

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

易振华¹ 何龙飞¹ 胡志海²

(1. 中船勘察设计研究院有限公司,上海 200063;2. 上海金泰工程机械有限公司,上海 201805)

【摘要】 试验在厂内 50 m 试验井进行,试制 SH25H 液压风动冲击钻机。配置可伸缩式钻杆保证连续进尺,采用大直径贯通式气动潜孔锤组合局部气举反循环钻进工艺。试验表明,钻进效率和钻孔质量显著提高,为多工艺冲击回转钻进技术增砖添瓦。

【关键词】 大直径;局部气举反循环;贯通式潜孔锤;液压风动冲击钻机;可伸缩式钻杆

【中图分类号】 P 634.5

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2013.01.002

Experimental Study of Local Air-lift Inverse Circulation Rotary Drilling Technology With Large Diameter Hollow-through DTH Hammer

Yi Zhenhua¹ He Longfei¹ Hu Zhihai²

(1. China Shipbuilding Industry Institute of The Engineering Investigation & Design Co. Ltd, Shanghai 200063, China; 2. Shanghai Jintai Engineering Machinery Co. Ltd, Shanghai 201805, China)

【Abstract】 Through actual drilling tests in the 50 meters wells, the SH25H hydraulic pneumatic impact drill was trial manufactured with the pneumatic DTH and local inverse circulation rotary drilling technology, and continuous footage was ensured by retractable drill pipe. The multi-techniques drilling technique is developed with high drilling efficiency and high quality of borehole.

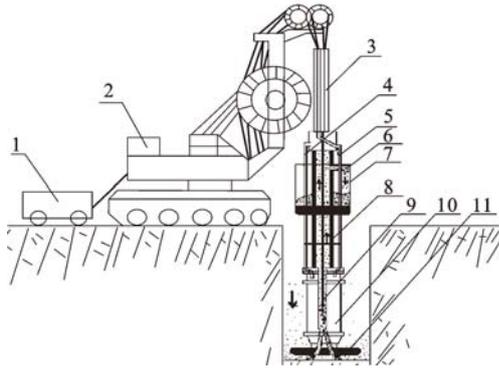
【Key words】 large diameter; local inverse circulation; hollow-through DTH hammer; hydraulic and pneumatic impact drill; retractable drill pipe

0 引言

灌注桩孔嵌岩钻进技术亦即大直径钻孔硬岩钻进技术是国内外钻孔工程界极为关注和竭力研究的难题之一。大直径潜孔锤是解决此难题的行之有效的办法^[1],钻进工艺目前主要为:①空气正循环全套管钻进;②贯通式潜孔锤组合泥浆正循环钻进;③气举反循环钻进。钻进效率低下和难以清除孔底岩粉沉渣是目前国内外研究的难题。SH25H 液压风动冲击钻机是上海金泰工程机械有限公司自主研发的以钻进中硬以上岩层为主的新型桩基础施工设备,多年来在拥有大直径贯通式气动潜孔锤和主机机电液一体化技术前提下,研究多种钻进工艺,经过多年的探索,创新性提出大直径贯通式潜孔锤组合局部气举反循环钻进工艺,并于厂内试验井做了实钻试验,取得了显著的效果。

1 局部气举反循环工艺原理

钻机外接空压机产生的压缩空气经过输气胶管、可伸缩式钻杆、进气管进入冲击器内部,驱动冲击器活塞产生往复运动冲击花键轴,并将冲击能量传递到钻头底部从而破碎岩石。同时,车载空压机产生的压缩空气经输气胶管、可伸缩式钻杆、风管及气液混合器,并在反渣通道内形成无数小气泡,气泡一面沿反渣通道上升,一面膨胀,由于压缩空气不断进入钻井液,在气液混合器上部形成低比重的混合液,而钻杆外环空中的钻井液比重大,因此造成环空内液柱压力高于反渣通道内液柱压力,从而引起反循环流动^[2],上返的岩屑通过排渣口排出落到捞渣筒内沉积,待筒内沉渣满后提出钻具,并通过动力头上移拉起捞渣筒外筒后清除岩屑。(见图 1)



