

对火成岩地层中钻孔漏失的分析与防治

黄振国

(华东地勘局探矿技术研究室)

本文从火成岩分布区的地质构造运动和成岩条件, 钻进作业时钻孔—地层体系的压力差及岩石的弹性形变和水力破裂等方面, 分析了火成岩地层冲洗液漏失的原因。介绍了减少截面或完全隔离流失通道, 减少钻孔—地层体系压力差, 以及调节冲洗液流变性和消除冲洗液漏失的具体方法与经验。提出了火成岩地层钻孔漏失的分类及相应的治理方法。

岩浆岩分布区的钻探施工条件相当复杂。其中广泛发育的裂隙、孔隙, 是钻探中冲洗液漏失的通道。但冲洗液是否漏失的决定因素, 乃是地层与孔内压力的平衡情况。钻孔及被其穿凿的渗透层本身, 好比一个联通器, 如果它们之间存在着压力差, 就会使其间的流体流动(漏失或涌水)。从钻探施工来说, 作用于地层的压力的大小, 与钻进工艺有关。当孔内处于静止状态时, 这个压力等于冲洗液柱的静水压力($P_{静}$)。

在冲洗液循环过程中, 作用在地层上的是动水压力($P_{动}$), 它等于静水压力 $P_{静}$ 加上冲洗液在深度为 H 的环状间隙运动时的压力损失($P_{环}$)。

地层压力($P_{地}$)可以根据静止时深度为 H 的钻孔内的液柱高度 H' 来计算。

$$P_{地} = \gamma H' \quad (1)$$

式中 γ 为液体的比重。

如果 $P_{地} > P_{静}$, 那么 $H' < H$, 就会发生涌水。当冲洗液在孔内循环时, 钻孔作用在地层上的压力增加到 $P_{动}$, 根据压力差($P_{动} - P_{地}$)的大小和正负, 可能有三种情况: ①涌水消除, 发生漏失; ②涌水消除, 在冲洗液不漏失的状态下钻进; ③继续涌水, 由孔内返出的冲洗液量比注入的大。

必须指出, 第二种情况是很不稳定的。由于钻孔—地层体系压力平衡不断变化, 时而漏失, 时而涌水。

如果 $P_{地} < P_{静}$, 那么孔内的水位将处于某一深度上, 在冲洗液循环过程中将发生漏失。循环

时在钻孔—地层体系中的压力差, 由下列关系确定:

$$\Delta P = (P_{静} + P_{环}) - (P_{地} + P_{漏}) \quad (2)$$

式中 $P_{漏}$ 为冲洗液在渗透地层通道内的流动阻力。

非触变性冲洗液的漏失量(Q)可根据Mackett的简化公式计算:

$$Q = K \Delta P / \mu \quad (3)$$

式中 K 为渗透体系的几何面积函数系数, 它与裂隙的张开量、蛇形度、粗糙度、连通性有关; ΔP 为钻孔—地层体系的压力差; μ 为液体的粘度。

根据H. B. 佳宾的公式, 可以确定粘塑性流体在经常张开的单一裂隙中平面径向流动时的漏失量:

$$Q = \frac{\pi \delta^2 [\delta \Delta P - 3\tau_d (R_{展} - R_{孔})]}{6\eta_p \ln(R_{展}/R_{孔})} \quad (4)$$

式中 δ 为裂隙张开量; τ_d 为动切力; η_p 为塑性粘度; $R_{展}$ 为液体沿裂隙的展布半径; $R_{孔}$ 为钻孔半径。

由式(3)可以看出, 非触变性冲洗液在钻进时的漏失量, 与漏失层的渗透性和钻孔—地层体系的压力差成正比; 与漏失液体的粘度成反比。对于粘塑性流体, 影响漏失强度的因素一般还停留在分析阶段上, 但流体流变性的影响不可忽视。

在金刚石钻进中, 由于冲洗液在环状间隙的压力损失可以达到很大的值, 通常为静水压力的1.5~2.5倍, 因而使岩石的渗透强度大大提高。同时由于动水压力的作用, 使岩石产生弹性张开或者水力破裂, 因而使本来不漏失的岩石发生漏失。

