

气举反循环钻进用钻头

许刘万¹, 史兵言¹, 陈 怡²

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000 ; 2. 贵州省地质工程勘察院, 贵州 贵阳 550004)

摘 要 根据多年来气举反循环钻进工艺在各个领域的推广应用情况, 介绍了该工艺技术所用钻头的结构性能及适用范围。

关键词 气举反循环钻进; 刮刀钻头; 牙轮钻头; 连续取心硬质合金钻头

中图分类号 P634.4⁺1 **文献标识码** B **文章编号** 1672-7428(2005)S1-0237-04

气举反循环钻进技术, 具有钻进效率高、钻头寿命长、水井钻探时成井质量好等特点, 在复杂地层中钻进安全可靠, 并能实现连续取样(心)钻进, 节省辅助时间和降低劳动强度等, 现已成为水井、地热井、煤矿通风孔、瓦斯排放井以及大口径工程施工孔的主要技术方法。但是选用何种钻头来适应不同地区的各种地层要求, 从而多快好省地完成施工任务, 这是长期以来困扰施工单位的难题。俗话说“工欲善其事, 必先利其器”, 这是十分有道理的。在气举反循环钻进工作中, 根据不同的地层和岩石情况, 做到合理选用不同的钻头, 这是取得最优经济效益的基本原则。作为反循环钻进, 它不仅是指在钻进过程中冲洗介质的循环形式和正循环钻探方法的循环形式相反, 而且包括钻头形式与传统钻头有明显区别。所不同的是钻头中心应当有较大的通孔, 通孔设计时必须考虑有利于岩屑上返, 所以要求钻头必须坚固耐用、成本低、易修复、效率高, 能充分发挥出整个工艺的优越性。

但是, 钻头破碎岩石效率的高低, 主要是通过机械钻速和钻头总进尺这两个指标来衡量。机械钻速是指单位时间内的进尺, 而钻头总进尺则是表明钻头在井底全部工作时间内所取得的进尺。它们之间的关系可用下式表示:

$$V_1 = H/t$$

式中: V_1 —— 钻头的平均机械钻速, m/h; H —— 钻头的总进尺, m; t —— 钻头的工作时间, h。

因此, 只有提高钻头的机械钻速, 才能提高钻进速度, 缩短钻进时间。同时提高钻头的进尺, 就可减少起下钻次数, 缩短成井时间, 加快钻井速度。

随着钻井技术的发展, 钻头的类型和结构在不

断地发展和改进。结合我国目前气举反循环钻进使用钻头的情况, 本文主要对刮刀钻头、牙轮钻头、连续取心硬质合金钻头进行分析。

钻头是破碎岩石的主要工具, 而岩石是钻头工作的主要对象。为了提高钻头破碎岩石的效率, 必须了解各种岩石在钻进时所表现的破碎特点。

根据岩石的破碎特点, 与钻井密切相关的岩石机械性质主要是岩石的硬度、塑性、研磨性等。

(1) 硬度。岩石的硬度就是岩石发生破碎的瞬间, 作用在单位面积上的力。或者说是岩石抵抗其它刚体压入的阻力。在这里要注意的是, 岩石的硬度和岩石的抗压强度是两个不同的概念。强度是指材料抵抗外力破坏的能力。实际上硬度是表示岩石在各向应力状态下抗压入强度的大小。而抗压强度是单向应力状态下的强度。而单向应力状态下的强度值不能代表钻井对岩石的机械性质。

根据岩石强度不同, 一般将岩石分为 13 组 12 级(见表 1)。

表 1 岩石硬度分级表

组别	级别	硬度/ $\times 10^{-1}$ MPa
软岩石	1	≤ 10
	2	10 ~ 25
	3	25 ~ 50
	4	50 ~ 100
中硬岩石	5	100 ~ 150
	6	150 ~ 200
	7	200 ~ 300
	8	300 ~ 400
硬岩石	9	400 ~ 500
	10	500 ~ 600
	11	600 ~ 700
	12	> 700

收稿日期 2005-06-30

作者简介: 许刘万(1954-)男(汉族)陕西白水人, 中国地质科学院勘探技术研究所教授级高级工程师, 全国水井钻机情报网顾问, 探矿工程专业, 从事水文水井、工程钻探设备、钻具及工艺方法的研究与开发工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, 13903168519。

(2)塑性。所谓塑性是指材料在破碎前呈现永久变形的性能,也就是说当除去外力,物体不能恢复原来状态的特性。岩石在牙齿作用下,先发生变形,压力超过一定限度后即产生破碎。但是各种岩石由于性质不同,它们在压力情况下,由变形到破碎的过程中会有不同的特点。大致分为3类。

