

# 若尔盖铀矿田漏失层空心微珠泥浆试验研究

吴金生<sup>1</sup>, 董洪栋<sup>2</sup>, 张统得<sup>1</sup>, 刘卫东<sup>3</sup>

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734; 2. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 3. 四川省核工业地质局, 四川 成都 610021)

**摘要:**若尔盖铀矿是我国四大基本类型铀矿田之一, 矿层为灰岩、硅灰岩, 圈团状纵向裂隙发育, 长孔段失返性全漏失, 泥浆性能难以维护, 孔壁失稳, 堵漏花费大量的人力、物力。为提高钻进效率, 针对地层漏失机理, 通过降低漏失压力实现平衡钻进, 分别开展了空气泡沫、微泡沫泥浆以及空心微珠等低密度泥浆体系的研究和试验。实践表明, 空心微珠低密度泥浆体系是一种适合若尔盖铀矿田漏失层钻进的泥浆体系。

**关键词:**空气泡沫; 微泡沫泥浆; 空心微珠泥浆; 漏失层; 岩心钻探

**中图分类号:** P634.6      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-7428(2016)03-0009-04

**Experimental Study on Cenosphere Mud for Leakage Zone of Ruorgai Uranium Ore Field/** WU Jin-sheng<sup>1</sup>, DONG Hong-dong<sup>2</sup>, ZHANG Tong-de<sup>1</sup>, LIU Wei-dong<sup>3</sup> (1. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 3. The Nuclear Industry Geological Survey of Sichuan, Chengdu Sichuan 610021, China)

**Abstract:** Ruorgai uranium deposit is one of the four basic types of uranium ore fields in China, the formations are limestone and silicon limestone with the development of groups longitudinal fissures. There was no mud return while drilling in such kind of formation because of the total lost circulation. It was very difficult to maintain mud properties and borehole stability and a lot of manpower and material resources were spent on this. Based on the analysis on the mechanism of lost circulation, a technical measure was put forward. The basic idea is to reduce leakage pressure for balanced drilling. The research and experiments were carried out on air bubbles mud, micro-bubble mud and cenospheres mud systems. The practice shows that the cenospheres low-density mud system is suitable for drilling operation in Ruorgai uranium ore field.

**Key words:** air bubble; micro foam mud; cenosphere mud; leakage zone; core drilling

## 1 选题依据与研究意义

若尔盖碳硅泥岩型铀矿田是我国四大基本类型铀矿之一, 成矿条件特别优越, 成矿深度大, 是我国西部最大的经济性好的硬岩型铀矿田, 也是目前我国硬岩型保有储量最大的铀资源大基地, 已纳入国家“358”的整装勘查范围。

若尔盖铀矿田位于西秦岭褶皱带的南亚带, 区内断裂构造十分发育。矿层岩性为灰岩、硅灰岩, 性脆、碎, 纵向裂隙发育, 呈条带状和网状分布, 岩心表面有裂缝与溶蚀孔洞(见图1), 裂缝宽0.1~1.5 cm, 线裂隙率134~165条/m, RQD值低, 为7%~14%。若尔盖地层漏失为圈团状纵向裂缝漏失, 大多为长孔段失返性全漏失, 同时岩石松散破碎, 值得注意的是, 该矿层越破碎松散, 漏失越严重, 矿体品位越高。



溶蚀孔洞



圈团状裂缝

图1 严重漏失地层岩心

因此, 漏失是若尔盖铀矿钻探技术难题, 堵漏难度

收稿日期: 2015-12-21; 修回日期: 2016-01-13

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“高原生态环境脆弱区综合钻探技术应用示范(四川省若尔盖碳硅泥岩型铀矿地质调查)”(编号: 12120113017200)

作者简介: 吴金生, 男, 汉族, 1970年生, 教授级高级工程师, 地质工程专业, 工学博士, 主要从事钻探技术及科学钻探研究工作, 四川省成都市郫县成都现代工业港(北区)港华路139号, 542768373@qq.com。

大,且堵漏后继续向下钻进时又漏失,花费大量的人力、物力,影响钻进台月效率。

为此,中国地质科学院探矿工艺研究所和四川省核工业地质局联合实施了地质调查项目——高原生态环境脆弱区综合钻探技术应用示范。集成创新多项钻探技术成果,综合解决若尔盖钻探技术难题。形成了一套适合恶劣地理条件和复杂地层条件的钻探技术体系。其中漏失层钻进和快速堵漏技术为该钻探技术体系研究内容之一。

