

# 冲孔灌注桩桩孔纠偏预防技术研究及应用

蒋凯, 邓宇, 孟宝华, 秦峰焰  
(中冶成都勘察研究总院有限公司, 四川成都610023)

**摘要:**冲孔灌注桩虽然在各类地层都具有广泛的适用性,但是在复杂地质条件下,极易发生偏孔。结合某高层建筑冲孔灌注桩施工中频繁偏孔的情况,对冲孔过程中的偏孔问题进行全面分析研究。以桩孔纠偏预防为目标,从应对孤石和斜硬岩层2个方面来针对性进行研究,应对孤石时,合理控制钻头、冲程及冲孔频率;应对斜硬岩层时,研究了钻头增厚硬质合金块改进技术。经现场应用,有效地避免了偏孔的产生。

**关键词:**冲孔灌注桩;孤石;斜硬岩层;偏孔;纠偏预防

**中图分类号:**TU473.1<sup>+</sup>4 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2022)01-0153-07

## Correction and prevention of deviation in impact drilling of cast-in-place pile holes

JIANG Kai, DENG Yu, MENG Baohua, QIN Fengyan

(Chengdu Surveying Geotechnical Research Institute Co., Ltd. of MCC, Chengdu Sichuan 610023, China)

**Abstract:** Although impact drilled cast-in-place piles have wide applicability in all kinds of strata, holes are prone to deviate under complex geological conditions. In view of frequent deviation of holes in the construction of impact drilled cast-in-place piles for a high-rise building, hole deviation in the impact drilling process is comprehensively analyzed and studied. With hole deviation correction and prevention as the subject of study, research was carried out for two specific cases: deflection from solitary stones and dipped hard rock stratum. For solitary stones, the bit, impact stroke and frequency were properly controlled; for dipped hard rock stratum, increase of the thickness of the TC chips was studied for the bit. Field application demonstrated that hole deviation was effectively avoided.

**Key words:** impact drilled cast-in-place pile; solitary stone; dipped hard rock stratum; deviated hole; deviation correction and prevention

## 0 引言

冲孔灌注桩施工工艺作为一种常用的桩基施工技术,由于其穿透岩层能力强、稳定性好、适用于各种复杂地质条件、施工孔深不受限制等优点,在国内应用已久。但在实际施工中,由于复杂地质情况,同样会面临漏浆、塌孔、偏孔等各种问题<sup>[1-6]</sup>,尤其是在成孔过程中,偏孔问题若不重视和及时处理,极易导致卡钻、卡钢筋笼等问题及钢筋笼局部保护层厚度不够、桩底成渣加厚、桩身承载力不够等质量问题。传统方法采用回填片石纠偏可以处

理偏孔问题<sup>[7]</sup>,然而其经济性和工效很差<sup>[8]</sup>,容易出现多次纠偏失败的情况,对工程成本和工期造成巨大影响,严重危害成孔的质量。本文以纠偏预防为研究思路,根据以往对冲击成孔参数<sup>[9]</sup>和钻头设计<sup>[10]</sup>的研究经验,预先控制冲击成孔参数、合理进行钻头设计,并在具体工程中进行应用实践。

## 1 工程概况

### 1.1 工程简介

拟建工程属岷江水系Ⅱ级阶地,该范围内的地

收稿日期:2021-05-16; 修回日期:2021-07-22 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.01.020

第一作者:蒋凯,男,汉族,1994年生,助理工程师,硕士,地质工程专业,从事基础工程施工工作,四川省成都市,1435974945@qq.com。

引用格式:蒋凯,邓宇,孟宝华,等.冲孔灌注桩桩孔纠偏预防技术研究及应用[J].钻探工程,2022,49(1):153-159.

JIANG Kai, DENG Yu, MENG Baohua, et al. Correction and prevention of deviation in impact drilling of cast-in-place pile holes[J]. Drilling Engineering, 2022,49(1):153-159.

