

深孔岩心钻探问题探讨

张培丰

(北京探矿工程研究所,北京 100083)

摘要:深孔岩心钻探的核心问题是孔壁稳定,其钻前预测涉及地层孔隙压力、地层应力、地层坍塌压力和破裂压力,是实现深孔岩心钻探优质、安全、高效和低成本的关键,决定着孔身结构、套管程序与套管强度、钻井液密度与流变性能的设计。以孔壁稳定为基础,从孔身结构和套管程序、钻具组合、钻探设备方面论述深孔岩心钻探存在的问题,并提出具体的改进建议。

关键词:深孔岩心钻探;孔壁稳定;钻具组合;钻探设备

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)08-0006-06

Analysis on Deep-hole Geological Core Drilling/ZHANG Pei-feng (Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: The hole-wall stability is one of the focuses of deep-hole geological core drilling. The accurate prediction of formation pore pressure, in-situ stress state, formation collapses pressure and fracture pressure before drilling are vital to conduct quality, safe, efficient and low-cost drilling. These are the design basis of the hole-wall structure, casing program and strength, density and rheological properties of drilling fluids. Based on the hole-wall stability, discussion is made on the existing problems of hole-wall structure, casing program, drilling tool assembly, drilling equipment in deep-hole geological core drilling and suggestions are put forward for the improvement.

Key words: deep-hole geological core drilling; hole-wall stability; drilling tool assembly; drilling equipment

深孔岩心钻探与传统岩心钻探的区别不仅仅体现在孔深的增加,更体现在钻孔难度和单位钻进成本的增加,这就决定着钻探工程技术人员必须转变传统的钻探观念,确立以钻孔安全为核心的岩心钻探观,孔身结构的设计和钻进工艺的选择必须以孔壁稳定为前提。对于岩心钻探来说,孔壁稳定是一个全新的课题,其钻前预测涉及地层孔隙压力、地层应力、地层坍塌压力和破裂压力,是地质构造、岩石物性、地球物理、地球化学、孔内测井和钻探工艺等众多学科的综合研究,是实现深孔岩心钻探优质、安全、高效和低成本的关键,决定着孔身结构、套管程序与套管强度、钻井液密度与流变性能的设计,以及钻进工艺和钻探设备的选择。

本文以孔壁稳定为基础,从孔身结构和套管程序、钻具组合、钻探设备方面论述深孔岩心钻探存在的问题,并提出具体的改进建议。

1 孔壁稳定

孔壁稳定问题包括钻进过程中的孔壁坍塌或缩径、地层破裂或压裂两种基本类型,是所有钻探工程所遇到的普遍性问题。井喷、井漏、脆性地层的坍塌、塑性地层的缩径、粘弹性地层的变形、钻具的粘附卡钻、固井不返水泥浆等许多孔内问题都是由于没有掌握井壁稳定状况,导致措施失误而引起的。

在浅层岩心钻探过程中,孔壁稳定问题一直没有引起足够的重视,如某项目钻探施工中连续发生3口钻孔的套管事故,其主要原因是没有掌握该地区的孔壁失稳规律。对于深孔岩心钻探,孔壁稳定问题必须引起足够的重视,做好钻前预测,否则必将造成更巨大的经济损失。

造成孔壁失稳的因素很多,概况起来包括地质因素和工程因素两个方面。地质因素主要有:地质构造类型和原地应力的分布、地层的岩性和产状、含粘土矿物的类型、地层强度、裂隙节理的发育情况、孔隙度、渗透性以及孔隙中的流体压力等。工程因素主要包括:钻井液的性能(失水、粘度、流变性、密度)、钻井液的成分与地层岩石化学作用的强弱(水化、膨胀作用)、孔径大小、孔眼裸露时间、钻井液的环空返速、循环动压力和起下钻的波动压力等。