## 2 若尔盖铀矿田钻孔漏失机理分析

漏失压力是使钻孔中冲洗液进入地层漏失通道所需的最低压力,其值等于地层孔隙压力与冲洗液在地层漏失通道中流动时的压力损耗之和。漏失压力大小的变化主要取决于地层孔隙压力、天然漏失通道大小、形态与漏层厚度、冲洗液流变性能、漏失通道流体的流变性、漏失层孔壁地层内外泥饼质量。

若尔盖铀矿田为灰岩、硅灰岩地层,为碳酸盐层自然通道漏失,强烈的构造运动产生纵横交错的裂缝,地层中有孔隙、裂缝或溶洞,最大裂缝宽度为1.5~2 cm,存在漏失通道;同时地层孔隙中的流体压力小于冲洗液液柱压力,地下水位高度在孔内30~150 m范围内,在正压差作用下,发生漏失。

为降低漏失压力,采用低密度泥浆进行漏失层钻进。低密度泥浆在孔内对漏失层的静液柱压力 $P_1$ 必须与漏失层地下水压力 $P_2$ 平衡,即低密度泥浆密度为:

$$\gamma_1 \leq (H - L) / H$$

式中: $\gamma_1$ ——低密度泥浆密度, $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $H$ ——漏失层孔深,m; $L$ ——孔口静水位深度,m。

## 3 空气泡沫钻进试验

2013年,首先采用低密度、高悬浮能力的空气泡沫钻进。空气泡沫属于低密度介质,远远小于静水压力,具有较大的表面张力以及较强的悬浮和携带岩粉能力,因此,空气泡沫钻进在易漏失地层具有较强的防漏堵漏效果。

空气泡沫增压选用吉林大学研制的BWZ-320/50型增压泵。空压机选用LG2.3/13螺杆式空压机,泡沫泵选用PB-30型泵,还配备消泡装置、孔口旋转密封装置等。

泡沫液通常由发泡剂、稳泡剂、其他添加剂及清

水组成。选用ADF-3作为泡沫剂,HV-CMC作为稳泡剂,添加NRH和KCl。其具体配方为:清水+0.3% HV-CMC+1% KCl+2% NRH+0.5% ADF-3。按照此配方配制的泡沫液具有良好的稳定性、流变性、易生物降解等性能,又能起到稳定孔壁的作用。

在ZK8-5孔中进行了试验,孔深从295.87~306.12 m,进尺10.25 m,岩心采取率97.1%。试验时均能建立循环正常钻进,说明空气泡沫钻进适用于漏失层钻进。但该地层地下水丰富,破坏空气泡沫体系,且泡沫与地下水一并排出地表,对环境造成污染,被迫停止试验。

## 4 微泡沫泥浆钻进试验

2014年,继续探索漏失层钻进方法,采用微泡沫低密度泥浆体系,通过泡沫发生器在泥浆中加入微泡沫,改变循环介质的密度,降低泥浆的液柱压力,利用微泡沫吸附、充填、封堵较小裂隙,另外,泡沫在孔壁表面形成泡沫吸附壁,由于泡沫吸附壁的存在,泡沫泥饼具有独特的微观结构和良好的粘弹性、疏水性,使自由水向孔壁渗透受到排斥和阻碍,抑制孔壁的水化,维护孔壁的稳定。

微泡沫泥浆是在原钾石灰-聚磺泥浆体系的基础上,添加发泡剂ADF-3,通过自制泡沫发生器进行发泡,形成微泡沫泥浆。先配制好基浆→向基浆中加入0.01%发泡剂搅拌均匀→通过砂泵将泥浆送至泡沫发生器,同时用空压机向泡沫发生器充入空气→待观察泥浆中泡沫均匀致密,且密度符合要求时停止充气→泡沫泥浆制备完成→将微泡沫泥浆通过泥浆泵泵入孔内正常钻进施工。主要设备材料包括LG-2.3/13型空压机、泡沫发生器、ADF-3发泡剂等。同时配备TDS-100B超声波液体流量计,LUGB-DN40涡街气体流量计。

在ZK4-1孔中进行了微泡沫泥浆试验,孔深218.41 m,漏失量 $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$ ,试验进尺10.50 m。但高原气压低,发泡不均匀,稳泡效果差等,在孔深228.91 m停止了试验。

## 5 空心微珠泥浆钻进试验

2015年,需寻求新的思路实现低密度泥浆进行漏失层钻进,以性能优良的空心玻璃微珠和聚合物空心微珠(密度为 $0.32 \sim 0.6 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,抗压强度为14

