

地热钻井用水基泥浆

修宪民

(长春地质学校)

文中分析了地热钻井高温对泥浆中的粘土和化学处理剂的影响规律。讨论了地热钻井水基泥浆体系的要点、粘土高温容量限,以及抗高温化学处理剂的作用机理。推荐了地热井水基泥浆体系。

关键词: 地热钻井; 水基泥浆; 粘土高温容量限; 抗高温稀释剂; 抗高温降失水剂

钻探是地热资源勘探与开发最主要的手段。国内目前已有2000多口地热井。地热井一般深度小,井内温度高,所钻地层岩石比重大而坚硬,且裂隙发育,经常出现漏失。在地热钻井施工中沿用石油钻井或岩心钻探的普通水基泥浆显然是不适宜的。因此,研制适于地热钻井的钻井液是一项迫在眉睫的任务。

地热井由于它特有的井身结构及高温的影响,因而对泥浆有更高的要求。普通水基泥浆的性能在高温下会发生变化,难以满足地热钻井的施工要求。

实践证明,只要粘土含量适当,泥浆处理剂性能良好、组份配伍合理,获得耐高温的水基泥浆体系是完全可能的。我国用水基泥浆顺利地完成了7000多m的超深井钻探任务的事实,也说明了这一点。

粘土的选择

粘土的性质对泥浆性能有很大影响。高温下泥浆中的粘土发生高温分散,导致泥浆性能发生高温增粘→高温胶凝→高温固化成型等一系列变化,使其丧失流动性。不同温度下粘土含量3~4%时,泥浆的性能见表1。

由表1可见,粘土含量在3~4%时,随着温度的升高,泥浆性能变化较小,粘土含

量超过5%时,泥浆的粘度和动切力明显增高。因此,要严格控制地热井泥浆的固相含量,使其小于石油钻井泥浆的固相含量(一般为5~10%)。

同一温度下,某种粘土的悬浮体发生高温胶凝时所需的最低含量,通常称为该粘土的高温容量限。容量限因粘土种类而异。例如,淡水中180~200℃温度下,钠质膨润土的容量限为3~8%(体积比),而劣质土可达15%。地热井泥浆中钠质膨润土的高温容量限见表2。

粘土的高温容量限因温度而异,温度越高,其容量限越低,反之亦然。同时,它还与温度作用时间的长短有关,作用时间越长,其容量限越低。可见,只要使泥浆中的粘土含量低于此高温容量限,即可避免泥浆的高温胶凝。

在同一温度下,泥浆处理剂能提高泥浆中粘土的高温容量限。容量限相同时,处理剂的效能越好,所允许使用的温度也越高。但粘土含量过高(如钠质膨润土含量大于8%),则各种处理剂将失去其效能。

综上所述,环境温度在100~180℃时,地热井水基泥浆中膨润土的加量应控制在3~8%(体积比);环境温度在200℃以上时,用海泡石配制泥浆,可提高其高温稳定性。

不同温度下粘土含量3~6%时的泥浆性能

表 1

温度(°C)/ 恒温时间 (h)	膨 润 土 3 %				膨 润 土 4 %				膨 润 土 5 %				膨 润 土 6 %			
	η_A	τ_0	τ_s	失水量												
原 浆	4	5	5~5	15.4	5.5	5	5~5	13	9.5	10	5~5	11.3	14	29	5~10	10.2
150/16	5	10	5~5	17.7	9.5	14	5~10	15	17.5	24	10~20	12.6	36.5	101	15~44	11
180/16	6	10	5~10	18.8	11	19	5~10	15.6	18.5	24	10~15	13	36	96	15~39	11.3
200/16	6	5	5~5	19.3	12.5	14	10~15	16.1	23	48	10~15	14	37.5	101	15~25	11.3
230/16	6.5	5	5~5	21.2	15	29	10~10	18.1	26.5	63	10~15	15	41	125	15~20	12.4

单位: η_A —厘泊; τ_0 —dyn/cm²; τ_s —mg/cm²; 失水量—ml/30min.

