

风管式气举反循环钻具及其在大口径 钻井施工中的应用

程 林, 满国祥, 朱立强, 王慧岭, 任立坤, 王 珂

(河北省地勘局国土资源勘查中心, 河北 石家庄 050081)

摘 要:目前大口径钻井施工中常用的泥浆正循环钻进存在着泥浆流速慢、携渣能力差、重复破碎严重、钻井效率低、钻头磨损快、能源消耗大、钻井事故发生率高等问题,气举反循环钻进工艺可有效解决上述问题。风管式气举反循环钻井工艺简单易实现,能有效减少重复破碎,钻进效率高,能源消耗少,钻头寿命长,成井质量好,对涌水和漏失均有很好的抑制作用。介绍了风管式气举反循环钻井工艺原理、专用钻具及其现场使用情况。

关键词:风管式气举反循环;大口径钻井;钻具

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2014)03-0044-04

Application of Ventilation Pipe Air-lift Reverse Circulation Drilling Technology in Large Diameter Well Drilling Construction/CHENG Lin, MAN Guo-xiang, ZHU Li-qiang, WANG Hui-ling, REN Li-kun, WANG Ke (The Center of Land and Recourse Exploration, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: The common used positive circulation drilling for present large diameter well drilling construction has the disadvantages of low mud flow velocity, poor particle carrying ability, serious breaking repetition, low drilling efficiency, severe drill bit wearing, high energy consumption and high accident rate, which can be effectively improved by air-lift reverse circulation drilling technology. The ventilation pipe air-lift reverse circulation drilling technology is simple and easy to apply; it can effectively reduce the breaking repetition with high drilling efficiency, less energy consumption, long bit service life, good well quality and strong inhibition of water gushing and leakage. The paper introduces the ventilation pipe air-lift reverse circulation drilling technology about its principle, the special drilling tools and the field application.

Key words: ventilation pipe air-lift reverse circulation; large diameter well drilling; drilling tool

1 概述

目前大口径钻井施工一般应用在煤矿的生产井、通风井、救援井中,一般要求直径在几百毫米到几米之间,深度为200~1000 m之间。对于直径小于1.5 m的钻孔,现多采用泥浆正循环回转钻进工艺。理论上讲,泥浆正循环钻井工艺的高效钻进孔径上限为311 mm,在更大直径的钻孔施工中,由于钻杆与井壁之间的环空过大,泥浆上返速度慢、携渣能力差,造成钻头重复破碎,钻进效率低,停钻时排渣不彻底易造成埋钻事故。一般的解决办法有:采用多台高压大排量泥浆泵并联加快上返泥浆速度,受钻杆内径和钻杆机械性能的限制,泥浆流速提升有限,钻进效率提高不大,且使发生钻杆刺穿事故几率大幅增加;增加泥浆粘度,从而增强泥浆的携渣能力,但大颗粒岩屑还是无法上返,重复破碎现象依旧存在,且高粘度泥浆在静置时极易析出,在停钻时易发生包钻、卡钻事故。

针对上述问题,寻求新工艺新方法才是根本的解决办法,可用的新工艺主要有如下几种。

(1)双壁钻杆气举反循环钻进工艺。采用双壁钻杆实现气举反循环钻进,双壁钻杆具有加杆方便,操作简单的优点,但加工制作要求精度高,加工过程复杂、成本高,内管密封易失效,在调节沉没比时很繁琐,需要将上部的双壁钻杆全部从孔内取出,向孔内加入一定数量的单壁钻杆后,再加入需要的双壁钻杆,而且钻进过程中需要经常地调节。常规双壁钻杆上返截面小,只能用于水井及地热井的钻井施工,而设计大直径的双壁钻杆则会对钻机转盘通径、补心尺寸及拧卸工具提出诸多要求,不能在大多数钻机上通用,不好推广。