由于岩石多为似弹性体和半弹性体, 它们具

有弹性形变的性质。在大的动水压力作用下,能使大裂隙的张开量增加,隐微的闭合裂隙张开。特别是在火成岩地层的细微裂隙地段,动水压力会使裂隙弹性张开,因而使大口径钻进时不漏失的孔段产生大量漏失。同样地充填了非渗水材料的裂隙,由于在充填物在接触范围内弹性张开,也产生新的漏失,并由其冲刷充填物,致使这种原本不漏失的地层变为永久漏失的地层。

对于每一种岩层,可以通过试验得到一个使岩石中的裂隙弹性张开的动水压力的临界值,确定这个临界值对于指导防治漏失是有益的。

脆性岩石在动水压力作用下的破坏(水力破裂),会造成第二次(人造的)渗透性,它往往叠加在地层初始的(自然的)渗透性之上。实际观察证明,造成水力破裂的压力只在个别情况下大于静水压力的50%(通常为10~20%)。而在地质岩心钻探中,升降钻具发生的压力波动,其减少或超过液体静压力的数值常在1.2~2倍的范围内变化。金刚石钻进起下钻作业的孔内液体的压力变化范围更宽,再加上钻进时水泵脉动压力的作用,足可使岩层的薄弱部分(隐微裂隙部位,在晶槽内和组成岩石的矿物结晶边界上)产生水力破裂。据某队的资料,该队自普及金刚石钻进以来,岩石的渗透性系数比大口径钻进时提高15%。渗透性的提高,主要是由于小口径钻进动水压力造成的岩石的水力破裂。

二

为了防治漏失和尽可能取得更理想的效果,长期以来,已有不少文献提出过对漏失地层的分类设想。人们普遍认为,从理论和实践上来说,按照漏失通道的大小和形状分类是适宜的。因为只有弄清漏失通道的大小和形状,才能正确地选定防治的方法和处理材料,并制定相应的工艺流程。

根据火成岩地层的岩石结构构造特点,可以把火成岩漏失地层分为裂隙性漏失,裂隙—孔隙性漏失和孔隙—裂隙性漏失三大类。

裂隙性漏失主要是在节理、片理发育的岩石中,以及构造运动产生的断裂和裂隙中发生的,

按照裂隙张开量的大小,可分为细微裂隙漏失(裂隙张开量小于0.5毫米,只在金刚石高泵压钻进时才漏失);中等裂隙漏失(裂隙张开量大于0.5毫米,小于10毫米,在金刚石高泵压钻进时有较严重的漏失,孔口返水少或不返水)和大裂隙漏失(裂隙张开量大于10毫米,在金刚石高泵压钻进时漏失严重,孔内动水水位很低)。

裂隙—孔隙性漏失和孔隙—裂隙性漏失主要是以漏失通道中孔隙和裂隙所占的比例大小来区分。若岩石主要是裂隙破碎,而孔隙较少,则属裂隙—孔隙性漏失;若岩石呈蜂窝状气孔构造,并以裂隙将其相连,则为孔隙—裂隙性漏失。裂隙—孔隙性漏失层的孔隙大小一般为5~10毫米;而孔隙—裂隙性漏失层的孔隙大小有5~10毫米和大于10毫米的两类。

三

在复杂地层地质勘探钻进中,防治冲洗液漏失的方法有以下三种:①减少截面或者完全隔离漏失通道的堵塞胶结法;②减少钻孔—地层体系的压力差的压力平衡法;③调节冲洗液流变性的方法。

调节泥浆的流变性指标是预防漏失的传统方法之一。从有关文献和实际工作中得知,在漏失层灌注流变参数高的泥浆之后,再使钻孔静止几小时,使裂隙内的泥浆在裂隙壁内失水,因而使它的流变参数,特别是静切力急剧增长。裂隙壁的渗透性越大,这种措施的效果越显著。灌注高流变性指标的泥浆最终将使泥浆在漏失层的流动阻力 P_{H} 增大许多倍,从而改变钻孔—地层体系的压力平衡,达到预防和消除漏失的目的。但是用这种方法预防漏失只在细微裂隙的漏失地层内才有效。

