

中国大陆科学钻探先导孔及扩孔钻井泥浆工艺

贾 军^{1,2}

(1. 中国大陆科学钻探工程中心, 北京 100035; 2. 北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘 要 :详细介绍了在 CCSD-1 井先导孔取心钻进中成功应用的泥浆体系。主要包括以下几个方面 :泥浆的基本参数 ;利用卡森流变模式计算的管内和环空压降 ;泥浆的固控措施和固控效果并提供了金刚石钻进的岩粉粒度分布 ;成功地应用了 GLUB 润滑剂 ,使摩擦系数降低 82% ,在提高回次进尺长度和钻具的使用寿命以及改善钻具的润滑性能方面取得了明显的效果 ;泥浆的成本核算。

关键词 :中国大陆科学钻探工程 ;CCSD-1 井 ;先导孔 ;泥浆体系 ;循环压降 ;固相控制 ;润滑 ;成本核算

中图分类号 :P634.6 **文献标识码** :B **文章编号** :1000-3746(2003)03-0057-04

到目前为止 ,中国大陆科学钻探 CCSD-1 井已经完成了 2000 m 先导孔取心钻进和转为主孔后的扩孔钻进。在 1 年多的钻井施工中 ,经历了表层钻进、取心钻进和扩孔钻进。不同的钻进方法决定了不同的泥浆工艺 ,现分述如下。

1 表层钻进泥浆工艺

设计的 CCSD-1 井一开(表层)采用 $\varnothing 444.5$ mm ($17\frac{1}{2}$ in)牙轮钻头开孔 ,钻进深度为 100 m ,钻遇地层的岩性为榴辉岩和少量的片麻岩 ,榴辉岩是一种高密度岩石(密度为 3.8 g/cm^3)。

该井段的泥浆技术由中原油田钻井三公司负责。由于开孔直径较大、岩屑密度高 ,泥浆上返速度低 ,要求泥浆性能主要是满足携带岩屑的能力。采用了石油钻井常用的开孔泥浆工艺 :人工钠土 + CMC 体系。泥浆性能为 :密度 $1.04 \sim 1.07\text{ g/cm}^3$,粘度 $30 \sim 45\text{ s}$,失水量 $< 12\text{ mL}$,动切力 $4 \sim 4.5\text{ Pa}$ 。

在 20 ~ 25 m 井段曾出现漏失 ,采用惰性堵漏材料 ,成功封堵 ,直到一开结束 ,再未出现漏失情况。

2 金刚石单动双管取心钻进泥浆工艺

钻进 100.36 m 后 ,下入 $\varnothing 340$ mm ($13\frac{3}{8}$ in)表层套管并固井 ,又下入 $\varnothing 245$ mm ($9\frac{5}{8}$ in)活动套管后 ,进入二开钻进。二开主要采用螺杆马达驱动的 $\varnothing 157$ mm 金刚石单动双管取心钻进 ,二开取心钻进井段 101.00 ~ 2046.54 m。

钻具组合 :取心钻进采用以 $\varnothing 157$ mm 金刚石钻

头 + $\varnothing 157$ mm 金刚石扩孔器 + $\varnothing 140$ mm 单动双管钻具 + $\varnothing 127$ mm 液动锤 + $\varnothing 95/120$ mm 螺杆马达 + $\varnothing 156$ mm 扶正器 + $\varnothing 120$ mm 钻铤 + $\varnothing 89$ mm 钻杆组合为主的金刚石提钻取心钻进工艺 ,从井深 218 m 开始陆续使用液动锤。

2.1 先导孔取心钻进对泥浆性能的特殊要求

由于采用螺杆马达 + 液动锤的取心钻进方法 ,泥浆不仅起到通常钻井液的作用 ,更重要的是为井底动力(螺杆马达、液动锤)提供工作介质。泥浆性能的优劣直接关系到井底动力系统的工作质量和使用寿命。针对上述情况 ,对 CCSD-1 井先导孔的泥浆体系提出了如下要求 :

(1)应是良好的输送动力的载体 ;

(2)流动性能要好 ,流动阻力要低 ;

(3)含砂量要尽可能低 ,以减少泥浆对马达和液动锤的冲蚀 ;

(4)润滑性能要好 ,以减少井底动力和钻具零部件的磨损 ;

(5)为防止岩心的丢失 ,在起钻前不能进行循环冲孔 ,考虑到钻进中形成的岩粉仍分散在孔内泥浆中 ,应适当提高泥浆的终切力值 ,以提高其悬浮能力 ,防止岩粉沉降 ;