孔壁失稳的实质是孔壁岩石所受的应力超过它在孔眼状态下的强度。当孔内钻井液柱压力过低时,孔壁围岩应力超过该处岩石的剪切强度,孔壁岩

收稿日期:2011-01-07

作者简介:张培丰(1965-),男(汉族),安徽太和人,北京探矿工程研究所教授级高级工程师,地质工程专业,博士,从事科学钻探、钻探工艺与取样技术研究工作,北京市海淀区学院路29号探工楼404,zhangpf@ccsd.cn。

石发生破坏,对于脆性岩石孔壁发生崩落现象,对于塑性岩石孔壁发生缩径;当孔内钻井液密度过大使岩石所受的周向应力超过岩石的拉伸强度而造成地层破裂。

1.1 地层孔隙压力

地层孔隙压力的形成,与地层的沉积条件、构造运动、地下水的活动、矿物成分的变化以及地下发生的物理化学过程等因素密切相关。异常高压的成因条件多种多样,一种异常高压现象可能是由多种相互叠加的因素所致,其中包括地质的、物理的、地球化学和动力学的因素。对于沉积岩来说,由于压实作用主要发生在垂直方向,从力学角度上来说,控制压实过程的力实际上是垂直有效应力,孔隙度的变化、孔隙流体高压的形成等过程都与垂直有效应力的变化有关。正常压力环境中,由于沉积颗粒之间相互接触,岩石基体支撑着上覆岩石载荷,地层压力等于静液压力;而沉积颗粒间垂直有效应力的任何减少,将使孔隙内流体支撑部分上覆岩层载荷,形成异常高压。

确定地层孔隙压力的方法有很多种,由于地下情况的复杂性,到目前为止,没有一种预测方法是唯一可信的。但由于地层孔隙压力问题的重要性及严重性,围绕着地层孔隙压力问题仍然不惜投入大量的人力、物力、财力,包括各种从简单到极其复杂的仪器设备。

按与钻井过程的先后关系,地层孔隙压力的确定方法一般分为4大类^[1]:

(1) 钻前预测方法

主要是利用地震层速度资料,并根据它与地层孔隙压力的关系计算出地层孔隙压力。其预测精度主要取决于地震资料的质量、对地质分层及岩性的了解程度以及计算模型的合理性。常用的方法有“直接算法”和“等效深度法”。

(2) 随钻监测方法

主要是利用钻孔过程中测量到的随钻信息资料实时监测异常压力带并确定其值。过去常用的有 d_c 指数法、 σ 法、标准化钻速法、泥页岩密度法。近几年随着石油钻井技术的进步,相继出现了随钻测井(LWD)资料法、随钻地震(SWD)资料法等。

(3) 钻后测井检验方法

利用钻后测井资料评估地层孔隙压力,这是公认的最可靠的方法,精度较高。常用的有泥页岩声波时差法、泥页岩电阻率(电导率)法、泥页岩密度法等。

(4) 实测地层孔隙压力

通过一定仪器直接测量地层孔隙压力,是最准确的一种方法。常用的方法有:钻杆测试法(DSTS)、重复地层测试法(RFT)、多层位测试器测试法(FMT)等。

1.2 地层应力

地层应力的主要来源可归结为岩体的自重、地质构造运动、地温梯度的不均匀性、地层中的流体压力梯度和孔隙流体膨胀等所产生的应力,其大小用上覆地层压力、最大水平应力和最小水平应力这3个主应力表示。

上覆地层压力由岩石的自重产生,可由密度测井曲线求得,其表达式为:

$$\sigma_v = \int_0^H \rho(z) g dz \quad (1)$$

式中: σ_v ——深度为 H 处的上覆地层压力,MPa; $\rho(z)$ ——地层岩石密度,由密度测井求得,它是深度 z 的函数, kg/m^3 ; g ——重力加速度。

