

# 无损检测技术在浇筑模具质量控制中的应用研究

江源<sup>1\*</sup>, 沈晓婉<sup>2</sup>, 范交<sup>1</sup>

(1. 中铜东南铜业有限公司, 宁德 352100; 2. 金寨县中医医院, 六安 237000)

**摘要:** 本研究旨在探讨无损检测技术在浇筑模具质量控制中的具体应用, 以提高模具制造的精度和可靠性。主要采用超声波检测技术对模具材料进行检测, 以精确识别缺陷位置并评估材料应力分布。同时, 利用红外热成像技术监测模具表面的温度分布和加工参数, 从而评估表面质量。研究结果表明, 无损检测技术在浇筑模具质量控制方面具有显著优势, 能够有效提升质量控制水平。期望通过文章的研究, 能够有效提高模具制造行业的技术水平, 推动产业的发展。

**关键词:** 无损检测技术; 浇筑模具; 质量控制; 超声波检测; 红外热成像

## Application research of non-destructive testing technology in quality control of pouring molds

JIANG Yuan<sup>1\*</sup>, SHEN Xiao-Wan<sup>2</sup>, FAN Jiao<sup>1</sup>

(1. China Copper Southeast Copper Co., Ltd., Ningde 352100, China; 2. Jin Zhai County Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lu'an 237000, China)

**ABSTRACT:** This study aims to explore the specific application of non-destructive testing technology in quality control of pouring molds, in order to improve the accuracy and reliability of mold manufacturing. Mainly using ultrasonic testing technology to detect mold materials, in order to accurately identify defect locations and evaluate material stress distribution. At the same time, infrared thermal imaging technology is used to monitor the temperature distribution and processing parameters of the mold surface, in order to evaluate the surface quality. The research results indicate that non-destructive testing technology has significant advantages in quality control of pouring molds and can effectively improve the level of quality control. I hope that through the research in this article, we can effectively improve the technological level of the mold manufacturing industry and promote its development.

**KEY WORDS:** non-destructive testing technology; pouring molds; quality control; ultrasonic testing; infrared thermal imaging

## 0 引言

随着科技的发展和工业制造水平的提高, 浇筑模具在制造业中的应用越来越广泛<sup>[1-3]</sup>。浇筑模具的质量是影响产品生产效率和模具质量的关键, 对模具质量的控制也非常重要。然而, 传统的

控制方法较为依赖于人工的检测和经验判断, 这种方法容易受到主观因素的影响, 无法满足现代制造业的高质量要求。为了解决这一问题, 文章提出利用无损检测技术检测控制模具质量, 在不破坏被检测物的前提下, 通过检测其物理特性来评估质量, 与传统的质量控制方法相比, 无损检测技术具有非破坏性、快

\*通信作者: 江源, 助理工程师, 电仪工程师, 研究方向为检测技术与自动化装置。E-mail: 3416922007@qq.com

\*Corresponding author: JIANG Yuan, Assistant Engineer, Electrical Instrument Engineer, China Copper Southeast Copper Co., Ltd., Ningde 352100, China. E-mail: 3416922007@qq.com