层有:第四系全新统人工堆积(Q<sub>4</sub><sup>ml</sup>)填土,第四系上更新统冲洪积(Q<sub>3</sub><sup>al+pl</sup>)粉质粘土、细砂、粗砂、砾砂、

圆砾、含粉质粘土卵石、卵石及中生界侏罗系中统沙溪庙组(J<sub>2s</sub>)砂质泥岩和砂岩(见图1)。

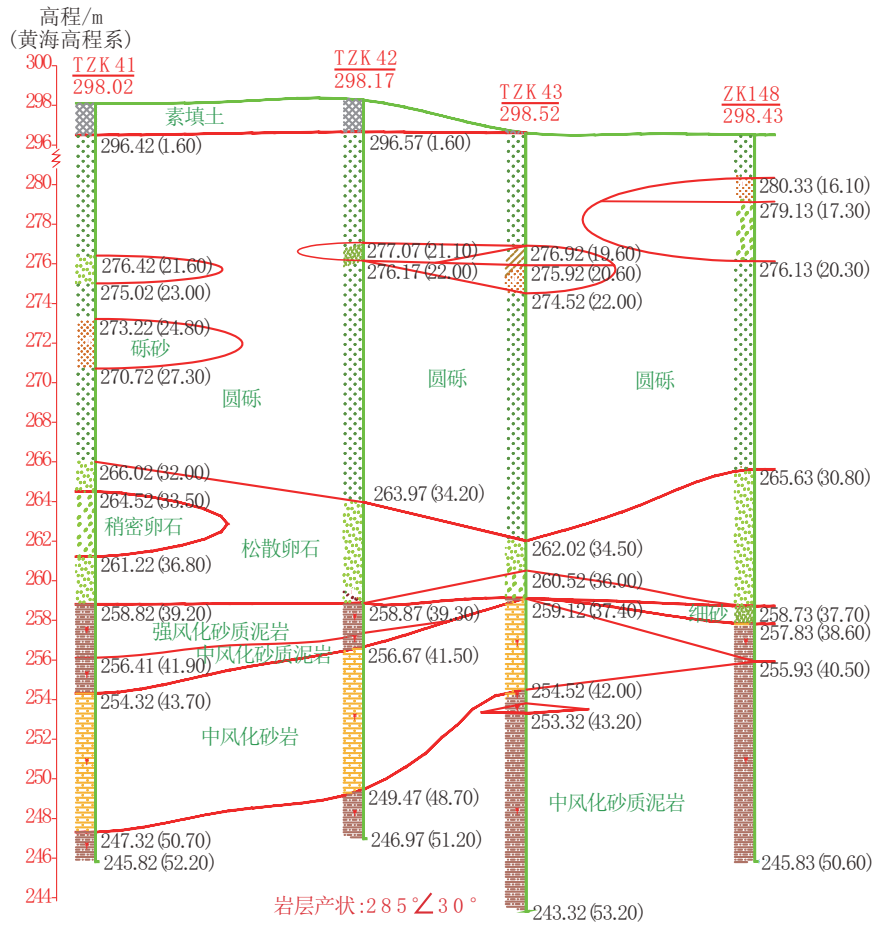


图1 地质勘察剖面

Fig.1 Geological prospecting profile

### 1.2 技术难点

冲击钻头冲进过程中,多次出现桩位偏移的情况(见表1)。虽然通过回填片石至偏移处标高以上5 m后继续冲进,校正了孔位,但是中途增加了回填片石环节,冲击钻机频繁停钻及二次成孔,对桩基施工工期和成本造成了极大的损失。冲击成孔过程是将冲锤提升到一定高度,利用冲锤自由下落的冲击能量冲击打碎土层或岩石,并通过泥浆循环排出泥渣达到成孔的目的。本工程存在以下技术难点,对纠偏预防造成了巨大困难:

(1)根据4、5、6、8、9、10号主楼地块桩基设计要求,成孔深度在40~45 m范围,孔径900 mm,在深部冲击成孔过程中,保持孔身垂直、孔中心无偏差的施工难度大。

(2)根据图1所示,场地存在30 m巨厚的圆砾层,对护壁要求高,冲击成孔过程中不仅要预防偏孔,还存在漏浆、缩孔或塌孔的风险。

(3)岩层主要为中风化砂岩,硬度极高,具有一定倾角,入岩冲进时不仅要预防受力不均产生的冲锤偏转,还要注意冲锤磨损和钝化。

## 2 桩孔偏斜分析

根据现场调查,发现有以下2种原因造成桩孔偏斜。

### 2.1 遇到孤石、探头石

一般有3种情况与偏孔相关:(1)孤石表面呈弧形导致锤击时倾斜,和入岩相类似<sup>[11]</sup>;(2)遇探头石冲击时,一半坚硬,一半软弱,底部受力不均匀发生