最大水平应力 σ_H 和最小水平应力 σ_h 可通过现场水力压裂试验法或者室内声发射试验法求得^[2],如中国大陆科学钻探工程主孔(简称CCSD-1井)最大水平应力和最小水平应力与深度的关系分别为^[3]:

$$\sigma_H = 0.031H + 5.5 \quad (2)$$

$$\sigma_h = 0.029H + 2.5 \quad (3)$$

一般来说,逆断层、走滑断层和正断层构造带所对应3个主应力的关系分别为 $\sigma_H > \sigma_h > \sigma_v$ 、 $\sigma_H > \sigma_v > \sigma_h$ 和 $\sigma_v > \sigma_H > \sigma_h$ 。

邓金根等^[2]从孔壁围岩中的应力角度对孔壁坍塌和破裂的力学分析后,建立了沉积岩地层孔壁坍塌压力和地层破裂压力的计算模型以及保持孔壁稳定所需钻井液最低密度(不坍塌)和最高密度(不压裂)范围:

$$\rho_{\min} = \rho_c = \frac{\eta(3\sigma_h - \sigma_H) - 2cK + \alpha p_p (K^2 - 1)}{(K^2 + \eta)H} \times 100 \quad (4)$$

$$\rho_{\max} = \rho_f = 3\sigma_{h1} - \sigma_{H1} - \alpha p_p + S_i/100 \quad (5)$$

式中: ρ_c ——地层的坍塌压力当量密度, kg/m^3 ; ρ_{\min} ——地层不坍塌的最小钻井液密度, kg/m^3 ; H ——井深,m; c ——岩石的粘聚力,MPa; η ——应力非线性修正系数; α ——有效应力系数; σ_{h1} ——最小水平应力梯度,MPa/100 m; σ_{H1} ——最大水平应力梯度,MPa/100 m; K ——与岩石性质有关的系数, $K = \cot(45^\circ - \theta/2)$, θ 为岩石的内摩擦角, $(^\circ)$;

ρ_{\max} ——地层不压裂的最大钻井液密度, kg/m^3 ;
 p_t ——地层的破裂压力当量密度, kg/m^3 ; p_p ——地层孔隙压力梯度, kg/m^3 ; S_t ——岩石抗拉强度, MPa 。

以 CCSD - 1 井为例, 声波成像测井资料显示*, 钻孔在 1216 m 深度以下出现钻孔崩落现象, 1216 ~ 5047 m 的范围内, 钻孔断面椭圆长轴平均方位为 $319.5^\circ \pm 3.5^\circ$, 与最小水平应力一致, 最大水平应力的平均方位为 $49.5^\circ \pm 3.5^\circ$, 与钻孔断面椭圆长轴方位垂直成 90° (见图 1)。钻孔崩落现象, 尤其是在孔深 3517 m 处孔径扩大率达到 226% (由 $\varnothing 157 \text{ mm}$ 扩大到 $\varnothing 355.6 \text{ mm}$) 说明, 自 1216 m 深度以下, 钻井液液柱压力小于孔壁坍塌压力, 即钻井液密度小于孔壁坍塌压力当量密度, 其主要原因是没有 CCSD - 1 井附近地区的地应力资料, 不能科学地设计 CCSD - 1 井各井段的钻井液密度。

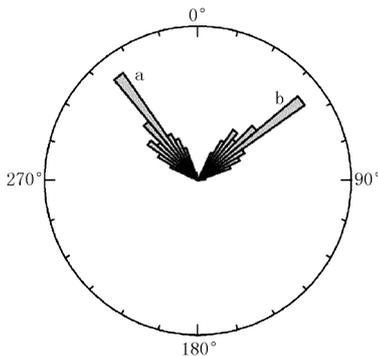


图 1 CCSD - 1 井钻孔崩落长轴方位 (a) 与最大水平应力方位 (b) 图

1.3 地层破裂压力

地层破裂压力是设计套管、泥浆密度、选择允许的裸眼长度的另一个重要依据, 其大小与上覆压力、地层孔隙压力、岩石性质、地质年代、埋藏深度等有关。

研究表明, 最小水平有效应力控制着地下岩石中裂缝的方向, 地下天然裂缝或人工裂缝延伸方向一般与最小水平有效应力垂直, 是确定地层破裂压力或裂缝传播压力的基础^[1]。

