

doi: 10.7690/bgzdh.2021.11.012

## 某承压件引发的弹药发射质量问题处理方法

杨青山<sup>1</sup>, 胡艳华<sup>2</sup>, 吴育智<sup>3</sup>, 赵成文<sup>2</sup>, 张克勤<sup>2</sup>

(1. 驻太原地区第三军事代表室, 太原 030008; 2. 晋西工业集团江阳公司技术部, 太原 030041;  
3. 晋西工业集团江阳公司装备保障部, 太原 030041)

**摘要:** 为解决某弹药射击试验中发生的故障, 提出一种质量问题的处理方法。对故障零件残骸进行宏观观察、断口分析、金相组织和化学成分检测, 分析造成试验故障的原因。通过对原材料工艺及生产进行排查及模拟实验, 验证了故障定位的准确性及该方法的有效性。

**关键词:** 弹药; 质量问题; 处理方法

**中图分类号:** TJ410.6 **文献标志码:** A

## Solution to Quality Problems of Ammunition Firing Caused by Certain Pressed Component

Yang Qingshan<sup>1</sup>, Hu Yanhua<sup>2</sup>, Wu Yuzhi<sup>3</sup>, Zhao Chengwen<sup>2</sup>, Zhang Keqin<sup>2</sup>

(1. No. 3 Military Representative Office in Taiyuan District, Taiyuan 030008, China;  
2. Department of Technology, Jiangyang Company, Jinxi Industry Group Co., Ltd., Taiyuan 030041, China;  
3. Department of Equipment Support, Jiangyang Company, Jinxi Industry Group Co., Ltd., Taiyuan 030041, China)

**Abstract:** In order to solve the failure in certain type ammunition firing test, we come up with a solution for quality problem. We did macroscopic observation, fracture analysis, metallographic structure detection and chemical composition detection for the bug component wreckage to analyze the reason that caused the test failure. Through troubleshooting and simulation experiment of raw material, technology and production, verified the accuracy of failure positioning and the effectiveness of this method.

**Keywords:** ammunition; quality problem; handling method

### 0 引言

为确保弹药产品的可靠性和使用安全性, 靶场试验成为弹药产品验收必不可少的环节。产品交付后, 一方面要考核弹药产品的性能, 另一方面要提高部队官兵的综合素质。实弹射击已经成为部队训练的重要部分<sup>[1]</sup>。如果在靶场交验或部队训练中出现故障, 必须针对发生的质量问题进行分析, 找出故障原因。如何快速有效地处理质量问题十分必要。

笔者结合某弹射击试验时发生的某承压零件爆裂故障, 通过现场调研, 对故障零件残骸宏观观察、断口分析、金相组织和化学成分检测, 找出该零件的爆裂原因; 运用现场调研、失效分析、检测残骸、机理分析、问题复现等方法来分析弹药质量问题。

### 1 现场调研与失效分析

现场收集的资料是分析问题的主要依据。发生

故障后首先应进行现场调研, 通过咨询现场操作、指挥人员, 观看试验录像、照片等, 了解问题发生的详细过程, 所用产品的批次、数量、储存情况。其次要对炮位、射击目标设置情况作详细了解和测绘, 掌握射击现场的实际情况。同时, 要将故障残骸尽可能收集齐全, 并记录各残骸所处的位置、相对关系。注意在周转、观察过程中保持残骸的原状态, 对残骸编号、测绘、复原的各个步骤进行拍照记录, 为分析问题提供原始资料。

根据现场调研情况, 分析产品结构及作用原理, 对故障进行分析, 绘制失效树, 从人、机、料、法、环等方面逐一分析、层层分解, 确定引起失效因素的各个底事件。

通过对产品的生产检验记录、工艺文件执行、各个底事件逐一排查, 将其分为可以排除、需要进一步验证 2 类, 确定下一步的分析对象。通过分析某弹在试验中发生的某承压零件爆裂故障, 确定故障零件残骸为重点分析对象。

收稿日期: 2021-07-13; 修回日期: 2021-08-20

作者简介: 杨青山(1973—), 男, 山西人, 高级工程师, 从事弹药和战斗部结构特点的设计、分析与质量监督研究。  
E-mail: 1097625084@qq.com。