地热井泥浆中钠质膨润土的高温容量限

表 2

粘土含量, %	η_A	η_D	τ_0	τ_s	失 水 量	温度界限 (°C)
3	4	3.5	5	5~5	15.4	204
4	5.5	5	5	5~5	13.2	170
5	9	8	10	5~5	11.2	149
6	14	11	29	5~10	10.2	138

泥浆处理剂的选择

地热钻井泥浆化学处理剂,除能有效地控制粘土高温分散和由此而引起的泥浆性能变化外,其本身的性能还需保持不变。由于高温对有机处理剂的影响远比无机处理剂要大,而前者又是泥浆不可缺少的组成部分,因此,要想得到水基泥浆的稳定体系,就必须弄清抗高温有机处理剂在泥浆中的作用机理。

1. 抗高温有机处理剂的作用机理

(1) 抗高温稀释剂 水基泥浆中的抗高温稀释剂,能抑制粘土高温分散和粒子聚结,使泥浆中的粘土粒子浓度不致急剧增加,制止泥浆增粘。这是保持泥浆高温流变性的根本途径。

控制粘土高温水化分散的有效办法,是适当加入Ca²⁺、Al³⁺、Cr³⁺、Fe³⁺和Zn²⁺等高价金属离子。它们吸附于粘土晶格表面,降低当量电荷的水化能力,同时降低 ξ 电位,有效地抑制粘土的高温分散。由于这些离子对泥浆有较强的絮凝能力(高温下更突出),因此不宜单独使用,而应与抗高温稀

释剂协调配伍,使之形成符合要求的络合物。

阳离子价数越高,则抑制粘土高温分散的能力也越强;外层空轨道越多,形成螯合物的能力越强,则越易于与有机稀释剂配伍协调。Cr³⁺的外层为d³s⁰p³杂化空间,极易发生配伍,故泥浆处理剂宜用Cr³⁺络合。泥浆中加入红矾(Na₂Cr₂O₇或K₂Cr₂O₇),在碱性条件下缓慢氧化,并释放出Cr³⁺,既提供了Cr³⁺,又使泥浆性能不发生过激变化。为使稀释剂在高温下能有效地吸附于粘土粒子的边、侧、角处并形成水化膜,保持其有效的稀释作用,同时防止粘土粒子聚结,要求稀释剂本身具有较高的性能。

(2) 抗高温降失水剂 它可起到有机护胶作用,使泥浆在压力差作用下形成薄而致密的泥皮,以控制泥浆失水。

在控制泥浆高温滤失性的同时,又不宜使其粘度过多增大,故降失水剂的分子量不可过大。高温下泥浆粘度降低将导致失水激增,所以要通过保证泥皮质量来控制失水量。而控制泥浆高温失水量的关键是高温护胶。淡水泥浆高温失水的原因主要是高温下

粘土分散度增高所致。这可以通过控制胶体率来解决。但对高矿化度的水基泥浆，由于粘土粒子的 ξ 电位低，高温聚结作用强，控制其高温滤水性有一定难度。

一般情况下，恒温后泥浆失水量增加，泥皮增厚。好的抗高温降失水剂，在高温下和高温后均能有效地控制泥浆的滤水性。只要降失水剂本身在高温环境中不明显降低作用，则恒温后也必然能有效地控制泥浆失水。

2. 推荐试用的国产抗高温处理剂

(1) 铬—磺甲基褐煤 (SMC) 为黑褐色粉状水溶性固体。系腐植酸的磺甲基衍生物，经重铬酸盐氧化络合而成。其水溶液 $\text{pH}=10$ ，易受潮、不结块。产品中全铬含量在5~8%范围内。使用方法与煤碱剂相同。主要用作抗高温水基泥浆的降失水剂及稀释剂。使用时可直接溶于水。

在淡水泥浆中抗温200~220℃。SMC对各类粘土配制的泥浆均有高温稀释及降失水能力。泥浆中所含最高膨润土量应低于2% (体积比)，劣质粘土则应低于15%。SMC的抗钙能力比煤碱剂高，抗盐能力不超过3% (200℃)。盐、钙的污染都将降低其温度限和粘土含量限。SMC与铁铬盐配合使用，可提高抗盐、钙的能力；与红矾配合可提高抗温能力。SMC加量为3~7%， pH 值以9~11为宜。

(2) 铬—磺甲基五倍子丹宁 (SMT) 黑褐色晶形粉末，吸水性强，吸水后呈块状、易粉碎、水溶液 $\text{pH}=10$ 。SMT系五倍子丹宁经磺甲基化后再由重铬酸盐络合而成。主要用作抗高温水基泥浆的稀释剂。使用时可直接溶于水。

在淡水膨润土泥浆中，SMT的抗温180~200℃。对粘土的要求与SMC相同。抗钙可达游离 Ca^{2+} 1000ppm以上。当泥浆中盐的含量超过1%时，其高温稀释作用大幅度下降，但仍有一定稀释作用。加量一般在

