

水泥浆与泥浆热导率的测定研究^{*}

何世明^{1,2} 安文华² 骆发前² 黄桢³ 范兴亮³

(1.西南石油大学 2.中国石油塔里木油田公司 3.四川石油管理局川东开发公司)

何世明等.水泥浆与泥浆热导率的测定研究.天然气工业,2007,27(4):53-55.

摘要 井下循环温度是影响注水泥能否成功的关键因素之一,要准确计算循环温度除了建立与井下实际情况吻合的循环温度模型外,还必须准确给出水泥浆、泥浆的热物性数据。为此,首先根据测量液体热导率的线热源法原理自制了测量装置,然后分别测量了15种水泥浆、5个不同密度的两类泥浆在常温常压下的热导率,分析了水泥浆与泥浆的组分、密度对其热导率的影响。结果表明,在相同密度温度条件下,水泥浆、泥浆组分不同时,其热导率不同;同组分的水泥浆和泥浆,其热导率随密度增大而增大。建议在实际的井下循环温度计算中,需对井眼中的特定水泥浆和泥浆进行实验测量或对目前油气田所普遍使用的水泥浆体系进行系统实验研究,提供热导率测量数据或经验公式以便更好地指导现场使用。

主题词 钻井 完井 固井 注水泥 热导率 循环温度 密度 研究

井下循环温度是影响注水泥能否成功的关键因素之一,而水泥浆、泥浆及岩石的热物性参数对井下循环温度的准确计算有非常显著的影响。无论所建立的井下循环温度模型与井下实际情况多么吻合,但如果泥浆、水泥浆及岩石的热物性参数无法准确给出,也会给井下循环温度的预测带来较大误差。因此,在进行井下循环温度的计算时,还必须准确确定井内液体与岩石的热物理性质。目前,人们在常温常压下已对各类岩石的热物理性质进行了一定的测量^[1-2],笔者曾对水泥浆、泥浆的比热作了一定测量^[3],但对于水泥浆、泥浆的热导率测量几乎未开展^[4]。因此,为了准确预测注水泥作业和钻井过程中的循环温度,对水泥浆、泥浆的热导率进行了实验研究。

一、测量原理及试验装置^[5,6]

测定液体热导率的方法可分为两类:稳态热流法和非稳态热流法。一般常采用非稳态热流法中的线热源法来测量水泥浆、泥浆的热导率。线热源法的特点是:试验装置简单;测量时间短;不需要量测试样的尺寸,试样放入容器内即可;操作简单;具有较高的准确度。它既可用于测量液体材料的热导率

也可用于测量粒状材料的热导率。

1.基本原理

在试样中间,安置一根细长的金属加热丝,当加热丝两端接通电流后,就会发出热量,使加热丝温度升高。加热丝温度升高的快慢,与试样的热导率有关。如果试样的热导率小,即试样的绝热性能好,热量不容易跑掉,那么加热丝的温度升得又高又快;相反,试样的热导率大,热量就很快跑掉,则加热丝的温度升得既小又慢(见图1)。线热源法就是根据这种原理研制成的。试样的热导率与加热丝的温升关系可通过求解无限长圆柱体的导热微分方程式很严格地表示出来。圆柱体的导热微分方程为:

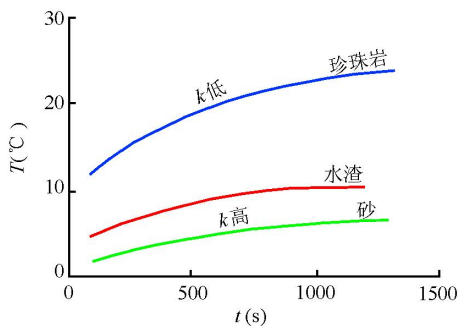


图1 温升与热导率(k)的关系图

^{*} 本文受到中国石油天然气集团公司重点科技攻关项目(编号:960403-5)和“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室开放基金项目(编号:PLN9904)资助。

作者简介:何世明,1966年生,副教授,1998年获原西南石油学院油气井工程专业博士学位,现为塔里木油田公司博士后科研工作站研究人员,长期从事钻井工程等方面的科研与教学工作。地址:(610500)四川省成都市新都区。电话:(028)83033389,13981894760。E-mail:hesming@sina.com

$$\frac{\partial T(r,t)}{\partial t} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T(r,t)}{\partial r^2} + \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right] \quad (1)$$

其解为:

$$T(r,t) = \frac{q}{4\pi kt} e^{\frac{r^2}{4\alpha t}} \quad (2)$$

式中: α 为试样的热扩散率, m^2/s ; q 为线热源强度, W/m ; k 为试样的热导率, $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; t 为时间, s 。

