

# 漏失量较大地层“戴帽”固井技术

李砚智<sup>1,2</sup>, 张长茂<sup>1,2</sup>, 张平<sup>1,2</sup>

(1.河北省地矿局第三水文工程地质大队,河北衡水 053000; 2.河北省地热资源开发研究所,河北衡水 053000)

**摘要:**对漏失量较大的岩溶地层进行“戴帽”固井时,由于打完水泥浆后注入替浆水的过程中及后期稳定液面变化很容易造成水泥浆被稀释,前者直接导致固井失败,后者又受很多因素的影响导致重叠管环空内没有水泥浆或者被稀释而形不成水泥塞。本文主要从钻杆下入位置以及注入替浆水的过程中和后期稳定液面变化这几个方面总结“戴帽”固井的关键,并结合工程实例提出了一些人为控制方法来提高固井的成功率。

**关键词:**漏失地层;“戴帽”固井;压力平衡

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)07-0041-04

## Top fill cementing technology for large loss formation

LI Yanzhi<sup>1,2</sup>, ZHANG Changmao<sup>1,2</sup>, ZHANG Ping<sup>1,2</sup>

(1.No.3 Hydrological and Engineering Geology Team, Hebei Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Hengshui Hebei 053000, China;

2.Hebei Institute of Geothermal Resources Development, Hengshui Hebei 053000, China)

**Abstract:** In the top fill cementing process in karst strata with large leakage, the cement slurry is easy to be diluted due to the displacement fluid or changes in the stable liquid level. If it happens during the injection of the displacement fluid, cementing will fail; and if it happens after the injection, the cement slurry may not rise to the annulus of the overlapping casing or be diluted without forming the cement plug due to many factors. This paper summarizes the key technology of the top fill cementing process in view of the setting location of the drill string, and changes in the stable liquid level during and after slurry water injection. Based on the field cases, some artificial control methods are proposed to improve the success rate of cementing.

**Key words:** loss formation; top fill cementing; pressure balance

## 0 引言

在地热井开发过程中,固井的主要目的是保证套管的稳定性并封堵非目的含水层,使不同热储层的水相互隔离,相对于油气井的固井质量要求要简单的多,大多数的地热井表层套管以下技术套管的固井往往采用“穿鞋戴帽”的方式<sup>[1-2]</sup>,即技术套管的顶、底部只需一部分水泥浆柱就可以达到固井目的,考虑后期开采,水泥尽量少封固含水层。但是,对于漏失量较大地层的“戴帽”固井时,首先钻杆下入位置是成功的一个关键数据;其次注替浆水过程中泥浆泵排量小很容易导致水泥浆和水混合被稀释,致使水泥浆不能够凝固;再则水泥浆进入重叠管

之后导致水泥浆整体液柱压力增大加剧液面下降,当水泥浆进入地层后整体液柱压力下降又会导致液面回升,即水泥浆液柱压力是一个动态变化的过程,最终的稳定液面受很多方面的影响<sup>[3-5]</sup>。本文针对固井过程中钻杆下入位置及水泥浆被稀释导致固井失败的问题,总结“戴帽”固井的关键问题,并结合工程实例提出了一些人为控制方法来提高固井的成功率。

## 1 KM-01 井基本情况

KM-01 井位于牛驼镇凸起,设计井深 1600.00 m,井身井管结构如下:一开井深 0~

收稿日期:2019-03-27; 修回日期:2019-05-20 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.07.007

作者简介:李砚智,男,汉族,1972 年生,高级工程师,探矿工程专业,硕士,从事探矿工程技术及管理工作,河北省衡水市桃城区红旗大街 808 号地质大厦,Hbssdzgs@126.com。

引用格式:李砚智,张长茂,张平.漏失量较大地层“戴帽”固井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(7):41-44,50.

LI Yanzhi, ZHANG Changmao, ZHANG Ping. Top fill cementing technology for large loss formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(7):41-44,50.