表1 桩位偏移记录

Table 1 Record of pile location deviation

楼桩号	偏孔深度/m	偏孔处标高/m	是否入岩过程
4-23	30.0	266.6	否
5-52	35.9	257.7	否
5-38	36.5	260.1	否
5-53	17.6	279.0	否
6-4	24.3	272.3	否
6-5	39.7	253.9	是
6-32	40.6	253.0	是
6-32	14.2	279.4	否
8-54	19.7	273.9	否
8-51	15.0	278.6	否
8-21	25.0	268.6	否
8-24	20.9	275.7	否
9-46	39.8	256.8	是
9-46	41.0	255.6	是
9-20	40.6	256.0	是
9-26	37.3	259.3	是
9-22	37.8	258.8	是
9-44	33.6	263.0	否
9-10	31.3	265.3	否
10-6	42.1	254.5	是
10-14	41.5	255.1	是
10-6	26.7	269.9	否
10-43	43.9	252.7	是
10-43	33.7	262.9	否
10-24	29.7	266.9	否

偏转,向软弱土层倾斜<sup>[11]</sup>; (3)孤石面积广,坚硬,钻头难以冲破,造成孔斜。

场地内存在以往岷江河道中搬运而来的巨型孤石,埋深浅,体积较大,弧形不明显,主要为上述第3种情况。孤石表面为密实的风化层,内部为新鲜的石英砂岩,质地坚硬,其抗压强度比中风化砂岩高。其中5、6、8号楼在浅部容易发生桩孔偏移(参见表1),推测该区域孤石分布较广泛。

## 2.2 遇中风化砂岩地层

根据勘察报告,中风化砂岩锤击声清脆,回弹明显,倾角 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ,中生界侏罗系中统沙溪庙组( $J_2s$ )地层的顶标高范围在250~260 m,出现桩孔偏斜的位置标高数据大部分位于该范围内(见图2),共有11个,占42.3%。其中7个受中风化砂岩影响,占

63.6%。说明中风化砂岩影响是造成入岩冲进过程中易偏孔的重要原因。

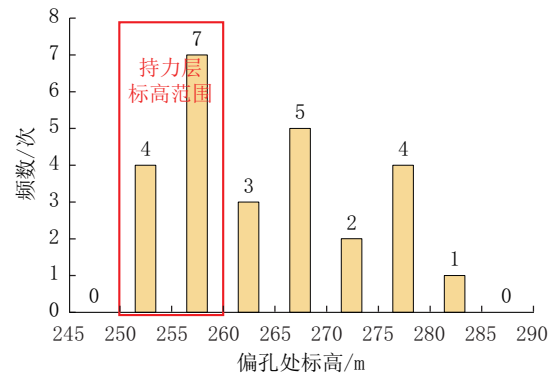


图2 偏孔处标高统计

Fig.2 Elevation at the hole deviation position

其影响主要体现在以下2个方面:(1)需要冲破中风化砂岩夹层,进入中风化砂质泥岩基底,夹层厚度0.5~3.0 m;(2)进入中风化砂岩地层,并作为持力层。

## 3 冲击钻进纠偏预防讨论

解决偏孔问题的关键是根据其原因,采取措施避免偏孔的发生,才能提高冲孔效率,减少成本。

### 3.1 遇大型孤石

遇孤石时,由于每次的冲击强度不同,岩石变形破碎方式不同<sup>[12]</sup>,应尽量避免表面研磨和疲劳破碎造成钻头的大幅度回弹和偏转。因此提高冲击钻机的碎岩能力,将孤石切断或冲碎,造成体积破坏,才能避免偏孔的发生。最有效的措施是提高钻头每次的冲击强度,而冲击强度又受冲击钻机性能、钻头质量大小、钻头底形状、泥浆密度和孔底地层等多种因素影响,找到其中关键因素可以帮助我们化繁为简。

冲击强度可以近似地当作是落石冲击力来计算,国内研究认为日本道路公团的计算公式最为接近<sup>[13-14]</sup>:

$$p = 2.108 \cdot m^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H^{3/5}$$

式中: $m$ ——落石质量,t; $\lambda$ ——拉梅常数,建议取 $1000 \text{ kN/m}^2$ ;  $H$ ——落石自由下落高度,m。

由此看出,冲击力主要受钻头质量大小和冲程高度影响。实际施工作业中,考虑到孔径、冲击钻机能力、钢绳磨损及孔壁的稳定性,冲锤的质量和冲程的高度可在合理范围内取最大值。