1—外接空压机;2—机载空压机;3—可伸缩式摩擦阻钻杆;
4—进气管;5—回气管;6—排渣口;7—捞渣筒;
8—反渣通道;9—风管及气液混合器;
10—FC15F型贯通式潜孔锤;11— $\phi 800$ 反循环球齿钻头

图1 SH25H 液压风动冲击钻机局部
气举反循环钻具系统

2 设备组成

1) SH25H 液压风动冲击钻机(见图1);

2) 钻杆:可伸缩式摩擦阻钻杆,随钻进深度的变化,钻杆可自动伸缩,无需拆装钻杆;输气胶管从钻杆内部通过(见图2);

3) 冲击器:FC15F型冲击器(见图3),结构尺寸: $\phi 705 \text{ mm} \times 1\,934 \text{ mm}$,冲击次数 400~450 次/min,单次冲击功 5 000~6 000 J,工作压差 0.5~0.6 MPa,耗风量 40~60 m^3/min ,质量 3 600 kg;



图2 可伸缩式钻杆

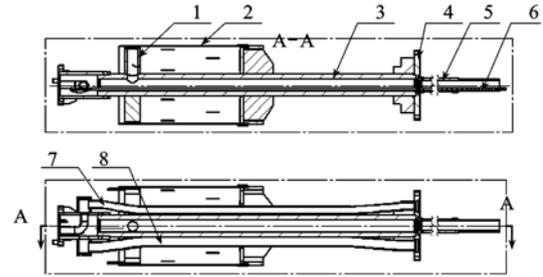


图3 冲击器及钻头

4) 钻头: $\phi 800 \text{ mm}$ 硬质合金球齿反循环分体式钻头,钻头各分体采用热套法过盈联结,球齿数 130 颗,尺寸为 $\phi 22 \text{ mm}$ 和 $\phi 25.5 \text{ mm}$ (见图3);

5) ZBWJ-99 型智能文丘利涡街流量计一台;

6) 局部气举反循环集渣装置(见图4、图5),渣筒2尺寸为 $\phi 788 \text{ mm} \times 1\,215 \text{ mm}$,壁厚 12 mm;排渣口1尺寸为 $\phi 109 \text{ mm}$;返渣通道3内径 $\phi 119 \text{ mm}$,高 4 830 mm,管壁厚 50 mm;下法兰4与冲击器上接头通过螺栓连接;中心管5插入到冲击器中心管中,采用密封圈密封,内径为 $\phi 101 \text{ mm}$;气液混合器6上分布 72 个 $\phi 3 \text{ mm}$ 气孔,总过流面积为 509 mm^2 ;8为 $\phi 90 \text{ mm}$ 回气管;



1—排渣口;2—集渣筒;3—返渣通;4—下法兰;
5—中心管;6—气液混合室;7—进气管;8—回气管

图4 局部气举反循环集渣装置结构图

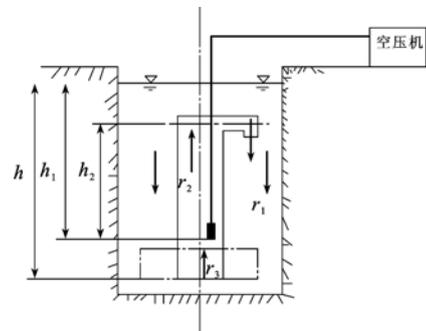


图5 局部气举反循环集渣装置

7) 空气压缩机器:外接 GAIRS OG240 型螺杆空压机,容积流量 25.5 m^3/min ,供气压力 1.25 MPa,驱动功率 264.7 kW,额定转速 2 200 r/min,净重 4 500 kg,外形尺 3 700 mm \times 2 150 mm \times 1 820 mm。提供冲击器工作动力及承压防渗气源;车载佳力士空压机,由主机提供动力,送气流量 20 m^3/min ,供气压力 0.7 MPa,为局部气举反循环集渣装置供气。