现场实践证明, 井壁地层发生破裂时, 垂直方向的裂纹更容易出现。要使地层发生水平裂纹, 所需压裂压力至少等于上覆地层压力, 而垂直破裂所需的压裂压力要低很多。

压裂现象是一种“开 - 合”现象, 当外压力超过破裂压力时, 地层开裂, 泥浆或其它流体漏失; 当外压力低于破裂压力时, 裂口复原, 漏失终止。因此, 处理这种井漏, 堵塞的方法几乎无效, 最好的办法是

降低外施的压力, 即降低钻井液密度。

根据库仑 - 摩尔的研究, 岩石破坏时的剪应力必须克服岩石的固有剪切强度 (粘聚力) c 和作用于剪切面上的内摩擦阻力 $\mu\sigma$, 即

$$\tau \geq c + \mu\sigma \quad (6)$$

式中: μ ——岩石的内摩擦系数, $\mu = \tan\varphi$; φ ——岩石的内摩擦角。

地层破裂压力的数据也可以通过地层破漏试验取得, 由于破漏试验要求关井试压直至地层或套管固结的水泥环发生破漏为止, 以确定最大的承压能力, 许多人担心由此引起不良的后遗症。国内外的实践证明, 破漏试验是安全的, 且在一定程度上增大了地层的抗压能力。

1.4 孔身结构和套管程序

据练章华^[4]统计, 到 2007 年底, 全国 132628 口油气井中, 套管损坏数已达 25958 口, 约占总井数的 19.57%。在深孔油气探井中, 包括圣科 1 井、英科 1 井、克参 1 井、东秋 5 井、崖城 13 - 1 - 3 井、郝科 1 井等 10 余口井发生了严重的套管磨损问题及破裂或挤毁事故。阳霞 1 井因 $\varnothing 244.5 \text{ mm}$ 套管多处严重磨损, 在用清水替换管内钻井液时造成套管挤毁, 最后该井报废, 损失将近 4000 万元。近年来深孔岩心钻探也多次发生孔内复杂事故和套管事故, 造成巨大的经济损失。

套管程序与强度的设计原则是有效地控制异常地层孔隙压力, 避免漏、喷、塌、卡等复杂情况的产生, 保证钻孔安全, 并考虑钻孔加深和增下中间套管的需要, 实现安全快速完孔。孔身结构设计的主要依据是地层孔隙压力梯度、地层破裂压力梯度^[5], 以及现今地层应力状态和地层坍塌压力梯度。

对于深孔岩心钻探, 需要改变过去传统的经验式套管程序和强度设计方法, 逐步建立起以地层孔隙压力、现今地层应力、地层坍塌压力和破裂压力为基础的套管设计标准^[6]。

汪仲英等曾在西藏羊八井地热田钻探中成功采用了以地层孔隙压力和地层破裂压力为基础的平衡钻进工艺, 但总体来说, 传统的岩心钻探对地层孔隙压力、地层应力、地层坍塌压力和破裂压力缺乏必要的了解。为了有效地解决深孔岩心钻探的钻孔安全问题, 建议中国地质调查局在所属探矿工程研究所成立以研究深孔地层孔隙压力、地层应力、地层坍塌压力和破裂压力与孔壁稳定为主的深部钻孔安全研

* 引自《中国大陆科学钻探工程验收和成果报告》。

究室,对重点探区进行探索性研究,为深孔岩心钻探孔身结构、套管强度、钻进工艺和钻井液设计提供依据。这是一项涉及岩石(体)力学、地质构造、地球物理、地球化学、孔内测井与钻探工程(工艺)交叉的新兴学科,其发展成熟必将为深孔、超深孔岩心钻探提供有效的技术支持。

