

# 云南罗平复杂地层煤矿勘查泥浆体系的研究与应用

徐 铮<sup>1</sup>, 陈礼仪<sup>1</sup>, 章 述<sup>2</sup>, 王新华<sup>2</sup>, 管强盛<sup>1</sup>, 邹 杰<sup>1</sup>

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059; 2. 四川省煤田地质局 137 地质队, 四川 达州 635006)

**摘 要:** 云南省曲靖市罗平县红丫口煤矿勘探项目临近大断裂带, 受多期构造地质作用影响, 走向逆断层发育, 且发育有横向平移断层和少量正断层。地层受挤压变形严重, 岩层倾角普遍较大, 局部直立至倒转, 地层破碎。上部漏水严重, 下部钻遇多条断层破碎带以及煤系地层, 造成钻进效率低下, 钻孔事故频繁, 甚至钻孔报废, 严重影响勘查工作的顺利进行。针对这一系列的施工难题, 经过多次研究和反复试验, 探索出一种适合该矿区煤矿勘察复杂地层钻进的泥浆, 保障了勘查项目的顺利完成。

**关键词:** 勘查; 泥浆; 应用研究; 罗平煤矿

**中图分类号:** P634.6    **文献标识码:** B    **文章编号:** 1672-7428(2014)03-0029-04

**Research on Mud System for Coal Exploration in the Complex Strata of Luoping and the Application/XU Zheng<sup>1</sup>, CHEN Li-yi<sup>1</sup>, ZHANG Shu<sup>2</sup>, WANG Xin-hua<sup>2</sup>, GUAN Qiang-sheng<sup>1</sup>, ZOU Jie<sup>1</sup>** (1. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. No. 137 Team of Sichuan Coalfield Geology Bureau, Dazhou Sichuan 635006, China)

**Abstract:** Hongyakou coal exploration project in Luoping County of Yunnan Province is located near the fault zone. Influenced by multiphase tectonic geological processes, parallel thrusts, lateral strike-slip faults and a small amount of normal faults developed. There are serious deformations by extrusion, large strata inclination and even with local upright to inverted and broken strata. According to the low drilling efficiency and frequent accidents caused by severe upper leakage and drilling to the fault fracture zones and coal-bearing strata, the researches and tests were made to explore the mud suitable for complex strata drilling of coal exploration in this coal mine.

**Key words:** exploration; mud; application research; Luoping coal mine

## 1 概述

云南省曲靖市罗平县红丫口煤矿矿区位于扬子准地台西南部的滇东台褶带, 曲靖台褶束, 富源凹褶。区域上位于富源-弥勒大断裂东侧, 因受多期构造运动的叠加作用, 形成了多种型式的构造形变, 留下了性质不同、规模不等、方向不一的构造形迹。本区域断裂异常发育, 北东向断裂明显, 南北向构造穿插, 并对沉积特征、岩浆活动起了一定的控制作用。矿区表层缓坡及沟谷地段多被垦植为农田、旱地, 陡坡段多为灌木林覆盖, 地形地貌属中等复杂的第四系(Q<sub>4</sub>)地层, 下部地层为全隐蔽地层, 根据已有的钻探岩心资料得出勘查区地层由老至新依次为: 二叠系上统峨眉山玄武岩组(P<sub>2</sub>β)、宣威组(P<sub>2</sub>x), 三叠系下统卡以头组(T<sub>1</sub>k)、飞仙关组(T<sub>1</sub>f)、永宁镇组(T<sub>1</sub>y), 中统个旧组(T<sub>2</sub>g)及第四系(Q<sub>4</sub>)。岩性可分为灰岩、砂岩、泥质粉砂岩、泥页岩和粘土几大类。本区含煤地层为二叠系上统宣威组(P<sub>2</sub>x), 总厚度约 180 m, 煤线几十条。在钻进过程