(2)气动潜孔锤钻进工艺。气动潜孔锤钻井工艺的钻进效率很高,现在在中、小孔径的钻井中应用普遍,但在大孔径钻井中需要用大直径的集束潜孔锤,且需多台空压机并联才能满足风量要求,前期投

收稿日期:2013-04-01; 修回日期:2014-02-26

作者简介:程林(1982-),男(汉族),河北石家庄人,河北省地勘局国土资源勘查中心工程师,机械设计专业,从事地质机械研发工作,河北省石家庄市中山西路788号,136905231@qq.com。

入较大,对购买能力要求较高。

(3) 风管式气举反循环钻进工艺。风管式气举反循环钻进外管为常规钻杆,可不重新采购,调节沉没比方便,只需要调节插入到钻杆内的风管的长度即可,同样规格外管较双壁钻杆上返截面更大,排渣效果更好,风管密封更可靠,但须配置专用气水龙头。

经比较,风管式气举反循环钻进工艺较前 2 种工艺更适用于大口径钻井施工,可实现大截面反循环钻进。

2 风管式气举反循环钻进工艺

如图 1 所示,风管式气举反循环钻进即以高压空气通过气水龙头或气盒子,经风管从钻杆内部导入井下,从风管末端的气水混合器喷入钻杆内,形成无数小气泡,小气泡在钻杆内一面迅速上升,一面同时膨胀,从而产生气举作用。由于压缩空气不断的进入钻井液,在气水混合器上部形成低密度气水混合液,而井中的钻井液密度大,根据连通器原理,钻杆内的气水混合液在压差作用下向上流动,把井底的钻渣连续不断的带出地上,排入沉淀池。沉淀后的钻井液再流回孔中,经孔底进入钻杆内补充循环液的空间,如此不断的循环形成连续钻进的过程。由于气举反循环钻进是由钻杆内孔上返钻井液,截面小,上返速度快,携带钻渣能力强,从而解决了大口径钻井液上返速度慢,钻渣不能及时带出孔底而形成重复破碎的现象。

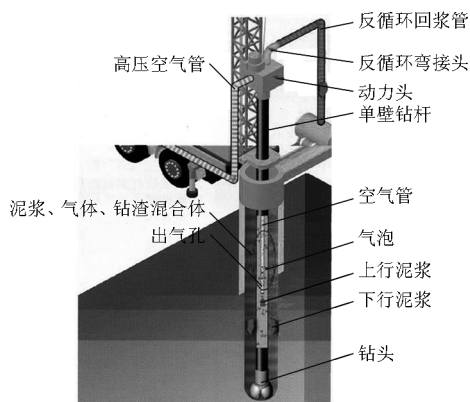


图 1 风管式气举反循环钻进原理

在泥浆钻进中,为对钻渣形成有效地携带,需要的较为理想的有效泥浆上返速度约为 $1 \sim 2 \text{ m/s}$ 。以 $\varnothing 850 \text{ mm}$ 直径的钻孔, $\varnothing 178 \text{ mm}$ 外径、 $\varnothing 130 \text{ mm}$ 内径的钻杆为例,如采用泥浆正循环钻进,则需要最小泥浆流量计算如下。

钻孔与孔壁形成的环空面积为:

$$A = \pi(0.85^2 - 0.178^2)/4 = 0.542 \text{ m}^2$$

所需的泥浆最小流量为:

$$\begin{aligned} Q_1 &= v_1 A \\ &= 1 \text{ m/s} \times 0.542 \text{ m}^2 \\ &= 0.542 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 32.52 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

式中: v_1 ——最低有效泥浆上返速度,取 1 m/s 。

常规大排量泥浆泵的排量约为 $1.5 \text{ m}^3/\text{min}$,能满足上面公式计算结果的大排量泥浆泵是不可想象的,使用起来更是不现实的。

如果采用内通径为 130 mm 的钻杆进行泥浆反循环钻进,从钻渣有效上返的角度来讲则需要的最小净泥浆流量计算如下。

(1) 钻杆内截面的面积

$$A = 0.13^2 \pi / 4 = 0.013 \text{ m}^2$$

(2) 所需要的净泥浆最小流量

$$\begin{aligned} Q_1 &= v_1 A \\ &= 1 \text{ m/s} \times 0.013 \text{ m}^2 \\ &= 0.013 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0.78 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