B. Γ. 亚索夫等,导出了泥浆等结构冲洗液在渗透层流动时的漏失强度公式,用该公式,可算出泥浆的漏失可能趋向于最小值的 η_p 值:

$$\eta_p \approx \frac{1}{Q_H} \left[A \left(\frac{\bar{L}}{2R} - 1 \right) \tau_d - B \bar{L}_{c,r} \right] \quad (5)$$

式中 Q_H 为泥浆泵的排量;

$$A = \frac{1}{2} \pi R_1 (R_2 - R_1)^2; B = \frac{1}{6} \pi \rho g R_1 (R_2 - R_1)^3;$$

$$\bar{L} = \frac{L_k}{L}; \quad \bar{R} = \frac{h}{R_2 - R_1}; \quad \bar{L}_{CT} = \frac{L_{CT}}{L}$$

ρ 为泥浆比重; g 为自由落体加速度; L_{CT} 为与牛顿流体漏失时的静止水位等值的量; L 为漏失层的深度; η_p 为塑性粘度; τ_d 为动切力; L_k 为裂隙长度; $2h$ 为裂隙的张开量; R_2 和 R_1 分别为相应的钻孔和钻杆柱的半径。

在小口径金刚石钻进中, 提高泥浆的流变参数会降低钻进机械钻速, 增加环状间隙的水力损失, 从而导致更严重的漏失, 并造成岩石的水力破裂, 产生新的漏失。所以, 在小口径钻进中, 从防治漏失的角度出发, 采用高流变参数的泥浆是不可取的。

在小裂隙发育的漏失地层, 我们广泛采用由膨润土泥浆, 10% (重量) 的水泥和 2% 左右的水玻璃配制冻胶泥浆防治漏失。用低固相泥浆钻进到漏失层后, 即灌注这种组分, 静止数小时后, 就能用低固相泥浆恢复循环和钻进。用这种方法消除小裂隙的漏失比用其他方法时间耗费较少, 成本较低。

在地质钻探中, 利用填充料是防治漏失的可靠方法。广泛应用的填充料是锯末 (木屑), 此外还有碎云母、棉子壳、核桃壳等。将它们加到泥浆中, 在冲洗液循环时, 进入裂隙构成堵塞, 继而膨胀, 并于过滤过程中被压实, 起到防漏作用。在大的漏失通道中, 有时先利用填充料的淤积来降低漏失层的渗透性, 然后再进行泥浆灌注。

不同填充料的堵塞性能

填充料	加工形状	粒度和配比	浓度 (公斤/米 ³)	堵塞裂隙的 最大尺寸 (毫米)
核桃壳	粒 状	粒径4.76~1.94毫米的及 1.94~0.15毫米的各占一半	57	5.0
核桃壳	粒 状	粒径1.94~1.19毫米的及 0.59~1.94毫米的各占一半	57	3.0
锯 末	纤维状	微粒长6.36毫米	28.5	3.0
锯 末	纤维状	微粒长1.59毫米	57	0.5
树 皮	纤维状	微粒长9.52毫米	34	1.5
碎 木	纤维状	微粒长6.35毫米	23	1.0
棉 铃	粒 状	纤 细 的	28.5	1.2

有时在灌注泥浆时, 把适量的填充料加入泥浆, 以提高堵塞效果。填充料颗粒, 应该大于裂隙张开量的 1/3、小于 1/2, 同时把各种不同粒度和品种的填充料按一定比例混合, 能起到更好的堵塞效果。粗粒度的在裂隙内造成堵塞的骨架, 而细小的则能减少其渗透性, 提高稳定性。

应用填充料预防漏失, 应采用低浓度和细颗粒。只是在已经发生漏失时, 才应提高堵塞材料的浓度, 同时应增大填充料的颗粒, 以提高其堵塞性能。在输送带有填充料的冲洗液时, 应检查水泵和注意其工作状态, 而且不能输送过大颗粒的填充料, 以防止填充料在钻杆内形成堵塞, 特别要防止水泵压力过高而发生安全事故。

