

## • 探矿工程 •

## 金坛盐田防止水泥浆漏失的固井工艺

杨文光 (江苏煤田地质局 常州 213017)

胡德成 (中国矿业大学 徐州 221008)

**摘要** 采卤井固井时发生水泥浆漏失是一新问题。以江苏金坛盐矿区为例,提出了采用低比重特种水泥浆固井的新工艺及其他技术措施,实践证明工艺可行。

**关键词** 固井 水泥净浆 堵漏

**中国图书资料分类法分类号** P634.8

**作者简介** 杨文光 男 34岁 工程师 煤田地质

## 1 引言

采卤井的固井同油气井的固井一样,包括下套管和注水泥两大部分。注水泥工序如图1所示。

江苏金坛盐岩矿床是个储量大、盐质较好的重点盐岩矿床。该矿开发以来,先后有几个钻进单位承担采卤井的钻井任务。施工中都发现许多采卤井固井时有水泥浆漏失现象,致使水泥在套管外高度达不到井口,从而影响了固井质量。

钻进过程中发现漏失地层,一般都采用水泥浆等封闭材料先行封堵,然后再行固井。所以固井时发

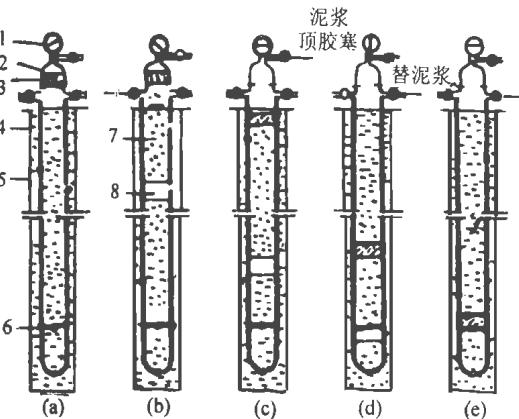


图1 注水泥工序图

1——压力表;2——水泥头;3——胶塞;4——泥浆;5——套管;

6——生铁圈;7——水泥浆;8——隔离液

(a)——下套管至预定位置后装上水泥头,循环泥浆;(b)——打隔离液、注水泥浆,泵压逐渐下降;(c)——压胶塞,开始替泥浆;(d)——替泥浆后期泵压逐渐升高;(e)——胶塞碰生铁圈,泵压突然上升,注泥浆结束

生水泥浆漏失是一新问题。经过不断地分析研究和实践,我们初步解决了这个问题,提出了防止水泥浆漏失的固井新工艺。

## 2 地层简介

金坛含盐地层为下第三系阜宁组四段。盐岩上覆地层自上而下为:第四系(Q)粉砂质粘土层,底部有粘土质砂砾层,与下伏地层不整合接触,厚度一般为20~40m;下第三系三块组(Ed)分上中下三段,上段为钙质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩互层,中段为玄武岩夹钙质泥岩、层凝灰岩,下段为钙质泥岩、含钙泥岩,厚度分别为300m、80m、100m左右;下第三系戴南组(Ed)分上下两段,上段为钙质泥岩、含钙泥岩等,下段为泥岩、含钙泥岩,底夹薄层盐岩或石膏,厚度分别为200m、100m左右。戴南组与含盐地层阜宁组四段为整合接触。

## 3 漏失实例

矿区南部的1号采卤井固井注水泥浆时,井口开始一直返浆,(情况正常)当注完水泥浆,清水替浆时,因水源原因没能及时开泵替浆,待井内泵水替浆时,井口已不再返出泥浆,直到替完浆,井口再未返浆。固井结束后,经声波测井证实,水泥浆在套管外的返回高度为井深338m,即为玄武岩顶界面以上13m(玄武岩顶界面孔深为351m)。

## 4 漏失原因分析

钻井液漏失有两方面的因素,一是地质因素和

水文地质条件,即有孔隙、裂隙或空洞的地层,这些孔洞为泥浆漏失提供了通道和先决条件;二是工艺因素,它能加剧或减少泥浆漏失的程度,其中包括钻进的压力不平衡、冲洗液的流变性质、升降钻具产生的压力激动及钻进规程等。

#### 4.1 地质因素分析

第四系(Q)虽有孔隙但已用井口套管隔离,所以固井时水泥浆不会在第四系漏失。戴南组和三垛组上下段地层均以泥质岩层为主,裂隙不发育,没有泥浆漏失的通道,所以不会发生图 2 所示的 1、2、4 三种情况。但是能否发生人为裂缝性漏失,有待进一步研究。三垛组中段为玄武岩层,其中玄武岩厚度较大,性硬脆,柱状节理及气孔发育,有一定的充填物,存在一定的孔缝漏失通道,钻进过程中少数钻井曾有泥浆消耗。另外对玄武岩层段的抽水试验证明,其静水位高出井口 +16.95 m,单位漏水量  $q$  为  $0.00018 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$ ,渗透系数  $K$  为  $0.00017 \text{ m}/\text{d}$ ,这说明玄武岩层段为一弱含水层,是发生固井水泥浆漏失的可疑层段。

