

# 汶川地震科钻一井断裂带断层泥 钻探泥浆体系的研究与应用

李之军 陈礼仪 张 伟 贾 军 尤建武 曹其友

2009年10月22日 北京

# 问题的提出

四川汶川5·12大地震发生后，为研究地震断裂和地震机理并扑捉余震信息，我国迅速组织实施了汶川地震断裂带科学钻探项目。

该项目一号孔（WFSD-1）在孔深585米时钻遇主断裂带，不管是从事地质岩心钻探，还是从事石油钻井的工程技术人员，在过去几乎都没有钻遇过地震断层泥的经历。在WFSD-1钻探施工中，解决断层泥地层取心钻进问题，对钻探技术人员来说是一个全新的课题。断裂带中断层泥的取心钻进问题成为该项目成功与否的关键。



# 断层泥的形成



断层泥的形成与断裂带有着密切的关系，很多学者从不同的角度对断层泥成因的研究表明，它是由断层反复运动时断层两侧岩石破碎和摩擦滑动形成的。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。在环境条件不变的情况下，碎屑物的粒度将随着断层的滑移逐渐变小。新鲜断层泥的粒度范围较宽，最细小的颗粒直径约为0.01微米。这也告诉我们，在强烈地震条件下，断层泥的特点也不能用粘土矿物学的理论简单地解释。

# 断层泥的主要成分

实验条件：理学DMAX-3C衍射仪，CuKa，Ni滤光

样品号	测试结果 (%)						
	蒙脱石	伊利石	绿泥石	石英	长石	方解石	角闪石
1		56	13	31			
备注	样品中含有较多的未知未结晶物，结果中每种矿物的百分含量只是结晶矿物之间的相对含量。						

从矿物学的角度来看，伊利石的原生矿物为白云母和黑云母，晶体非常细小，是一种2:1型的矿物，由于晶格中镶嵌K离子，不易水化膨胀。绿泥石通常富含镁铁矿物，晶层是由三层型晶片和一层水镁石晶片交替组成的，与云母及其相似，一般不易水化膨胀。石英为原生矿物，抗风化能力强，不水化。

# 断层泥钻探的主要问题

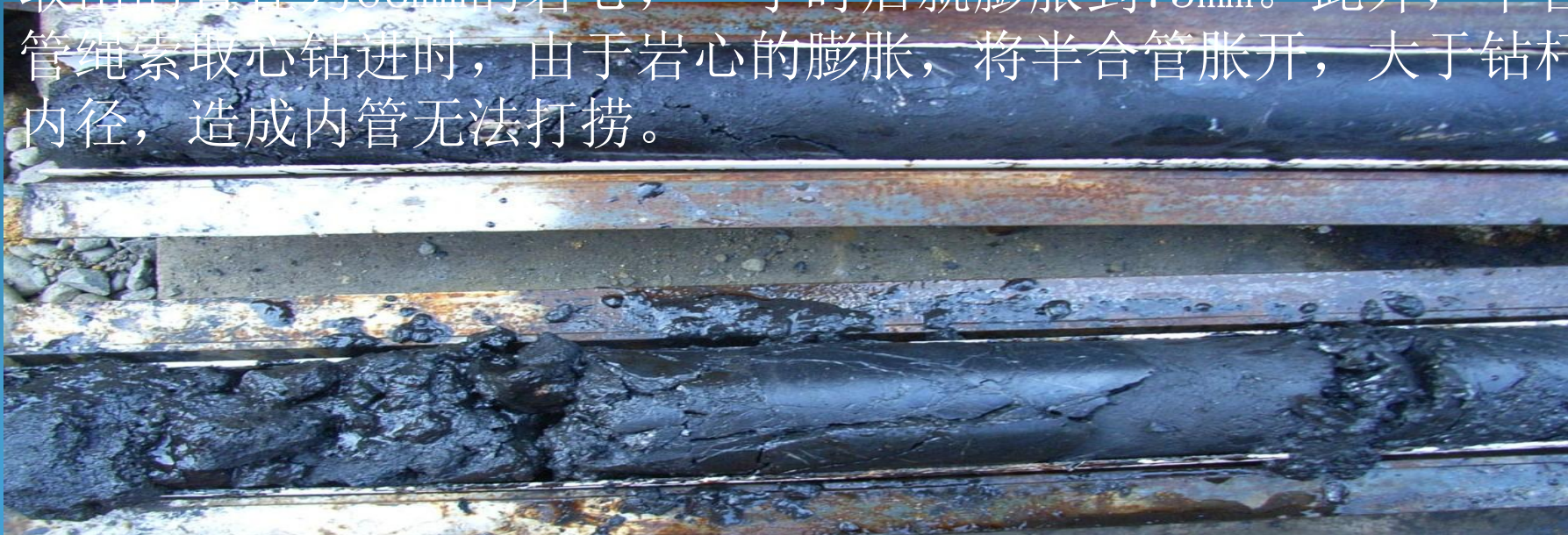
## 1、高地应力条件下钻孔缩径

在地震发生过程中，断裂带两侧岩石在瞬间产生剧烈错动，对断裂带进行强烈的挤压。从而形成异常高压地层。当地层被钻开以后，破坏了原来的平衡状态，被钻开的那部分岩石原来所承受的地层压力现在得由孔壁周围的岩石来承担，结果在孔壁周围产生应力集中现象。也就是说，在地应力的作用下，断层泥发生塑性流动，导致钻孔严重缩径是必然的现象。