另外,在没有掌握探区地层孔隙压力、地层应力、地层坍塌压力和破裂压力规律的情况下,建议套管接箍与孔壁之间的间隙 ≤ 12.5 mm,不易盲目提倡小间隙套管固井技术。一方面是由于孔身质量导致套管不能下入设计深度,另一方面小间隙固井的水泥环强度较低,套管重力集中在套管鞋处,导致水泥环下端孔壁附加应力较大,该段孔壁失稳加剧。

2 加压方式

深孔取心钻探必须改变传统的钻机加压或钻杆加压方式,应采用钻铤加压方式。钻铤加压方式可以有效地减缓钻孔的“狗腿”度,保证套管顺利下入设计深度。对于岩心钻探来说,可能很多钻探工程技术人员不理解钻铤加压的目的,或者是对钻柱在孔内工作状态下的受力状态没有足够的认识。

一般来说,处于悬挂状态下钻杆柱在自重作用下处于受拉状态,最下端钻头处的拉力为零,孔口处的拉力最大。钻机加压钻进,整个钻杆柱受压。减压钻进,钻压等于下部钻具的重力(不考虑钻具与孔壁间的摩擦力和泥浆浮力),下部钻具处于受压状态。钻压越大,下部钻具所受的压力也越大。再加上高速旋转时钻具在离心力和弯曲力矩的作用下,钻具在孔底产生弯曲变形,最终导致孔斜。

在分析和研究孔内钻柱受力状态后,Lubinski等人提出了钻柱在钻井液浮力作用下的“中和点”和“轴向应力零点”的概念。中和点以上钻柱承受的压力等于该点以上钻柱所受浮力,中和点以下钻具在泥浆中的重力等于钻压。但中和点钻柱并非不受轴向力,而是承受压力,其大小等于该点以上钻柱浮力,而方向与浮力相反。

轴向应力零点是指在工作状态下(加钻压),钻柱上不受拉力和压力的那一点。所以,轴向应力零点在钻柱中和点以上,两者不可混为一谈。

根据Lubinski等人的研究,钻柱出现第一次弯曲的临界压力(钻压) P 为:

$$P = 2.04 \sqrt[3]{10EIq_a^2 K_b^2} \quad (7)$$

式中: E ——钢的弹性模量,kPa; I ——钻柱的截面惯性矩, cm^4 ; q_a ——钻柱在空气中的重力,N/m;

K_b ——浮力系数。

很显然,钻铤出现第一次弯曲的临界钻压要远大于钻杆,这就是选择钻铤加压的原因之一。根据石油钻井广泛采用的浮力系数法,垂直井最小钻铤重力应保证在最大钻压时钻杆(或随钻震击器)不承受压缩载荷,即:

$$\begin{aligned} W_c &= P_{\max} K_s / K_f \\ K_f &= 1 - \rho_m / \rho_s \end{aligned} \quad (8)$$

式中: W_c ——所需钻铤的总重力,kN; P_{\max} ——设计的最大钻压,kN; K_s ——安全系数,一般取 $K_s = 1.25$; K_f ——钻井液浮力系数; ρ_m ——钻井液密度, kg/m^3 ; ρ_s ——钻铤材料密度, kg/m^3 。

仅将钻柱的中和点控制在钻铤上是不够的,因为中和点以上也有部分钻柱弯曲,应保证轴向应力零点处在钻铤上。合理的选择是在式(8)的基础上,适当增加钻铤的刚度和长度,或在钻铤上部采用一段加重钻杆。同时,钻铤设计必须考虑如下因素:

- (1) 钻铤组合的刚度大于所下套管的刚度;
- (2) 为了保证套管顺利地下入孔内,至少一柱钻铤应有足够大的外径;
- (3) 最大钻铤外径必须保证在打捞作业时能够套铤。