速、准确等优点，能够大大提高模具质量控制的效果。期望本文的研究结果能促进浇筑模具质量管理的精准化和高效化，同时，也能为其他领域的无损检测技术应用提供参考和借鉴。

## 1 超声波检测技术在模具材料检测中的应用

### 1.1 检测缺陷位置

利用超声波检测技术检测模具材料，主要是通过检测材料中的缺陷位置，以评估其完整性<sup>[4-6]</sup>。具体检测流程如图1所示。

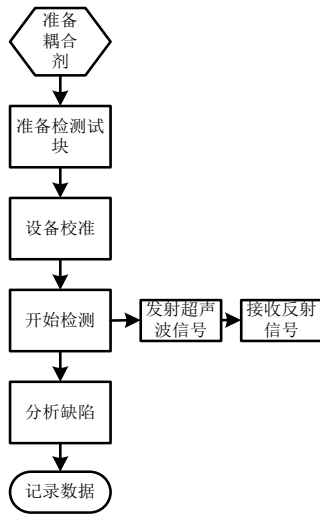


图1 检测缺陷流程

Fig.1 Defect detection process

如图1所示，首先要准备甘油耦合剂，以传递超声波信号。同时，为了校准超声波检测设备，需要准备与被检测材料相似的试块，试块需包含已知检测材料尺寸的缺陷，用于对比分析。接着，进行设备校准，选取直径在2-10 mm之间的探头，将其与试块接触，同时，将涂抹耦合剂的厚度控制在1-3 mm之间，以实现最佳的信号发射和接收。在检测过程中，探头与被检测

模具材料紧密接触后，启动超声波发生器，发射超声波信号。超声波信号在材料中传播，当遇到缺陷时，部分信号会被反射回来。这些反射信号由接收器捕获，并显示在显示器上，形成A型扫描图像。其次，通过分析反射信号的强度、形状和时间，判断被检测材料中的缺陷位置。而反射信号的强度可以反映缺陷的大小，形状可以判断缺陷的类型，反射时间可以确定缺陷的位置。最后，将检测到的缺陷位置、大小和类型记录下来，并整理成报告，以便后续分析和处理。

### 1.2 检测材料应力分布

声波检测技术利用超声波在材料中的传播特性，通过分析超声波的传播速度、衰减、反射和折射等现象，得到模具材料内部的应力分布情况<sup>[7-9]</sup>。

在进行应力分布检测时，可通过脉冲回波超声波检测法，收集超声波探头发射脉冲超声波，脉冲从探头传播到材料中的缺陷，然后返回探头的时间 $t$ ，接着根据超声波在被检测材料中的传播速度 $v_0$ ，计算出脉冲传播的距离 $d_t$ ，具体如式(1)所示：

$$d_t = t \times v_0 \quad (1)$$

该距离是探头和缺陷之间距离的两倍，当材料受到应力时，声速会发生变化，其中的变化量为 $\Delta v$ ，若应力导致声速降低，则变化量为负值，即 $\Delta v < 0$ 。若应力导致声速增加，则变化量为正值，即 $\Delta v > 0$ 。那么应力状态下声速的计算，具体如式(2)所示：

$$v_1 = v_0 - \Delta v \quad (2)$$

式中， $v_1$ 是应力作用后的声速。 $v_0$ 是无应力状态下的声速。通过以上关系推算出应力 $\sigma$ ，具体如式(3)所示：

$$\sigma = \frac{B \times \Delta v}{C} \quad (3)$$

式中， $B$ 、 $C$ 是与材料性质有关的常数。通过监测超声波在材料中的传播特性变化，可得知材料内部的应力分布，但不同检测位置其应力分布均不同，具体见表1。

表1 超声波检测技术检测模具材料应力分布表

Table 1 Stress distribution table for mold materials detected by ultrasonic testing technology

检测位置	应力值 (MPa)	超声波传播速度 (m/s)	超声波振幅 (V)
表面	80	5900	0.6
深度 10 mm	120	5850	0.5
深度 20 mm	150	5800	0.4
深度 30 mm	180	5750	0.3

如表1所示，检测材料表面的应力值为80 MPa，随着深度的增加，应力值逐渐增大。而深度为30 mm的位置，材料的应力值为180 MPa。同时，超声波传播速度随着应力的增大而略有减小，超声波振幅随着应力的增大而减小，这说明应力对超声波传播有一定的影响。

