

热机碎岩中钻头与胎体温度场的分布研究

吴景华^{1,2}, 张祖培³

(1. 成都理工大学地质灾害防治与环境保护重点实验室, 成都 610059;

2. 长春工程学院, 长春 130021; 3. 吉林大学, 长春 130026)

[摘要] 主要论述了热机碎岩中钻头与胎体温度场的分布情况, 建立了求解胎体和岩石不同位置温度的数学模型; 此数学模型的求解与实验数据进行了对比, 两者非常接近。

[关键词] 热机碎 胎体 岩石 温度分布

[中图分类号] P634.5 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2007)04-0091-04

1 钻头中温度场的分布

1.1 测试原理

胎体中随高度变化的温度测试试验: 钻进试验中采用油压钻机可无级调速, 配置了转速、钻压、泵量、泵压测试仪表, 能准确测出钻进规程参数。

测温设备包括: 测温热电偶、集流装置。具体见图1。

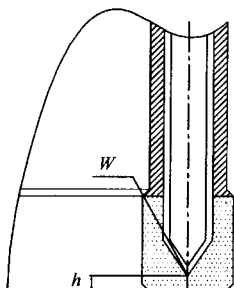


图1 热电偶在钻头胎体中的位置

W—热电偶

将一 $\phi 0.5$ 的铬镍—镍硅铠热电偶插入离钻头唇面 $0.5 \sim 1.5\text{mm}$ 处的钻头胎体内, 通过集流装置从旋转着的钻具中将温度信号显示于仪表。当钻头钻进岩石使胎体温度升高时, 热电偶两极间产生热电势, 并在温度指示仪表上显示出胎体温度。

1.2 胎体中温度梯度公式

根据热传导理论, 推导出沿胎体高度的温度梯度公式:

$$\Delta T_x = \Delta T_{\text{唇}} \cdot \text{EXP}(-mx)$$

式中: ΔT_x —离胎体唇面 x 处的胎体温度与冲洗液温度 T_f 差值。

m —与冷却参数有关的系数

在测得胎体高度上某两点 X_1 、 X_2 处的温度 T_1 、 T_2 时, 就可按下式推算出胎体唇部温度 $T_{\text{唇}}$ 。

$$T_{\text{唇}} = (T_2 - T_f) \text{EXP} \left(\frac{X_2}{X_1 - X_2} \ln \frac{T_2 - T_f}{T_1 - T_f} + T_f \right)$$

2 岩石中的温度场

2.1 确定岩石中温度变化的规律

(1) 温度计算公式的理论推导

在热机碎岩过程中, 胎体与岩石摩擦产生的热能在岩石中传导。岩石传递分子运动热能的性质即谓岩石的导热性。

构建数学模型:

厚度为 Z 的一块岩石, 表面受胎体摩擦, 温度为 T_1 ; 下表面受到上表面所传过来的热量, 温度为 T_2 。根据傅立叶定律, 我们可得以下公式:

$$T_1 - T_2 = \frac{qZ}{K}$$

式中: q —单位时间内单位面积岩石层面所传导的热量, W/m^2 ;

k —岩石的导热率, $/(m \cdot k)$

由此可得热机碎岩钻进中岩石任意深度处的温度 T :

$$T = T_0 - \frac{q}{k} Z$$

式中: T_0 —接触面温度, K

[收稿日期] 2007-03-08; [修订日期] 2007-05-12。

[作者简介] 吴景华(1964年—), 男, 1987年毕业于长春地质学院, 获博士学位, 现主要从事地质工程和岩土工程的教学科研工作。

(2) 关于公式中参数 T_0 、 q 、 k 的讨论① T_0

求解表面加热温度(当强力加热时),可采用求阿曼利公理求得,假设离热源的距离 $Z=0$ 。那表面温度将有下列式:

$$T_0 = \frac{2q}{k} \sqrt{\frac{a_n t_H}{\pi}}$$

式中: a_n —岩石的温度传递系数, $m^2/\text{℃}$

t_H —加热时间, s ;

但是随深度 Z 的变化,温度 T 变化范围很大,由此导致 k 值的变化也很大,因此用公式计算 T_0 的意义并不很大。

实际中我们可以利用钻头胎体的温度 $T_{\text{胎}}$ 乘以一个修正系数 γ 。即 $T_0 = T_{\text{胎}} \cdot \gamma$

式中 γ 的值可由经验或试验确定。

② q

随着深度 Z 增大,岩石的传热面积将会发生变化,但是在很浅的岩体范围内,我们假设其传热面积不发生变化,即认为 q 为一定值。

③ k

k 随着温度的变化在高温时表现的比较敏感。温度增高时,晶格的振动幅度增大,导致更大的非谐振荡而使热波的平均自由路程减小,从而使介质的导热率低。由理论导出并经实验证实,当发生非谐振动的温度高于 Debye 温度时,由非谐振动发散引起的平均自由路程与导热介质的绝对温度之倒数成正比,即:

