

文章编号: 1672-8785(2012)09-0046-03

用红外测温技术测量铸件浇铸过程中的表面温度

廖爱群 饶国燃

(北京理工大学珠海学院机械与车辆学院, 广东 珠海 519085)

摘 要: 利用红外测温技术并结合导热与对流耦合反问题求解, 给出了一种根据铸件浇铸过程表面温度红外监测情况反推铸件凝固温度的方法。经过数值计算验证, 该方法可对铸件浇铸过程中的表面温度给出高精度的定量检测结果。实际测试结果表明, 该方法具有可行性。另外, 通过编制简单、可行的程序并输入不同铸件的具体特征参数, 可以方便、即时地反推出不同铸件浇铸过程中的表面温度。因此, 该方法可用于指导铸件浇铸的生产实践。

关键词: 红外测温; 浇铸过程; 反问题; 数值计算

中图分类号: TN219; O511.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.09.009

Measurement of Temperature of Casting Surface in Casting Process Using Infrared Temperature Measurement Technology

LIAO Ai-qun, RAO Guo-ran

(School of Mechanical Engineering, Zhuhai College of Beijing Institute of Technology, Zhuhai 519085, China)

Abstract: By using an infrared temperature measurement technology and combining conduction with convection, a method to reversely calculate the solidification temperature of a casting part according to its surface temperature measured in the casting process is proposed. It is verified that the method can give a more accurate quantitative detection result from the surface temperature of the casting part in its casting process. The actual test result shows that this method is feasible. In addition, it can reversely calculate the surface temperature of different casting parts during casting by writing a simple program and inputting the specific parameters of different parts. So, this method can be used in the production of casting.

Key words: infrared temperature-measuring; casting process; anti-issue; numerical calculation

0 引言

在铸件的浇铸过程中, 影响铸件导热性的因素极为复杂。理论知识和实际经验均已证明, 铸件的凝固温度对成品率、机械性能和精度具有重大影响。因此, 凝固温度的确定是否准确有着深远的意义。随着现代红外技术的不断成熟和日臻完善, 利用红外热像仪的温度检测方法逐

渐发展起来。该方法具有非接触、实时快速以及准确度高等一系列优点^[1]。用于对加热设备温度进行监测与控制的红外检测技术在工程实践中备受人们的重视, 并且已经得到了快速发展^[2]。

本文通过对用红外热像仪检测铸造铸件温度进行理论抽象, 建立一种导热、对流和辐射耦

收稿日期: 2012-07-25

作者简介: 廖爱群(1983-), 女, 广东汕头人, 助教, 硕士, 主要从事热能与动力工程、传质传热数值模拟以及热电厂冷热电三联产研究工作。E-mail: liaoaqun2006@126.com

合问题的反问题求解模型, 并介绍一种通过求解铸件测量温度反推铸件凝固温度和凝固时间的数值计算方法^[3]。由于用该方法可以编制简单、可行的程序, 通过输入不同铸件的具体特征参数, 便可方便、即时地反推出不同铸件在浇铸过程中的表面温度。

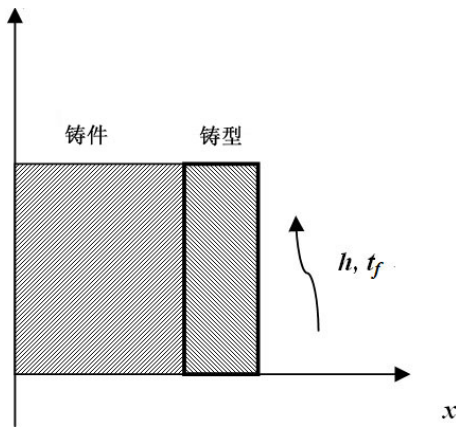


图1 铸件散热的物理模型

1 计算模型

在实际铸铁模型中, 对于铸造黄铜板的过程, 计算时作以下简化: 液体铜瞬间充满形腔; 液体铜及铸型的初始温度各自均匀; 液体铜内无自然对流, 固液体铜内均为导热; 液体铜与固体铜的物性相同且为常数; 铸件与铸型之间接触良好, 不存在空气隙; 铸型外部两表面与周围环境之间的换热包括自然对流与热辐射, 换热系数分别为 h_c 和 h_r , 总换热系数 $h = h_c + h_r$; 液体铜在固定的凝固点 t_s 下凝固, 凝固过程中释放出的熔化潜热可折算成相当于使物体温度升高 (L/c) 的热量, 但在潜热释放过程中该温度应一直保持为 t_s 。经过这样一番简化后, 问题则变为图1所示的双层平板的一维非稳态导热与对流及辐射的耦合问题。由于铸件换热是关于中心线对称的, 仅对一半区域进行计算即可。 x 坐标的原点选择在铸件的中心线上。设铸型的厚度为 δ_1 , 铸件的半厚度为 δ_2 , 则该问题的数学描述为^[4]

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho c} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad 0 < x < \delta_2 \quad (1)$$

$$\tau = 0, \quad t = t_1, \quad 0 < x \leq \delta_2 \quad (2)$$

$$\tau > 0, \quad t = t_2, \quad \frac{\partial t}{\partial x} = 0, \quad x = 0 \quad (3)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial t}{\partial x} = h(t - t_f), \quad x = \delta_1 + \delta_2 \quad (4)$$

由于铸件是竖直放置的, 自然对流换热准则方程式如下^[4]:

$$Nu_u = 0.59(G_r P_r)^{1/4}, \quad G_r = \frac{g \alpha \Delta T L^3}{\gamma^2} \quad (5)$$