中主要遇到的复杂地层为三叠系下统卡以头组(T<sub>1</sub>k)砂岩的较大倾角破碎段、断层泥和煤系地层。

## 2 钻遇复杂地层特点

### 2.1 三叠系下统卡以头组(T<sub>1</sub>k)地层

三叠系下统卡以头组(T<sub>1</sub>k)地层厚约 120 m。上部为绿灰色中厚层状泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩; 下部为灰绿色泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩; 底部夹细砂岩透镜体, 黄铁矿晶粒, 含瓣鳃类动物化石。岩性以薄~中厚层状粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、泥岩为主, 夹煤层和砂岩透镜体, 软质岩, 可塑性强, 岩石致密, 除地表浅部风化裂隙发育外, 随深度增加风化裂隙减少, 地层隔水性强。但由于本区的断层多, 构造地质作用复杂, 岩层受多次地应力的挤压变形, 使得岩层倾角较大而且微裂隙发育, 在钻进过程中钻机的震动、钻具的扰动和水渗透进入微裂隙破坏胶结让岩石结构性减弱, 容易造成机械破碎, 造成堵心、掉块、卡钻的现象。

收稿日期: 2013-12-03

作者简介: 徐铮(1987-), 男(汉族), 四川达州人, 成都理工大学硕士研究生在读, 地质工程专业, 研究方向为岩土钻掘工程, 四川省成都市成华区成都理工大学-银 2-326 寝室, 330864949@qq.com。

## 2.2 断层带地层

该区受多期构造地质作用,钻遇多条断层,断层形成的断层泥给钻进造成了多种问题。断层泥的形成与断裂带有紧密关系,有关学者研究表明,它是由断层运动时断层附近的岩石在摩擦滑动引起的高温下蚀变而形成的。也就是说,断层泥的形成过程是断层岩石角砾化碎屑物由粗变细的过程<sup>[1]</sup>。假设环境条件不变,碎屑物的粒度将随着断层的滑移逐渐变小,一般不会随着断层位移的增大而一直变小,当小到一定的粒度时就趋于均匀不变。断层泥主要为层状硅酸盐矿物(如高岭石、伊利石、绿泥石和蒙脱石等),由于这种岩石的矿物成分决定了在钻探过程中容易在围岩高应力作用下压缩钻孔缩径、遇水后容易水化膨胀缩径、岩层本身含泥岩层造浆增粘、包钻等问题。

## 2.3 煤系地层

矿区煤系地层在沉积成煤的过程中,由于多重构造地质作用,使得煤系地层岩层多为粉煤层,块状煤较少,结构松散、破碎、具有极强的水敏性,遇水易膨胀。局部地段由于岩层倾角较大,单层煤层厚度比较大,在钻进过程中有时会钻遇厚粉煤层(几米到几十米不等)。在ZK5-3号孔就出现了钻遇厚达6.56、16.66、7.2、17.18、60.29 m的多条单层粉煤。出现了进入煤系就垮塌,取岩心困难、反复扫孔不到底,时有越扫孔越浅至报废孔等现象。给正常钻进造成了很大的困难。

## 3 矿区复杂地层对泥浆性能的要求

### 3.1 适当的密度<sup>[5]</sup>

当地层在被钻开之前,孔壁在受原有地应力(如上覆岩层的压力、水平方向围岩的压力和岩层之间的空隙压力和水压力)作用处于相对平衡稳定的状态。孔眼被钻开以后地应力被释放,孔内泥浆作用于孔壁的压力取代了所钻岩层原先对孔壁岩石的支撑,破坏了地层和原有的应力平衡,引起孔壁周围应力的重新分布<sup>[6]</sup>。结合现场实际情况,宜采用适量增大膨润土的加量或者加入加重剂来提高密度,从而使钻井液在孔内的液柱压力与地层压力达到相对平衡稳定,防止围岩压力作用挤垮孔壁、造成掉块、卡钻等事故的发生。