冲锤质量大小是成孔速度的最大影响因素<sup>[9,15]</sup>,而冲击强度与成孔速度在一定范围内呈正相关趋势,印证了冲锤质量对成孔的重要影响。选择合理的冲锤质量,才能保证克服孤石的冲击强度。由于是脉冲式碰撞,受力面积无意义,而借鉴以往的经验<sup>[16]</sup>,钻头质量按钻孔桩直径每100 mm取400~450 kg,钻头直径800 mm时,钻头质量在3.2~3.6 t。

冲程是指每一次冲击时,冲锤下落的高度。当有了冲锤质量的稳定保障,遇大型孤石时,采用高冲程,达到克服孤石的最大冲击强度,便能高效击碎孤

石,最后成功穿过。工程勘察报告显示,天然状态下,中风化砂岩的单轴抗压强度标准值为80 MPa,孤石抗压强度应在80 MPa以上,故冲程控制在2.4~3.0 m,冲击频率10~12次/min<sup>[16]</sup>。考虑到维持孔壁的稳定,应高低冲程交替进行。

### 3.2 遇倾斜中风化砂岩

基于现有的勘察钻孔资料,对4、5、6、8、9、10号楼总计310个孔,找出54个受中风化砂岩地层影响的桩,其中5号楼未受中风化砂岩地层影响,而6、9、10号楼受影响严重,分别有14个、13个和15个桩孔,如图3所示。