3 钻探设备

3.1 钻机

随着我国攻深找盲资源战略的推进,深部钻探工作量逐步加大,许多地质装备研发单位均以较快的速度研发出深孔岩心钻机。但在实际的钻探施工中,这些深孔岩心钻机反映出或多或少的不足,应该引起设计人员的重视。

3.1.1 驱动方式落后

在动力头钻机问世之前,驱动方式的争论集中在立轴式岩心钻机和转盘式石油钻机。经过多年的发展,石油钻井工程技术人员发现了转盘式驱动方式的局限性,转盘式石油钻机逐步被顶驱式石油钻机所取代。随着深孔钻探技术的发展,立轴式岩心钻机的不足也逐渐暴露,20世纪70年代,国外发达国家研发出技术性能优良的全液压力头钻机,目前已基本上取代了立轴式钻机,而我国全液压力头钻机的发展却极其缓慢^[7-9]。除液压技术落后和钻探市场因素外,我国自主研发的全液压力头钻机对深孔岩心钻探的特点和深孔取心技术的适应性也是一个不可忽视的因素,目前国内所谓的全液压力头钻机均没有达到全液压控制的程度。

更为重要的是,无论立轴式岩心钻机还是全液压力头钻机与深孔岩心钻探工艺和现场操作要求有很大的距离,技术参数的设置极不合理。比如,一款钻机技术参数标注采用 $\varnothing 50$ mm 钻杆钻进深度为3000 m,那么, $\varnothing 50$ mm 钻杆怎么钻进至3000 m 孔深?孔深3000 m 的钻孔在什么场合能使用 $\varnothing 50$ mm 钻杆?同样情况,钻进能力为3000 m 的钻机,而设计转速却达到1000 r/min 以上,对于深度3000 m 的钻孔,这么高的转速能在什么场合使用?深度3000 m 的钻孔直径往往要大于 $\varnothing 95$ mm,而钻杆应以 $\varnothing 89$ mm 为主,最小钻杆直径为 $\varnothing 73$ mm,钻机参数的设置应该以深孔岩心钻探的孔身结构和取心钻具组合作为设计依据。

立轴式岩心钻机与全液压力头钻机争论的另一个焦点是全液压力头钻机的起下钻速度问题。其实,如果将全液压力头钻机安装在与立轴式岩心钻机同样高度的钻塔上,完全弥补了自身的缺陷,全液压力头钻机的推广应用应该有很大的提升空间。

针对我国深孔岩心钻机的发展方向,许多专家已经给出了明确的建议^[7-9],但这些建议仅仅局限于立轴式岩心钻机和全液压力头钻机之间。根据深孔岩心钻探的特点,笔者认为,深孔岩心钻机的发展方向应该将全液压力头钻机搬到石油钻塔上来,即以转盘+高速顶驱的驱动方式,顶驱的最高转速 > 500 r/min,最低转速应与转盘转速有部分交叉(80 r/min 左右),转盘用于全面钻进和扩孔钻进,高速顶驱用于取心钻进。

3.1.2 主卷扬的起重能力低

同样以孔深3000 m 为例,采用 $\varnothing 89$ mm 钻杆钻进,3000 m $\varnothing 89$ mm 钻杆在空气中的重力已接近600 kN。若采用钻铤加压方式,按式(8)选择钻铤重力,则3000 m 的钻铤+钻杆组合在密度为 1300 kg/m^3 的钻井液中的悬重达到560 kN,孔壁摩擦力以100 kN 计,上提钻具的拉力 ≤ 660 kN。再考虑处理卡钻事故等孔内复杂情况,主卷扬的最小提升能力应不低于1200 kN,而目前3000 m 钻机主卷扬的最大提升能力仅600 kN,不能满足处理孔内事故的需要。

