

文章编号: 1006-9941(2010)01-0093-04

TNT 基熔铸炸药冷却过程温度场变化规律研究

郭朋林, 罗 观, 习 彦, 张 明, 王冬磊, 蔡忠展, 黄 勇

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘 要: 利用多通道数据采集仪对几种熔铸炸药冷却过程温度场进行测试, 发现熔铸炸药冷却过程特别是相变发生的瞬间, 温度曲线发生较大的拐点变化, 通过对实验数据的分析, 探讨了相变发生机理, 得到了几种熔铸炸药的相变温度, 随着熔铸炸药固相含量的增加, 相变温度有下降趋势。所探讨的的两种熔铸炸药的相变温度在 76~77 °C 内, 均低于 TNT 的熔点。

关键词: 物理化学; 熔铸炸药; 温度场; TNT; 相变

中图分类号: TJ55

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.01.023

1 引 言

熔铸装药法是将炸药加热熔化, 经过一定的处理后将熔融态炸药注入弹体或模具中, 冷却、凝固成具有一定形状、尺寸的药柱的成型方法^[1]。对于熔铸炸药装药, 由于其成型过程中伴随着复杂的物理变化过程, 即物态变化、体积变化和热量变化, 所以长期以来存在气孔、缩孔、裂纹、疏松等疵病。这方面, 国内外发展了多种熔铸成型技术, 并在熔融炸药结晶的基本原理、流变特性、固相炸药的综合颗粒级配原理、炸药的凝固规律及其特性方面、浇铸产品内部质量检测等方面做了大量工作^[1], 但到目前为止, 对熔铸炸药成型, 国内外还没有动态实时检测的相关报道。热电偶检测材料内部温度在其他领域已得到了广泛应用^[2-3], 为此, 本研究利用热电偶, 通过测试熔铸炸药冷却成型过程中的温度随时间的变化情况, 动态研究浇铸成型过程的炸药内部温度场及其变化规律, 探讨相变结晶温度, 以及裂纹、缩孔产生的时间及其之间的相互关联等问题。

2 实验部分

2.1 实验仪器和材料

实验仪器采用工业多通道数据采集器 (YOKOGAWA), 热电偶为 0.5 mm 的铜丝和 0.5 mm

的康铜丝连接而成, 试验前进行标定, 保证每对热电偶测量的温度与实际温度相差 ± 1 °C 范围内。为如实反映热电偶电信号, 测试系统引出装置内所用的导线为 T 型铠装式热电偶的金属材料, 与安装在炸药内的测温热电偶所用的材料相同, 消除因材料不同而引起的测温误差。熔铸炸药成型过程温度场测量系统如图 1 所示。

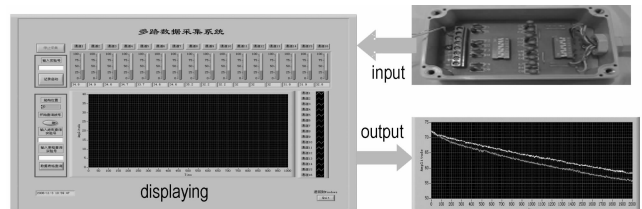


图 1 熔铸炸药成型过程温度场测量系统

Fig. 1 Temperature field test system of melt-cast explosive molding process

热电偶的固定由支架, 固定线组成, 为了能最大限度的减少对炸药温度场的影响, 主支架和有绝缘材料组成, 并由软细线连接, 如图 2 所示。



图 2 热电偶固定

Fig. 2 The fixation set of thermocouple

收稿日期: 2009-03-16; 修回日期: 2009-10-18

基金项目: 中国工程物理研究院科学基金 (2005Z0504)

作者简介: 郭朋林 (1977 -), 男, 本科, 研究方向为炸药配方及精密装药技术。e-mail: guopl@sohu.com

为实时测量炸药内部温度随时间的变化情况, 实验采用热电偶嵌入式结构, 直接将测试点布局在炸药内部。温度场实验测试点布局如图 3 所示。

实验采用了纯 TNT(编号为 RZ-1), 和两种典型的熔铸炸药配方 35% TNT/65% RDX(编号为 RZ-2) 和 33% TNT/65% RDX/2% 添加剂(编号为 RZ-3) 进行温度场实验, RZ-1 由 565 厂提供, RZ-2 和 RZ-3 由中国工程物理研究院化工材料所研制。