$$l \propto \frac{1}{T}$$

Kingery(1955) 计算所得到 8 种材料的声子平均自由路程及温度表示如图 2 所示。 l 的倒数与温度的关系曲线表示如图 3 所示。常温时 l 值越高也即导热性能越好的材料,其 l 只随温度增高而降低的幅度就越大。理论上,图 2 中的关系曲线必定通过原点,即当绝对温度接近零时,声子的非谐振动发散效应趋于停止,则声子的平均自由路程趋于无限大;同理,在图 1 中所有直线部分的延伸线汇聚于坐标轴的原点,其物理意义是,任何固体材料处于极高温时,由于声子非谐振动发散效应的增强,其声子平均自由路程将渐趋于零。事实上,上述关系式仅适用于绝对温度高于 Debye 温度时,此时矿物晶体的容积比热和弹性波速接近恒定,于是岩石的 k 值很接近于与 $\frac{1}{T}$ 成正比,即

$$K \propto \frac{1}{T}$$

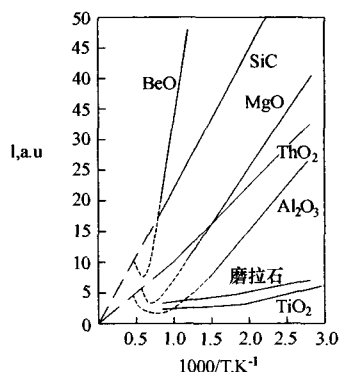


图 2 不同温度时 8 种固体材料的平均自由路程 (Kingery, 1955)

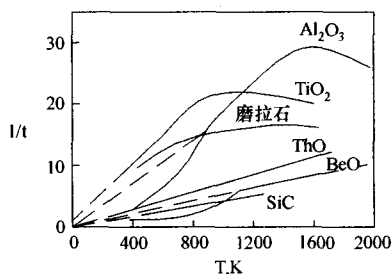


图 3 平均自由路程倒数与温度的关系曲线 (Kingery, 1955)

由经验知道,热机碎岩岩石中的温度在表层很浅的范围内变化很大,可由 1000K 急剧减至 300 ~ 400K,因此, k 值的变化是很大的,由表层向下,随着温度的降低而增大。

综上所述,由 $T = T_0 - \frac{qZ}{k}$ 易知:

岩石表层由于温度很高, k 值较小, $\frac{q}{k}$ 很大,则 T 随着 Z 的增大而急剧减小。当降至一定深度, T 减小至一定值后, k 值逐渐升高,此时 $\frac{q}{k}$ 减小至一定深度。则 T 随着 Z 的增大的减小趋势得到缓和, T 值变化甚小。

2.2 热机碎岩钻进中岩石的温度变化范围及温度变化对岩石强度的影响

岩石的强度和破碎能与加热温度的关系在钻进过程中进行量的评价是较为复杂的。试验表明,强度发生变化的范围大致在 423 ~ 473K 或 853 ~ 873K。大多数基岩的弹性和强度随着温度的增加而下降。

为了控制热机规程钻进,必须定量评价岩石强度和温度之间的的关系。可以认为大多数岩石加热至 700 ~ 1000K 时,将损失 50% ~ 70% 的原有强度。

试验中发现,当加热层温度达 1200 ~ 1300K 时,在钻头上会粘结小岩屑,那么这个温度是取心热机钻进的极限温度。

因此,热机钻进过程中,加热层的温度应控制在当 $T_0 \geq 450K$ 时

$$T = \begin{cases} T_0 - 234Z & T \geq 450K & Z \leq Z_1 \\ 450 - 66(Z - Z_1) & 350K \leq T < 450K & Z_1 < Z \leq Z_2 \\ 350 - a(Z - Z_2) & T \leq 350K & Z > Z_2 (a \rightarrow 0) \end{cases}$$

当 $350K \leq T_0 \leq 450K$ 时

$$T = \begin{cases} T_0 - 66Z & 350K \leq T < 450K & Z \leq Z_1 \\ 350 - a(Z - Z_1) & T < 350K & Z > Z_1 (a \rightarrow 0) \end{cases}$$

当 $T_0 \leq 350K$ 时

$$T = T_0 - aZ \quad T_0 \leq 350K \quad a \rightarrow 0$$

注: $a = q/k$

(1) 当岩石表面(即接触面处)温度 T_0 达 450K 以上时,我们应用公式 $T = T_0 - 234Z$ 计算表层温度。

当温度 T 随深度 Z 增大而降低至 450K 时,即 $450 = T_0 - 234Z$ 时,此时 $T = 450K$, $Z = \frac{T_0 - 450}{234}$, 令 $Z_1 = \frac{T_0 - 450}{234}$;

当温度 T 降低至 450K, $Z > Z_1$ 时,我们采用公式 $T = 450 - 66(Z - Z_1)$ 来计算岩层中温度;