第一类岩石发生破碎前,只有弹性变形没有塑性变形,压力加到一定值以后即发生脆性破碎。这类岩石为弹脆性岩石。如花岗岩、石灰岩等。

第二类岩石,其变形和破碎的特点是先发生弹性变形,再产生塑性变形,最后发生脆性破碎。这类岩石叫弹塑性岩石。如灰岩、砂岩等。

第三类岩石是受压后发生很大的塑性变形而不产生脆性破碎。这种岩石称塑性岩石。如粘土、软泥岩等。

(3)研磨性。指钻头工作时,钻头的工作刃将逐渐被岩石磨损,岩石磨损钻头的的能力叫研磨性(也就是说岩石磨损破碎工具的能力)。岩石的研磨性大小,主要受岩石颗粒成分、形状、大小及胶结物的性质等因素影响。一般情况下,硬度大塑性小的矿物组成的岩石其硬度及研磨性也大,塑性也小。如石英的硬度比方解石大,塑性比方解石小。因此,石英岩与石灰岩、白云岩相比,前者的硬度和研磨性要大些,塑性要小些。另外所含矿物的颗粒越小,岩石的硬度越高,同时由于矿物颗粒小,岩石表面粗糙度也小,其研磨性也较小。研磨性是一种相对的概念,目前还无统一的测量表示方法。

各类钻头的结构性能及适应范围如下。

1 刮刀钻头

在反循环钻进中刮刀钻头是广泛应用于第四系大口径钻井的廉价钻头,除卵石、漂石和硬基岩地层外,大多能用此类钻头钻进。其原理是在钻压的作用下,刀刃旋转切削破碎岩石。所以,刮刀钻头是在钻压和扭矩的联合作用下,边吃入、边切削。这种钻头结构包括二翼、三翼、四翼、多翼、多阶梯、刮刀牙轮复合式等型式,种类繁多。此外,国内外还发展了整体型(铸或锻)、组装型、翼片可换、可调型等各种结构的钻头。

试验表明,翼片小的钻头效率较高,成本低,质量轻。但是回转阻力大,导向性能差。而多翼钻头旋转阻力小,稳定性能好。不足之处是效率较低,成本高,质量大,易糊钻。所以比较而言,四翼刮刀钻头较适用。

另外,反循环钻进无论用什么形式的刮刀钻头,必须留有足够大的进水间隙。因为反循环是在压力低,排量大的条件下进行的。对此,它的进水口和进水间隙一定要比压力高、排量小的正循环大得多才行。至于水口到钻头刃部的距离到底多大才合适?应视地层软硬而定,岩层越软,距离应该越大。初步经验,钻进粘性土层的钻头,其水口距刃部的距离应在200 mm左右为宜。如果水口太低易堵,太远易形成循环水流的死角,岩屑不易被带走。这样对于刮刀钻头设计特别讲究水路与孔底清洗效果,一是防止泥包,二是减少重复破碎。同时刮刀钻头只有在良好的稳定性前提下才有正常工作效率,才能磨损均匀,延长钻头寿命。例如,一些野外队正循环钻进用鱼尾钻头和四翼钻头进行比较,结果鱼尾钻头孔斜很大,所以设计中注意以下参数的选择:

1.1 钻头角度选择

钻头角度的选择关系到钻进效果及钻头寿命。因此国内外都对此进行了许多研究。旋转钻头的角度包括中心钻头的中心角、每个刀齿的刀尖角。

中心角:对于翼形钻头,中心角越大,破土阻力也增大;反之,破土阻力就越小。但是中心角过大,刀尖的强度就变弱了,而且会很快磨钝,所以根据使用及试验的经验,一般取为 $110^{\circ} \sim 130^{\circ}$ 为宜。

刀尖角:就是镶嵌在翼缘上每把刀的楔角及刀尖角与后角组成的切削角 α ,切削角 α 对切削阻力影响也很大。当 $\alpha > 60^{\circ}$ 时,土层与切削刃面之间的摩擦力足以阻止土层向上升起。

要想根据地层情况选择一个合适的切削角是不太容易的,但可确定一个大体的范围。通常钻1~3级地层时,刀齿切削角 $\alpha = 20^{\circ} \sim 35^{\circ}$ (较大值适用于硬土层,小值适用于一般软土层),常用切削角 α 为 30° ,后角 γ 不应小于 5° ,刃角 β 宜取 25° 。钻4~5级土层时, $\alpha = 30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 较合适。