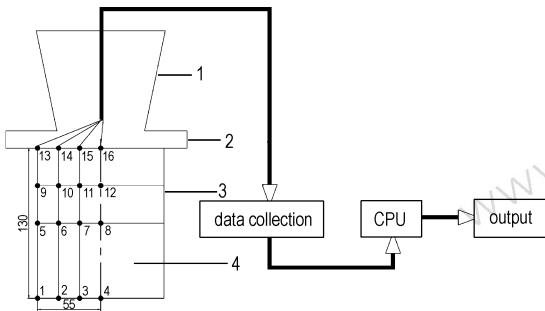


图 3 温度场测试布局图

1—冒口, 2—工艺盖, 3—模具, 4—测温点

Fig. 3 Distribution of apparatus for testing temperature field

1—riser, 2—cover, 3—die, 4—thermometric points

2.2 实验条件和方法

模具规格 $\Phi 110 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$; 环境温度 $22 \sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$; 浇铸药温 $90 \text{ }^\circ\text{C}$; 模具温度 $58 \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$; 成型过程为自然冷却成型。

准确称量三个配方中的原材料, 将称量好的原材料倒入带有夹层的通蒸汽的保温容器中, 通蒸汽在搅拌的条件下充分熔化, 然后浇铸到经预热的模具中, 在室温条件下分别对 RZ-1、RZ-2、RZ-3 三种配方的凝固过程的温度变化进行测试。

3 实验结果与分析

为消除测试系统误差对实验结果的影响, 三个配方的温度场试验都在相同条件下分别重复两次, 从数据分析结果看, 发现同一配方的两次实验的重复性非常好。图 4 为三个炸药配方试验所测试的各点的温度随时间的变化曲线。

由图 4 可见, 三种材料配方 RZ-1、RZ-2 和 RZ-3 中的 16 个测试温度点的变化趋势基本相似, 一方面随着时间的增加, 测试点的温度逐渐降低; 另一方面当冷却温度在 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 附近时, 出现了拐点, 且拐点的位置基本在一条直线上, 随着时间的增加, 产生拐点的位置逐渐后移。

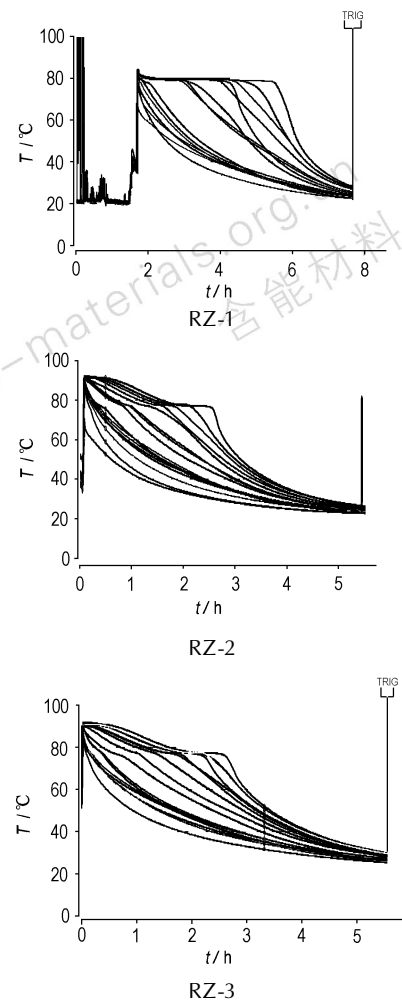


图 4 各个测试点的温度随时间的变化曲线

Fig. 4 Temperature-time curves of different thermometric points

3.1 径向方向上的温度和时间关系

为了探索熔态炸药的凝固规律, 将具有代表性的中心部位径向的 5、6、7、8 的温度随时间的变化曲线单独列出来做一对比, 比较模具内壁点与中心位置点的温度曲线变化情况。

图 5 为三个炸药配方的测温系统中间径向均匀分布的 5、6、7、8 点的温度随时间变化的曲线。

从图 5 径向上的温度随时间变化曲线可以看出, 空间位置不同测试点温度变化有差别。RZ-1、RZ-2 和 RZ-3 中靠近壳体的 5 号测点温度变化速率相差不大, 而 6、7 和 8 测温点越靠近中心, 表现出温度下降变化速率越慢的趋势, 这一现象表明了熔铸炸药冷却的顺序是按照由表及里的顺序凝固。同时温度随时间变化曲线上出现“拐点温度”, 越靠近中心位置, 相应的拐点越滞后, 这是由于将熔融态炸药注入模具中, 模具