### 3.2 较低的失水量<sup>[5]</sup>

钻遇第四系地层、泥页岩地层或者松散、较破碎地层时,如果泥浆滤液渗入地层就会破坏原有岩层颗粒之间的胶结状态,加上长时间浸泡使岩石水化

膨胀和分散,机械强度降低,造成垮塌、水化膨胀缩径。因此,可以加入具有抑制泥页岩效果的聚合物如磺化沥青和KHm类物质,磺化沥青中由于含有磺酸基团,水化作用很强,当吸附在泥页岩晶层断面上时,可阻止泥页岩的水化分散<sup>[5]</sup>。同时,KHm中的 $K^+$ 可以通过镶嵌或晶格固定使蒙脱石水化能力减弱,有利于减弱泥页岩的水化渗透,从而起到抑制和降失水的效果<sup>[7]</sup>。

### 3.3 很好的护壁防塌性能以及携沙、沉沙效果

泥浆中加入适量的磺化沥青、KHm和高聚物(水解聚丙烯酰胺、水解聚丙烯腈—铵盐)。磺化沥青能在孔壁形成一层憎水膜,阻止泥页岩水化分散,稳定井壁;KHm中的 $K^+$ 能进行离子交换和晶格固定,交换后的 $K^+$ 嵌入六方晶格,封闭了水溶液破坏泥页岩颗粒之间的结合力的通道<sup>[8]</sup>。由于含有一定数量的吸附基团( $-CONH_2$ ),与粘粒表面上的氧化氢键吸附,增强粘粒表面的静电斥力,从而提高粘粒的聚结稳定性。同时高聚物还通过 $-CONH_2$ 和 $-COONa$ 的氧与粘粒断键边缘上的 $Al^{3+}$ 或 $-OH$ 吸附,使高分子链包围粘粒产生护胶作用。另一方面能使分子链比较伸展并吸附多个粘粒形成结构网。起到很好的护壁作用<sup>[9]</sup>。泥浆中加入适量造浆的膨润土和一系列的化学处理剂后,使得泥浆具有适宜的表观粘度、塑性粘度和动切力,能稳定孔壁的同时还能较好地携带的岩屑排除和沉淀。

## 4 泥浆方案

经过反复试验研究,结合罗平矿区的复杂地层情况,选出了适合该区复杂地层钻探施工泥浆方案。

### 4.1 方案一:聚丙烯酰胺无固相泥浆

聚丙烯酰胺无固相泥浆是目前绳索取心钻进中常用的冲洗液类型之一,这类泥浆具有较好的絮凝作用,并有一定的护壁作用,能较好地控制泥浆密度和固相含量,加入一定的润滑剂能满足绳索取心钻进开高转速的要求。适宜在较完整、完整砂岩地层使用。

泥浆配方:0.2%聚丙烯酰胺(PHP)。

泥浆性能:维持漏斗粘度在22~25 s之间。

### 4.2 方案二:磺化泥浆

在浅孔段,钻遇较为复杂地层时,为了解决好复杂地层钻进护壁防塌问题,减少孔内事故,提出了一种简单的防塌泥浆体系,即依靠磺化沥青的防塌性来实现稳定孔壁的目的。

(1)基浆:4%~6%钙基膨润土+纯碱(粘土质

量的5%);

(2) 泥浆配置方案:基浆 + 0.3% CMC + 50 ~ 100 ppm PHP + 1% ~ 2% 防塌沥青 + 0.5% ~ 1% KHm + 1% ~ 1.5% 水解聚丙烯腈—铵盐。该泥浆体系的室内试验性能指标为:漏斗粘度 30 s, 密度  $1.04 \text{ g/cm}^3$ , 表观粘度  $23 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ , 塑性粘度  $16 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ , 动切力  $6.8 \text{ Pa}$ , 动塑比 0.42, 失水量  $8 \text{ mL}/30 \text{ min}$ , 泥饼厚  $0.5 \text{ mm}$ , pH 值 9。