式(2)表示一根细长的加热丝在试样内, 当时间 $t=0$ 时, 突然接通一下电流, 加热丝发出的这一瞬息热源强度(q), 在试样内引起沿径向的温度分布情况。经过推导整理, 试样的热导率(k)可由下式计算:

$$k = \frac{q}{4\pi \Delta T} \ln \left(\frac{t_2}{t_1} \right) \quad (3)$$

实验中只要测出式(3)右边的量就可由该式算出待测浆体的热导率。

其中: ΔT 为加热丝在加热过程中任意两个不同时间 t_2 、 t_1 的温度 $T(r, t_2)$ 、 $T(r, t_1)$ 之差, 即:

$$\Delta T = T(r, t_2) - T(r, t_1) \quad (4)$$

线热源强度(q)按下式计算:

$$q = \frac{I^2 R}{l} = \frac{V^2}{lR} \quad (5)$$

式中: l 为加热丝长度, m ; R 为加热丝的电阻, Ω ; I 为通过加热丝的电流, A ; V 为两端的电压, V 。

2. 试验仪器

图2为线热源法测定浆体热导率的接线示意图。

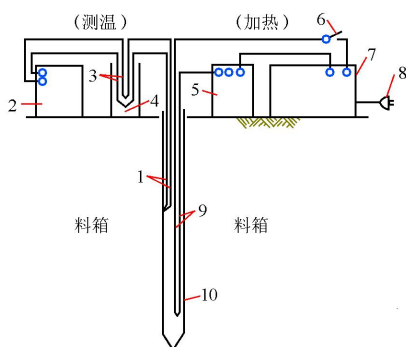


图2 测定浆体热导率的接线示意图

1. 测温热电偶; 2. 电位差计; 3. 冷点热电偶; 4. 冰瓶; 5. 电流表; 6. 开关; 7. 直流稳压电源; 8. 电源插头; 9. 加热电阻丝; 10. 探针

(1) 探针: 其结构如图3所示。电热丝接通电源后则可发出由电效率转换的热量, 其电阻值已知为 R 。探针中部敷设有测定探针表面温度的镍铬—考铜热电偶。电热丝及热电偶通过顶部的接线柱引出。探针长 0.6 m , 直径 0.01 m 。

(2) UJ-36 型电位差计。

(3) 冰瓶: 内装冰水混合物。

(4) WY10A-1 直流稳压电源。

(5) D26-A 型 $0 \sim 5 \text{ A}$ 电流表。

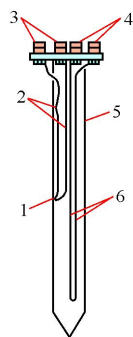


图3 探针结构示意图

1. 热电偶接头; 2. 镍铬—考铜热电偶; 3. 热电偶引出端; 4. 电热丝引出端; 5. 金属管; 6. 电热丝

(6) 装满待测浆体的圆柱形容器: 其内径为 0.4 m , 高度 0.8 m 。

另外还有计时的秒表, 以及各种联接导线及闸刀开关。

二、水泥浆热导率的测量结果及分析

实验用水泥浆配方如表1。除14号水泥浆由于从塔里木石油勘探指挥部(以下简称塔指)带回来的材料用完而未做测量外, 其余水泥浆都进行了测量。表2是在室温下水泥浆热导率测量数据的处理结果。图4为水泥浆热导率随密度的变化图。由图4可见, 水泥浆热导率随密度的增大而增大, 几乎成线性变化。水泥浆组分对水泥浆热导率也有影响, 表2中的1~5号和13号水泥浆都具有相同的密度($1.9 \text{ g}/\text{cm}^3$), 它们的热导率都有不同的差别。另外, 温度与压力对水泥浆的热导率也有影响, 但由于实验装置限制未研究温度、压力对水泥浆热导率的影响规律, 这方面的工作有待于今后进行。

三、泥浆热导率的测量结果及分析

研究中的泥浆为我国油气田常用的泥浆类型, 取自于现场, 它们是聚合物泥浆与聚磺泥浆, 将取自于现场的泥浆加入相应的加重材料或减轻材料及其他泥浆处理剂调成5个密度的试样分别测量其热导率。聚合物泥浆的5个密度为: 1.04 、 1.2 、 1.4 、 1.6 、 $1.8 \text{ g}/\text{cm}^3$; 聚磺泥浆的5个密度为: 1.2 、 1.4 、 1.6 、 1.8 、 $2.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

表3是在室温下泥浆热导率的测量结果。图5为泥浆热导率随密度的变化图。由图5可见, 泥浆的热导率也与水泥浆热导率一样随密度的增大而增大, 几乎成线性变化。由表3可见, 在相同的密度下, 聚合物泥浆的热导率大于聚磺泥浆的热导率, 这方面的工作有待于今后进行。