当温度 T 随深度 Z 增加将至 350K 时,即 $350 = 450 - 66(Z - Z_1)$ 时,此时 $T = 350K$, $Z = \frac{100}{66} + Z_1$, 令 $Z_2 = \frac{100}{66} + Z_1$;

当温度 T 降至 350K 以下时,岩石中的温度变化很小,温度趋于稳定,此时公式 $T = 350 - a(Z - Z_2)$ 中 $a \rightarrow 0$, 因为当温度降至 350K 以下时,岩石中的温度已经对热机碎岩没有意义。因此,我们不再讨论 a 值。

(2) 当表层温度 T_0 满足: $350K \leq T_0 < 450K$ 时,我们应用公式 $T = T_0 - 66Z$ 计算岩石表层温度。

当温度随着深度 Z 的增大而降低至 350K 时,即 $350 = T_0 - 66Z$ 时,此时 $T = 350K$, $Z_1 = \frac{T_0 - 350}{66}$

当温度 T 降至 350K 以下时,公式 $T = T_0 - aZ$

400 ~ 1000K 之内。

2.3 构建温度方程,确定温度 T 与深度 Z 的函数关系

由前面的讨论,我们知道,岩石强度在高温时(在温度控制范围内)随岩层深度 Z 的扩展急剧降低。在降至低温时,又逐渐趋于稳定。根据大量的试验与经验,给出了以下公式来计算岩层中某一深度的温度值 T :

中, $a \rightarrow 0$; 岩石中温度基本不再变化。

(3) 当表层温度 $T_0 < 350K$ 时, $a \rightarrow 0$, 符合热机碎岩的条件,我们对此不作讨论。

3 数学模型的检验

(1) 岩石中测温方法

测量原理见图 4。随着钻头进尺的增加,测点离接触面的距离越来越远。我们可以在不同时刻测出不同深度的岩石温度。

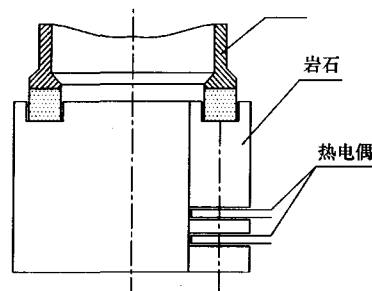


图4 岩石中的温度测量

(2) 数学模型与实验数据对比分析

表 1 和表 2 为两组实验数据。图 5 是根据以上两组数据所绘制的曲线:

表 1 试验记录 1

Z, mm	0	0.1	0.5	1.0	2.0	3.0
T_{mac}, K	900	858	718	610	450	360

表 2 试验记录 2

Z, mm	0	0.5	0.77	1.06	2.08	4.1	5.6
T_{max}, K	616.5	446	394	380.4	348.6	318.2	307.2

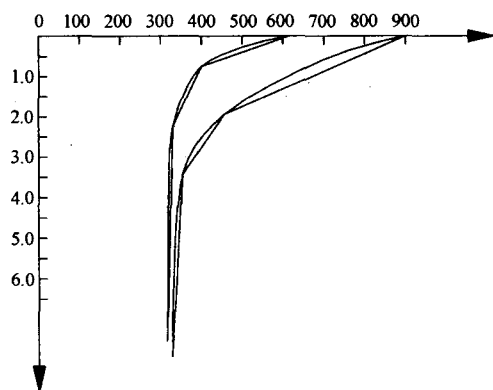


图5 数学模型计算结果曲线与试验曲线对比

图中两条曲线是根据试验数据所绘制
图中两条折线是根据数学模型所绘制

从图中可见,通过模型公式计算的结果与实测的温度值最大误差在 40 ~ 50K 范围内,因此,可以作为温度场的计算公式。

4 结论

由以上分析研究可以看出,我们建立的温度场分布数学模型与实验数据对比是比较一致的,此数学模型具有一定的理论和实际指导意义。

[参考文献]

- [1] 赵健康,等. 热机碎岩技术的研究应用现状[J]. 探矿工程, 2001 增刊.
- [2] Г. С. 勃拉托夫, 博士论文, 2000.
- [3] 张 科,等. 金刚石钻进中热 - 机载荷碎岩机理及其应用[J]. 探矿工程.

STUDY DISTRIBUTION OF DRILL OF ROCK'S DAMAGE AND PADDING'S TEMPERATURE PLACE BY FRICTION HEAT AND MECHANICAL ENERGY

WU Jing - hua^{1,2}, ZHANG Zu - pei³

(1. Experiment Room of Defending of Geology Disaster and Environmental protection of Chengdu Science and Engineering University, Chengdu 610059;

2. Changchun Institute of Technology, Changchun 130021; 3. Ji Lin University, Changchun 130026)

Abstract: This paper mainly discusses distribution of drill of rock's damage and padding's temperature place by friction heat and mechanical energy, and builds mathematics model of solution padding and temperatures of different places of rocks. There is a contrast in solution of this model and experiment data, we can conclude that these two are very close. This model has two guide significance in theory and reality.

Key words: rock's damage by friction heat and mechanical energy, padding, rock, temperature place