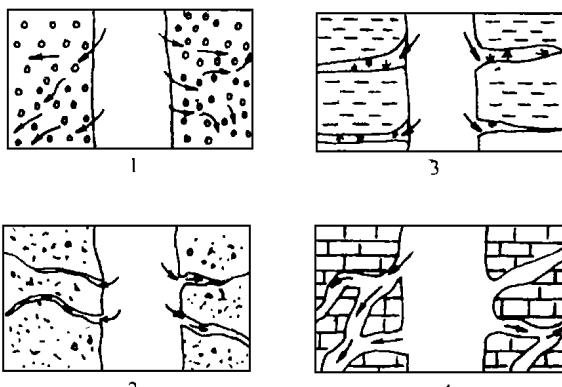


图 2 泥浆漏失原因与类型<sup>[1]</sup>

1——渗透性漏失;2——人为裂缝性漏失;3——天然裂缝性漏失;  
4——溶洞漏失

#### 4.2 工艺因素分析

工艺因素的根本原因是钻井—地质体系的压力不平衡,即钻井与地层间存在压力差  $\Delta P$ 。如下式<sup>[2]</sup>所示:  $\Delta P = (P_{\text{液}} + P_{\text{循}}) - (P_{\text{地}} + P_{\text{漏}})$ , (1)

式中  $P_{\text{液}}$ ——冲洗液柱压力, MPa;

$P_{\text{循}}$ ——冲洗液在环空中流动的压力损失, MPa;

$P_{\text{地}}$ ——地层压力(也叫地层孔隙压力), MPa;

$P_{\text{漏}}$ ——流体在漏失通道流动的压力损失, MPa。

当  $(P_{\text{液}} + P_{\text{循}}) < (P_{\text{地}} + P_{\text{漏}})$  时, 钻井发生涌水;

当  $(P_{\text{液}} + P_{\text{循}}) = (P_{\text{地}} + P_{\text{漏}})$  时, 处于压力平衡条件下钻进;

当  $(P_{\text{液}} + P_{\text{循}}) > (P_{\text{地}} + P_{\text{漏}})$  时, 钻井发生漏失。

一般正常地层压力等于从地表到地下该地层处的静液压力, 即:

$$P_{\text{地}} = 9.81 \times 10^{-3} H \gamma_w, \quad (2)$$

式中  $H$ ——地层所处的井深, m;

$\gamma_w$ ——地层中流体的相对密度, 一般  $\gamma_w = 1 \sim 1.07$ 。

由(2)式可知对处于一定井深的  $P_{\text{地}}$  可看作常数。

为了分析问题, 可把地层中的所有裂隙简化为一圆钢管, 则  $P_{\text{漏}}$  可用下列公式表示:

$$P_{\text{漏}} = 5.1655 \frac{\eta^{1.2} \rho^{0.8} L Q^{1.8}}{d^{4.8}} \times 10^5, \quad (3)$$

式中  $P_{\text{漏}}$ ——漏失通道的压力损失, Pa;

$\eta$ ——泥浆或水泥浆的塑性粘度, Pa·s;

$\rho$ ——泥浆或水泥浆的密度, kg/L;

$L$ ——管路长度, m;

$d$ ——漏失通道的管径, cm;

$Q$ ——漏失量, L/s。

由(3)式可知, 对漏失一定量的液体来说,  $P_{\text{漏}}$  为一固定常数, 减小  $d$ , 例如填充惰性材料等, 可增加  $P_{\text{漏}}$ , 最后达到减小或消除漏失的目的。

$P_{\text{液}}$  可用下式计算:

$$P_{\text{液}} = 9.81 \times 10 H \gamma_{\text{液}}, \quad (4)$$

式中  $\gamma_{\text{液}}$ ——泥浆的相对密度。

$P_{\text{循}}$  可用下式计算<sup>[3]</sup>:

$$P_{\text{循}} = 5.7503 \frac{\eta^{0.2} \rho^{0.8} L Q^{1.8}}{(D - D_p)^3 (D + D_p)^{1.8}} \times 10^5, \quad (5)$$

式中  $Q$ ——泥浆排量, L/s;

$D, D_p$ ——分别为井径和管外径, cm。

由(4)、(5)式可知, 调整泥浆或水泥浆的性能, (即降低塑性粘度  $\eta$  和密度  $\rho$  减小排量  $Q$ , 增大井径与套管的环空间隙, 都可使  $P_{\text{循}}$  降低; 过大的  $P_{\text{液}} + P_{\text{循}}$  不仅造成严重漏失, 而且会将地层压裂使漏失加剧。地层破裂的压力与上覆岩层压力、地层压力、岩性、地层年代和埋藏深度以及该处岩面的应力

状态有关。浅地层的压实程度较差,含较多水分,孔隙度较大,因此比深处地层轻,也因此比深处更致密。更压实的地层的破裂压力要低,即地层破裂压力随井深而增加。单位深度增加的破裂压力值叫地层的破裂压力梯度:

$$G_f = \frac{P_f}{H}, \quad (6)$$

式中  $G_f$  —— 地层破裂压力梯度, kPa/m;