~124 MPa) 作为密度减轻剂,形成低密度泥浆体系。使用减轻剂配制低密度泥浆不需要特殊设备,在常规泥浆中加入密度减轻剂搅拌均匀即可使用,配置维护比较简单;具有可回收性,适应性也最广。近几年国内油田公司应用中空玻璃微珠来降低钻井液密度,取得了良好的防漏效果。

### 5.1 悬浮稳定性

由于空心玻璃微珠的真密度非常小,且它不溶于水,当把它加入清水乃至基浆中后,短时间内就会漂浮起来,会在泥浆表面形成致密的一层,导致泥浆的性能迅速变坏。膨润土中含有亲水基团 -OH,使得它在水溶液中具有优良的分散性和悬浮性及粘结性,在一定浓度范围内,表现出优良的触变性。基于膨润土的良好性能,我们考虑在泥浆中添加膨润土来调节空心玻璃微珠的悬浮稳定性。

泥浆在膨润土不同加量的下,静置一定时间后,其对空心玻璃微珠悬浮的影响见表1。静置 12 h 后分层情况如图 2 所示,从左向右,泥浆中膨润土的加量依次为 0%、1%、2%、3%、4%、5%。

表 1 不同加量膨润土对空心玻璃微珠悬浮性能的影响

膨润土加量/%	分层时间	完全浮起时间
0	1 min 内	1 min
1	3 min	5 min
2	3 min	10 min
3	5 min	15 min
4	12 h 内未分层	24 h 内未见大量浮起
5	12 h 内未分层	24 h 内未见大量浮起

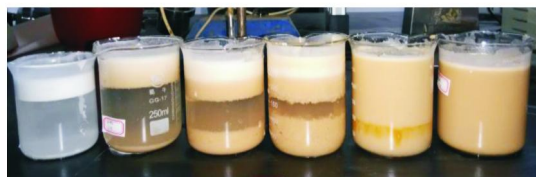


图 2 泥浆静置 12 h 后分层情况

当泥浆中膨润土的加量  $\geq 4\%$  时,泥浆在 12 h 内未见分层现象,空心玻璃微珠也未见大量浮起,对空心玻璃微珠起到较好的悬浮稳定效果。但膨润土的加量增大时会影响泥浆的密度和流变性,因此,膨润土的加量以 4% ~ 5% 为宜。

### 5.2 流变性及滤失性

为了调节泥浆的流变性,增加泥浆携带岩屑的能力,在泥浆中加入 HV - CMC,同时漏斗粘度应控制在 40 s 以内,HV - CMC 加量为 0.15% 时可满足

要求。

空心玻璃微珠低密度泥浆体系降低地层漏失压力,进行漏失层钻进,还需具有防塌功能,防止井壁失稳。因此,考虑在泥浆中加入具有降滤失作用的腐殖酸钾,它对泥浆的降失水作用明显,漏斗粘度也有一定的下降,其它性能几乎不受影响。实验表明,腐殖酸钾的加量不宜过多,以 0.5% ~ 1% 为宜。

### 5.3 密度调节控制

根据漏失层平衡钻进原理,测定孔口静水位深度,确定低密度泥浆密度。将密度为 0.30 ~ 0.35 g/cm<sup>3</sup> 的空心玻璃微珠加入基浆中,测试其加量对泥浆密度的影响。

从图 3 中可以看出,加入空心玻璃微珠后基浆的密度下降明显,并且加量越大,泥浆密度越低。因此空心玻璃微珠的优点就是在一定范围内任意调整泥浆密度。受泥浆粘度和悬浮能力控制,应限制空心玻璃微珠的加量,一般来说,空心玻璃微珠的加量不宜超过 30%。

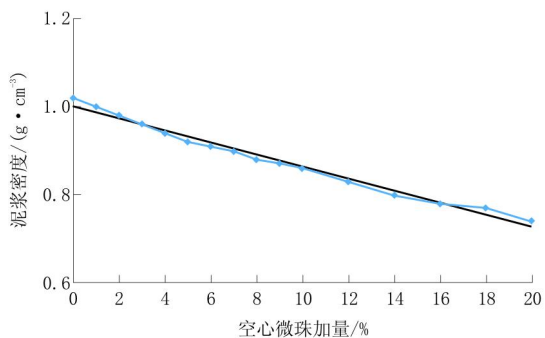


图 3 空心玻璃微珠对泥浆密度的影响

### 5.4 回收再利用

由于空心玻璃微珠用量大,配浆成本相对较高,能否回收再利用成为制约空心玻璃微珠泥浆能否推广应用的重要因素。当空心玻璃微珠回收率为 50% ~ 100% 时,空心玻璃微珠泥浆的成本才能与常规水基泥浆的成本相当。