为了有利于岩屑排除,要求刮刀片应沿钻头旋转方向后倾 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。

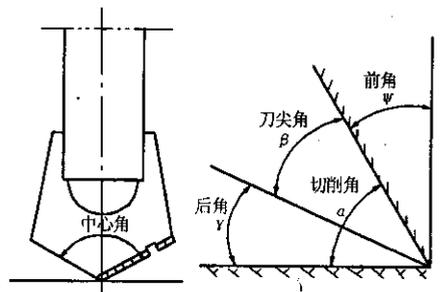


图1 刮刀类钻头有关角度选择

1.2 刀齿的布置

刀齿在钻头上是沿圆周分为几圈交错排列的,齿面宽正好布满半径,重叠系数一般取 1.5~1,最外圈加密,以保持井壁光滑圆整和钻头质量负荷平衡。

1.3 刀具材料的选择

刀具材料应具有很好的强度和韧性,要耐磨,才能提高刀具的使用寿命。据国内外钻进经验,刀具一般采用 16Mn 或 45 号钢作基体,钎焊 YG8、YG15 硬质合金或堆焊碳化钨(厚度 25 mm 较好),或用钎头代替。

1.4 钻进技术参数选择

由于刮刀钻头没有滚动部件,适用较高的转速。对于土层和砂夹硬岩层一般越松散,转速越快,钻进速度也越快,越硬结,转速要适当放慢,钻进速度也要减慢。以刀具线速度为 2.5~3.5 m/s 为佳。轴心压力要考虑到钻具的寿命和井斜的影响,做到平稳钻进,钻压必须适当。同时又要考虑刮刀钻头钻速快,单位时间内破碎岩屑量大,加之反循环钻进的特点,操作规程还要因地制宜。为提高效率,一般只在开孔时采用加压钻进,当钻到一定深度后,钻具、配重的重力超过所需压力,还需采用减压钻进。

2 牙轮钻头

近年来,随着牙轮钻头制造技术的进步,牙轮钻头获得了越来越广泛的应用,从软土层到硬基岩均可采用。由于它具有独特的破岩机理,已在钻油气井方面得到了广泛的应用。目前水文水井钻探采用牙轮钻头也已作为一项重要技术措施逐步推广采用,尤其牙轮钻头气举反循环钻进与同类型地层的其它钻进方法相比效果更佳。

2.1 牙轮钻头的种类

使用的牙轮种类按其结构性能分为偏心单牙轮钻头、三牙轮钻头、拼焊牙轮钻头和阶梯式组合钻头等多种型式。

2.1.1 偏心单牙轮钻头

据介绍,这种钻头用于钻水井和其它大直径钻孔时,由于它的吸入口是侧向圆周的,可随着钻头的旋转不断改变方向,有利于吸渣。而且钻进扭矩小,加压能力要求低,一般普通钻机就可采用。此种钻头国外用得较多,但在国内很少使用。

2.1.2 三牙轮钻头

一般常用的三牙轮钻头稍加修改就可以用于反循环钻进(万寿数据)。其修改方法是从三牙轮钻头中

间钻孔,在不影响牙轮转动的情况下,用铁板封闭牙轮周围的缺口处。要求冲洗液尽可能从底部进入,以利于提高钻进效率和钻头寿命。这种普通型三牙轮钻头视地层软硬分为铣齿和镶齿式,还分为有体式和无体式。所谓无体式就是三个牙掌拼焊一起,有体式是钻头体和轮掌分别制造。三牙轮钻头主要用于基岩地层。使用时应注意选型。



图2 改造后的反循环三牙轮钻头

2.1.3 组装牙轮钻头

它是根据孔径的要求,选择合适的单牙轮掌组装在一个钻头体上,适用于粘性土、砂类土、硬粘土、砾石层钻进。见图3。

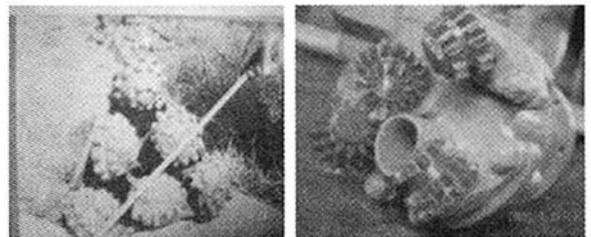


图3 反循环组装牙轮钻头

2.1.4 阶梯式组合钻头

此种钻头主要用于基岩地层钻进。底部可用双牙轮或三牙轮作导向。在本体上安设多个不同直径的牙轮掌、滚刀形成多阶梯反循环扩孔钻头,上部用法兰盘连接,视地层软硬可以方便地更换不同型式的滚刀,而且扩孔选择范围大。见图4。