3.1.3 钻塔高度低

对于深孔钻探,影响取心钻进成本的主要不是机械钻速和钻头寿命,而是回次进尺长度和起下钻时间。目前,世界上最大石油钻机的钻井深度已达15000 m,其钻塔有效高度达到74 m,提升能力达到

10000 kN^[10];国产石油钻机最大钻井深度为12000 m,钻塔有效高度52 m,提升能力9000 kN;国产ZJ40J型4000 m 石油钻机配备J2250/43“K”井架,钻塔有效高度43 m,钻台面高度6 m,最大钩载2250 kN;而国内岩心钻机所配钻塔一般有效高度为18~23 m,若钻杆长度9 m(传统岩心钻探的钻杆一般为6 m),每次仅能提升2根钻杆。

设备成本的高低一直是评价岩心钻机的焦点之一,以KZ3000型岩心钻机所配钻塔为例,选用有效高度43 m 的钻塔与31 m 的钻塔相比,其价格差不足40万元,加上钻塔运输费用,其价格差仅仅是1口钻孔的起下钻成本差,但起下钻的劳动强度却显著降低。所以,笔者建议深孔岩心钻机的钻塔有效高度应选择43 m,钻塔底盘高度 ≤ 4 m。

3.2 固相控制设备

随着钻探技术的进步,钻井液的重要性也逐步被广大钻探技术人员所接受。在传统的地质岩心钻进中,一般依靠增减粘土含量、添加化学处理剂和加水稀释的方法调整钻井液性能。虽然这些方法能起到短暂的效果,但钻井液维护的成本太高。如果遇到地层造浆,钻井液中岩屑和劣质粘土的含量升高,造成钻井液的粘度、切力和失水量升高,流动性变差。加水和化学处理剂,只能改变钻井液中固相颗粒的含量,并没有改变其颗粒分布。同时,这种方法也降低了钻井液中优质膨润土和化学处理剂的含量,造成了极大的浪费。一旦稀释剂降解,钻井液的粘度、切力和失水量随即升高,需要再次加入稀释剂和降失水剂。如此反复,钻井液的体积越来越多,加重了废泥浆的处理,严重时造成环境污染。调整钻井液性能最有效的方法是清除钻井液中的无用固相,即岩屑和劣质粘土。

钻井液固控技术的发展,提供了一套有效地调控钻井液性能的方法。固控设备主要包括振动筛、除砂器、除泥器和离心机,这些固控设备可以有效地清除钻井液中的岩屑和劣质粘土固相,保持优质粘土的含量,达到调整钻井液性能的目的。常用的固控设备及清除固相颗粒的能力如下:

振动筛: $> 74 \mu\text{m}$;除砂器: $> 40 \mu\text{m}$;除泥器: $> 25 \mu\text{m}$;旋流除泥器: $> 12 \mu\text{m}$;离心机: $> 6 \mu\text{m}$ 。其固相控制系统流程见图2所示。

4 结语

与传统的岩心钻探相比,深孔岩心钻探有其自身的规律性,钻探工程技术人员必须尊重深孔岩心

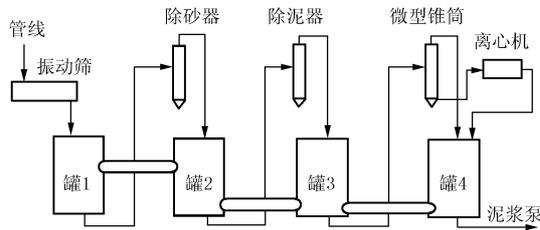


图2 固相控制系统流程图

钻探的规律,建立起钻探工艺服从于钻孔安全需要、钻探设备服从于钻探工艺要求的观念。

(1)孔身结构和套管程序必须以钻孔安全为基础,以地层孔隙压力梯度曲线和地层破裂压力梯度曲线为设计依据。建议成立一个以研究深孔地层孔隙压力、现今地层应力、地层坍塌压力和破裂压力与孔壁稳定为主的深部钻孔安全研究室,对重点探区进行探索性研究,为深孔岩心钻探孔身结构、套管强度、钻进工艺和钻井液设计提供依据。