附表是常用填充料堵塞性能的一些研究结果 (据 Л. М. 依瓦切夫)。

金刚石钻探导致冲洗液循环时环状间隙的水力损失提高, 岩石的水力破裂, 漏失加剧并产生新的漏失。因此, 应设法降低管外空间的水力损失。根据可能加大钻具和钻杆之间的级差和使用低流变参数的冲洗液钻进, 在保证有效地清除岩粉和冷却钻头的前提下, 可以适当减少送到孔内的冲洗液的流量。据实际测定, 冲洗液的流量减少 30~40%, 则可减少环状间隙压力损失的 1/2~1/3。

大家知道, 岩石的弹性张开和水力破裂会随之产生冲洗液的漏失。开始, 漏失仅在孔内压力激动的瞬间, 即当裂隙被张开的时候发生; 但是这些变化会引起岩石渗透性的不可逆转的改变, 结果使冲洗液持续漏失。如果原来有部分漏失,

那么其漏失强度会急剧提高。在这里,要防止岩石受液压崩解,起决定作用的是合理控制下钻速度。

用各种注浆混合物隔离漏失层是消除冲洗液漏失的最常用的方法。

在现场普遍采用的注浆混合物是以三乙醇胺—食盐,氯化钙—氯化钠为速凝剂的普通硅酸盐水泥浆;以掺芳香族多环聚合物磺酸盐类NNO, MF, FDN等减水剂的硫铝酸盐水泥浆。有时需加入部分填充料,以提高浆液在高渗透层的堵塞性能。

最近,我局某队研制的普通硅酸盐水泥—氯化钙—减水剂—无水石膏速凝堵漏浆液,其配方为:普通硅酸盐水泥,水灰比0.45;氯化钙2~3%;减水剂(FDN或NNO)0.5%;无水石膏5~8%。这种注浆混合物由于具有堵漏所需要的闪凝、胶凝或触变性,以及水泥的膨胀性而获得了较好的应用效果。其候凝期约8小时,接近于地勘水泥。缺点是这种浆液强度较低,且不抗水。

在大的漏失通道内,或者涌水地层,为了成功地隔离,最好是使用粘弹性的抗水速凝浆液,或者半固态材料。在注浆混合物内加入少量高分子聚合物,可使浆液具有粘弹性和抗水性。

我们研制的聚丙烯酰胺—氯化钙速凝水泥浆液,就是这种具有高的结构—机械强度的堵漏浆液,在地下水活跃和涌水地层的护壁堵漏中效果良好。在此基础上研制的聚丙烯酰胺速凝水泥球,被证明能有效地堵塞大通道的渗透层。

我们研制的H'D—56型引射式灌注器,结构简单,性能可靠,可实现扫孔、灌注、恢复钻进三项作业不提钻一次完成,灌注量也不受限制,使合成树脂化学浆液在小口径钻孔快速堵漏中收到了效果,在强烈漏失地层应用,其经济效益更显著。

参考文献

- [1] 谷德振:《岩体工程地质力学基础》,北京,科学出版社,1979年
- [2] Ивачев, Л. М.: Борьба с поглощениями промывочной жидкости при бурении геологоразведочных скважин, М., недра, 1982
- [3] Крылов, В. И.: Изоляция поглощающих пластов в глубоких скважинах, М., Недра, 1980
- [4] Воздвиженский, Б. И.: Колонковое бурение, М., Недра, 1982
- [5] (美) D. K. 史密斯:《美国油井注水泥技术》,北京,石油工业出版社,1980年

Drill Hole Circulation Loss in Igneous Province: the Cause and the Prevention

Huang Zhenguo

Abstract

In view of the tectonic movement and petrogenetic condition in igneous province, the pressure difference between drill hole and rock formation during drilling, the relevant elastic deformation and hydraulic fracturing of the rocks, the cause for the loss of fluid into a igneous rock formation has been analysed. Various preventive measures including: reducing the cross section of the leak or cutting off its channel, lowering the pressure difference between the hole and the formation, adjusting the rheological property of the fluid, etc., are discussed and some experimences of application have been summed up. The author also suggests a classification for the circulation loss and the appropriate measures taken.