表 1 水泥浆配方表

序号	密度(g/cm ³)	配 方
1	1.9	水灰比 0.44,G 级水泥 + 水
2	1.9	水灰比 0.44,G 级水泥+1% CaCl ₂ +水
3	1.9	水灰比 0.44,G 级水泥+0.3% SZA-2+水
4	1.9	水灰比 0.44,G 级水泥+0.5% SZ1-2+水
5	1.9	水灰比 0.44,G 级水泥+0.8% SZA-2+1% SZ1-2+0.3% SN-2+水
6	2.3	水固比 0.295,G 级水泥+120% 钛铁矿+水
7	2.1	水固比 0.376,G 级水泥+72.8% 钛铁矿+水
8	1.7	水灰比 0.65,G 级水泥+0.3% CMC+水
9	1.5	水固比 0.9881,G 级水泥+25% 澎润土+水
10	1.5	水固比 0.5537,G 级水泥+17.4% 漂珠+0.3% CMC+水
11	1.3	水固比 0.4458,G 级水泥+45.8% 漂珠+0.3% CMC+水
塔 指 配 方	12	水固比 0.35,G 级水泥+140% 钛铁矿+36% 硅砂+2% D158+3% D80A+1.5% D801+水
	13	水灰比 0.44,G 级水泥+6% D158+2% D80A+1.5% D801+水
	14	水固比 0.9238,G 级水泥+35% 硅藻土+7% D158+1.5% D80A+1% D801+水
	15	水固比 1.779,G 级水泥+35% 硅藻土+7% D158+1.5% D80A+1% D801+水

表 2 水泥浆热导率的测量结果表

序 号	1	2	3	4	5	6	7
密度(g/cm ³)	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.3	2.1
热导率[W/(m·℃)]	0.953	1.035	0.920	0.986	1.085	1.384	1.250
序 号	8	9	10	11	12	13	15
密度(g/cm ³)	1.7	1.5	1.5	1.3	2.1	1.9	1.3
热导率[W/(m·℃)]	0.858	0.728	0.766	0.633	1.306	1.127	0.712

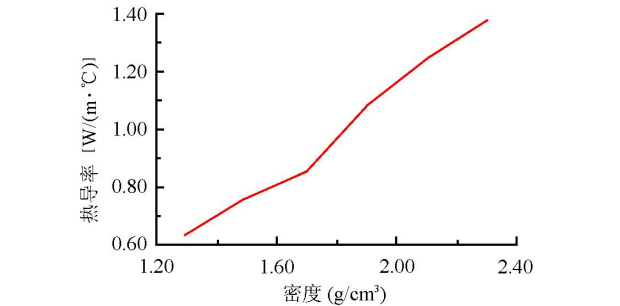


图 4 水泥浆热导率随密度的变化图

表 3 泥浆热导率的测量结果表

泥浆类型	聚合物泥浆				
密度(g/cm ³)	1.04	1.2	1.4	1.6	1.8
热导率[W/(m·℃)]	0.514	0.58	0.676	0.787	0.932
泥浆类型	聚磺泥浆				
密度(g/cm ³)	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
热导率[W/(m·℃)]	0.533	0.616	0.723	0.871	0.955

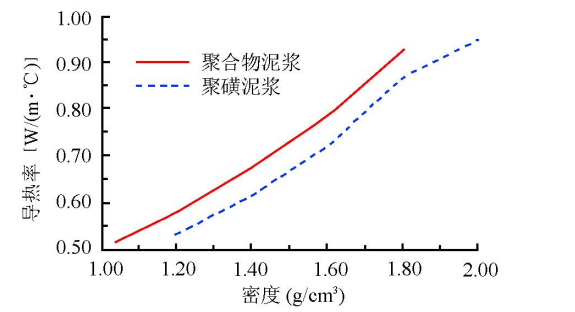


图 5 泥浆密度对热导率的影响图

四、结 论

- (1)在相同密度和温度条件下,水泥浆、泥浆组分不同时,其热导率不同。
- (2)水泥浆、泥浆的热导率随密度的增大而增大,几乎成线性变化。
- (3)在实际的井下循环温度计算中,需对井眼中的特定水泥浆和泥浆进行实验测量或对目前油气田所普遍使用的水泥浆体系进行系统实验研究,提供热导率测量数据或经验公式以便使用。

参 考 文 献

[1] 杨绪充.含油气区地下温压环境[M].东营:石油大学出版社,1993.

[2] ПрощёлкоЮ М.Терлопередача В Скважинах[J].Недра, 1975.

[3] 何世明,徐壁华,等.水泥浆与泥浆比热的室内研究[J].西南石油学院学报,2000,22(4).

- [4] BEIRUTE R M . A circulating and shut-in temperatures profile simulator[J].SPE 17591,1988 .
- [5] E .R .G .埃克特,等 .传热学测试方法[M].北京 :国防工业出版社,1987 .
- [6] 沈韞元,等 .建筑材料热物理性能[M].北京 :中国建筑工业出版社,1981 .
- (修改收稿日期 2006-11-02 编辑 钟水清)