400.00 m 下入  $\Phi 339.7$  mm 套管,二开 350.00 ~ 800.00 m 下入  $\Phi 244.5$  mm 套管,三开 750.00 ~ 1600.00 m 下入  $\Phi 177.8$  mm 套管, $\Phi 177.8$  mm 套管与  $\Phi 244.5$  mm 套管重叠 50.00 m。本井钻进至 810.00 m 钻井液失返,地层岩性为硅质白云岩,蓟县系雾迷山组的风化壳位置,漏失量大,从 810.00 m 后采用清水顶漏钻进,钻进过程中采用的泵量为 20~30 L/s,井口不返水,即三开雾迷山地层的漏失量在  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ (不同的泵量对应的井内水位不同)以上。本文所述“戴帽”固井指的是三开套管顶部的固井,即自深度 750.00 m 以深包括套管重叠位置及三开上部 50.00 m 井段。KM-01 井实际井身结构如图 1 所示。

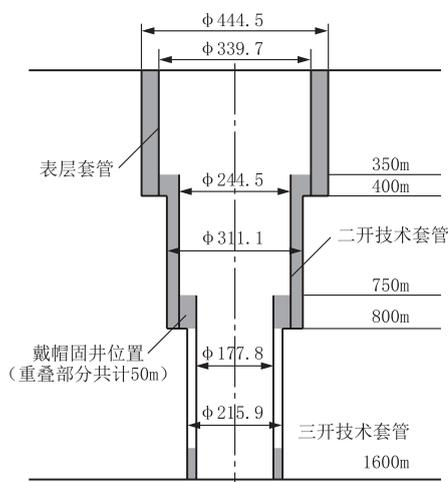


图 1 KM-01 井井身结构

Fig.1 Casing program of Well KM-01

## 2 三开“戴帽”固井过程分析

在介绍 3 次固井具体情况前,首先要归纳总结一个新的稳定液面及钻杆下入位置的计算公式,同时通过模拟打水水泥浆时井内水位抬升的高度来换算水泥浆下移的深度,或者在水泥浆刚出钻杆的时候停泵,使液面恢复至原平衡液面,以便确定钻杆下入位置,这在大漏失井段“戴帽”固井中是关键的一点。

$$h_1 = (\rho_m / \rho_w) h_m - h_m + h_0 \quad (1)$$

式中: $h_1$ ——新平衡液面深度, m; $h_m$ ——水泥浆柱在套管环空内高度, m; $h_0$ ——原平衡液面深度, m; $\rho_m$ ——水泥浆密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $\rho_w$ ——清水密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

钻杆下入位置受漏层的压力、漏失速度(漏失量)、漏层位置、三开套管下入的位置(三开套管顶深

度)、二开的套管和表层套管直径不同所致的每米的内容积的差别、泥浆泵排量等因素的影响<sup>[6-7]</sup>。其中漏失速度(漏失量)及泥浆泵排量决定了:固井时,当用泥浆泵泵送水泥浆至水泥浆刚要出钻杆时井内动液面的深度(或者说井内液面高出原净液面的高度),此时井内动液面的高度是确定钻杆下入位置的一个重要参数,这个液面高度可通过停泵的方式使其恢复至原平衡液面(停泵的过程中必须保证泵送管线不漏气),也可通过模拟打水水泥浆的方式获得<sup>[8-11]</sup>。当从一个稳定的静液面开始向井内泵送液体时,地层的漏失速度(漏失量)是一个逐渐增大的变量值,它是随着液面的抬升逐渐增大,当液面达到一个稳定的动液面时,漏失速度(漏失量)达最大;此时若泥浆泵的排量不能够再增大,将保持这样漏失速度的全排量漏失,因此,在打替浆水的过程中应该选择大于漏失量的泵量,且在打替浆水的过程中不能停顿,以尽量减小水泥浆被稀释<sup>[12-13]</sup>。针对上述因素,依照压力平衡的原理,在井内全部是清水的情况下,总结了一个钻杆下入位置的参考公式。