壁和外界环境的迅速冷却作用,炸药结晶与凝固便从模具壁处开始,靠近模具的第一层炸药由液态变为固态,产生相变和结晶潜热^[4],对于纯 TNT,在 80 °C (TNT 凝固点为 80.3 °C) 左右出现了明显的拐点,且各拐点形成次序是按照由外及里的顺序,说明此时该测试点处的物质结构发生了变化,即 TNT 炸药结晶,随着结晶过程的不断进行,不断放出结晶潜热,使熔态 TNT 的温度又回升到凝固点,只要结晶进行,这个温度就不再变化直到全部熔态 TNT 完全凝固,系统温度才开始逐渐下降,直至环境温度。这段结晶过程由图 5 可见,即温度曲线在形成拐点前的平滑段,平滑段末处(即 TNT 完全凝固时)在温度变化曲线上表现为拐点。由于炸药凝固的传热阻力主要是炸药的凝固层,随着熔态炸药进一步结晶凝固,炸药的凝固层越来越厚,使炸药的凝固速度越来越慢,相应的相变拐点温度靠后。

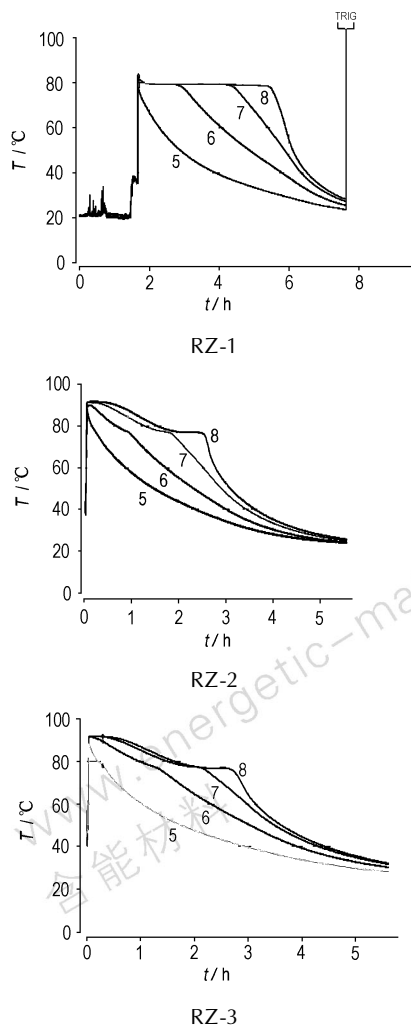


图 5 径向上的温度随时间变化曲线
Fig. 5 Temperature-time curves of thermometric points

从四个位置点出现拐点的的时间来看,纯 TNT 相比其他两种熔铸炸药冷却时间要延长的多,如图 5 中 8 号位置的测温点,RZ-1 的 8 号位置点出现拐点的的时间约为 3 h 40 min,而 RZ-2 约为 2 h 40 min,RZ-3 约为 2.5 h。靠近壳体的 5 号测点的温度变化曲线相近,这是由于高温液态炸药与外界的换热较快,温度下降非常快,从 5 号测试点的温度随时间的变化曲线上看,没有拐点产生,这是由于靠近壳体传热速度快,炸药很快结晶,测试系统无法快速捕捉到信号的原因。

3.2 轴向方向上的温度和时间的关系

为了探索轴向各测试点的温度变化曲线,现将两个轴向的测试情况单独介绍。

图 6 是 RZ-1 炸药轴向方向上,自下而上的 4、8、12、16 和 3、7、11、15 两个方向的测试点的温度随时间变化曲线。

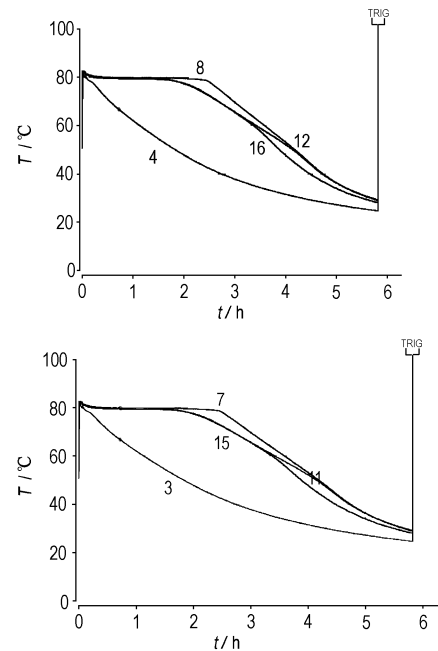


图 6 轴向温度随时间变化曲线
Fig. 6 Temperature-time curves of thermometric points

从图 6 可看出,靠近模具下方的 3、4 两个点首先凝固,然后是最上端的 15、16 点,最后凝固的是中间的 7、8 点。由此可以得到,熔铸炸药冷却顺序是由上下到中间逐层冷却凝固。

