

# 气动潜孔锤跟管钻进技术在岩土工程 勘察施工中的应用

丁晓庆, 何龙飞

(中船勘察设计研究院有限公司, 上海 200063)

**摘要:**以渤船重工新型总装生产线工程岩土工程勘察项目为依托,应用 KG940A 型高压履带式潜孔钻车、采用气动潜孔锤跟管钻进工艺,结合空气正循环排渣方式,摸索总结出一套针对复杂破碎覆盖层的干式成孔新方法,钻进效率及钻孔质量显著提高,为岩土工程勘察勘探孔施工增添了一种新的思路。

**关键词:**高压;潜孔锤;冲击器;偏心钻头;空压机

**中图分类号:**P634.5   **文献标识码:**B   **文章编号:**1672-7428(2015)01-0017-05

**Application of Pneumatic DTH Hammer Drilling with Casing in the Geotechnical Engineering Investigation/DING Xiao-qing, HE Long-fei** (China Shipbuilding Industry Institute of Engineering Investigation & Design Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

**Abstract:** Relying on the geotechnical engineering investigation project for a new assembly line of Bohai Shipbuilding Heavy Industry Co., Ltd., by the application of KG940A high air pressure and crawler DTH drill and the use of pneumatic DTH drilling with casing combined with air positive circulation slag discharging, a set of new methods of dry-boring is explored according to complex broken overburden layer, which makes significant improvement in drilling efficiency and drilling quality.

**Key words:** high air pressure; DTH hammer; impactor; eccentric bit; air compressor

快速穿越破碎覆盖层钻进技术是国内岩土工程勘察界极为关注和竭力研究的难题之一。岩土工程地质勘探工作中,经常遇到深厚卵石、碎石、人工开山石覆盖层的钻进问题,通常出现钻进效率低,护壁、取心困难,冲洗液漏失等问题<sup>[1]</sup>。目前国内外的研究很多,但尚未形成一套既经济又有效的工艺方法。

我公司大多数项目为海运码头勘察项目,经常碰到松散、坚硬、破碎地层。以往普遍采用硬质合金钻进、金刚石钻进、劈石器、PDC 复合片钻进等常规钻进工艺,同时采用锤击法下套管。钻头断齿、掉块现象频繁发生,套管跟进困难,锤击套管造成套管变形,套管间连接螺纹损坏,无法拆卸,套管无法回收利用。几乎靠“牺牲设备,换取缓慢进尺”,工作效率低、生产成本过高、工人劳动强度大。

我公司通过应用 KG940A 型高压履带式潜孔钻车,采用气动潜孔锤跟管钻进工艺,攻克了穿越破碎覆盖层这一难题,在钻进效率、质量与降低劳动强度方面取得了显著的效果。

## 1 工程概况

本试验依托项目为渤船重工新型总装生产线工程岩土工程勘察项目,施工地为辽宁省葫芦岛市龙港区。勘察范围主要包括陆域和水域 2 个部分。

### 1.1 陆域部分

建筑物包括:车间一、车间二、车间三、车间四、车间五、车间六、车间七、生产/生活辅助楼、综合调试协作楼及配套的公用站房、车库及门卫等。

构筑物主要包含纵移滑道、横移区、室内船台。纵移滑道 2 组共 8 根轨道,长约 498 m;横移区 190 m × 223.5 m;室内船台共 4 座,其中 3 座为 278 m × 33 m,1 座为 182 m × 18 m。

### 1.2 水域部分

水工构筑物护堤(兼防波堤)总长 1423 m,直立式约 790 m,斜坡式约 633 m。直立式护堤拟采用重力式沉箱结构。

## 2 工程地质情况

### 2.1 自然条件

试验场地位于葫芦岛市龙港区灯塔山南侧至东侧一带,已建设场地地坪设计标高 5.15 m。场地交通便利,地下水位埋深较浅。拟建场地地貌类型属海岸地貌。

## 2.2 破碎覆盖层情况

表面覆盖层主要为填土:松散状,由人工开山回填的碎石和粘土组成,夹建筑垃圾等,颗粒骨架直径为 2~500 mm,回填厚度按照海底地形起伏差异较大,回填深度最大约 17.2 m。现场回填情况如图 1。