## 2 残骸检测及分析

### 2.1 分析残骸判定断裂性质

故障零件所用材料为 7A04(T6) 铝合金管材，经机械加工成型。图 1 给出了故障零件爆裂后的 3 块残骸宏观图像，邻近的断口为对偶断口，断口编号分别为 1#、2#和 3#。该图为故障零件内腔结构形貌，是一端为小口径的圆柱筒，可以看到在内腔变径的圆弧过渡部位有火焰燃烧痕迹，表面氧化较重，如箭头所指，说明该部位是引燃发射药产生爆发的位置。将 3 块残骸拼接起来试图恢复原貌，如图 2 所示。发现 2#和 3#的对偶断口接缝相吻合，而 1#的对偶断口之间已经变形，不能相吻合，出现缝隙，且在圆弧过渡部位缝隙间距最宽，只有在大口径端才能对接。表明在圆弧过渡区域附近变形最大，应该是爆裂的起裂源，然后向大口径端扩展。另外，小口径端的螺纹保持完好，几乎无变形，说明是瞬间爆裂。而大口径端断口附近螺纹变形较大，有的螺齿已撕裂，说明开裂明显，但过程相对迟缓，进一步证明爆裂是由小口径端向大口径端扩展。

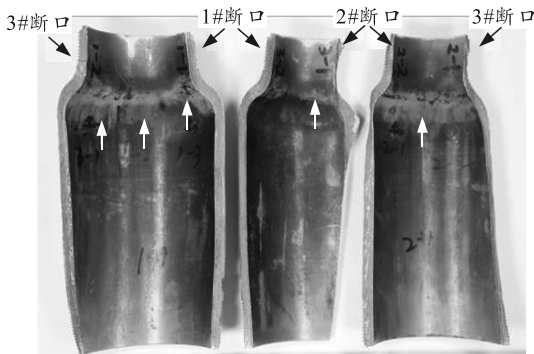


图 1 故障零件残骸



图 2 故障零件残骸复原

### 2.2 观察断口确定断裂源位置

对开裂源处的断口观察见图 3。发现小口径部

分断口呈现沿燃烧室纵向凹凸不平、层次起伏的条带，几乎贯穿整个横截面(即壳体厚度)，从小口径顶端一直延伸到圆弧过渡区。这种断口形貌被称为木纹状断口<sup>[2]</sup>，属于缺陷断口。此外，在断口上看到人字形纹理，且人字的尖头指向小口径端，说明断裂源在故障零件的小口径附近。

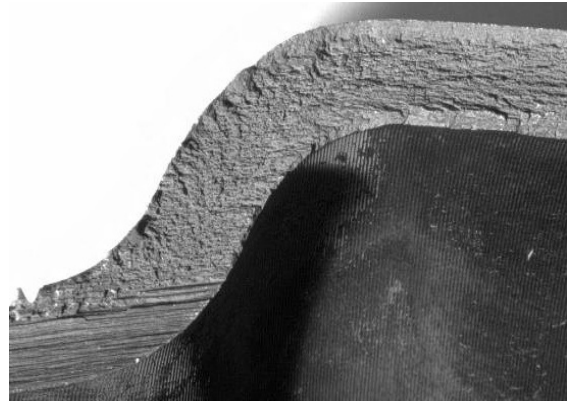


图 3 故障零件宏观断口形貌

### 2.3 分析金相组织找出缺陷

从故障零件的断口小口径圆弧过渡处沿断口横截面切取试样，制备成断口金相试样，并置入扫描电镜中进行观察。图 4 显示出背散射电子像，图的上部参差不齐为木纹状断口，如箭头 1 所指。发现在断口上或靠近断口处有白色颗粒，呈断断续续分布在断口上，有的地方聚集成堆，如箭头 2 所指。将白色颗粒进一步放大。这些白色颗粒实际上是不规则的块状物。另外，还发现合金中析出相呈块状或条状，并且比较粗大，分布不均匀，如箭头 3 所指。

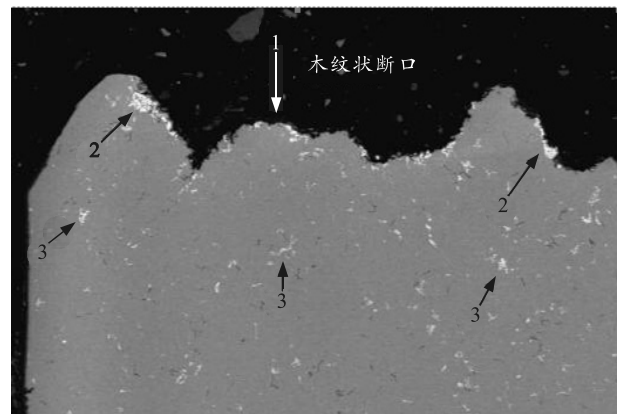


图 4 故障零件断口金相背散射电子像

图 5 显示的是靠近木纹状断口处金相组织(横向)，可以看到较粗大的铸态共晶组织，不同于图 6 所示的正常零件的金相组织<sup>[3]</sup>。由于观察到的是树枝状晶粒的截面，呈网状，称为枝晶网状组织。