图4 阶梯式组合钻头

2.1.5 取心牙轮钻头

在水文水井钻探施工中,除完成成井外,有时还需要取得完整的水文地质资料。实践证明,反循环钻进能够做到连续取心、取样,真实地反映地层情况。用于在反循环钻进各类钻头还未有专门的生产厂家,反循环取心牙轮钻头只能用一般普通取心牙轮钻头改造,也就是根据气水龙头排渣弯管曲率半径,在钻头体的内腔适当高度焊一个楔形挡块,当岩心上升碰到挡块,对岩心柱作用一个径向力,就将岩心挤断,这样在气举反循环作用下很快排出地表。见图5。



图5 取心牙轮钻头

牙轮钻头在一个较大的钻压和转矩作用下,在岩石上作滚动、滑动及上下震动等复合动作,实现对岩石的冲击、压碎和剪切作用。

2.2 牙轮钻头的选用和有关技术参数的确定

对于牙轮钻头的选择,一般软岩地层选用长齿牙轮,硬岩地层则选用短齿牙轮,坚硬的岩石层采用球齿牙轮,软硬交错地层的选型则应选择镶齿钻头中加高楔形齿或加高锥球齿。

从牙轮钻头所要求的技术规范来看,钻进速度的快慢取决于钻头转速和轴向钻压两个因素,其中轴向钻压所起的影响最大。从气举反循环钻进排出的岩屑可知,钻压愈大,排出的岩屑颗粒愈大,而且钻头使用得越有效,目前我国水文水井钻机负荷能力有限,一般多在200 kN左右,所以钻压不能过大,单位钻压一般均在5~13 kN/in范围。这与钻头厂家推荐的数值相比偏小很多。为此,应尽可能采用钻压的上限值,另一方面应尽可能使钻孔的结构合理。另外钻进过程中,转速不宜过高,因为太高的转速会使载荷作用于岩石的时间短,达不到体积破碎的效果,而只停留在表面或疲劳破碎阶段,并使牙轮的牙齿很快磨损,滚动轴承受破坏。再则转速提高后,钻机负荷加大,震动大,不利于安全生产。故一般情况转盘钻机宜采用40~80 r/min转速。

2.3 延长牙轮头寿命的措施

(1)在钻进的最初阶段,为使牙轮轴承预先运

转,最好是逐渐加压。

(2)为了平稳地进行操作,尽可能放慢转速。

(3)只有提供足够的给进压力,才能保证有效地传送冲击能量。

(4)适当地控制钻头尺寸,不要把一个新钻头放在一个不够尺寸的井眼中钻进。

(5)在正常工作情况下,不应有跳动和冲击现象发生。如果钻进时发生跳动和冲击,可能是因为钻头有毛病,轴承间隙太大,牙轮咬住等等。如跳动不止,则应提出钻头查明原因。

3 反循环连续取心硬质合金钻头

试验证明,硬质合金取心钻头钻进效果不亚于牙轮取心钻头,而且加工制造方便、成本低、便于推广应用,并能够满足反循环连续取心钻进的要求。它由钻头体和镶嵌在上边的硬质合金组成,钻头底平面呈螺旋状,并钻有冲洗液循环孔。在钻进过程中镶嵌在钻头体上的硬质合金切削具受轴心压力作用,使岩石被压碎产生剪切。

其钻进参数为:钻进软岩石时,转速适当提高,压力适当减小,钻进硬岩时,降低转速,增大压力,破碎裂隙岩石时,压力、转速都应降低。一般情况下,转速选40~100 r/min,压力根据钻头上的硬质合金数目可采用每个硬质合金为400~600 kN范围。但是在钻进中必须依据地层岩性,合理选择钻进参数。钻进之前钻具距孔底250 mm左右,用低转速、小钻压,以后逐渐加大转速和压力,否则容易造成硬质合金崩刃。该钻头曾在安徽第二水文队试验,取得了与牙轮取心钻头同样的效果。见图6。

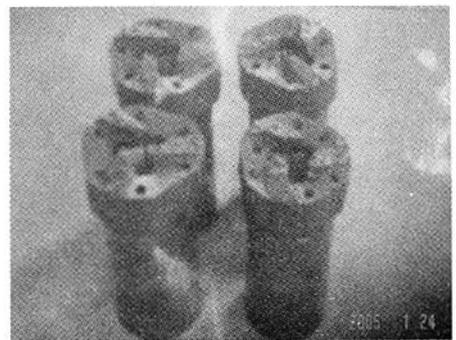


图6 硬质合金连续取心钻头

4 结语

综上所述,在气举反循环钻探中,根据不同的地层,选好合适的钻头类型,才能发挥钻头作用,提高钻头的工作指标。