3 合理钻进工艺参数的选择

通过研究局部气举反循环中钻井液的流动特点,以流体力学、非牛顿流体力学及球体绕流理论为基础,建立钻井液携屑返速数学模型及井底净化作用模型(见图6),最终确定合理的注气量、注气压力,为实现科学局部反循环钻进提供理论依据。



h —孔内泥浆高度; h_1 —气水混合室距泥浆面埋入深度;

h_2 —出渣口与混合器距离(水下扬程);

r_1 —泥浆密度; r_2 —泥浆及岩屑二相混合液密度;

r_3 —泥浆、岩屑、空气三相混合液密度

图6 局部气举反循环计算模型

3.1 压力平衡式的建立

在汽水混合室处建立压力平衡式:

$$hr_2 = h_2 r_3 + (h - h_1) r_4 + (h_1 - h_2) r_2 \quad (1)$$

$$(r_2 - r_4)(h - h_1) = (r_3 - r_2) h_2$$

3.1.1 泥浆循环量的确定^[3]

$$Q = v \cdot S; v = v_2 + \alpha v_1 \quad (2)$$

$$\text{李丁格尔公式: } v_1 = k_1 \sqrt{\left[\frac{R_1}{r_1} - 1 \right]} d \quad (3)$$

$$v_2 = \frac{S_0 u (R_1 - r_1)}{k_2 S} \quad (4)$$

式中: Q ——泥浆循环流量, m^3/h ;

v ——泥浆上返速度, m/s ;

S ——排渣通道断面面积, m^2 , 取 0.0111 m^2 ;

v_2 ——岩屑颗粒上返速度, m/s ;

v_1 ——钻屑颗粒在泥浆中的临界速度, m/s ;

k_1 ——系数, 计算得 $k_1 = 2.5$;

k_2 ——系数, 取 0.02 ;

R_1 ——岩石密度, g/cm^3 , 取 $2.24 \text{ g}/\text{cm}^3$;

r_1 ——泥浆密度, g/cm^3 , 取 $1.08 \text{ g}/\text{cm}^3$;

d ——岩屑颗粒直径, mm , 取 20 mm ;

S_0 ——钻头底唇面积, m^2 , $\phi 800 \text{ mm}$ 钻头为 0.425 m^2 ;

u ——钻进速度, m/h , 取 $3 \text{ m}/\text{h}$;

α ——系数, 取 1.2 。

经计算可得: $v = 2.59 \text{ m}/\text{s}$; $Q = 1036.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

3.1.2 空压机注气风量的确定^[4]

$$V = qQ \quad (5)$$

式中: q ——气液混合比;

V ——所需风量, m^3/min 。

$0.618 \leq q < 0.861$ 气液初混不能形成湍流(见图7), 属泡状流;

$0.861 \leq q \leq 1.618$ 系统能量交换充足, 形成稳定湍流, 连续工作, 出水量稳定, 属段塞流;

$1.618 < q \leq 2$ 系统易受压力脉动影响, 形成粘连, 属过渡流;

$2 < q$ 气体气泡粘连形成稳定逃逸通道, 系统不能携带液流, 属环状流。

取 $q = 1.6$, 计算得 $V = 27.64 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

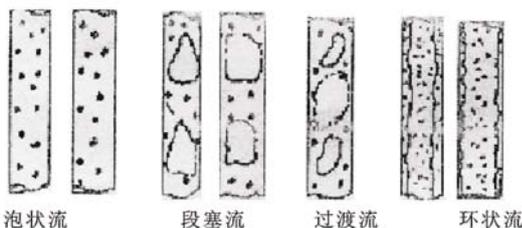


图7 不同气液混合比下流态

3.1.3 空压机注气风压的确定^[5]

$$p = r_s h_s / 10 + \Delta P_0 + \Delta P + 1 \quad (6)$$

式中: p ——空压机所需风压, MP_a ;

ΔP ——管路压力损失, kPa , 取 80 kPa ;

ΔP_0 ——气动阻力的压力损失, kPa , 取 30 kPa ;

h_s ——孔段长, m , 本次试验为 30 m 孔段。

经计算可得所需风压为 0.43 MP_a 。

综上可得所需风量为 $27.64 \text{ m}^3/\text{min}$, 风压为 0.43 MP_a , 配备空压机额定风量为 $25.5 \text{ m}^3/\text{min}$, 额定压力为 12.5 MP_a , 完全可以满足要求。