(2)深孔取心钻探必须改变传统的加压方式,采用钻铤加压,确保钻孔的直线度和套管顺利下到设计孔深。在没有掌握探区地层孔隙压力、地层应力、地层坍塌压力和破裂压力规律的情况下,建议套管接箍与孔壁之间的间隙 ≤ 12.5 mm,不易盲目采用小间隙套管固井。

(3)深孔岩心钻机的参数设计应满足深孔岩心

钻探工艺和现场操作要求,建议驱动方式采用转盘+高速顶驱,钻塔有效高度43 m,主卷扬的提升能力 ≤ 1200 kN,转盘用于全面钻进和扩孔钻进,高速顶驱用于取心钻进。深孔岩心钻机必须配备必要的固相控制系统,有效地清除钻井液中的岩屑和劣质粘土固相,达到调整钻井液性能的目的。

参考文献:

- [1] 高德利,等.复杂地质条件下深井超深井钻井技术[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [2] 邓金根,程远方,陈勉,等.井壁稳定预测技术[M].北京:石油工业出版社,2008.
- [3] 王连捷,崔军文,张晓卫,等.中国大陆科学钻主孔现今地应力状态[J].地球科学——中国地质大学学报,2006,31(4):505-512.
- [4] 练章华.地应力与套管损坏机理[M].北京:石油工业出版社,2009.
- [5] SY/T 5431-1996,井身结构设计方法[S].
- [6] SY/T 5322-2000,套管柱强度设计方法[S].
- [7] 刘跃进.岩心钻探设备的现状与发展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(1):39-43.
- [8] 张伟.关于我国地质岩心钻机发展方向的分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(8):1-5.
- [9] 高富丽,刘跃进,张伟.我国地质钻探技术装备现状分析及发展建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(1):3-8.
- [10] 张西坤,靳益民.关于钻塔的几个问题的探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(7):37-42.

欢迎订阅《煤炭加工与综合利用》杂志

《煤炭加工与综合利用》杂志是中国煤炭加工利用协会主办的国内外公开发行人刊物。主要报道内容:煤炭洗(筛)选加工,洁净有效利用,煤炭成型,焦化、气化、液化等煤化工,煤质检验及管理,煤炭燃烧及炉具,低热值燃料发电,煤矸石及灰渣的综合利用,煤系有用矿物资源的合理开发利用,水煤浆等新型煤基燃料,煤矿及煤炭利用中的环境保护及节能技术,生产经营管理经验等。本刊面向的读者及协会会员众多,发行范围广,广告效果好,欢迎广大读者订阅,欢迎企事业单位刊登广告、宣传产品或企业形象。

本刊统一刊号:CN 11-2627/TD,ISSN 1005-8397;双月刊,正文64页,标准大16开。每期定价15元,全年6期共90元(如需挂号另加20元)。本刊自办发行,请订户从中国煤炭加工利用协会官方网站www.ccpua.org下载订单或向编辑部索取订单,直接向编辑部办理订阅手续。订阅方法如

下:

1. 银行信汇:农业银行北京青年湖支行,帐号:190301040016406,户名:北京《煤炭加工与综合利用》杂志社有限公司。务请在信汇单上注明杂志款。在订单上注明是否挂号邮寄、是否要发票、收刊人姓名、详细地址、单位、邮政编码及联系电话。请将订单与银行汇单一起邮寄或传真至编辑部。

2. 邮局汇款:请将订款和订单第二联及标签寄至《煤炭加工与综合利用》杂志编辑部;地址1:北京安定门外东河沿乙7号楼307室;邮编:100011;地址2:北京和平里北街21号中国煤炭加工利用协会,邮编:100713。

3. 联系电话:010-64251132 64251130(兼传真)

E-mail:mtjgly@163.com