

◀ 检测诊断 ▶

便携式隔热油管视导热系数测试仪

王世虎* 张 毅 盖平原 翟 勇 曲 丽 张紫军 安申法 姜泽菊

(胜利油田有限公司采油工艺研究院)

摘要 为了实现现场批量检测隔热油管的性能,胜利油田有限公司采油工艺研究院于 1996 年研制成便携式隔热油管视导热系数测试仪。在介绍了测试仪稳态法和动态法的测试原理和方法后,给出了测试仪的结构和组成。对胜利油田 20 多万 m 在用隔热油管的现场检测证明,稳态法和动态法测试结果都是可靠的,测试仪具有体积小、质量轻、测试快以及可多根管同时测试的特点。

关键词 隔热油管 视导热系数 测试仪 隔热性能

隔热油管是稠油热采的重要工具。普通隔热油管随着使用周期的增加,其隔热性能逐渐变差,影响了注汽采油的效果以及油井套管的安全。为了检测现场隔热油管的性能,淘汰不符合使用标准的、性能变差的隔热油管,1994 年胜利石油管理局采油工艺研究院开始研制便携式隔热油管视导热系数测试仪。

测试原理和方法

隔热油管视导热系数测试仪有动态法和稳态法两种测试方法。

1. 稳态法测试

稳态法测试是通过测量隔热油管内、外管壁之间的热流和温度来计算的。因此为了测试其导热系数,需要在隔热油管内建立一个热流及温度可测的传热系统。在隔热油管视导热系数测试仪中,这个传热系统是通过放置在隔热油管内轴线上的电加热棒来建立的。电加热棒加热被测隔热油管并在其内外壁之间形成热流与温差,当内外管之间的热流与温度不再随时间变化时,传热就达到了稳定,这时可应用付立叶定律^[1]根据隔热油管内、外壁之间的热流与温差来计算隔热油管的视导热系数(测试示意图见图 4)。

稳态测试有科学的理论依据,热流及温度的测量都能达到较高的精度,并且传热系统达到稳定后,环境的变化虽然对隔热油管的外壁温度有影响,但对视导热系数更为敏感的热流量的影响非常小,因此稳态法测试具有较高的精度。

稳态法测试的缺点是传热达到稳定状态需要较长的时间,因此该法适用于室内研究和试验,但不能满足现场大批量测试的要求。为了缩短测试时间,提出了动态测试的设想,动态测试与稳态测试采用同一套装置。

2. 动态法测试

由于电加热棒的热量沿隔热油管轴向的传热很小,因此电加热棒在隔热油管中建立的传热系统可近似视为 1 个一维径向传热系统(图 1)。它与平面厚壁有相似的传热特性。在动态测试时间内,隔热油管外壁温度的变化很小,且主要受电加热棒的影响,因此该平面厚壁可视为有稳定热流的一半无限大物体的一部分,见图 2。在这种情况下,温度场分布的关系式为^[2]

$$T(x, \tau) = \frac{2 q_i \sqrt{a\tau/\pi}}{\lambda} \exp\left(-\frac{x^2}{4a\tau}\right) - \frac{q_i x}{\lambda} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}\right) \quad (1)$$

* 王世虎,高级工程师,1984 年毕业于大庆石油学院,现从事科研和行政管理工作。地址:(257000) 山东省东营市。电话:(0546) 8557285。

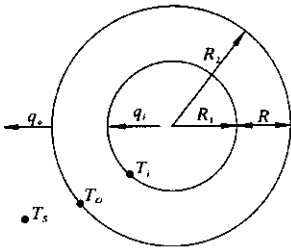


图 1 环形厚壁一维传热示意图

R_1 —隔热油管内管内径； R_2 —隔热油管外管外径；
 R —隔热油管厚度； q_i —电加热功率； T_i —隔热油管内管温度； T_o —隔热油管外管温度；
 T_s —环境温度； q_o —隔热油管向环境的散热量

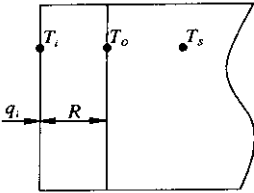


图 2 等效平面厚壁一维传热示意图

R —隔热油管厚度； q_i —电加热恒热流密度； T_i —隔热油管内管温度； T_o —隔热油管外管温度； T_s —环境温度

式中 $T(x, \tau)$ ——半无限大物体内 x 点 τ 时刻的温度；

- x ——半无限大物体内一点距边界的距离，m；
- q_i ——恒热流密度， W/m^2 ；
- τ ——恒热流加热时间，s；
- λ ——半无限大物体的导热系数， $W/(m \cdot ^\circ C)$ ；
- a ——无限大物体的导温系数， m^2/s 。

由式 (1) 可知，温度 T 随时间 τ 的增加而增大，但 T 与 λ 的关系还与 x 、 τ 有关。

令 $z = x/2 \sqrt{a\tau}$ ，将式 (1) 两边对 λ 求导，整理后得

$$B \partial T / \partial \lambda = f(z) = 2 \sqrt{\pi z} \operatorname{erfc}(z) - \exp(-z^2) \tag{2}$$

其中 $B = \lambda^2 \sqrt{\pi / a \tau} / q_i$

$f(z)$ 的图形如图 3，从图 3 看出， $z < 0.43$ ， $f(z) < 0$ ； $z > 0.43$ ， $f(z) > 0$ 。

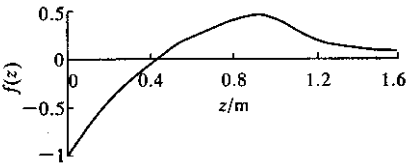


图 3 $f(z)$ 的图形

由于 $B > 0$ ，所以 $f(z) > 0$ 时， $\partial T / \partial \lambda > 0$ ，说明当其它参数一定时， T 随 λ 的增大而升高； $f(z)$ 万方数据