4 试验效果

本次试验于厂内试验井内进行, 试验井直径为 $\phi 930 \text{ mm}$, 深度 $20 \sim 30 \text{ m}$ 试验钻进孔段用混凝土浇灌, 经测定, 混凝土单轴抗压强度为 50 MP_a , 现场采用一台外接空压机为冲击器提供压缩空气, 车载空压机为气举反循环提供压缩空气。管路中间流量测量空气流量, 流量显示为 $25 \text{ m}^3/\text{min}$, 满足设计要求, 单次进尺控制在 2 m 以内, 提钻清渣通过动力头上移带动铁链拉开捞渣筒, 人工快速清除(见图8), 试验数据见表1。



图8 清渣过程及捞出岩屑

由试验数据可得:

1) 试验总进尺 10 m , 平均时效达 $7.25 \text{ m}/\text{h}$, 平均捞渣效率为 80.9% , 每次提钻清渣辅助平均时间为 5 min 。

2) 排出岩屑颗粒直径约为 $20 \sim 30 \text{ mm}$, 重复破碎较少(见图8)。

3) 随着钻进深度由 $20 \sim 30 \text{ m}$, 捞渣效率由 73.3% 提高到 88.3% , 钻进效率由 $6 \text{ m}/\text{h}$ 提高到 $9 \text{ m}/\text{h}$ 。

5 结论

通过理论计算与试验证明:

1) 本次试验创新性地在大直径贯通式气动潜孔锤的基础上应用局部气举反循环排渣

组合钻进工艺,平均钻进效率为 7.25 m/h,平均捞渣效率达 80.9%,钻进及排渣效率取得了显著的效果。

2)由于采用可伸缩式摩阻钻杆,钻进过程中无需人工拆装钻杆,减少了钻进辅助时间,提高了钻进效率。且动力头可对钻具加压,提高了冲击功的传递效率。

3)通过研究局部气举反循环中钻井液的流动特点,以流体力学、非牛顿流体力学及球体绕流理论为基础,建立数学模型,以 30 m 孔深为深度点,最终得出科学合理的钻进工艺参数,得出泥浆循环量为 1036.5 m³/h,所需空压机注气量为 27.64 m³/min,注气压力为 0.43 MP_a,实践证明计算科学合理。

表 1 试验数据

回次	起始深度 /m	终止深度 /m	进尺 /m	用时 /min	时效 /(m·h ⁻¹)	渣筒内渣量 /m ³	钻进排渣量 /m ³	捞渣效率 /%
1	20	21.5	1.5	15	6	0.55	0.75	73.3
2	21.5	22.5	1	10	6	0.37	0.5	74
3	22.5	24	1.5	12	7.5	0.57	0.75	76
4	24	25.5	1.5	16	5.6	0.59	0.75	79
5	25.5	26.5	1	8	7.5	0.42	0.5	84
6	26.5	27.8	1.3	10	7.8	0.55	0.65	84.6
7	27.8	29	1.2	8	9	0.53	0.6	88.3
8	29	30	1	7	8.6	0.44	0.5	88

4)由于贯通式潜孔锤工作性能不受孔深限制,结合局部气举反循环清渣效果随孔深增加而加强的特点,从根本上消除了孔深对潜孔锤工作性能的影响。

5)由于清渣速度快,减少钻进重复破碎,孔内沉渣厚度减小,提高了桩的单桩承载力,优化桩径,降低工程造价。

6)泥浆排放量减少,减少环境污染,降低施工清运处理成本。

本论文为大直径钻孔硬岩钻进技术提供了一种新的高效高质量的钻孔新方法,论文中创新性地提出贯通式气动潜孔锤结合局部气举反循环排渣组合钻进工艺,为多工艺冲击回转钻进技术增砖添瓦,对提高我国大直径钻孔水平具有重要意义,必将有广阔的市场前景。

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,2010,8(37):41-46.
- [2] 金丽娜. 反循环钻井合理注气参数的研究[D]. 大庆:大庆石油学院,2008.
- [3] 尹晓利,高洪军,殷 亮. 大直径竖井钻井反循环洗井参数计算[J]. 矿山机械,2009,21(31):5-7.
- [4] 夏启春. 通径气举反循环在钻探领域中应用的理论研究[C]. 铁路勘测技术学会会议论文集,2006.
- [5] 倪 俊,原海霞. 气举反循环清渣方法的应用[J]. 探矿工程,2000(6):65-68.

收稿日期:2012-08-23