在水基泥浆中回收空心玻璃微珠,可以采用加水稀释破坏流体流变性能,回收率和最后的回收量随着稀释量的增加而增加,该方法在现场十分适用。

### 5.5 野外试验情况

在若尔盖 ZK12 - 1 孔中进行试验,孔深 693.82 m,静止水位 46 m,钻孔漏失量为 0.6 m<sup>3</sup>/h。根据漏失压力公式计算,泥浆密度控制在 0.93 g/cm<sup>3</sup> 左右。在现有钾石灰 - 聚磺泥浆体系(密度为 1.05 g/



$\text{cm}^3$ )的基础上,按照泥浆:水=10:1的比例稀释,稀释过程中可将低密度泥浆所需的空心玻璃微珠、膨润土、碳酸钠、腐殖酸钾等材料按一定比例加入。

在现场泥浆的基础上配制而成的低密度泥浆,性能参数为:密度 $0.93\text{ g/cm}^3$ 、漏斗粘度 $60\text{ s}$ 、表观粘度 $32\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 、动塑比 $0.56$ 。泥浆静置 $12\text{ h}$ 后,测试上层密度为 $0.92\text{ g/cm}^3$ ,下层密度为 $0.94\text{ g/cm}^3$ 。可以看出,玻璃微珠未发生明显的漂浮现象。

现场操作时,将一部分原浆放入搅罐内,同时放入少量的清水,每罐加入的清水量可按照现场情况而定。一般每罐( $0.25\text{ m}^3$ )加入 $50\text{ kg}$ 清水即可。在稀释过程中,可将其他材料分批加入,全部搅拌均匀后即可放入泥浆池,如图4所示。



图4 现场配制泥浆

空心玻璃微珠低密度泥浆体系在若尔盖铀矿田ZK12-1孔中进行漏失层钻进试验,未出现漏失与井壁垮塌,试验进尺 $33.23\text{ m}$ ,直至该孔终孔,试验达到了预期的效果。

## 6 漏失层钻进应用效果及意义

采用空气泡沫进行漏失层钻进,泡沫与地下水一并排出地表,污染高原生态环境;采用微泡沫泥浆进行漏失层钻进,因高原气压低稳泡效果差,发泡不

均匀。因此以上2种漏失层钻进试验都被迫停止。2015年,采用空心微珠低密度泥浆进行漏失层钻进,泥浆密度调整方便,稳定性好,不影响泥浆护壁性能,且可回收,满足若尔盖铀矿田漏失层钻进要求,具有重要的社会经济和地质意义。

### 6.1 社会经济意义

采用空心微珠低密度泥浆进行漏失层钻进,无需采用水泥和其他堵漏材料反复堵漏,节省了大量时间,大大提高了钻进台月效率。这一成果为漏失层钻进提供了新的思路,具有经济性和实用性,为国家能源资源战略——铀矿找矿突破提供重要技术支撑,在漏失层地区起到了示范与推广作用。

### 6.2 地质意义

铀矿勘探主要通过测井来计算储量,采用水泥堵漏会干扰铀矿储量计算。因此,在铀矿勘探中,一般不建议采用水泥封堵。采用空心微珠低密度泥浆进行漏失层钻进,不仅提高了钻进台月效率,而且不需要采用水泥等材料进行堵漏,这对找矿效果和提提高储量级别都有特别重要的意义。

### 参考文献:

- [1] 李前贵,李旭东,贾军,等.汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-2孔防漏固井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9).
- [2] 徐同台,刘玉杰,申威,等.钻井工程防漏堵漏技术[M].北京:石油工业出版社,1997.
- [3] 王建学,万建仓,沈慧.钻井工程[M].北京:石油工业出版社,2011.
- [4] 李世忠,等.钻探工艺学[M].北京:地质出版社,1992.
- [5] 鄢捷年,等.钻井液工艺学[M].山东青岛:中国石油大学出版社,2006.
- [6] 刘汝山,曾义金,等.钻井井下复杂问题预防与处理[M].北京:中国石化出版社,2008.
- [7] 吴金生,张伟,刘卫东,等.若尔盖铀矿田定向钻进技术研究及应用[A].中国地质学会探矿工程专业委员会.第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集[C].北京:地质出版社,2015.
- [8] 刘卫东.若尔盖碳硅泥页岩型铀矿钻探工作回顾与技术对策[A].中国地质学会探矿工程专业委员会.第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集[C].北京:地质出版社,2015.
- [9] 徐朝伟,陈礼仪,王胜,等.若尔盖铀矿勘探钻孔堵漏技术研究与应用[J].西部探矿工程,2014,(5).