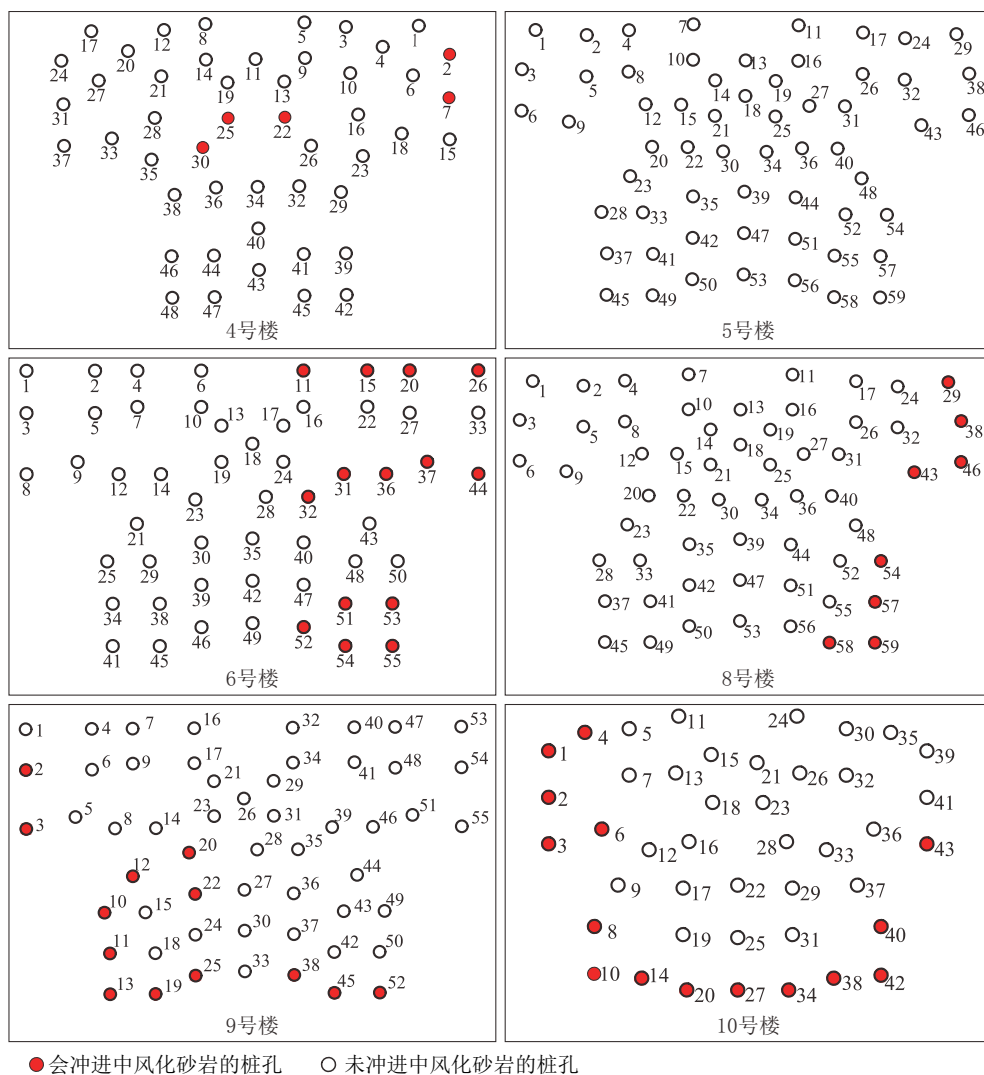


图3 受中风化砂岩影响的桩孔

Fig.3 Holes affected by moderately weathered sandstone

遇倾斜坚硬岩层时,由于缺乏相应科学的计算模型,且落石计算不能反映冲击角度对冲击强度的

影响<sup>[13]</sup>,钻头质量大小难以科学地决断,但是若钻头冲击时能牢牢抓住倾斜面,便能减少钻头大幅度

偏转。应用实践证明,通过给钻头底部加焊导正爪,在起伏不定的岩层面,能快速稳定切削岩石,预防偏孔的发生<sup>[17]</sup>。并且十字形钻头底加焊硬质合金块,不仅具有较高的硬度、强度、耐磨性和冲击韧性,还具有良好的焊接性能,大大提高了钻头的各项性能<sup>[16]</sup>。因此在本工程中,预先圈定受中风化砂岩影响的桩孔,改进十字钻头将会取得较好的效果。

### 3.2.1 增厚硬质合金块改进思路及优点

传统的加焊耐磨块<sup>[16]</sup>,只有1层的情况,加焊位置也未通过合理计算,只有抗冲击和耐磨的能力,仅对微倾斜( $<10^\circ$ )的岩层有效,并且材料利用和效果未最大化。但实际现场施工过程中,岩层倾角普遍都在 $5^\circ\sim 30^\circ$ ,个别甚至超过 $30^\circ$ 。在9-52和10-41号2个桩孔入岩冲进时,预先都采用传统的加焊耐磨硬质合金块,9-52号桩孔入岩冲进时,低频密击4h后,冲锤全断面才成功入岩;10-41号桩孔低频密击4h,冲击过程中频繁歪锤,钢绳回颤明显,对孔壁扰动大,入岩效果仍不理想。

本文依据岩层倾角和钻头底受力情况,合理选用多层硬质合金块,并科学计算其焊接位置,使其适用于大部分倾斜岩层。

改进工艺的基本思路是:如图4所示,预先让增厚部位接触孔底,能增大集中受力部位,使集中受力点靠近钻头轴线中心,减少了因受力不均导致的钻头偏转和能效的降低,能快速凿岩开小孔,最后钻头全断面冲入,形成完整标准的孔径。

改进工艺还具有以下优点:

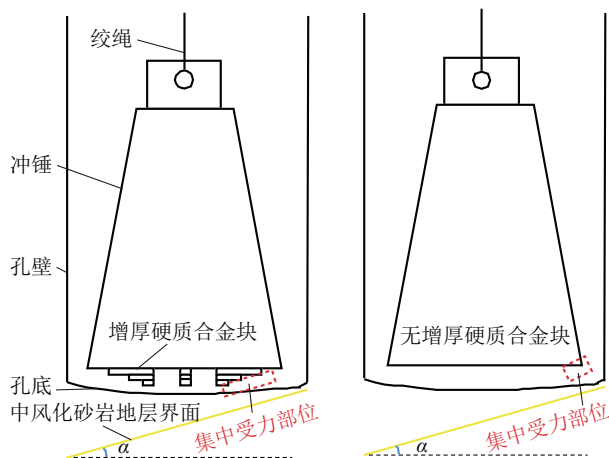


图4 钻头底部集中受力部位示意

Fig.4 Schematic diagram of the concentrated stress parts at the bottom of the drill bit

(1)能增加十字刃的入岩能力,增厚块使钻头更“尖锐”,相同的冲击动能下,冲击强度变高,能预先使岩层破碎开裂。

(2)入岩冲进时,增厚块耐磨损,承受了绝大部分的磕碰作用,能有效保护十字刃。

### 3.2.2 增厚块基本设计

增厚硬质合金块含铬、镍、钼、钨、钒等金属元素。其设计如图5所示,硬质合金块最多3层,其中建议硬质合金块I的长 $a$ 固定为100 mm,厚度 $d$ 取30 mm。