## 2 红外热成像技术在模具表面检测中的应用

### 2.1 检测表面温度分布

红外热成像技术可以有效地检测模具表面的温度分布，为优化生产过程和提高产品质量提供重要依据<sup>[10-12]</sup>。具体检测步

骤如图 2 所示。

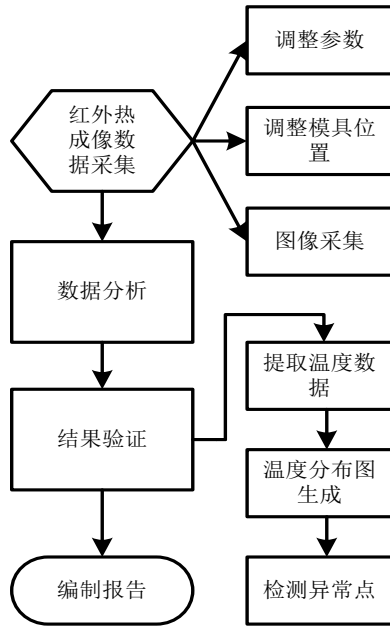


图 2 检测表面温度流程

Fig.2 Process for detecting surface temperature

如图 2 所示, 需选择具备分辨率为 1024×768 像素、宽温度范围在 -40℃ 至 300℃ 之间, 以及 15-30 帧/s 帧率的红外热成像仪。同时, 需维持恒定的温度、湿度和无尘状态, 并对模具进行去油、除水等处理。在数据采集阶段, 调整红外热成像仪的参数, 并将模具放置于合适位置, 保证成像仪能全面覆盖

模具表面。接着启动成像仪进行扫描, 从多个角度和位置进行成像, 以获得被测材料全面的温度信息。将采集到的数据导入 PIXELTA 软件中进行分析, 提取表面温度分布数据并生成温度分布图, 并通过颜色深浅直观表示温度高低。在结果验证与优化环节, 结合现场实际情况对检测到的温度异常区域进行验证, 以确认问题的性质和位置。最后, 整理检测过程中的数据和分析结果, 并编制成完整的检测报告。

### 2.2 检测加工参数

红外热成像技术可以监测模具在生产过程中的温度分布, 以此来评估模具的加工参数和状态<sup>[13-15]</sup>。通过提取模具表面的温度数据, 分析红外热成像图像, 并根据模具表面温度分布和模具尺寸, 计算热流密度, 具体如式 (4) 所示:

$$Q = \frac{dQ}{dt} \tag{4}$$

式中, Q 是热量密度。dQ 是单位时间内通过单位面积的热量。A 是模具检测面积。通过分析热流密度的分布, 估算出模具表面的热传递效率, 具体如式 (5) 所示:

$$\eta = \frac{Q_a}{Q_i} \times 100\% \tag{5}$$

式中, η 是热传递效率。Q<sub>a</sub> 是实际测量的热流密度。Q<sub>i</sub> 是理论上的最大热流密度, 即在理想条件下 (无热量损失) 通过单位面积的热量。红外热成像技术可实时获取到模具在不同位置的温度数据, 该数据可用于模具的性能和优化加工参数, 具体模具表面热传递特性数据见表 2。

表 2 模具表面温度分布及热传递特性记录表

Table 2 Record table for temperature distribution and heat transfer characteristics on mold surface

位置坐标 (X, Y)	温度 (°C)	热流密度 (W/m <sup>2</sup> )	热传递效率 (%)
(0, 0)	30	500	98
(0, 10)	28	450	97.5
(10, 0)	29	480	97.7
(10, 10)	27	420	97

如表 2 所示, 四个坐标点 (0, 0)、(0, 10)、(10, 0) 和 (10, 10) 的温度分别为 30℃、28℃、29℃ 和 27℃。温度数据显示, 该模具表面的温度分布相对均匀, 各点的温度差异不大。在热流密度方面, 点 (0, 0) 的热流密度最大, 为 500 W/m<sup>2</sup>, 而 (10, 10) 点的热流密度相对较小, 为 420 W/m<sup>2</sup>。这表明在接近模具中心的位置, 热流密度相对较高, 而在边缘位置则有所下降。热传递效率方面, 所有点的效率都在 97%-98% 之间。其中, (0, 0) 点的热传递效率最高, 达到 98%, 而 (10, 10) 点相对较低为 97%。这表明模具表面各位置的热能转换效率相对均衡, 效率损失不大。总之, 该模具表面的温度、热流密度和热传递效率表现出

