩,节省混凝土 $42\text{m}^3$ ,其材料单价600元/方,节省材料成本 $42\times 600=2.52$ 万元。桩径1.5m钻孔桩冲击钻分包单价为1300元/m,旋挖钻分包单价为715元/m,按照20根钻孔桩,采用旋挖钻施工节省成本 $(1300-715)\times 37\times 20=43.29$ 万元。综上,采用旋挖钻施工较冲击钻施工共计节约工期36天、节约材料成本2.52万元、节约分包成本43.29万元。经上对比,采用旋挖钻施工硬岩钻孔桩明显优于冲击钻。

### 五、结语

本文依托南菊寺村306省道特大桥项目,对比了现场旋挖钻钻进成孔与传统硬岩地层钻孔桩施工工艺,结果表明:

(1)旋挖钻在硬岩地层施工时,可采用更换钻头、分级扩孔的施工工艺,完成大孔径、硬岩地层钻孔桩施工,且施工机械化程度高、工序简单、工期短,成桩质量可控,对周围环境扰动小;同时在安全保障、工程质量、工期控制、节能、环境保护、劳动保护等方面都有很大提高。

(2)随着现代科学社会的快速发展,工程施工日益向高精度、高效率、低噪声、高度机械化方向发展,旋挖钻相比冲击钻施工,因其机械化程度高、材料超耗小、施工扰动小、经济效益高,可极大缩短施工工期,在高速铁路施工中应用前景广泛。

### 参考文献

- [1]周外男,缪玉卢.坚硬岩石地层钻孔桩旋挖钻机成孔技术[J].世界桥梁,2019,47(4):27-31.
- [2]王世东.连徐高铁硬岩地层钻孔桩施工技术[J].上海铁道科技,2018(3):98-99.