表1 泥浆室内、现场性能指标

	漏斗粘度 /s	密度 /( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	表观粘度 /( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )	塑性粘度 /( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )	动切力 /Pa	动塑 比	失水量 /( $\text{mL}\cdot(30 \text{ min})^{-1}$ )	泥饼厚 /mm	pH 值
室内	33	1.06	25.5	18	7.67	0.45	2	0.5	9
现场	38	1.12	39	25	13.31	0.57	4	0.5	9

上述配置方案在实际运用过程中,根据钻遇的实际地层情况,在保证顺利钻进的前提下,适当增减处理剂的用量;并根据需要适当加入重晶石来提高泥浆密度,平衡地层压力。

## 5 现场应用及效果

### 5.1 方案一

聚丙烯酰胺无固相泥浆在矿区 ZK4-2 孔的 296.85 ~ 336.43 m 孔段以及该矿区其他钻孔孔深在 0 ~ 650 m 段完整、较完整泥岩、砂岩地层钻进中使用,都能达到高效率钻进,收到了一定的效果。相比之前的高粘土加 CMC 的泥浆体系,钻进效率有很大提高。

ZK5-3 号孔是罗平矿区最复杂、工作难度最大的钻孔,该孔由于地处陡坡上,表层土很少,开孔 0 ~ 237.21 m 孔深为飞仙关组地层,237.21 ~ 473.90 m 为卡以头组地层,473.90 ~ 923.86 m 为煤系地层。飞仙关组地层倾角较大,一般为  $50^\circ \sim 70^\circ$ ,但是岩层本身较完整,裂隙较少,钻进很顺利,效率也比较高,日进尺在 18 ~ 25 m。当钻遇卡以头组地层,倾角逐渐变大,一般都在  $65^\circ$  以上,局部达到了  $85^\circ$ ,造成堵心、掉块等现象,给钻探带来很大的麻烦。后来采用泥浆方案一,这种现象基本上没有发生,而且还大大提高了钻进效率,每天进尺从 18 ~ 25 m 提高到 20 ~ 30 m,最高日进尺达到了 64 m。

### 5.2 方案二

磺化泥浆在矿区较复杂孔段以及断层带地层的使用中起到了较好的作用。复杂孔段的 ZK3-1、ZK1-2、ZK7-1、ZK5-3 号孔 473.90 ~ 576.80 m, ZK6-2 孔 580 ~ 620 m, ZK4-2 号孔 450 ~ 900 m 段并深,断层带的 ZK6-3 号孔 847 ~ 850 m 段的断层

### 4.3 方案三:聚磺泥浆

(1) 基浆:4% ~ 8% 钙基膨润土 + 纯碱(粘土质量的5%);

(2) 泥浆配置方案:基浆 + 0.3% ~ 0.5% CMC + 50 ~ 100 ppm PHP + 1% ~ 2% 防塌沥青 + 0.5% ~ 1% KHm + 1% ~ 1.5% 水解聚丙烯腈—铵盐 + 1% ~ 3% SMP-2 + 0.5% ~ 1% SMC, 该泥浆体系的性能指标如表1所示。

泥地层岩心(如图1所示)。该段在钻进过程中容易水化膨胀、岩心缩径、泥浆泵憋泵、卡钻等,特别是在一个回次进尺完成后打捞岩心管时,钻具提升过程中由于断层泥吸水膨胀,粘结在钻杆外壁,形成很大的摩擦力,很多次提升由于摩擦力过大都将钻机柴油机憋熄火,给现场钻进带来很大的风险。后来采用上述泥浆方案二后,初次下钻到 847 m 时还是不能顺利通过,稍微扫孔通过后到达钻孔底部,在后面的钻进中再没有出现岩心缩径、卡钻憋车的现象。