$$H = H_1 - H_2 - h_m + H_x \quad (2)$$

式中: $H$ ——钻杆下入位置, m; $H_1$ ——三开套管顶部的深度, m; $H_2$ ——理论上水泥浆柱下行距离[可根据不同套管环空容积差别具体调整,  $H_2 = (\rho_m / \rho_w) h_m \times 0.077 / 0.04$ ,  $h_m$ 、 $\rho_m$ 、 $\rho_w$ 同公式(1),即将  $\Phi 339.7$  mm 套管内液面下降值转换到  $\Phi 244.5$  mm 套管里水泥浆柱下行距离,考虑到  $\Phi 127$  mm 钻杆的影响], m; $H_x$ ——浮动系数,取值范围 20~30 m,考虑套管内预留水泥塞的高度。

### 2.1 第一次固井

井口未密封,稳定液面 136.00 m,注入 G 级水泥浆  $3.20 \text{ m}^3$ ,水泥浆密度  $1.80 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,注入替浆水  $4.00 \text{ m}^3$ ,此时理论计算稳定液面应为 200.00 m,水泥浆柱高度 80.00 m,液面稳定过程中将水泥浆柱下推 123.20 m,  $\Phi 127$  mm 钻杆下入深度 601.00 m,距离重叠管顶部 149.00 m,打完水泥浆后液面 136.00 m 上涨至 132.00 m,打完替浆水后水位下降至 186.00 m,由于液面下降速率过快,提出 4 个  $\Phi 127$  mm 钻杆立根,此时液面下降至 196.00 m,之后开始缓慢上涨,为控制液面上涨导致水泥浆上返,分 3 次从井口共计灌入清水  $4.00 \text{ m}^3$ ,最终液面稳定在 136.00 m,候凝 48 h 后下钻无水水泥塞,固井失败。

## 2.2 第二次固井

井口未密封,稳定液面 137.75 m,注入 G 级水泥浆 3.20 m<sup>3</sup>,水泥浆密度 1.80 g/cm<sup>3</sup>,注入替浆水 5.10 m<sup>3</sup>,此时理论计算稳定液面应为 201.75 m,水泥浆柱高度 80.00 m,液面稳定过程中将水泥浆柱下推 123.20 m,Ø127 mm 钻杆下入深度 569.00 m,距离重叠管顶部 181.00 m,本次打替浆水的过程中前 2.00 m<sup>3</sup> 替浆水是用单泵打,即打完 2.00 m<sup>3</sup> 替浆水理论上水泥浆刚出钻杆开始进入 Ø244.5 mm 套管内,此时剩余的 3.10 m<sup>3</sup> 替浆水采用双泵打,其液面变化见表 1,候凝 48 h 后下钻探塞,塞顶面 656.90 m,扫塞过程中根据钻压判断塞子不完整,扫至重叠管口时再次出现漏失,固井失败。

表 1 第二次固井过程中液面变化

Table 1 Liquid level changes in the second cementing

日期	时间	液面深度/m	液面变化值/m	关键节点
08-10	22:00	137.75	0	开始打水泥浆
	22:04	112.30	+25.45	打完水泥浆
	22:08	125.00	+12.75	单泵开始打替浆水
	22:09	119.15	+18.60	单泵打完 2 m <sup>3</sup> 替浆水
	22:11	114.90	+22.85	双泵打完 3.1 m <sup>3</sup> 替浆水
	22:30	198.37	-60.62	
	23:00	202.00	-64.25	提出 4 个钻杆立根
	24:00	186.00	-48.25	
08-11	8:30	174.50	-36.75	
	12:30	174.25	-36.50	基本稳定