较好的均匀性和一致性, 说明该模具的设计和制造在热管理方面是有效的。

### 3 结束语

综上所述, 文章通过对无损检测技术在浇筑模具质量控制中的具体应用进行深入研究, 利用超声波检测技术对模具材料进行深入分析, 精确识别缺陷位置, 评估材料应力分布, 同时利用红外热成像技术监测模具表面的温度分布和加工参数, 从而全面评估表面质量。结果表明, 无损检测技术在浇筑模具质量控制方面具有显著优势, 能有效提升质量控制水平。

同时,无损检测技术在浇筑模具质量控制中的应用,不仅提高了检测的精准度和效率,也为浇筑模具的质量管理提供了新的思路和方法。期望在未来的模具制造行业,能够更加广泛地应用无损检测技术,同时也希望该检测技术能在其他制造行业得到推广和应用,为制造业的发展提供更多的技术支持。

最后,为进一步优化无损检测技术在模具制造中的应用,建议加强超声波检测和红外热成像技术的研发,提高检测精度和效率。通过改进检测设备,提高探头的灵敏度和分辨率,使其能更精确地识别模具缺陷,更均匀地评估应力分布。此外,还可以结合大数据分析和人工智能技术,对检测数据进行深度分析,提供更准确的质量评估和预测结果。期望通过这些方法的实施,能够让无损检测技术在模具制造中的应用更加精准和高效,为制造业的发展作出更大的贡献。

### 参考文献

- [1] 朱克辉. 无损检测技术在特种设备检测中的应用 [J]. 模具制造, 2023, 23(10): 289-291.
- [2] 徐博文. 无损检测技术在混凝土结构工程质量检测中的运用 [J]. 大众标准化, 2023, (10): 184-186.
- [3] 刘华. 无损检测技术在隧道工程质量检测中的应用分析 [J]. 运输经理世界, 2023, (18): 81-83.
- [4] 郝威, 李明, 徐莹, 等. 复合材料蜂窝夹芯缺陷超声检测模拟研究 [J]. 机械科学与技术, 2023, 42(08): 1362-1365.
- [5] 刘昭亮, 惠节. 基于激光超声技术的船用耐腐蚀材料内部缺陷检测方法 [J]. 舰船科学技术, 2022, 44(21): 51-54.
- [6] 陈允, 崔博源, 赵仁勇, 等. 断路器绝缘拉杆缺陷的超声检测方法研究 [J]. 高压电器, 2023, 59(07): 193-199.
- [7] 刘春秘, 张佳莹, 陈一淳, 等. 电阻点焊超声在线监测 [J]. 电焊机, 2023, 53(08): 138-143.
- [8] 白佳佳, 司双虎, 康毅力, 等. 应力加载过程中页岩超声波传播特性研究 [J]. 地球物理学进展, 2022, 37(06): 2351-2363.
- [9] 吕宇, 张子俊. 红外热成像技术在隧道火灾检测中的研究与应用 [J]. 中国设备工程, 2023, (11): 155-157.
- [10] 李波, 陈俊卫, 刘卓毅, 等. 基于锁相红外热成像技术的电力设备防护涂层质量检测 [J]. 无损检测, 2023, 45(08): 73-78.
- [11] 沈蔡媛, 张译丹. 基于红外热成像技术的变电设备故障检测方法 [J]. 通信电源技术, 2023, 40(18): 240-242.
- [12] 蔡勤, 戚政武, 陈英红, 等. 红外热成像技术在承压设备检测中的应用 [J]. 特种设备安全技术, 2023, (04): 62-63.
- [13] 潘晓花. 基于红外热成像技术的建筑围护结构热工缺陷检测方法 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(04): 60-62.
- [14] 彭祝涛, 陈颖, 王民, 等. 基于红外热成像技术的钢桥面环氧铺装无损检测可行性研究 [J]. 公路交通技术, 2023, 39(04): 105-111.
- [15] 郑凯, 罗志涛, 张辉. 红外热成像技术在 FRP 复合材料 / 热障涂层无损检测应用中的研究现状与进展 [J]. 红外技术, 2023, 45(10): 1008-1019.

### 作者简介



江源, 助理工程师, 电仪工程师, 研究方向为检测技术与自动化装置。