比较理想的净泥浆流量为:

$$\begin{aligned} Q_2 &= v_2 A \\ &= 2 \text{ m/s} \times 0.013 \text{ m}^2 \\ &= 0.026 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 1.56 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

式中: v_2 ——理想泥浆上返速度,取 2 m/s 。

这样的泥浆流量通过气举反循环钻进工艺很容易实现。

而此时如果采用泥浆正循环钻进,受泥浆泵泵量的限制,只有将岩石磨成粉状后才能有效上返,这会使得钻头和待破碎岩石之间始终夹杂着岩块或是岩粉,牙轮钻头不能时时的对孔底的待破碎岩石进行有效地破碎,从而也就极大地影响了钻进效率。

相对于正循环泥浆钻进,反循环泥浆钻进有效地减少了重复破碎,可以几倍、甚至十几倍的提高钻进效率,延长钻头使用寿命;对钻井液性能要求低,且井内钻井液为自流补充,对涌水和漏失均有较好的抑制作用,提高了复杂地层钻井的安全性;由高压大排量泥浆泵推动钻井液循环改为小排量空压机的气举作用带动泥浆循环在动力消耗方面要减少很多。

3 风管式气举反循环钻进专用钻具介绍

为适应 $\varnothing 600 \sim 1500 \text{ mm}$ 大口径钻井的需要,我

中心研发了一套大孔径钻进施工专用大通径、高强度的风管式气举反循环钻具。这套钻具设计内通径 130 mm, 风管内径 25.4 mm, 主要包括 150 t 气水龙头、170 mm × 170 mm 方钻杆、Ø178 mm 钻杆、Ø241 mm 钻铤、扩孔牙轮钻头、风管、气水混合器等。

3.1 150 t 气水龙头

按钻孔直径 600 ~ 1500 mm、钻孔深度 1000 m, 设计水龙头参数如下: 最大承重 150 t, 进气口直径 25.4 mm, 排渣口直径 130 mm、带 5 in 由任与排渣管连接, 设风管悬挂机构, 整套风管自此引出, 如图 2 所示。

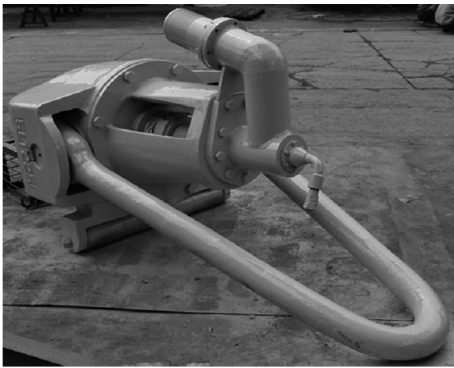


图 2 150 t 气水龙头

3.2 170 mm × 170 mm 方钻杆

为满足大通径和大扭矩要求, 方钻杆驱动部分为 170 mm × 170 mm, 内孔直径 130 mm, 接头外径 241 mm, 长度 12.15 m。

3.3 Ø178 mm 钻杆

钻杆接头外径 241 mm, 内孔直径 130 mm, 杆体直径 178 mm, 壁厚 10 mm, 长度 9.5 m。

3.3.1 钻杆的强度校核

3.3.1.1 接头的扭转屈服强度

$$T_Y = \frac{Y_m A}{10^6} \left(\frac{P}{2\pi} + \frac{R_i f}{\cos\theta} + R_s f \right)$$