## 2.3 第三次固井

井口未密封,稳定液面 138.00 m,注入 G 级水泥浆 3.50 m<sup>3</sup>,水泥浆密度 1.80 g/cm<sup>3</sup>,注入替浆水 4.50 m<sup>3</sup>,此时理论计算稳定液面应为 208.00 m,水泥浆柱高度 87.50 m,液面稳定过程中将水泥浆柱下推 134.75 m,Ø127 mm 钻杆下入深度 554.00 m,距离重叠管顶部 196.00 m,本次打替浆水的过程是直接双泵打完 4.50 m<sup>3</sup> 替浆水,其液面变化见表 2。候凝 48 h 后下钻探塞,塞顶面 739.72 m,至重叠管口 750.00 m 处都是完整的水泥塞,没有出现漏失,试压后确定固井成功。

## 3 固井难点分析

### 3.1 第一次固井失败原因分析

由于钻杆下入位置不合适及水泥浆被稀释导致固井失败。打完水泥浆后液面为 132.00 m,此后开始打替浆水的过程中液面一直下降,至 186.00 m 替浆水打完,在这个过程中,随着水泥浆被顶出钻杆

表 2 第三次固井过程中液面变化

Table 2 Liquid level changes in the third cementing

日期	时间	液面深度/m	液面变化值/m	关键节点
08-13	18:35	138.00	0	开始打水泥浆
	18:39	87.40	+50.60	双泵开始打替浆水
	18:42	79.80	+58.20	打完替浆水
	19:30	202.40	-66.40	提出 12 个钻杆立根
	21:30	208.00	-70.00	提出 17 个钻杆立根
	23:00	207.88	-69.88	
08-14	2:00	207.70	-69.70	水泥 2 h 稠化期已过,水位基本稳定
	7:00	207.36	-69.36	

后进入 Ø244.5 mm 套管内原压力平衡状态被打破,造成液面快速下降,此时水泥浆被稀释,理论上计算 132.00~186.00 m 液面下降过程中有 3.67 m<sup>3</sup> 清水和水泥浆混合,此时水泥浆过度被稀释导致失效,而后期灌入清水的过程又导致水泥浆最终全部进入地层,最终液面恢复至 136.00 m 正好验证了理论推测,即水泥浆被稀释后且全部被压入地层后造成稳定压力恢复到原来的平衡,所以液面会缓慢上涨最终恢复至 136.00 m。

### 3.2 第二次固井失败原因分析

失败的原因主要是泵送水泥浆时排量小,水泥浆和水混合造成水泥浆被稀释,水泥浆不能够凝固。从最终扫水泥塞的过程来看,顶出的水泥浆是被稀释的,即没有顶出完整的水泥塞。钻杆下入位置为 569.00 m,水泥塞顶面 656.90 m,48 h 后扫塞过程中小泵量上返,水泥塞断断续续有,需加压回转,钻具才能下放,水泥塞为虚塞。扫塞接近三开套管顶时(750.00 m)井口失返,但井内水位 30.00 m,比以前高了不少,地层漏失量较少,说明 750.00~800.00 m 套管重叠部分的环空及部分地层的裂隙中也有水泥浆,不过是稀释了的水泥浆,没有形成真实的水泥塞;3.20 m<sup>3</sup> 水泥浆在 Ø244.5 mm 套管内理论上最多能形成 80.00 m 的真实水泥塞(实际由于两头混浆能形成 70.00 m 就不错),虽然不成功,但对地层起到了一定的堵漏作用,漏失量减小了,对下一次减少混浆很有利。

### 3.3 第三次固井成功原因分析

在前两次固井的基础上,第三次固井采用了双泵打替浆水的方式来解决水泥浆被稀释的问题,从表 2 液面变化的情况来看,打完替浆水液面下降至 208.00 m 后基本上就稳定住,不再出现返水导致液面大幅度上涨的现象。理论上来说,当 Ø244.5 mm