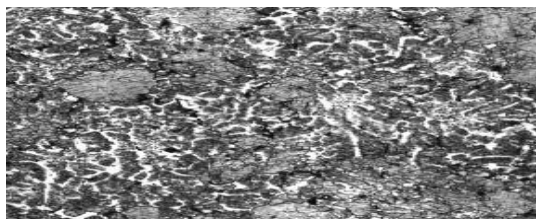


图 5 故障零件断裂位置的金相组织

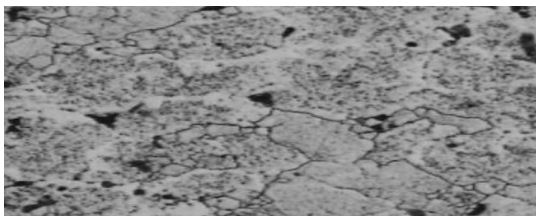


图 6 正常零件的金相组织

## 2.4 检测化学成分确定缺陷类别

应用 X 射线能谱仪对白色块状物做成分分析, 结果显示块状物含有 Zn、Cu、Al、Mg 元素。这些元素都是该铝合金的主要成分, 是一种富集 Zn、Cu、Al、Mg 的合金相。此外, 还对基体及浅灰色和黑色的析出相分别做了能谱分析。基体的分析结果表明, 主要元素含量在要求值范围内, 见图 7 及表 1。

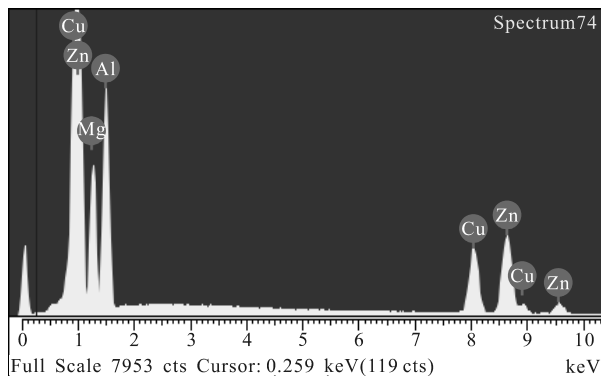


图 7 白色块状物的 X 射线能谱分析结果

表 1 白色块状物相中各元素含量 %

Element	Weight	Atomic
Mg	17.54	28.87
Al	23.21	34.44
Cu	23.33	14.69
Zn	35.93	22.00
Totals	100.00	

化学成分检测结果表明: 在木纹状断面处存在合金相严重聚集, 沿热加工方向(纵向)呈条带状分布。这种铝合金材料缺陷属于化合物偏析<sup>[4]</sup>, 将显著降低材料的横向性能<sup>[5]</sup>。

## 2.5 机理分析

铝合金管材的制造过程包括铸造、挤压 2 大部分。由于 7A04 铝合金元素较多、成份复杂, 易出现偏析现象。在铸锭结晶时, 和液体共存的固体或

互不相溶的液相之间存在比重差时, 较重的粗大金属间化合物易下沉出现比重偏析; 另外, 随着熔体凝固的进行, 残余液体中溶质富集, 致使后结晶的铸锭中心含有较高的溶质浓度, 出现正偏析现象; 反之, 凝固壳的收缩或残余液体中析出的气体压力, 使溶质富集相穿过形成凝壳的树枝晶的枝干和分支间隙, 向铸锭表面移动, 使铸锭边部溶质高于铸锭中心, 从而出现铸锭边部的溶质浓度高于铸锭中心溶质浓度的逆偏析现象。

在实际生产中, 通过高温均匀化退火、优化铸造工艺参数和细化晶粒等手段进行降低化合物聚集程度。同时, 铸锭在后续的挤压管材过程中因挤压变形会使偏析聚集的化合物破碎, 使其组织更加均匀。挤压时管材前端变形量小, 基本保持铸造组织(聚集化合物未破碎), 为了保证材料的组织和性能符合工艺要求, 必须进行切头尾。如果切头尾不彻底, 化合物偏析缺陷就会留存在成品管材的头部或尾部。后续使用过程中如果不做相应检测, 则会导致缺陷材料流入生产。

## 3 故障定位及模拟再现

对原材料工艺及生产排查, 按照 7A04 合金管材生产工艺, 浇铸时采用立式浇铸, 在铸锭的底端可能会出现化合物偏析现象。铸锭冷却后切成一定规格的铸块, 由于铸块外径尺寸和内径尺寸及长度都有公差, 故每个铸块最终的重量有差异, 会造成挤压后的制品存在长度差异, 使处于公差在下限的铸块挤压长度稍短。因取样过程和切成品定尺都是从尾向头切, 挤压长度稍短或不足的制品头端切掉的相对要少, 可能残留带有化合物偏析缺陷的铸态组织未被有效切除。铝合金管材中的化合物偏析虽然没有破坏金属的连续性, 但严重破坏了组织的均匀性。偏析成分为硬脆相, 可使合金的热加工性能、成型性能、疲劳强度、韧性等显著降低, 所以有偏析缺陷的材料绝不能用于承压零件的制造。