$$R_i = C + \frac{C - (L_{pc} - 15.875)t_{pr} \times 10^{-3}}{4}$$

$$R_s = (OD + Q_c)/4$$

$$A_b = (\pi/4) [OD^2 - (Q_c - E)^2]$$

$$A_p = (\pi/4) [(C - B)^2 - ID^2]$$

$$B = 2(H/2 - S_{rs}) + t_{pr} \times 3.175 \times 10^{-3}$$

式中: T_Y ——达到屈服的扭矩或转矩, $N \cdot m$; Y_m ——材料的最小屈服强度, kPa ; A ——横截面积, 取 A_b 或 A_p 中较小者, mm^2 ; P ——螺距, mm ; f ——螺纹和台肩配合面的摩擦系数, 一般取 0.08; θ ——螺纹断面角的 1/2; R_s ——内螺纹截面参数, mm ; R_i ——外螺

纹截面参数, mm ; C ——基点处螺纹中径, mm ; L_{pc} ——外螺纹连接长度, mm ; t_{pr} ——螺纹锥度, mm/mm ; OD ——外径, mm ; Q_c ——内螺纹连接锥口直径, mm ; E —— $E = t_{pr} \times 9.525 \times 10^{-3}$, mm ; B ——螺纹牙型参数, mm ; H ——理论牙高, mm ; S_{rs} ——截底高, mm 。

代入数值计算得: $T_Y = 245 kN \cdot m$ 。

3.3.1.2 接头的抗拉屈服强度

$$P_1 = Y_m A / 10^3$$

式中: P_1 ——达到屈服的最小拉伸载荷, N ; Y_m ——材料的最小屈服强度, kPa ; A ——横截面积, 取值同上式, mm^2 。

代入数值计算得: $P_1 = 10340 kN$ 。

3.3.1.3 杆体的扭转屈服强度

$$Q = 1.154 J Y_m / (D \times 10^6)$$

式中: Q ——达到屈服的扭矩或转矩, $N \cdot m$; J ——极惯性矩, 对于管类, $J = (\pi/32) (D^4 - d^4)$; D ——外径, mm ; d ——内径, mm ; Y_m ——材料的最小屈服强度, kPa 。

代入数值计算得: $Q = 136 kN \cdot m$ 。

3.3.1.4 杆体的抗拉屈服强度

$$P_2 = Y_m A / 10^3$$

式中: P_2 ——达到屈服的最小拉伸载荷, N ; Y_m ——材料的最小屈服强度, kPa ; A ——杆体横截面积, mm^2 。

代入数值计算得: $P_2 = 6500 kN$ 。

经计算接头的强度高于杆体, 则钻杆的抗扭屈服和抗拉屈服以杆体的参数计算, 即 Ø178 mm 钻杆的扭转屈服为 136 $kN \cdot m$, 抗拉屈服为 6500 kN 。

3.3.2 钻柱设计

以采用石油 ZJ30 钻机, 钻进孔径 1.5 m, 深度 1000 m 的钻孔为例, 进行钻柱设计。

3.3.2.1 拉伸载荷

$$P = (L_{dp} W_{dp} + L_c W_c) K_b K_a$$

式中: P ——钻杆的浮重, N ; L_{dp} ——钻杆长度, m ; W_{dp} ——钻杆组合在空气中每米重力, N/m ; L_c ——钻铤长度, m ; W_c ——钻铤组合在空气中每米重力, N/m ; K_b ——浮力系数; K_a ——安全系数。

代入数值计算得: $P = 1600 kN$ 。

3.3.2.2 抗扭强度

$$T = \frac{9.6778 HP}{RPM} \cdot K_a$$

式中: T ——钻杆所承受的的扭矩, $N \cdot m$; HP ——用于使钻杆旋转的功率, W ; RPM ——转速, r/min ;

K_a ——安全系数。

代入数值计算得: $T=40\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

经计算,我们所设计的 $\varnothing 178\text{ mm}$ 钻杆完全满足孔径 1.5 m 、深度 1000 m 的钻孔施工所需的钻杆强度,且具有较高的安全系数,符合钻柱设计的经验做法。