< 0 时， $\partial T / \partial \lambda < 0$ ，说明其它参数一定时， T 随 λ 的增大而降低。这就是动态法测试的理论依据。

在隔热油管内壁， $x = 0$ ， $0 \leq z < 0.43$ ，所以 $f(z) < 0$ ， $\partial T / \partial \lambda < 0$ ，因此当时间 τ 一定时， λ 大的隔热油管的内壁温度要比 λ 小的内壁温度低，而当隔热油管内壁升高相同的温度时， λ 大的隔热油管用时间要比 λ 小的用的时间多。

在隔热油管外壁， $x > 0$ ，通过计算可知，对一般的隔热油管来说，当测试时间小于 2 h 时， $z > 0.43$ ， $f(z) > 0$ ， $\partial T / \partial \lambda > 0$ ，而动态测试时间在 1 h 内，因此隔热油管外壁情况与内壁正好相反。

根据上面的分析，在一系列标准隔热油管（视导热系数 λ 已知）上用实验方法得出了当电加热棒功率一定时，内壁温度升高一定值所用的时间随 λ 的变化规律和经验公式。测试时，可根据被测管内壁温度升高一定值所用的时间，用经验公式求出被测管的视导热系数。

动态法测试误差分析

为了检验测试仪动态测试的准确性，用动态法和稳态法对一部分隔热油管的视导热系数进行了测试对比，测试结果见表 1。由于稳态测试精度较高，因此用稳态测试的结果判别动态测试的误差。

表 1 隔热油管视导热系数动态与稳态测试结果对比

序号	动态测试/ ($W \cdot m^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)	稳态测试/ ($W \cdot m^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)	动态测试误差/ %
1	0.029 2	0.027 3	+7
2	0.038 0	0.036 6	+3.8
3	0.045 8	0.041 8	+9
4	0.058 0	0.054 0	+7.4
5	0.066 0	0.071 0	-7
6	0.070 6	0.078 1	-9.6
7	0.072 4	0.078 2	-7.4
8	0.082 4	0.087 9	-6
9	0.109 0	0.111 0	-2
10	0.122 0	0.135 0	-9.6

从表 1 可以看出，动态法测试达到了较高的精度，并且动态测试的误差随隔热油管的视导热系数有规律地变化。当隔热油管的视导热系数较小时，动态测试的结果大于实际的视导热系数；而当隔热油管的视导热系数较大时，动态测试结果小于实际视导热系数。

测试仪的结构及特点

1. 测试仪的组成

隔热油管视导热系数测试仪的测试示意图如图 4 所示，测试的数据有隔热油管内外壁温度、电加热功率及测试时间。测试仪由 3 部分组成：主机箱、测试箱、测试心棒（包括测温卡具），图 5 是测试仪的组成框图，其各部分的功能如下。

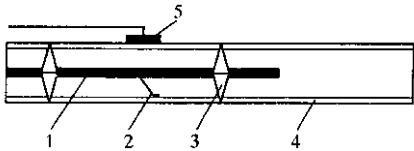


图 4 隔热油管视导热系数测试示意图

1—电加热棒；2—内壁测温点；3—支撑环；4—隔热油管；5—外壁测温点

主机箱：①进行动态法测试或稳态法测试的选择；②设定参考温度、隔热油管尺寸等测试参数；③对测试数据进行处理，计算隔热油管的视导热系数；④控制测试过程。

测试箱：进行各类测试数据的采集、加热功率控制及各种信号的转换。

测试心棒：加热被测管内腔，测量被测管内外壁温度。

测试仪各部分之间通过仪器的网络接口进行数据传递。

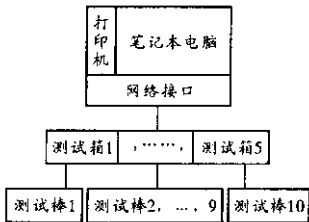


图 5 测试仪结构示意图

2. 测试仪的特点

- (1) 该测试仪体积小、质量轻、携带方便；
- (2) 测试速度快，稳态测试时间在 3 h 以上，动态测试时间一般为 30~45 min，并且动态测试

- 与稳态测试可同时进行；
- (3) 测试仪可同时测量 1~10 根隔热油管，能满足现场大批量测试的要求；
- (4) 测试仪操作简单，可直接测试带有油污的隔热油管；
- (5) 测试仪可自动存储测试结果，并对隔热油管进行分类，以便于报废。

结 论

便携式隔热油管视导热系数测试仪研制成功后，对胜利油田在用的 20 多万 m 隔热油管进行了现场测试，对性能变差的隔热油管实施了报废，保证了注汽质量，提高了稠油热采的效果。通过现场应用，得到以下几点结论：

- (1) 便携式隔热油管视导热系数测试仪有稳态和动态两种测试方法，能满足不同场合测试的需要；
- (2) 稳态测试理论依据充分，受环境变化的影响小，有较高的精度，测试时间长，可以用在室内测试上；
- (3) 动态测试理论依据正确，现场应用表明，应用动态法进行隔热油管快速测试是可行的，测试结果是可靠的；
- (4) 测试仪体积小、质量轻，测试快，同时可多根管同时测试。

参 考 文 献

1 任 瑛，张 弘．传热学．山东东营：石油大学出版社，1988：12~21
2 钱滨江，伍贻文，常家芳等．简明传热手册．北京：高等教育出版社，1983：86~91

(本文编辑 李学富)