图1 断层泥地层岩心

### 5.3 方案三

聚磺泥浆主要使用在煤系地层,特别是特厚粉煤层段。

如 ZK5-3 号孔,由于地层倾角较大,煤层比较厚,在钻进过程中有时会顺层钻遇煤层。而且该区煤层都是以粉煤为主,煤系岩心如图2所示。进入煤系第一次钻遇较厚粉层煤在 576.80 ~ 583.36 m, 煤层厚度为 6.56 m;第二层较厚粉煤层在 592.24 ~ 613.90 m, 煤层厚度为 16.66 m;第三层较厚粉煤层在 641.03 ~ 648.23 m, 煤层厚度为 7.2 m;第四层较厚粉煤层在 727.20 ~ 744.38 m, 煤层厚度为 17.18 m;第五层特大厚层粉煤层在 845.39 ~ 905.68 m, 煤

层厚度为 60.29 m。从现场泥浆监测的各项参数(表2)来看,泥浆在特厚煤层的运用基本上在预想指标之内。



图2 煤系岩心

表2 特厚煤层泥浆监测指标

时间 /h	孔深 /m	密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	漏斗粘度 /s	失水量/[mL· (30 min) <sup>-1</sup> ]	pH 值
0	845.39	1.08	33	4	9
8	852.46	1.06	31	5	9
16	859.05	1.06	32	8	9
24	866.43	1.09	35	4	9
32	871.25	1.10	36	4	9
40	880.18	1.13	38	5	9
48	889.21	1.14	40	4	9
56	893.45	1.14	38	4	9
64	898.26	1.13	37	4	9
72	905.68	1.15	38	6	9

考虑到该孔如此厚的粉煤层,为保证生产和孔内安全,在上述泥浆方案的基础上适当提高了泥浆密度以平衡地层压力,达到平衡钻进的目的,在使用

上述泥浆方案后,顺利钻进到终孔。这个孔创造了四川省煤田地质局 137 地质队单孔打煤单层最厚记录。

## 6 结语

实践证明,罗平矿区复杂地层钻探采用的泥浆方案是合理的、适用的,对类似地层钻探有一定的参考作用。不足之处是使用的处理剂种类较多,操作较复杂。有待继续研究探索。

## 参考文献:

- [1] 刘硕琼,谭平,等.小井眼钻进技术[M].北京:石油工业出版社,2005.
- [2] 李之军,陈礼仪,贾军,等.汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)断层泥孔段泥浆体系的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(12).
- [3] 周亮.煤系地层护壁堵漏钻井液配制技术探讨[J].中国煤炭地质,2009,(9).
- [4] 中国煤田地质局.煤田钻探工程(第五分册)—钻井液[M].北京:煤炭工业出版社,1994.
- [5] 陈尔志,陈礼仪,向昆明,等.高密度低失水泥浆体系在煤田绳索取心钻探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2).
- [6] 陈立敏.青海省江仓矿区防塌钻井液技术研究[D].北京:中国地质大学,2008.
- [7] 金葵.钻井液工艺技术[M].北京:石油工业出版社,2009.
- [8] 丁飞,何林喜,黄学刚.腐殖酸钾-磺化沥青低固相泥浆在北衙金矿的应用[J].昆明冶金高等专科学校学报,2012,28(1).
- [9] 吴隆杰,杨凤霞.钻井液处理剂胶体化学原理[M].四川成都:成都科技大学出版社,1992.

(上接第 28 页)

(5)选择使用无固相冲洗液时,在通过地层复杂(水敏、破碎严重等)孔段,不仅要要求及时调整好冲洗液的性能与之相适应,而且要提前做好其他(检查钻探设备是否完好、所需材料是否充分等)工作,从而达到快速通过的目的,使孔壁在稳定周期内能够完钻。

## 参考文献:

- [1] 褚树攀,魏红利,苗克顺.水基无粘土低固相钻井液在镇泾工

区的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(7):25-27.

- [2] 翟开慧.植物胶冲洗液在寨上金矿区钻探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):18-20.
- [3] 刘维平,郑秀华,谢博.微泡沫钻井液研究及其在黄金勘探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):13-16.
- [4] 赵河江.老挝可溶性矿床钻探无固相饱和盐水钻井液护壁技术和堵漏方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(10):20-22.
- [5] 谢超,梅永刚.宁深1井深井高温钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):27-30.