## 2、粘土矿物水化膨胀缩径

研究表明，在地层深部，伊利石和绿泥石一般以降解的形式出现。特别在高地应力条件下，伊利石矿物中的钾离子从晶层间突出，为水分子进入晶层提供了有利的条件，使得伊利石发生晶层间水化和晶格膨胀；绿泥石则是由于其中的一部分水镁石被除去而会发生一定程度的晶层间水化和晶格膨胀，这就是绿泥石的降解。由此看来，这种由伊利石和绿泥石占主要成分的断层泥在钻进过程中极易水化膨胀，造成钻孔缩径。事实也证明，从孔内取出的直径为66mm的岩心，一小时后就膨胀到73mm。此外，半合管绳索取心钻进时，由于岩心的膨胀，将半合管胀开，大于钻杆内径，造成内管无法打捞。



### 3、压差粘滞卡钻

在钻进过程中，由于钻具的高速旋转与断层泥孔壁表面发生剪切作用，使得这部分断层泥颗粒越来越细，比表面积增大，结果进一步导致断层泥摩擦阻力增大和粘滞力增强。特别是当泥浆的液柱压力和地层压力的差值较大时，断层泥就很容易粘附在于钻具上，对钻具形成包裹状态，使得钻具不能活动，造成严重的压差粘滞卡钻。

左图为断层泥具有极强的粘结性，将半合管粘死。



# 断层泥造成的孔内事故

WFSD-1孔钻进至585m进入断层泥地层，发生第一次断层泥膨胀卡钻。孔底钻具无法活动，迫不得已只好强行拉断钻杆，然后采用反丝钻杆将留在孔底的钻杆反出，最后下入金刚石钻头将残留在孔底的岩心管、扩孔器和钻头劈开。



钻进至625m时发生第二次断层泥缩径卡钻事故，同样也是将钻具拉断，反出钻杆后，将岩心管、扩孔器和金刚石钻头留在孔底。

采用公锥打捞，但锥住断在孔底的钻具后，仍无法提动。强力起拔又将打捞公锥断在孔底。

最后只好采用金刚石单管钻具实施侧劈，在钻具没有到达孔底时，发生遇阻和遇卡，在扫孔过程中，又发生单管钻具脱扣。

这样有两套钻具留在孔底，不得已实施第二次侧钻，形成了WFSD-1-S2孔段。





由于断层泥缩径拉断的HQ钻具

# 断层泥泥浆技术的思路与对策

## 1、压力平衡钻进

在高地应力条件下维护孔壁的稳定，抑制断层泥不发生塑性流动，关键就要维持孔内原有的压力平衡状态。提高泥浆的比重，增大液柱压力无疑是解决断层泥钻孔缩径的最主要思路。但如何适应金刚石钻进特点，在低固相泥浆体系的基础上维持加重泥浆体系的稳定，既使泥浆的液柱压力与地层压力相平衡，又能保证泥浆体系的低粘度和稳定性，从而实现高地应力条件下的压力平衡钻进和安全钻进，这是面临的首要问题。

## 2、低失水低渗透泥浆体系

降低泥浆的失水量并实现低渗透是解决断层泥遇水膨胀的关键。

一般的高分子聚合物降失水的同时也有增粘作用，不适合绳索取心钻进，更不适合高密度泥浆体系，故整个泥浆体系处理剂的选用应以不增粘为宗旨。

为此，专门开发了适应于小口径金刚石钻进的具有稀释成膜特点的降失水处理剂。这种处理剂以其特有的分子结构，可以进入断层泥的孔隙，并能产生强烈的吸附作用，在孔壁快速形成超低渗透薄膜。低失水与低渗透的有机结合，有效地抑制了断层泥地层因水化膨胀而导致的钻孔缩径。

### 3、 润滑解卡

为了降低钻杆和钻具与断层泥孔壁的摩擦阻力，必须使泥浆具有较强的润滑性。同时为了进一步避免发生孔内卡钻，或发生卡钻事故能较好地实现钻具的解卡，泥浆体系还应该具有防卡解卡的功能。

T型润滑解卡剂是一种具有润滑和解卡双重功效的阴离子型表面活性剂，它的分子链上带有两个憎水基支链。在水中溶解后，基团能在钻杆、钻具和孔壁表面定向致密排列，并产生强烈的表面吸附，形成一层牢固的润滑膜，大大地降低界面的摩擦系数。

T型润滑解卡剂的另一个特点是具有极强是渗透能力，能快速沿着孔壁和钻具之间的界面向内渗透，在形成润滑膜的同时也形成了表面活性剂摩擦层，这就使得孔壁和钻具之间不太容易被卡死，在配合其它工艺措施，可顺利实现解卡。