(6)在结晶岩层中钻进 ,对泥浆的失水量可适当放宽。

根据上述要求 ,确定的泥浆基本技术指标为 :密度 $1.05 \sim 1.07\text{ g/cm}^3$,粘度 $28 \sim 32\text{ s}$,API 失水量 $10 \sim 12\text{ mL}$,初切力 $0.5 \sim 1.0\text{ Pa}$,终切力 $2.0 \sim 4.5\text{ Pa}$,

收稿日期 2003-03-26

作者简介 :贾军(1956-) ,黑龙江人 ,中国大陆科学钻探工程中心现场指挥部生产调度室主任、现场泥浆技术主管 ,北京探矿工程研究所科技处处长、教授级高级工程师 ,探矿工程专业 ,硕士 ,从事石油钻井工艺、高温地热钻井工艺、钻井泥浆工艺和钻井泥浆材料的研究工作 ,北京市海淀区学院路 29 号北京探矿工程研究所 ,jiajun@ccsd.org.cn。

Fann 0600 10 ~ 16 ,Fann 0100 3.5 ~ 5.0。

取心钻进的泥浆是在钻进表层剩余泥浆的基础上 ,在取心钻进过程中逐步加入 LBM 泥浆粉 ,转换成 CMC - LBM 复合泥浆体系。由于 LBM 泥浆体系的切力低 ,为满足提钻取心和解决表层套管通径大 (9 5/8 in ,内径 225 mm)导致上部套管内环空返速低的问题 ,适当加入人工钠土和 HV - CMC ,以提高悬浮和携带能力。

2.2 泥浆的循环压降及分布

CCSD - 1 井先导孔多数情况下采用螺杆马达 + 液动锤的钻进方法。正确计算管内和环空的循环压力降 ,不仅能正确的评价所用的泥浆体系和钻进参数的合理性 ,而且 ,可以正确地判断孔底动力的工作情况 ,也能为下一步实施金刚石绳索取心钻进的泥浆设计和确定工艺参数提供依据。

流变模式的选择 :与宾汉和幂率函数式比较 ,卡森模式在较大的剪率范围内 ,对泥浆具有良好的描述性。大部分泥浆的流动行为都与卡森曲线很吻合 ,即使在较低的剪率下 ,计算的结果也令人满意。卡森塑性粘度是泥浆内摩擦性质的度量 ,仅决定于固相种类、含量、细度、液相本身的粘度以及高分子物质的含量等。与宾汉塑性粘度不同之处是 ,卡森塑性粘度极少受泥浆结构性质的影响。卡森屈服值是泥浆在动态下的偶合力大小的度量 ,也是泥浆颗粒的极性 or 动结构强度的度量。因此 ,凡是能够影响流体的电学性质的物质 ,如分散剂、电解质、有机絮凝剂、固相含量和分散度等 ,都可以影响卡森屈服值。

有关这方面的内容 ,笔者在文献 [1] 中已有论述 ,在此不再赘述。

2.3 泥浆的固相控制

在整个施工期间 ,由于采用螺杆马达加液动锤的钻进方法 ,为提高钻进效率、减少孔底动力的磨损、提高孔底动力的使用寿命 ,必须严格泥浆的固相控制。为防止埋钻 (因起钻前不能循环冲孔) ,尽可能减少泥浆中的可沉降固相颗粒 ,控制泥浆的含砂量 ,采用除砂器和高、低速离心机组的固控系统 ,使泥浆的含砂量一直保持在 0.03% 左右。由于采用金刚石钻进 ,大部分悬浮在泥浆中的岩屑颗粒 < 180 目 ,用振动筛是无法清除的 ,只有依靠离心机才能清除这些微分 ,控制泥浆的固相含量。

通过离心机分离出的岩屑粒度分析结果见表 1、图 1、图 2。

表 1 岩屑粒度分析结果

样 品	粒度范围/μm			体积平均 粒径/μm	比表面积/ (m ² · g ⁻¹)	表面积平 均粒径/μm
	1X (0.1)	1X (0.5)	1X (0.9)			
低速离心机分离	4.83	27.03	104.32	50.53	0.52	11.51
高速离心机分离	3.80	13.87	47.21	20.80	0.70	8.60