套管内水泥浆进入重叠管后,其造成液柱压力增大,原平衡被破坏,加剧液面下降,当重叠管环空全部充满水泥浆的时刻是整体液柱压力最大的时刻,此后随着部分水泥浆进入地层,整体液柱压力将变小,此时,理论上就会出现地层水回流,这样就出现一个后期水泥浆被稀释的问题,最终水泥浆被稀释的程度及被顶出的总量与地层渗透性及水泥浆的稠度及凝固状态有很大关系。在第三次固井过程中同样出现了回流现象;提出12个钻杆立根后水位是202.40 m,假如此时液面不变,随后又提出17根钻杆立根后,理论上液面应下降10.00 m,而实际上液面仅下降了5.60 m,这中间的差值就是地层回流的量,约为 $0.35 \text{ m}^3$ ,这个量要小于重叠管环空总量 $0.78 \text{ m}^3$ ,即环空内水泥浆不会被全部顶出或稀释,这样就保证了环空内有完整的水泥塞。

同时,从3次固井的实际情况来看,其最终稳定液面的位置与实际的钻杆下入深度与理论公式计算的数值存在一定误差(见表3)。这里面受水泥浆被稀释、人为操作以及计算误差等多方面的影响,因此,在实际操作过程中,应尽量保证数值计算的准确,加强人为操作上的合理性与严谨性<sup>[14-15]</sup>。

表3 3次固井过程中理论计算值与实际值对比

Table 3 Comparison of theoretical calculation values and actual values in three cementing processes

次序	理论稳定液面深度/m	按公式计算的钻杆下入位置/m	实际稳定液面深度/m	实际钻杆下入深度/m	结果
一	200.00	566~576	136.00	601.00	失败(钻杆下入位置不合适)
二	201.75	566~576	174.25	569.00	失败(混浆造成失败)
三	208.00	547~557	207.36	554.00	成功

## 4 结论

(1)利用压力平衡原理,进行漏失地层的固井,确保套管内形成完整实水泥塞,固井才能成功。

(2)打替浆水时应选择大于地层漏失量的泵量,避免打替浆水的过程中水泥浆被稀释。

(3)应从理论上计算注入水泥浆后新的稳定液面,并结合理论上预留水泥塞高度确定合理的钻杆下入深度,以防水泥浆被全部压入地层。

(4)大漏失量地层“戴帽”固井先对地层进行堵漏,达到一定的堵漏效果,减小地层的漏失速度,在下一次的固井中能大大减少水泥浆的混浆,有利于

形成密实的水泥塞。

(5)可以尝试对水泥浆添加速凝剂,减小水泥浆凝固的时间,有利于提高固井成功率。

(6)尽量保证理论数值计算的准确性,加强人为操作过程中的合理性与严谨性。

## 参考文献(References):

- [1] 陶士先,刘四海,胡继良.地质钻探堵漏新技术的初步研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(11):13-16.  
TAO Shixian, LIU Sihai, HU Jiliang. Preliminary study on control of lost circulation for the geological drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(11):13-16.
- [2] 马忠平,庞海,王艳宏,等.天津地区地热钻井及成井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(12):9-11.  
MA Zhongping, PANG Hai, WANG Yanhong, et al. Geothermal well drilling and completion in Tianjin Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(12):9-11.
- [3] 孙庆春.东胜气田刘家沟组井漏与堵漏措施分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):53-56.  
SUN Qingchun. Analysis on plugging measures for leakage in Liujiagou Formation of Dongsheng Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(2):53-56.
- [4] 陈星星.涪陵页岩气田防漏堵漏技术应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(3):11-14.  
CHEN Xingxing. Application research on lost circulation prevention and plugging in Fuling Shale Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(3):11-14.
- [5] 林强,胡萍,作伟,等.低压易漏裸眼井段技术套管固井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(7):10-12.  
LIN Qiang, HU Ping, WU Wei, et al. Application of intermediate casing well cementing technology for open hole interval in low pressure and lost circulation formation [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009,36(7):10-12.
- [6] 马艳超.龙凤山气田易漏失井固井工艺技术研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(6):58-61.  
MA Yanchao. Research and application of cementing technology for absorption well of Longfengshan Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(6):58-61.
- [7] 闫吉曾.红河油田低压易漏地层水平段固井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):40-45.  
YAN Jizeng. Horizontal well cementing technology for low pressure and leakage formation in Honghe Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(5):40-45.