1%左右， $\text{pH}=9\sim 11$ 为宜。

(3) 磺甲基酚醛树脂 (SMP) 系人工合成的有机处理剂，有SMP1和SMP2两种型号。两者都是玫瑰色的粘稠状液体，可溶于10~12万ppm ($\text{pH}=8\sim 10$)的盐水和含 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 大于2000ppm的介质中 ($\text{pH}=10$)。用作抗高温，抗盐、钙、镁降失水剂。SMP1的抗温能力可达200℃，SMP2在饱和盐水泥浆中可达200℃。SMP1在 $\text{pH}=8\sim 10$ 时，抗盐10万ppm，抗 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 2000~10000ppm； $\text{pH}=11\sim 12$ 时，可用于饱和盐水中。SMP2在 $\text{pH}>7$ 时即可用于饱和盐水泥浆，抗 Ca^{2+} (Mg^{2+}) $>2000\text{ppm}$ 。SMP1高温下可与任何泥浆处理剂配合。SMP2可与SMC和SMT配合，形成饱和盐水泥浆体系，其抗温能力达180~200℃。与铁铬盐、煤碱剂配合不适于高温环境。SMP1的 pH 值在高温泥浆中以8.5~11为宜，SMP2以7~10为宜。其用量因分子量而异，分子量较大者少加，SMP1一般为2~10%，SMP2为8~20%。SMP对盐水泥浆有稀释作用，可改善盐水加重泥浆的流变性，并降低泥皮粘滞系数。在高温下它还能大幅度降低泥浆的失水量，有时发泡。在抗高温不饱和盐水泥浆中，SMP2可代替SMP1，但加量需偏大。但SMP1不能代替SMP2用于饱和盐水泥浆。

推荐使用的水基泥浆体系

1. 地热井用水基泥浆体系的要点

(1) 粘土的种类和含量是地热井泥浆体系的基础。粘土的容量限与其种类有关。高温分散作用强的钠质膨润土高温容量限低，一般不超过8%，而水化分散作用差的高岭土等，高温容量限高，海泡石类的高温容量限更高。

粘土的高温容量限还与泥浆所处的环境温度有关：温度越高，其高温容量限越低。另外，介质的 pH 值、矿化度和离子价数等，也对粘土的高温容量限有影响。

淡水、低矿化度泥浆的性质

表 3

序号	配 方	γ	漏斗粘度 (s)	失水量	泥皮厚 (mm)	$\tau_{0.1}$	$\tau_{1.0}$	pH
1	原浆 ($\gamma=1.08$) + SMC干粉3%	1.09	40	5.5	0.5	4.5	10.5	8
	200°C, 24h	1.09	90	7.5	1.0	3.5	7.0	8
2	原浆 ($\gamma=1.08$) + SMC干粉3% + NaOH0.3% + As (0.3%) + SP- 80 (0.3%) + OP-10 (0.3%) + 柴油 (10%)	1.08	42	5.0	0.5	25	45	11
	200°C, 24h	1.08	40	5.0	1.0	2.0	4.0	10

注: 测量温度65°C。

(2) 抗高温处理剂是获得泥浆稳定性的关键。抗高温处理剂应能有效地控制高温对粘土的作用, 并把其影响减小到最低限度, 以保持不同温度下泥浆的稳定性。

(3) 表面活性剂对提高泥浆的热稳定性, 改善其流变性、滤失性和造壁性, 防止粘附卡钻, 稳定pH值等, 都有一定作用。

2. 推荐使用的地热井水基泥浆体系

(1) 淡水泥浆和低矿化度泥浆体系 (Cr-SMC、表面活性剂淡水膨润土泥浆体系) 系用膨润土、SMC和表面活性剂配制的。膨润土4~7% (体积比), 原浆比重控制在1.06~1.10。低于4%失水不易控制, 高于7%SMC难以控制其高温胶凝, 通常以5%为宜。SMC用量一般为3~10%, pH=9~11。表面活性剂和混油, 可用阴离子型和非离子型的混合物并混油使用: As—0.1~0.5%, SP—80—0.1~0.5%, OP—10—0.1~0.5%, 柴油—10%。泥浆性能见表3。

泥浆的粘度可用5~7%的SMC水溶液控制。若因泥浆中膨润土含量下降而导致粘度降低, 则可加入高比重预水化膨润土原浆, 同时按比例补充SMC来解决。

钻进地层造浆可能会改变泥浆中膨润土的成分, 应加强机械除砂, 并用SMC水溶液稀释泥浆, 降低劣土含量, 同时补充膨润

土, 以保持泥浆中其规定含量。

钻进含钙、镁离子的地层常导致失水量上升, 可用纯碱除去 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} , 也可多加SMC, 使泥浆转换成钙处理泥浆体系 (pH=9~10)。