图1 已回填场地现状

## 3 施工方案

前期施工主要采用 XY-1B 型钻机,采用 PDC 复合片钻头钻进后,锤击法下入套管,主要存在以下问题:

(1) 钻进效率低,时效最高达 0.5 m;

(2) 由于覆盖层为开山抛石回填,采用泥浆护壁容易造成泥浆散失,从而导致岩屑无法及时排出,造成重复破碎,降低钻进效率的同时容易引起埋钻、卡钻等孔内事故;

(3) 由于抛石填土层较为破碎,套管难以下入,锤击套管容易造成套管结构变形;

(4) 常规复合片钻进由于地层的不均匀性,易造成孔斜。

本项目特点为:开孔破碎覆盖层,且厚度较大,最大为 17.2 m,XY-1B 型钻机施工效率太低,无法达到工期要求,且钻具损坏严重、劳动强度大,孔内事故频发。影响了勘察项目的进度及质量。

本次试验应用 KG940A 型高风压履带式潜孔钻车,采用压缩空气驱动冲击器工作,冲击器冲击钻头孔内破碎岩石,偏心钻头扩孔并同时跟进套管,并且利用压缩空气正循环吹渣排出岩屑。大大增加了钻进效率,提高了成孔质量,降低了劳动强度。

## 4 主要设备

KG940A 型高风压履带式潜孔钻车(见图 2); $\varnothing 73$  mm 钻杆,长 3.0 m,单根质量 10.40 kg,壁厚 9.19 mm(内径为 54.64 mm);LGCY-22/20 型柴油移动螺杆空压机(如图 3 所示),排气量  $22\text{ m}^3/\text{min}$ ,排气压力 2.0 MPa,外形尺寸 4600 mm $\times$ 1950 mm $\times$ 2850 mm;HD45A 型冲击器(见图 4), $\varnothing 99$  mm $\times$ 1011 mm,冲击功 3000~12000 J,冲击频率 30 Hz,耗风量 6~15  $\text{m}^3/\text{min}$ ,工作风压 1.0~2.5 MPa;新型偏心跟管钻头(如图 5 所示),其旋翼张开后外径为 152 mm,收回后外径为 120 mm;现场使用套管外径 146 mm(如图 6 所示),内螺纹形式,内径 130 mm,长 3 m。



图2 KG940A 型高风压履带式潜孔钻车

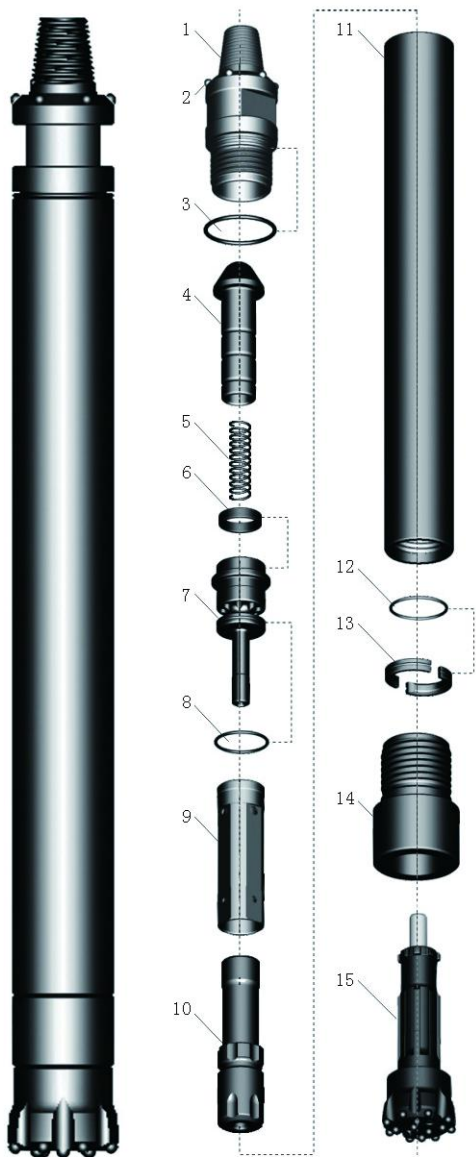


图3 LGCY-22/20 型柴油移动螺杆空压机

## 5 钻进工艺参数

### 5.1 钻压及转速

对于潜孔锤全面钻进,一般认为单位直径的压力值在 0.3~0.9 kN/cm,本项目采用偏心跟管钻头( $\varnothing 120\sim 152$  mm),钻压范围应为 3.6~13.68 kN。假设钻进 21 m 孔深,扣除钻具总重力(约为 1.18~