$P_f$  —— 地层破裂压力, kPa。

地层破裂压力梯度可通过许多计算方法或地层压裂试验获得。一般  $G_f = 14.5 \sim 16.6 \text{ kPa/m}^{[4]}$ 。

注水泥浆时套管外底端井壁受到最大的动压力为:  $P_{\text{注}} = P_{\text{液}} + P_{\text{循}}$ 。 (7)

式中两端同除以井深  $H$  得:

$$G_{\text{注}} = G_{\text{液}} + G_{\text{循}}, \quad (8)$$

式中  $G_{\text{注}}$ 、 $G_{\text{液}}$ 、 $G_{\text{循}}$  —— 分别为动压力、静压力、环空压力梯度。

当  $G_{\text{注}} > G_f$  时, 地层就会被压裂, 产生压裂漏失。如忽略  $G_{\text{循}}$ ,  $G_{\text{注}} = G_{\text{液}}$ 。

正常钻进,  $G_{\text{液}} = 9.81 \times \gamma_w = 9.81 \times 1.3 = 12.75 \text{ kPa/m}$ ,

注水泥浆时,  $G_{\text{液}} = 9.81 \times \gamma_w = 9.81 \times 1.85 = 18.15 \text{ kPa/m}$ 。

因此 1 号井正常钻进时不发生漏失, 而固井注水泥浆时由于  $G_{\text{注}} > G_f$ , 地层被压裂, 所以产生漏失。由于玄武岩层段含有微弱裂隙通道, 更容易被压裂, 所以固井时水泥浆绝大部分漏到了玄武岩层段中。另外由于注水泥没及时替浆, 水泥浆静切力增加, 更增加了替浆泵压, 即加剧了压裂地层, 使漏失量增加。

## 5 防止水泥浆漏失的固井工艺

### 5.1 固井工艺

根据上述原因分析可知, 要防止漏失必须使注水泥浆时  $P_{\text{注}} \leq P_{\text{地}} + P_{\text{漏}}$ , 即基本保持压力平衡。为此采取了以下固井工艺:

a. 玄武岩层之上井段泵注低相对密度的水泥

### WELL CEMENTING TECHNOLOGY FOR LEAK PREVENTION OF CEMENT PASTES IN JINTAN SALT FIELD

Yang Wenguang (Jiangsu Bureau of Coal Geology)

Hu Decheng (China University of Mining & Technology)

**Abstract** The leak of cement pastes occurred during the cementing of sub-salt well is a new problem. Taking the Jintan salt mine in Jiangsu as an example, a new technology is presented, in which the light-weight, special cement pastes and other technical measures are applied. The practices has been proved that this technology is feasible.

**Keywords:** cementing of well; cement pastes; plugging

浆, 以降低对玄武岩的静水泥浆柱压力, 即不使玄武岩产生人为水力压裂现象。

b. 玄武岩层以下井段仍采用固井要求的水泥浆相对密度的水泥浆。

c. 为了消除泥浆、水泥浆因静切力增加而增加的泵压, 必须确保泵注水泥浆、泵替的连续性, 中间不能出现停顿现象。

采用以上固井工艺在临近 1 号井及其它曾发生固井水泥浆漏失井的周围所施工的钻井, 均未发生水泥浆漏失现象。实践证明这种固井工艺是成功的。

### 5.2 其他技术措施

a. 选择合适的降密度剂, 常用的添加剂有般土、硅藻土、沥青粉、微珠和火山灰等密度小、吸水性较强的混合材料。具体配方由试验确定, 并确保水泥石强度达到固井设计要求。

b. 由前面分析可知,  $P_{\text{漏}}$  与地层裂隙直径的 4.8 次方成反比, 所以在低压漏失层和漏失量大的情况下可加入防漏剂, 它们可以是纤维状、颗粒状、薄片状的物质, 常用的有锯末、硬沥青、云母等。

c. 应尽量改善水泥浆的流动性能, 以利于水泥浆在低速低压下进入紊流状态, 提高注水泥质量。根据具体情况可加入适当的减阻剂。常用的减阻剂有  $\beta$ -萘磺酸甲醛缩合物(FDN)、木质素磺酸盐及铁铬木质素磺酸盐等。

d.  $P_{\text{循}} \propto Q^{1.8}$ , 所以在确保低返速能达到紊流状态下, 尽量采用较小的注水泥浆排量。

e. 加强简易水文观测和测井资料的分析工作, 以判别易发生压裂漏失的地层, 从而确定所用低密度水泥浆的数量和密度。

### 参考文献

- 1 黄汉仁, 杨坤鹏, 罗平亚. 泥浆工艺原理. 北京: 石油工业出版社, 1984
- 2 李世忠. 钻探工艺学, 中册. 北京: 地质出版社, 1989
- 3 刘希圣. 钻井工艺原理, 中册. 北京: 石油工业出版社, 1988
- 4 刘希圣. 钻井工艺原理, 下册. 北京: 石油工业出版社, 1988

(收稿日期 1999-01-12)