从实验结果可以看出,熔铸炸药在凝固点处,固液相的自由能是相等的(曲线平滑段),处于过冷状态的熔态物质具有较高的自由能,且不稳定,故使液态倾向于向自由能低的固态转变,而放出能量,在这个过程中,TNT 相变体积收缩,此时是控制产品质量的关键

时刻, 必须要有足够的液态药补缩, 否则, 就出现缩孔, 影响产品质量。照此理论分析, 如果没有冒口药充分补缩, 按照由表及里的冷却规律, 中心部位熔铸炸药由于得不到液态药的补缩, 势必在其周围产生疏松或缩孔。图 7 为解剖实例药柱, 从图 7 可见, 在药柱的靠中心的 12 和 16 号位置, 分别出现了疏松和较大的缩孔, 很好地验证了这个结论。



图 7 炸药凝固后药柱解剖图

Fig.7 Sections of explosive pillar

3.3 拐点温度

为了能进一步确定实验炸药拐点处的温度, 以便制定相应的工艺参数, 表 1 分别列出为 RZ-1、RZ-2 和 RZ-3 号配方所测试的位置点的拐点处的温度。

表 1 测试点拐点温度

Table 1 The peak values of different thermometric points

No.	T_8 /°C	T_7 /°C	T_6 /°C	T_5 /°C
RZ-1	80.2	80.1	80	-
RZ-2	76.96 ~ 77.05	77.04 ~ 77.16	77.10 ~ 77.31	-
RZ-3	76.06 ~ 76.39	76.53 ~ 76.83	76.35 ~ 76.66	-

Note: T_8, T_7, T_6, T_5 is the temperature at 8, 7, 6, 5 point.

从表 1 中可知, RZ-2 和 RZ-3 的拐点温度比 RZ-1 低, 这是由于 RZ-2 和 RZ-3 含有固相炸药或微量添加剂, 这些物质有降低 TNT 的凝固点的作用, 其机理有待进一步研究。5 号点由于靠近壳体, 冷却速度快, 出现拐点的时间极其短暂, 现有的仪器无法捕捉到。

4 结论

(1) 通过温度场测试分析初步认识了熔铸炸药冷却凝固过程温度和物质相变规律, 显示出物质相变与温度拐点出现之间的关联, 以及拐点出现与装药质量好坏的关联。

(2) 得到了纯 TNT 的冷却结晶温度为 80 °C, 其他熔黑梯炸药结晶温度普遍在 80 °C 以下, 而且随着炸药成分的增多, 结晶温度呈下降趋势。

(3) 中心部位最后冷却, 此位置出现的拐点也最明显, 此时发生相变, 如果没有液态药补缩, 容易出现疏松、缩孔缺陷。

参考文献:

- [1] 孙荣康, 任特生, 高怀琳. 猛炸药的化学与工艺学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983.
- [2] 郑赛晶, 顾文博, 张建平, 等. 热电偶法测量卷烟内部动态温度[J]. 烟草科技, 2006, 1: 5-9.
ZHENG Sai-jing, GU Wen-bo, ZHANG Jian-ping, et al. Interior dynamic temperature testing of cigarette by thermocouple method [J]. *Tobacco Technology*, 2006, 1: 5-9.
- [3] 陈瑶. 铸件凝固过程温度场、应力场数值模拟技术研究[D]. 北京: 清华大学, 1998.
CHEN Yao. Numerical simulation technology study of the temperature and stress field of the cast concreting process [D]. Beijing: Qinghua University, 1998.
- [4] 孙业斌, 惠君明, 曹欣茂. 军用混合炸药[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995.

Distribution of Temperature Field During Cooling Process of Melt-cast Explosive

GUO Peng-lin, LUO Guan, XI Yan, ZHANG Ming, WANG Dong-lei, CAI Zhong-zhan, HUANG Yong

(Institute of Chemical Materials, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: Multiple channels data collecting instrument has been used to investigate the temperature distribution of melt-cast explosive during the cooling process under various cooling conditions. The most valuable inflexion point of the temperature curve was obtained during the cooling process, especially at the moment when the phase transformation occurred. Through the analysis of the experiment data, the mechanism of the phase transformation and that several temperatures of the phase transformation of melt-cast explosive were obtained. Phase transformation temperatures tend to decline along with the increase of the content of melt-cast explosive. Phase transformation temperatures are 76-77 °C, which are both under the TNT melting point.

Key words: physical chemistry; melt-cast explosive; temperature field; TNT; phase transformation

CLC number: TJ55

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.01.023