1—接头;2—抗磨合金;3—O形圈;4—逆止阀;5—弹簧;  
6—承压垫;7—配气座;8—O形圈;9—内缸;10—活塞;  
11—外缸;12—O形圈;13—卡环;14—卡钗套;15—钻头

图 4 HD45A 型冲击器



图 5 新型偏心跟管钻头



图 6 套管及接箍

1.56 kN)、钻具浮力、侧摩阻力,钻进最大钻压需约 2.0~12.0 kN。

转速的高低主要取决与冲击器的冲击频率、规格大小及所钻岩石的物理机械性质。由于潜孔锤是以冲击碎岩为主,回转是为了改变钻头切削齿的冲击破碎位置,避免重复破碎。因此合理的转速应保证在最优的冲击间隔范围之内。理论钻具转速应通过公式(1)来确定。

$$n = Af/260 \quad (1)$$

式中: $n$ ——钻具转速, r/min;  $A$ ——最优转角, ( $^\circ$ ), 美国水井学会康博尔认为在硬岩中  $A = 11^\circ$ ;  $f$ ——冲击频率, 次/min。

HD45A 型冲击器冲击频率为 30 Hz, 故钻具转速应为 76 r/min。

在实际应用过程中遇软岩适当提高转速, 硬岩适当降低转速, 本项目实际采用转速为 100 r/min。

## 5.2 风量及风压

### 5.2.1 风量

潜孔锤钻进时, 送入的压缩空气有两个作用, 其一是提供冲击器活塞运动的能量, 其二是冷却钻头及携带岩屑。钻孔环状空间内的上返风速必须大于岩屑颗粒的自由悬浮速度<sup>[2]</sup>。

$$Q \geq 60K_1K_2 \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) v \quad (2)$$

式中: $Q$ ——压风机的供风量,  $m^3/min$ ;  $v$ ——上返风速, 一般取 15~25 m/s;  $D$ ——钻孔实际直径, m;  $d$ ——钻杆外径, m;  $K_1$ ——孔深修正系数(由于孔深环状间隙压力损失增大, 导致流量减少), 一般孔深在 100~200 m 时,  $K_1 = 1.05 \sim 1.1$ , 孔深在 500 m 时,  $K_1 = 1.25 \sim 1.3$ ;  $K_2$ ——孔内有涌水时的风量增加系数, 与涌水量有关, 中、小涌水量时,  $K_2 = 1.5$ 。

通过公式(2)计算得干孔时, 需要风量 8~14  $m^3/min$ ; 有地下水时, 需风量 12~21  $m^3/min$ 。

### 5.2.2 风压

潜孔锤的冲击功和冲击频率都和空气压力有关,

空气压力是决定冲击功的重要因素,因此也是影响机械钻速的主要参数。空气压力除满足潜孔锤工作压力外,还要克服管道损失、孔内压力降、潜孔锤压力降、尚需在有水情况下克服水柱压力。其计算方法如公式(3)<sup>[3]</sup>。

$$P = Q_2 + P_m + P_{\text{锤}} + P_{\text{水}} \quad (3)$$

式中: $P$ ——空气压力,MPa; $Q_2$ ——每米干孔压力降,取0.0015 MPa/m; $P_{\text{锤}}$ ——潜孔锤压力降,MPa; $P_m$ ——管道压力损失,取0.1~0.3 MPa; $P_{\text{水}}$ ——钻孔内水柱压力,MPa。