3.4 $\varnothing 241\text{ mm}$ 钻铤

钻铤外径 241 mm ,内径 130 mm ,长度 9.14 m ,单根质量 2540 kg 。

3.5 扩孔牙轮钻头

扩孔牙轮钻头由导向钻头、扩孔钻头、扶正环、吸渣口等几部分组成(见图 3),根据终孔直径、地层状况确定钻头的规格、牙掌的类型、设计几级扩孔钻头。



图 3 扩孔牙轮钻头

3.6 风管

风管外径 35 mm ,内径 25.4 mm ,长度 9 m 。风管是向井下钻杆内通入高压空气的通道,钻井中使用风管的长度由钻井深度和钻孔直径决定。

3.7 气水混合器

气水混合器连于风管末端,是高压空气由风管进入钻杆内孔,与钻杆内孔中的钻井液充分混合形成气水混合液,产生气举作用的专用设备。

4 配套设备

4.1 钻机

与此套钻具配套的钻机可选 TSJ 系列工程钻机, ZJ 系列石油钻机,或多工艺车载钻机。钻机回转扭矩和提升能力应能满足钻孔需要。在深孔时为减少辅助时间,应优先选择带排管架、能提升长立根的大型深井钻机。钻机的选择正确与否,不仅影响钻进效率的高低、质量的好坏、成本的多少,而且也影响到钻进工作的正常进行。

4.2 空压机

为了获得足够的上返速度,当地下水位较深、沉没比较小,钻孔口径和双壁钻杆内径较大时,应选用

大风量的空压机,以提高钻进效率。要想得到足够的上返速度和较高的钻进效率,一般来讲,空压机以大些为好。通常在扣除管路沿程损失的情况下,可按照每 0.1 MPa 压力气举 9.8 m 来计算混合器的下入深度。从以上情况可见,空压机的排量和它的工作压力是决定气举反循环钻进效率的主要参数。空压机的理想选择也是气举反循环钻进技术的关键。除了参数应合理选择外,还应该考虑到它本身的结构特点。一般来说为便于搬迁应优先选用移动式空压机,为减少维护工作量最好选用风冷式空压机。此套钻具易选用排量 10 m^3 、压力 6 MPa 的移动式空压机。

5 现场应用实例

陕西省煤田地质局 194 队在延安市黄陵二号煤矿进行 $\varnothing 1130\text{ mm}$ 口径瓦斯抽排放管道井施工时,在 $\varnothing 850\text{ mm}$ 扩 $\varnothing 1130\text{ mm}$ 时采用了我中心的风管式气举反循环钻具进行施工。

现场设备: ZJ30 型石油钻机,排量 10 m^3 、压力 15 MPa 的集装箱式空压机,钻孔深度 593 m ,下入 300 m 风管,进行气举反循环钻进。钻具内上返的钻井液速度较泥浆正循环钻进时孔内上返流速明显提高,上返钻渣颗粒增大,重复破碎减少,钻进效率提高,钻头寿命延长,泥浆泵停用后能源消耗显著降低,在对比中充分体现了风管式气举反循环钻进工艺的优越性。

6 结语

目前国家对煤矿安全生产越来越重视,送料孔、通风孔、瓦斯排放孔、抢险孔等深孔、大直径钻孔工程越来越多,这些工程若使用正循环钻进,由于孔径大、孔壁间隙大,加之钻孔深度大,返渣问题几乎难以解决,采用气举反循环是最为有效的方法。而风管式气举反循环钻具又具有投入少、工艺简单、易操作、能有效降低工人劳动强度等优点。实践证明,气举反循环钻进技术在此领域有着广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 周全兴. 钻采工具手册[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 胡晨光. 钻探工程技术[M]. 安徽合肥: 安徽文化音像出版社, 2004.
- [3] 孙松尧. 钻井机械[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- [4] 赵金洲, 张桂林. 钻井工程技术手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 2004.
- [5] 孙明光. 钻井、完井工程[M]. 北京: 中国石化出版社, 2002.