铸件与空气的自然对流换热系数为

$$h_c = \frac{Nu_u \lambda'}{L} \quad (6)$$

式中, $g = 9.8$; $\alpha = \frac{1}{T_m}$; $T_m = \frac{1}{2}(T_0 + T_m)$; $\Delta T = T_0 - T_f$; γ 为 T_m 下的运动黏性; λ' 和 P_r 为 T_m 下的空气参数均可通过查空气物性表得知。

当铸件放在空气中不久, 温度降低不多时, 可用式(7)计算铸件与周围环境的辐射换热^[4]。

$$h_r = \frac{\varepsilon \sigma (T_0^4 - T_f^4)}{\Delta T} \quad (7)$$

式中, 铸件的黑度 $\varepsilon = 0.68$, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ 。

2 数值计算

本文讨论的一维非稳态导热、对流及辐射耦合问题在空间坐标中是一维的^[5]。若考虑时间坐标, 则所谓的一维非稳态导热实际上是一个二维问题(见图2), 即有时间坐标 τ 和空间坐标 x 两个变量。但时间坐标是单向的, 即前一时刻的状态会对后一时刻的状态有影响, 但后一时刻的状态却影响不到前一时刻, 图2示出了以 x 和 τ 为坐标的计算区域的离散。时间从 $\tau = 0$ 开始, 经过若干个时层增加到 K 时层和 $K+1$ 时层。

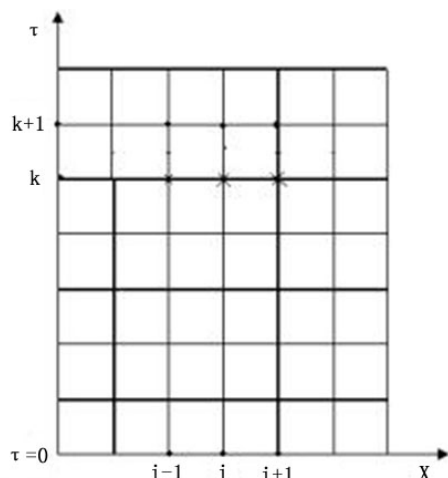


图 2 平面区域离散

对于 i 节点, 在 K 和 $K+1$ 时刻将式 (1) 的左端温度对时间的偏导数进行差分离散, 可得隐式的数学描述为

$$T_i^0 = T_0 (i = 1, 2, \dots, N) \text{ (初始值)} \quad (8)$$

$$T_1^{K+1} = T_2^{K+1} \quad (9)$$

$$T_t^{K+1} = \frac{1}{1+2f} (fT_{t+1}^{K+1} + fT_{t-1}^{K+1} + T_t^K) \quad (10)$$

($K = 0, 1, 2, \dots, N-1$)

$$T_N^{K+1} = \frac{1}{(h\Delta x)/\lambda + 1} (T_{N-1}^{K+1} + \frac{h\Delta x}{\lambda} T_\infty) \quad (11)$$

式中, $f = \frac{a\Delta\tau}{\Delta x^2}$ 。

每个时层都需要迭代求解代数方程组 (式 (8) ~ 式 (11))。在对每个时层进行计算时, 先假定一个温度场 (一般取上一时层的温度场作为这一时层的初始场), 然后迭代计算直至收敛为止。程序编制过程在此省略。

3 实例计算及分析

运用实际生产中的一组数据对此类反问题进行了计算。铸铁模型的厚度为 7 cm, 铸件为黄铜板, 厚 14 cm。空气温度为 20 °C, 由红外测温实际测得的液体铜初温为 1101.7 °C, 液体铜的凝固温度为 1000 °C, 铸型及铸件的其他特征参数可根据特征温度查表得到。

铸型: $\lambda_1 = 126 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, $\rho_1 = 800 \text{ kg/m}^3$, $c_1 = 419 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ 。

铸件: $\lambda_2 = 63 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, $\rho_2 = 7000 \text{ kg/m}^3$, $c_2 = 502 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, $L = 167.5 \text{ kJ/kg}$, $h = h_c + h_r = 4.8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ 。

铸件的半厚度为 $L=0.07 \text{ m}$ 。划分 100 个网格, 时间步长取 0.001 s。代入数据, 通过编程计算直至收敛为止, 得到数值计算结果, 即铸件的完全凝固温度为 978.9 °C, 所需时间为 301.4 s。在红外实测中, 经过 301.4 s 后, 铸件温度为 980.3 °C, 相对误差为 0.14 %。由此可见, 计算结果与实际测量结果基本一致。

4 结论

本文通过对用红外热像仪检测铸造铸件温度时存在的问题进行了分析, 从理论上抽象出了导热、对流和辐射耦合问题的反问题求解模型, 提出了一种通过求解铸件测量温度反推铸件凝固温度和凝固时间的数值计算方法。实际测试结果表明, 该方法具有可行性。对于不同的铸件材料, 通过改变铸件的具体特征参数, 并将其输入程序进行模拟计算直至收敛为止, 可以推算出不同材料铸件的凝固温度和凝固时间。该方法既可节省现场反复试验所花费的人力物力, 又可节约时间, 因此可用于指导铸件浇铸的生产实践。

参考文献

- [1] 杨殿成, 邱朝阳. 红外检测技术原理及应用 [J]. 新疆电力, 2004, 3: 28-31.
- [2] 赵荣昌. 红外诊断技术的原理及其在电厂的应用 [J]. 燃气轮机技术, 2006, 19(3): 62-65.
- [3] 曹春梅. 红外测温对加热圆柱体轴线上热导线温度的测量 [J]. 激光与红外, 2006, 36(9): 864-865.
- [4] 杨世铭, 陶文铨. 传热学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [5] 杨道业. 诊断中性束功率测量系统的研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005.