假设钻进21 m孔深,采用高风压冲击器则 $P_{\text{锤}} = 1.0 \sim 2.5$  MPa, $Q_2 = 0.0315$  MPa/m, $P_m$ 取0.2 MPa。计算得出当孔内有水时 $P_{\text{水}} = 0.21$  MPa, $P = 1.4 \sim 2.9$  MPa;当干孔时 $P = 1.2 \sim 2.7$  MPa。

### 5.3 排渣方式及护壁

#### 5.3.1 排渣方式

采用压缩空气吹孔排渣。压缩空气通过钻头底面排气孔直接吹向孔底,冷却钻头,将岩屑沿冲击器与钻孔环状间隙吹出孔口。由于钻孔内存在地下水,随钻孔深度的加深,岩屑的上返速度逐渐降低,排渣效果下降,导致重复破碎,降低钻进效率,还可能造成埋钻事故。因此钻进一段时间后应进行吹孔,增强排渣效果。

#### 5.3.2 护壁

采用偏心跟管钻进下入套管,偏心跟管钻具系统主要由冲击器、偏心跟管钻具、管靴、套管组成。其工作原理为:由空压机提供压缩空气,经钻机、钻杆进入潜孔锤使其活塞往复冲击导正器,导正器将冲击能量和钻压传递给偏心钻头和中心钻头,对孔底岩石进行破碎;钻机动力头带动钻杆回转,钻杆和冲击器联接将回转扭矩传递给冲击器,冲击器通过花键带动导正器回转,导正器上有偏心轴,转动时偏心钻头张开,到达设计位置后被限位,导正器、偏心钻头、中心钻头同时回转实现扩孔。偏心钻头钻出孔径大于套管的最大外径,使套管不受岩石阻力跟进<sup>[4]</sup>。

(1)当套管重力大于地层对套管外壁的摩擦阻力时,套管以自重跟进;

(2)当套管外壁摩擦阻力超过套管重力时,导正器上台阶与管靴台阶接触,导正器将冲击器传来的冲击能量施加给套管靴,加上钻压作用,迫使套管与钻具同步跟进,实现护壁。

导正器上有风孔及风槽,压缩空气经钻杆—导正器中心孔—偏心钻头—中心钻头,冷却钻头并携带岩粉经过中心钻头风槽—导正器风槽—冲击器与套管间隙—钻杆与套管间隙排出孔口。

当钻进结束时,钻具慢速反转2转,偏心钻头依靠惯性和摩擦力收回,整套钻具的外径小于管靴、套管的内径,可将钻具上提,导正器侧面设有风孔,此时风孔露出,对冲击器与套管间隙以及钻杆与套管间隙进行强吹除渣,避免提钻具时卡钻。

## 6 钻进成孔

本次试验气动潜孔锤跟管钻进成孔工艺,钻进开始后新型偏心跟管钻头旋翼张开后外径为152 mm,压缩空气驱动冲击器活塞冲击钻头,从而对岩石进行先导扩孔,同步跟进 $\varnothing 146$  mm套管。潜孔锤产生的巨大冲击能量使岩石破碎充分。钻进钻头每颗球齿下的岩石产生体积破碎,尾气从钻头底面排出,携带岩屑沿着钻具与套管环状间隙上返,一部分细小的岩屑直接吹出孔口,颗粒较大的岩屑则沉积在孔底,最终通过反复吹孔排出孔外。其施工现场见图7。



图7 现场施工情况

## 7 试验数据

本项目对1、2号钻孔进行实钻数据统计,试验数据详见表1。

## 8 结语

(1)KG940A型高风压履带式潜孔钻车,采用压缩

表1 试验数据

孔号	回次	起始深度/m	终止深度/m	进尺/m	用时/min	时效/m	冲击频率/Hz
1	1	0.0	3.0	3.0	1.2	150.0	29.17
	2	3.0	6.0	3.0	2.0	90.0	28.67
	3	6.0	9.0	3.0	5.0	36.0	28.00
	4	9.0	12.0	3.0	4.0	45.0	25.83
	5	12.0	15.0	3.0	3.0	60.0	23.67
	6	15.0	17.0	2.0	5.0	24.0	干吹孔
2	1	0.0	3.0	3.0	4.0	45.0	30.00
	2	3.0	6.0	3.0	3.0	60.0	25.67
	3	6.0	9.0	3.0	5.0	36.0	27.50
	4	9.0	12.0	3.0	4.2	43.0	24.33
	5	12.0	15.0	3.0	2.5	72.0	24.67
	6	15.0	17.2	2.2	5.0	26.4	干吹孔