(2) 高矿化度盐水泥浆体系 (Cr-SMP1-SMC高矿化度盐水泥浆) 这种泥浆的抗盐、抗高温性能好。用 Cl^- 10万ppm、 Ca^{2+} 4000ppm的介质配制的泥浆, 在200°C环境中, 泥浆性能稳定。

由于SMP1在盐水泥浆中既能有效地控制失水, 又具有良好的稀释作用, 故泥浆的流变性易于得到保证。维护泥浆性能主要是通过粘土含量来实现。

普通淡水泥浆或钙处理泥浆, 可根据需要, 直接加入SMP1和SMC即可将其改造成高矿化度盐水泥浆体系。

泥浆的配方是: SMP1—3~10%, SMC—5~10%, 红矾—0.1~0.2%, 用NaOH将pH值调整到9~10。

在泥浆的使用与维护过程中, 要定期测定泥浆比重, 把粘土含量控制在规定范围之内。要保持泥浆中SMP和SMC的正常含量, 其中前者控制失水造壁性能, 后者控制流变性。泥浆的pH值为9~10时, 有利于SMP和SMC充分发挥作用。 Cr^{3+} 能有效地提高SMC和SMP对粘土高温流变性的控制能力。

泥浆中加入 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 效果明显。单独使用 SMP、SMC 和 NaCr_2O_7 均可降低泥浆粘度、切力和失水量。最好是将它们复配，使用混合剂，用其补充消耗的泥浆。

参 考 文 献

[1] 修宪民, 地质与勘探, 1985, 第3期.

[2] 佐野守宏、早野正夫, 石油技术协会志, 1982, №5.

[3] 村田博, 地热, 1986, №6.

[4] 贝歇尔, P. 著, 《乳状液理论与实践》, 科学出版社, 1978年.

Water-base Mud for Using in Geothermal Hole Drilling

Xiu Xianmin

The Effects of high temperature in a geothermal hole on the clay and chemical treatment agents in the mud are analysed in this paper. In addition, the key points of water-base mud system for using in geothermal hole drilling, the tolerance of high temperature for the clay, and the mechanism of high-temperature resistant chemical treatment agents are also discussed. The author recommends a water-base mud system very suitable for this application.

苏联化探：成绩与未来

В.А.Легейдо

1988年10月, 苏联召开了“现代条件下地球化学找矿的理论与实践”会议。

会议肯定了地质勘探过程中各个阶段地球化学方法日益增长的作用。在1982~1988年期间, 岩石化学、水化学、生物地球化学以及原子化学和地电化学找矿方法的科学原理得到进一步发展。建立了根据地球化学数据 (P_1, P_2, P_3) 评价预测资源的方法, 并应用于实践。推广了从土壤中选择性分离不同赋存状态元素的方法, 以及高灵敏度测定岩石化学样品、水、土壤和近地面大气中测汞的找矿方法。研究地区性人类污染这个新的学科——生态地球化学正积极推广应用于研究实践。正在研究和应用新的数学方法, 化探数据自动化处理方法与系统, 以及在电子计算机上模拟地球化学找矿的培训系统。研制出用于深部岩石化学找矿的ГГК-100和300型高效钻机。与地质和物探方法配合, 在哈萨克斯坦、乌克兰和远东等地区发现了一系列矿床, 重新评价了某些成矿区的远景。苏联地质部每年化

探取样量达900~1100万个。

会议确定了今后的努力方向: (1) 研究不同景观和矿床类型、不同相态和赋存形式, 以及不同介质中元素的内生和表生迁移, 以建立水化学、原子化学、生物地球化学分散晕形成的统一理论; (2) 研究地质—地球化学模式, 编制从成矿区、矿汇到矿床、矿体不同规模找矿对象的地球化学场图; (3) 根据地球化学数据确定预测资源; (4) 建立不同类型金属矿床的概念性地球化学模式, 以便在此基础上研究有效的立体预测方法; (5) 提高对地球化学工作的要求 (开展超前地球化学填图; 对独立计划进行深入的地球化学研究; 改善各生产阶段化探工作的质量监控和度量衡保障; 加大生态地球化学研究的工作量, 提高工作质量, 明确其资金来源); (6) 发展固态、液态和气态样品大批量分析的技术与设备; (7) 建立苏联地质部统一的地球化学中心机构。

(鲁宁摘译自: Разведка и охрана недр, 1989, №4)