当坚硬倾斜岩层倾角 $\alpha$ 确定时,可计算出:

缩短长度 $e=d/\tan\alpha$ ;

硬质合金块II长 $b=a+e$ ;

硬质合金块III长 $c=b+e$ ;

钻头半径 $r>a+e>b+e>c+e$ 。

设计层数可按最后一层依次递减,设计为1层增厚硬质合金块时,只有I;设计为2层增厚硬质合金块时,有I、II;设计为3层增厚硬质合金块时,有I、II、III。硬质合金块III宽度不大于十字刃最小宽度,硬质合金块II宽度小于硬质合金块III宽度,硬质合金块I宽度不大于硬质合金块II宽度,焊接要求密实牢固。

现场硬质合金块层数的设计,还应该依据岩层倾角 $\alpha$ 和钻头半径 $r$ 确定:

(1)当 $20^\circ<\alpha<30^\circ$ 且 $r>260$  mm时,设计3层较为合理;

(2)当 $10^\circ<\alpha<20^\circ$ 且 $r>270$  mm时,设计2层较为合理;

(3)当 $\alpha<10^\circ$ 且 $r>270$  mm时,设计1层较为合理。

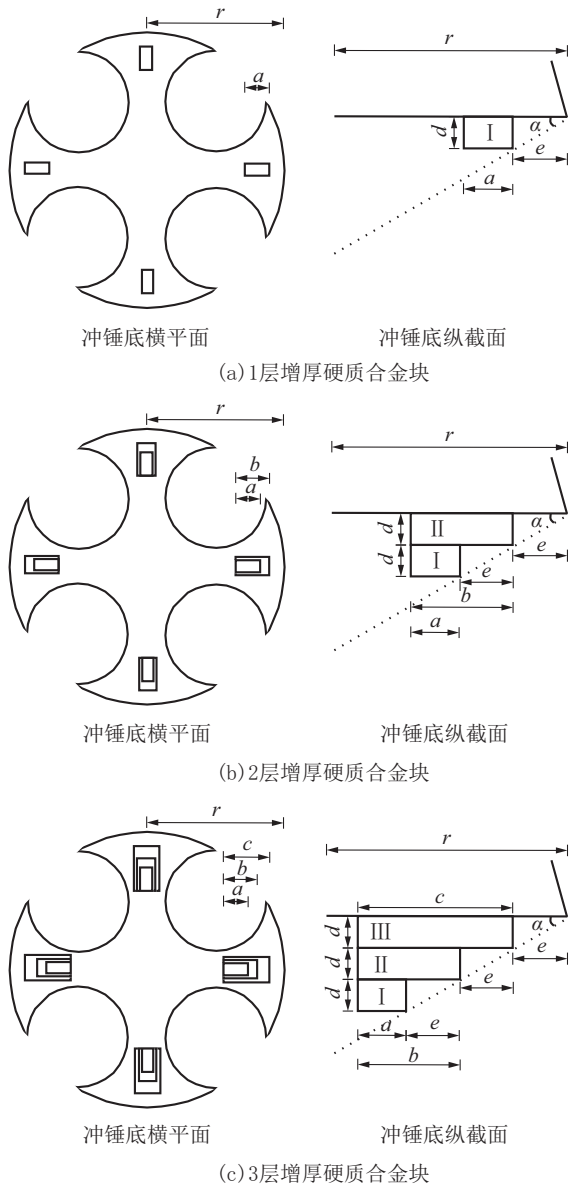
### 3.2.3 增厚硬质合金块的局限性

增厚硬质合金块在极度倾斜( $>30^\circ$ )的中风化砂岩地层不适用。根据原理要求,当岩层倾角 $>30^\circ$ 时,对增厚层的层数或厚度要求变高,随着层数或厚度的增加,增厚硬质合金块整体的焊接稳定性及抗弯折能力降低。故最大限度的增厚层设计应控制在3层以内,且总厚度 $\geq 120$  mm。