注:1、2号钻孔,总进尺为34.2 m,用时0.73 h,平均时效为46.85 m。

空气驱动冲击器工作,冲击器冲击钻头孔内破碎岩石,偏心钻头扩孔并同时跟进套管,并且利用压缩空气正循环吹渣排出岩屑。在钻进破碎覆盖层勘探孔施工中平均钻进效率达到了46.85 m/h,是常规XY-1B型钻机、PDC复合片钻头钻进后采用锤击法下入套管方法的93.7倍。

(2)由于采用干孔成孔工艺,避免了冲洗液对孔壁的冲蚀,减少了塌孔事故。

(3)由于空气潜孔锤钻进工艺的“小压力、慢转速”和空气正循环的“孔底加压、悬垂钻进”特点,使钻孔的垂直度提高,钻孔垂直偏差 $\leq 1\%$ 。

(4)由于采用了新型旋翼式偏心跟管钻头,潜孔锤高效碎岩的同时同步跟进套管,降低了劳动强度,减少了钻具损坏的概率。

气动潜孔锤跟管钻进技术为破碎覆盖层钻进提供了一种新的思路,在保证勘探孔质量达到技术要求的同时,大幅度提高了生产效率,减少了钻具损耗,降低了劳动强度,必将有广阔的市场前景。本文是笔者在有限的条件内进行的初步研究,以期在现场施工及后续的深入研究提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 何龙飞,林坚,孙亚军,等. SH25H型液压风动冲击钻机在大口径硬岩钻孔灌注桩施工中的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(8):41-43,46.
- [2] 赵建勤,李子章,石绍云,等. 空气潜孔锤跟管钻进技术与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(7):55-60.
- [3] 博坤. 贯通式潜孔锤反循环钻进技术钻具优化及应用研究[D]. 吉林长春:吉林大学,2009.
- [4] 吴丽,余江洪,陈礼仪,等. 高陡边坡堆积体锚固钻孔配套机具研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8):15-17,21.
- [5] 张祖培,殷琨,蒋荣庆,等. 岩土钻掘工程新技术[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [6] 易振华,何龙飞. 大直径贯通式潜孔锤局部气举反循环钻进工艺的试验研究[J]. 岩土工程技术,2013,27(1):5-8.
- [7] 刘家荣,王建华,王文斌,等. 气动潜孔锤钻进技术若干问题[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):40-44.
- [8] 汪彦枢. 潜孔锤跟管钻进方法的开发及应用[J]. 探矿工程,2003,(S1):201-203.

## 河南省地方标准《浅层地热能钻探技术规范》通过审查鉴定

本刊讯 2014年12月29日,我国首部专门针对浅层地热能钻探的地方标准《浅层地热能钻探技术规范》,通过由河南省质量技术监督局组织的包括中国地质大学(武汉)、中国地质学会探矿工程专业委员会、河南省工业情报标准信息中心、《探矿工程(岩土钻掘工程)》编辑部、河南省地矿局等单位的专家组审查,不日将由河南省质量技术监督局正式发布。

近年来浅层地热能开发利用发展迅速,但没有专门针对浅层地热能钻探的技术规范,而以往参照的其他钻探标准中的某些条款并不完全适用。该标准是结合工程实践及国内

相关钻探技术标准制定而成,旨在提高浅层地热能钻探技术,为浅层地热能钻探工程的设计、施工、验收等提供依据。

该标准由河南省地矿局环境二院、河南省地热能开发利用有限公司、河南省深部探矿工程技术研究中心、中国地质科学院勘探技术研究所等单位负责起草。同日,“科学钻探工程钻井液与护壁堵漏技术研究”和“多工艺钻井技术在地热钻探中应用研究”项目也通过了河南省科技厅组织的鉴定,成果分别达同类研究国内领先、部分国际先进及国内领先水平。

(申云飞 供稿)