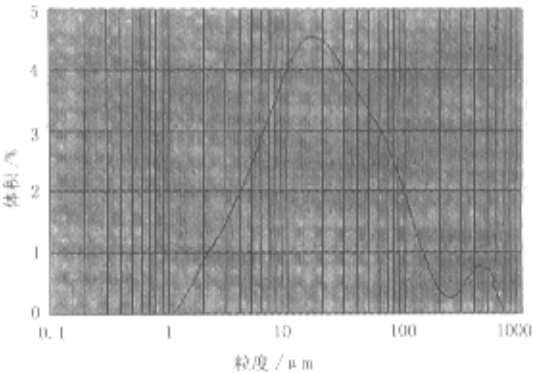


图 1 低速离心机分离出的岩粉粒度分布

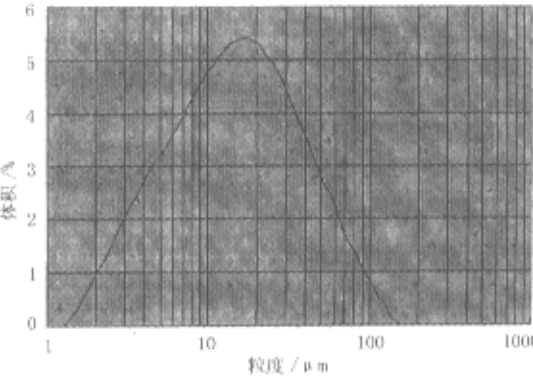


图 2 高速离心机分离出的岩粉粒度分布

通过粒度分析可知 ,采用金刚石钻头取心钻井阶段 ,形成的岩粉大部分都在 100 μm 以细 ,泥浆通过 170 目振动筛 (88 μm)仅仅能分离出少量的大颗粒固相 ,几乎起不到固相控制的作用 ,泥浆的固控主要依靠离心机完成。

低速离心机分离出的岩粉体积平均粒径为 50.53 μm ,通过分离出的岩屑数量可以看出 ,4.83 ~ 104.32 μm 是金刚石取心钻进形成的岩粉粒度主要分布范围。

高速离心机分离出的岩粉体积平均粒径为 20.80 μm ,开动高速离心机分离出的岩粉粒径分布范围在 3.8 ~ 47.21 μm ,仅能分离出颗粒极细的部分岩粉 ,对降低泥浆的切力的效果较好。高速离心机分离 50 μm 以粗的岩粉效果不好 ,不能作为金刚石钻探的主要固控设备使用 ,仅能作为辅助的固控设备使用。

通过对比可知 ,除砂器和振动筛分离出的岩屑

数量远远少于离心机。

钻进过程中的泥浆维护是十分重要的。采用金刚石钻进 ,产生的岩粉是非常细的 ,通常 < 200 目。尽管岩粉的数量不多 ,但积少成多分散在泥浆中 ,会影响泥浆的流变性能 ,导致恶性循环(岩粉增加→切力增大 岩粉难以分离 →切力进一步增大) ,最终导致全部泥浆报废。由于在生产中 ,采用除砂器与离心机的组合固控系统 ,严格控制泥浆的固相含量 ,及时清除微细的岩粉和调整性能。保持性能的稳定和连续 ,不仅有利于钻进参数的控制 ,而且有利于井壁的稳定。由于采用了先进的固控设备 ,合理的固控设备组合和严格执行固控作业 ,CCSD - 1 井先导孔从 2001 年 7 月 16 日开钻至 2002 年 4 月 15 日提钻取心钻进结束 ,取心钻进施工 266 天 ,累计取心钻进 1945.54 m ,泥浆的密度一直稳定在 1.05 ~ 1.07 g/cm³ ,大部分时间控制在 1.05 ~ 1.06 g/cm³ ,含砂量始终保持在 0.03%。在钻进过程中 ,没有因为泥浆对固相的承载能力而更换泥浆 ,为取心钻进和孔底动力提供了优质的循环介质。到先导孔取心钻进结束 ,现有的泥浆已连续使用了近 300 天仍可使用(工人戏称是“老汤”) ,主要得益于严格的固相控制。

2.4 泥浆润滑性能对孔底动力的影响

泥浆的润滑性能对液动锤工况的影响极为突出 ,在钻进到孔深 1837 m 后 ,在泥浆中加入 1% 的 GLUB 润滑剂(北京探矿工程研究所生产 ,用于石油定向井) ,加入该润滑剂后 ,全部采用长岩心管(8 m) ,共钻进 27 回次 ,钻进至 2028.17 m ,进尺 191.08 m。