## 4 现场应用

### 4.1 现场纠偏预防方案

基于以上经验成果,结合本工程现场质量、成本、工期要求,针对性制定了以下可行性纠偏方案。



$a$ —硬质合金块 I 长; $b$ —硬质合金块 II 长; $c$ —硬质合金块 III 长; $d$ —每层硬质合金块厚度; $e$ —每层硬质合金块缩短的长度; $r$ —钻头半径; $\alpha$ —中风化砂岩倾角; I—第一层硬质合金块; II—第二层硬质合金块; III—第三层硬质合金块

图5 增厚硬质合金块基本设计示意

Fig.5 Basic design diagram of the TC chip with increased thickness

(1)遇孤石时,及时更换选用3.6 t重的钻头,然后高低冲程交替冲击,高冲程3.0 m,低冲程1.0 m,冲击频率10~12次/min。

(2)当判断冲进至中风化砂岩地层时,预先强化十字锤刃,加焊增厚硬质合金块。

由于中风化砂岩倾角 $\alpha$ 最大为 $30^\circ$ ,钻头半径400 mm,故选用3层增厚硬质合金块。硬质合金块厚度为30 mm,硬质合金块 III 长200 mm,宽50 mm;硬质合金块 II 长150 mm,宽40 mm;硬质合金块 I 长100 mm,宽30 mm。然后大冲程低频率冲进入岩。

#### 4.2 现场应用效果

在5-2号桩孔冲孔作业时,冲进至15.6 m时,锤击声变高,绞绳升降不均匀,此时更换长1.6 m、重3.6 t的长型重型钻头,提高其垂直度,增加其碎岩能力,并采用高低冲程交替冲击,勤掏渣,最后成功冲破孤石。

在9-45号桩孔进行冲孔作业时,当进尺 $>39.0$  m,且锤声清脆、回弹明显时,已冲至中风化砂岩地层,立即停止冲进,然后将钻头底按应用要求加焊3层硬质合金块,再高低冲程交替冲击,成功快速进入中风化砂岩,最后大冲程冲进。

#### 4.3 应用注意事项

(1)纠偏方案是从避免偏孔出发,提前预知,针对性采取相应纠偏措施,其有效性和精准性依赖于钻孔资料的详尽程度。但是该工程未有一桩一孔的钻孔资料,故图3中圈定的受中风化砂岩影响的桩孔范围有一定误差。冲击钻进时操作人员还应结合现场入岩时锤击声及沉渣岩屑判断是否冲至中风化砂岩,然后采取钻头加焊措施。尤其地下孤石随机分布,更是需要现场经验丰富的作业人员仔细甄别。

(2)若判断出浅部遇孤石,且一开始便向某一方向偏转,说明孤石表面弧度大,冲击角度倾斜,也可采取加焊增厚硬质合金块的措施,采取上述的2层增厚硬质合金块即可。

#### 5 结论

(1)本文基于现场实践,分析了偏孔的2个重要影响因素,即遇孤石和进入中风化砂岩。

(2)根据以往研究经验和本项目实际情况,遇孤石时,科学控制冲锤质量大小和冲程大小,能加大冲击强度,有效冲破大型孤石;进入中风化砂岩地层时,加焊多层增厚硬质合金块,能高效快速入岩,达到实现纠偏预防的目标。

(3)实践证明,针对本工程复杂地质条件特征,以纠偏预防为主的方案措施有着巨大成效,并且科学、合理地改进冲击成孔施工技术,积累了在孤石广泛且倾斜坚硬岩层地区进行桩孔施工的经验,可为