# 断层泥钻探泥浆体系的优化配方

从上面的分析可以知道，要求断层泥钻进泥浆体系既要实现加重稳定、低粘度，又要具有低失水低渗透性并具有润滑解卡功能，同时还要求泥浆体系的密度在一定范围内可调。

经过泥浆体系处理剂的甄选和大量的室内试验，优选出了不增粘聚合物降失水剂S-1和具有稀释成膜特点的处理剂X-1，配和其他泥浆处理剂，得到了断层泥钻探泥浆体系的基浆配方：

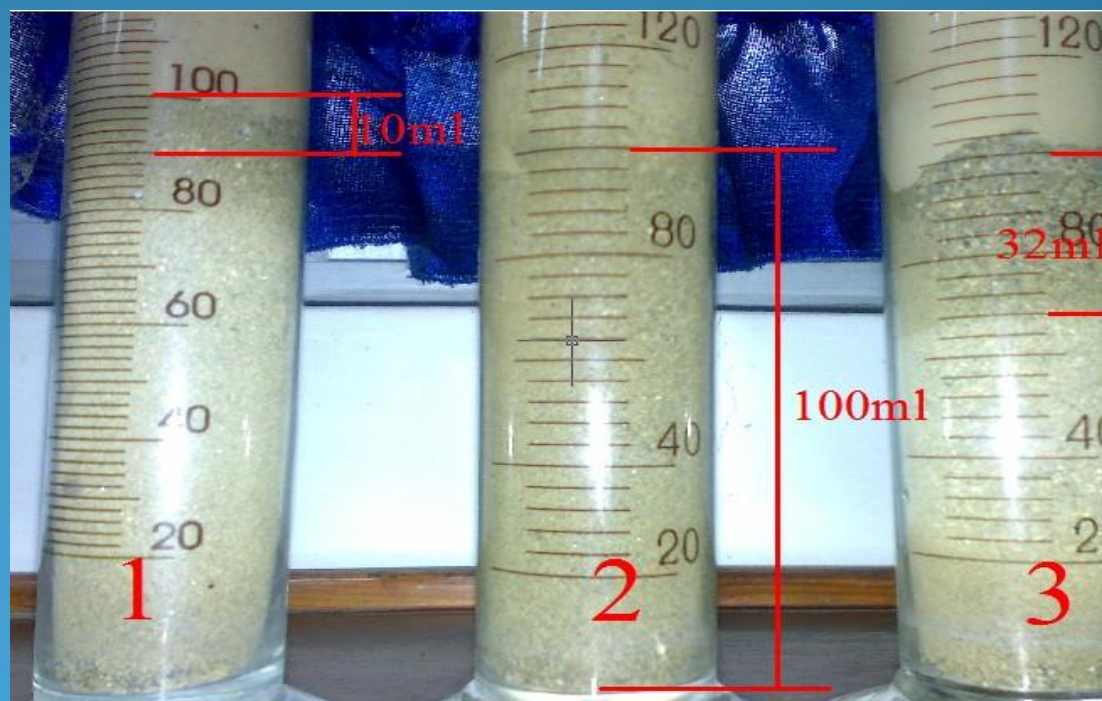
**4%粘土+0.5%CMC+3%磺化沥青+1%SMC  
+2%S-1+ 0.5%X-1+0.5%T型润滑解卡剂**

失水量 (ml/30min)	泥皮厚度 (mm)	漏斗粘度 (S)	表观粘度 (mPa·S)	塑性粘度 (mPa·S)	动切力 (Pa)	初切力 (Pa)	终切力 (Pa)
6	0.3	21	11.5	9	2.6	1	1.5

在上述基浆中加入重晶石，根据需要配制成不同比重的泥浆体系，其性能见下表：

重晶石加量 (g)	比重 (g/cm <sup>3</sup> )	失水量 (ml/30min)	泥皮厚度 (mm)	漏斗粘度 (S)	表观粘度 (mPa·S)	塑性黏度 (mPa·S)	润滑系数
500	1.45	4.6	0.8	28	24.5	18	0.2
630	1.58.	4.4	1	30	28.5	22	0.24

对该泥浆体系进行的渗透性对比实验，加重的低失水低渗透泥浆体系在河砂中的24小时的渗透量仅为10ml（左），一般的普通低固相泥浆则完全渗透到量筒底部（中）。优化基浆的渗透量为32ml（右），结果证明所配制的断层泥钻进泥浆体系具有良好的低失水低渗透性。



# 现场应用与效果

将低失水低渗透泥浆体系应用于汶川地震断裂带科学钻探一号孔断层泥取心钻进，取得了立竿见影的效果，卡钻事故未再发生，地层缩径得到了有效的控制，钻进施工得以正常进行。

在实际使用过程中，泥浆的比重是根据孔内情况的反馈逐渐调高的，而是从1.3开始，最后调到1.6、一直维持了正常钻进。

# 需要进一步解决的问题

1、完全适用于金刚石绳索取心钻进的加重泥浆问题；

2、小口径金刚石钻进加重泥浆体系的固控问题；

3、甲酸盐泥浆体系（无固相、低固相）的开发与应用。

谢谢大家，

请提意见！