加入 GLUB 润滑剂前后的泥浆润滑性能检测结果如表 2 所示。

表 2 钻井液润滑性能检测报告			
样 品	仪器读数	摩擦系数	摩擦系数降低率/%
钻井液(现场样品)1 号	61.5	0.6638	
钻井液 + 润滑剂 2 号	10.2	0.1101	83.4
钻井液 + 润滑剂 3 号	10.9	0.1177	82.3

注 检验单位为中海油田服务有限公司研发中心 ,送检样品 1 号为未加入润滑剂的钻进循环泥浆 ,送检样品 2 号和 3 号为加入 1.33% 润滑剂后的取心钻进泥浆样品。

从检测结果可以看出 ,加入润滑剂后 ,明显降低了泥浆的摩擦系数 ,摩擦系数平均降低了 82.5%。

为对比使用润滑剂的效果 ,截取了加入 GLUB 润滑剂前后各约 220 m 井段的取心钻进技术数据进行统计对比 ,如表 3 所示。

表 3 加入润滑剂前后取心钻进技术指标对比						
润滑剂	钻进井段 /m	回次数	平均回次长度 /m	平均机械钻速/(m · h ⁻¹)	岩心采取率 /%	日进尺 /m
无	1600.08 ~ 1837.09	61	3.89	0.91	85.6	6.4
GLUB	1837.09 ~ 2046.54	28	7.28	1.33	97.41	10.19

从以下几个方面的对比可以看出使用润滑剂的效果 :

(1)明显提高回次进尺长度和岩心采取率。在 27 个回次中 ,取满岩心管 20 回次 ,有 4 个回次没有实现取满岩心管是因为金刚石取心钻头的工作层磨光后无法继续钻进。使用润滑剂前的连续 61 个回次 ,平均回次进尺长度为 3.89 m ,全孔的平均回次进尺长度为 2.96 m ;加入润滑剂后连续钻进的 28 个回次 ,平均回次进尺长度为 7.28 m ,比全孔平均回次进尺长度提高了近 2.5 倍。

(2)明显改善钻具单动性能。未加入润滑剂前 ,在检查单动机械时 ,8 m 长钻具平卧时 ,要一个人费很大的力气才能转动 ,加入润滑剂后 ,很轻松就可以转动。

(3)大幅度提高钻具的使用寿命。钻进 191 m 没有换过一盘轴承 ,几次检查钻具 ,轴承仍光亮如新 ,连轴承架都没有明显的磨损现象 ,与过去的轴承消耗量形成了鲜明的对照。

(4)岩心管进出顺畅。由于加入润滑剂后 ,钻具单动性能的改善 ,基本消除了岩心磨蚀现象。在地表从岩心管内出岩心时 ,也明显感到顺利 ,避免过大打击岩心管 ,造成岩心管变形 ,也减少了辅助工作时间。

(5)延长了螺杆马达的使用寿命 ,采用 4LZ - 120 型螺杆马达(大港油田) ,使用寿命突破 117 h 后仍可使用。

3 扩孔钻进泥浆工艺

按主孔的设计要求 ,孔深 2000 m 后 ,采用牙轮钻头 + 液动锤的转盘回转钻进 ,将 Ø157 mm 钻孔扩至 Ø311 mm(12 ¼ in) ,以便下入 Ø273 mm(10 ¾ in)套管和 Ø193.7 mm(7 ⅝ in)活动套管 ,然后实施金刚石绳索取心钻进。

扩孔钻进对泥浆性能的要求 :

(1)在采用单泵循环的条件下 ,由于泥浆上返速度较低(0.5 m/s) ,要求泥浆具有良好的携带能力 ;

(2)扩孔钻进期间要进行液动锤试验 ,泥浆要具备良好的润滑性能 ;

- (3) 有较好的流动性能；
- (4) 较低的密度；
- (5) 尽可能充分利用二开泥浆(100 m³), 以降低生产成本；
- (6) 正常扩孔钻进循环排量 >35 L/s。

根据上述条件 ,设计泥浆性能的主要技术参数为 :Fann θ600 r/min 读数 35 ~ 40 ,密度 1.08 ~ 1.10 g/cm³ ,API 失水量 <20 mL ,pH 值 9 ~ 10 ,泥浆总量约为 175 m³。