类似地区高层建筑桩基工程设计、施工提供借鉴。

### 参考文献(References):

- [1] 向泽. 冲孔灌注桩施工技术研究[D]. 重庆:西南大学, 2015.  
XIANG Ze. The construction technical research of punching pile [D]. Chongqing: Southwest University, 2015.
- [2] 石振明, 沈丹祎, 彭铭, 等. 岩溶地区桩基施工溶洞处理技术——以吉安永和大桥桩基施工为例[J]. 工程地质学报, 2015, 23(6): 1160-1167.  
SHI Zhenming, SHEN Danwei, PENG Ming, et al. Karst cave disposing technology for pile foundation construction, illustrated with——Yonghe Bridge in Ji'an[J]. Journal of Engineering Geology, 2015, 23(6): 1160-1167.
- [3] 张庆芳. 冲击钻成孔的施工方法及难点处理[J]. 山西建筑, 2007(5): 96-97.  
ZHANG Qingfang. Construction method and difficult treatment of percussive drilling[J]. Shanxi Architecture, 2007, 33(5): 96-97.
- [4] 侯勇, 王蓉川. 岩溶地区桩基础施工[J]. 铁道工程学报, 2010(2): 60-63, 80.  
HOU Yong, WANG Rongchuan. Construction of pile foundation in karst area[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2010, 27(2): 60-63, 80.
- [5] 杨丛国, 陈庆村. 桩基础施工过程中漏浆问题的处理方法[J]. 山东交通科技, 1999(2): 13-14.  
YANG Congguo, CHEN Qingcun. Treatment of slurry leakage in pile foundation construction [J]. Shandong Communications Technology, 1999(2): 13-14.
- [6] 陈军军. 孤石地质情况下冲孔灌注桩施工技术探析[J]. 福建建材, 2020(5): 56-57, 66.  
CHEN Junjun. Discussion on construction technology of punched cast-in-place pile under boulder geological condition[J]. Fujian Building Materials, 2020(5): 56-57, 66.
- [7] 熊绍所, 成润军. 岩溶地区钻(冲)孔灌注桩施工的难点及其技术对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(8): 73-75.  
XIONG Shaosuo, CHEN Runjun. Construction difficulties of bored cast-in-situ pile in karst area and the technical countermeasures [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(8): 73-75.
- [8] 侯博海, 蒋尚志, 刘康宇, 等. 超深钻孔灌注桩在硬岩斜面层中的纠偏孔技术[J]. 市政技术, 2019, 37(6): 228-230.  
HOU Bohai, JIANG Shangzhi, LIU Kangyu, et al. Drilling-hole correction technology in inclined hard rock plane of ultra-deep bored pile[J]. Municipal Engineering Technology, 2019, 37(6): 228-230.
- [9] 胡培强, 王志明, 周伏萍, 等. 大直径嵌岩斜桩冲击成孔速度的影响因素分析[J]. 钻探工程, 2021, 48(2): 104-109.  
HU Peiqiang, WANG Zhiming, ZHOU Fuping, et al. Influencing factors analysis of the rate of penetration during the percussion drilling of large diameter rock-socketed inclined pile [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(2): 104-109.
- [10] 赵向阳, 张顺科, 鲍洪志. 基于岩石力学特性和机械比能理论的钻头评价和优选[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(5): 79-84.  
ZHAO Xiangyang, ZHANG Shunke, BAO Hongzhi. Bit evaluation and optimization based on rock mechanics and mechanical specific energy theory [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(5): 79-84.
- [11] 曾钦生. 冲孔灌注桩在孤石区内施工技术探讨[J]. 中国建设信息, 2014(9): 66-67.  
ZENG Qinsheng. Discussion on construction technology for impact-drilled cast-in-place piles in the boulder area [J]. Information of China Construction, 2014(9): 66-67.
- [12] 姚爱国, 等. 岩土工程钻进原理[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2000.  
YAO Aiguo, et al. Drilling Principle of Geotechnical Engineering [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2000.
- [13] 叶四桥, 陈洪凯, 唐红梅. 落石冲击力计算方法的比较研究[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(2): 59-64.  
YE Siqiao, CHEN Hongkai, TANG Hongmei. Comparative research on impact force calculation methods for rockfalls [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2010, 37(2): 59-64.
- [14] 程万里. 冲锤对冲击钻机掘进效率的影响及成孔质量研究[D]. 重庆交通大学, 2012.  
CHENG Wanli. Study on the drivage efficiency and drilled-hole quality for the hammer of percussion drill [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2012.
- [15] 郭新庆. 桩基冲击钻进技术的参数研究[J]. 建筑机械, 2019(6): 93-96.  
GUO Xinqing. Research on the parameters of pile foundation impact drilling technology [J]. Construction Machinery, 2019(6): 93-96.
- [16] 秦体达, 何益勇. 冲击钻机在高强度岩层中钻进的工艺研究[J]. 施工技术, 2010(S1): 309-311.  
QIN Tida, HE Yiyong. Technology study on impact drill in high-intensity rock [J]. Construction Technology, 2010(S1): 309-311.
- [17] 李树亭, 廖翔, 廖作勇. 浅析岩溶地区冲击钻施工技术改进的应用[J]. 江西建材, 2015(20): 71.  
LI Shuting, LIAO Xiang, LIAO Zuoyong. Improvement of impact drilling for the karst area [J]. Jiangxi Building Materials, 2015(20): 71.

(编辑 周红军)