处理办法 :在二开泥浆的基础上 ,加入一定量的人工钠土(约 2%) ,调整泥浆性能 ,达到上述指标要求。在扩孔施工过程中 ,视具体情况再行调整。采用 60 目振动筛和低速离心机固控。

4 泥浆的成本核算

在整个钻进过程中 ,本着适用、节约和减少对环境原则 ,充分利用原有的井浆 ,随着井深的增加 ,不断补充用 LBM 和低分子聚合物调整泥浆的性能 ,在使用中由于 LBM 泥浆体系的切力较低 ,添加部分人工钠土调整泥浆的切力 ,以满足携带和悬浮岩屑的能力。在取心钻进终孔时 ,全部循环泥浆总量增加到 151 m³ ,扩孔结束循环泥浆总量增加到 250 m³。表 3 列出了开钻以来的直接泥浆材料费用明细 ,表 4 为不同钻进井段泥浆材料费用对比。

表 3 直接泥浆材料消耗统计

材料名称	单价/(元 · t ⁻¹)	表层钻进 费用合计 /元	取心钻进 费用合计 /元	扩孔钻进 费用合计 /元	合计 /元
LBM	3000		10575	2400.0	12975.0
人工钠土	633	9175.8	4431	2785.2	16392.0
烧碱	2300		644	2116.0	2760.0
GLUB	9000		18000	77400.0	95400.0
纯碱	1860	1934.4	744	520.8	3199.2
HV - CMC	21260	38905.8	47835	7972.5	94713.3
GD - III	3200	12160.0			12160.0
PAA - N	4000			3500.0	3500.0
消泡剂	9000			10818.0	10818.0
稀释剂	9000			7200.0	7200.0
MV - PLUS	9000			23175.0	23175.0
柴油	3200			800.0	800.0
合计		62176.0	82229	138687.5	283092.5

表 4 不同钻进井段泥浆材料费用对比

钻进井段	总进尺 /m	泥浆材料费用 /元	每米成本 /元
表层钻进	101.00	62176.0	615.60
取心钻进	1945.54	82229.0	42.27
扩孔钻进	1932.00	138687.5	71.78

万方数据

取心钻进泥浆材料费用大幅度降低的原因有以下几方面：

- (1) 可能利用井场现有的泥浆 ,经处理后达到要求、继续使用 ,既节约了费用 ,也避免了排放的污染；
- (2) 根据钻遇地层情况和采用的钻进方法设计泥浆的性能 ,尽可能简化泥浆组分 ,选择既适用又经济的泥浆材料 ,综合考虑泥浆材料的性能价格比；
- (3) 用金刚石钻头钻进结晶岩地层与牙轮钻头钻进沉积岩有明显的差异 ,根据钻进方法和钻进工艺灵活调整泥浆的性能；
- (4) 表层钻进泥浆材料费用高的原因是 HV - CMC 用量过多和在钻进中出现漏失现象 ,消耗部分堵漏材料 ,增加了泥浆的费用。

5 几点体会

- (1) 针对 CCSD - 1 井先导孔设计的泥浆体系达到了预期效果 ,完全可以满足螺杆马达的工况要求。
- (2) 采用卡森流变模式计算的环空压降、管内压降与现场实测的结果基本一致 ,卡森流变模式可以应用于该井身结构条件的流变学计算。
- (3) 以低速离心机为主的固控设备组合 ,完全可以满足金刚石钻进用钻井液的固相控制 ,能够实现长期稳定的泥浆性能 ,金刚石钻进的岩屑粒度主要分布在 5 ~ 100 μm ,平均粒径为 50 μm。
- (4) GLUB 润滑剂的使用收到了明显的效果。平均回次进尺长度提高了 2.5 倍 ,为充分发挥长岩心管的回次进尺优势 ,提供了保障。大幅度降低了泥浆的摩擦系数 ,明显改善了泥浆的润滑性能 ,提高了钻具的单动性能 ,在减少岩心的磨损 ,提高轴承的使用寿命方面发挥了重要的作用。
- (5) 本着节约和减少排放对环境污染的目的 ,充分利用可改进的井浆 ,以能满足钻进工艺要求为最高目标 ,灵活合理地调整泥浆性能 ,可大幅度降低泥浆成本。

参考文献：

[1] 贾军 ,史冬梅 . 中国大陆科学钻探 CCSD - 1 井钻井液流变模式的选择与循环压力降 [J]. 探矿工程 ,2003 (1) .