经对缺陷材料批管材的铸造和挤压全过程排查, 发现该批有 1 根材料按定尺切完后, 管材头部剩余尺寸偏短, 不符合工艺规定切头长度要求, 有可能残留化合物偏析缺陷的铸态组织。操作者未对该根管材及时做出标识, 仅在生产卡片记录中备注说明, 导致其混入合格的成品管材中无法挑出。

排查原材料生产过程的结论与前期残骸检查、理论分析的结果相一致。

模拟制造与故障零件相同缺陷的零件, 装配成

试验弹, 经过射击试验, 出现了与某弹射击试验相同的现象, 符合质量管理“问题复现”的归零要求, 验证了前期故障分析的准确性。

### 4 结论

通过现场调研和失效分析确定故障件为重点分析对象后, 经过对故障零件残骸宏观观察、断口分析、金相组织和化学成分检测, 初步确定产生质量问题原因; 其次, 进行机理分析从理论上确认该原因发生的可能性; 并经过对工艺及生产排查, 验证了故障定位的准确性; 最后通过模拟试验, 实现故障再现。经过处理结果验证可知: 该方法行之有效,

\*\*\*\*\*

(上接第 22 页)

### 2.3 智能化人机协同交互

人与武器的结合是影响战斗力的一个重要因素, 因此, 在防空指挥控制系统中, 人机交互同样扮演着重要角色, 不管防空指挥控制系统的其他几个模块做得有多好。如果没有一个人性化的人机交互界面, 则系统效能的发挥将会大打折扣。

良好的人机交互是系统发挥效能的一个影响因素。当前防空指挥控制系统的人机交互多是通过鼠标、键盘完成相应参数、信息的输入实现与计算机之间的交互, 通过显示屏显示相关信息实现计算机与指挥员的交互。这种交互方式一方面会增加操作人员和指挥员的作业负担, 另一方面会影响作战过程中的作业效率, 如防空指令的下达操作就需要多次鼠标键盘的操作才能实现指令的发出。随着当前语音识别、眼动跟踪、脑电和肌电等先进的人机交互技术的不断成熟与应用, 未来在防空指控系统建设研究中, 借鉴图灵机器人的“多模态交互”人机交互理念, 探索多手段的交互引入, 多通道的交互验证, 如在现有交互基础上加入语音识别输入, 拓展脑机或肌电交互接口等, 最大限度提升指挥作业过程中人机交互的便捷性和自然性。同时, 对于时效性要求较高的操作动作, 如指令信息的下达, 可采用单独设键或者设置快捷图标等方法, 最终实现指令信息一键达, 提高指令下达的实时性。

### 3 结束语

智能化是未来防空指挥控制系统发展建设的重

在弹药产品质量问题处理中值得参考和借鉴。

### 参考文献:

- [1] 王克文. 弹药质量问题分析研究[J]. 国防技术基础, 2010(5): 39-41.
- [2] 白宗奇, 宋晓军. Q345B 等板带产品木纹状断口的成因分析[J]. 物理测试, 2013, 31(2): 20-21.
- [3] 王群骄. 有色金属热处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 75-76.
- [4] 孙荣滨. 铝合金结构件化合物偏析缺陷超声波探伤方法[J]. 轻金属, 2009(9): 53-56.
- [5] 张晓清, 吴睿, 宋体杰. 铝合金锻件线性缺陷分析[J]. 失效分析与预防, 2014, 9(4): 247-250.

大趋势。笔者从国内外指挥控制系统智能化现状出发, 分析当前 AI 技术发展水平, 结合当前防空指挥控制系统存在问题, 提出 AI 初期防空指挥控制系统 3 方面的发展思路, 为防空指挥控制系统智能化建设发展提供一定参考。最后借用文献[8]中的一句话进行总结“人工智能像一列火车, 你听到了隆隆声, 盼着它来, 它到了, 一闪而过, 便把你远远地抛在了后面”。信息化战争时代势必被智能化战争取代, 需要预做准备, 否则将措手不及。

### 参考文献:

- [1] 李立伟, 朱连伟, 赵巍, 等. 利用人工智能拨开“新战争迷雾”刍议[J]. 中国军事科学, 2018(3): 45-50.
- [2] 曹学伟, 冯震宇. 美国人工智能倡议解读[J]. 军事文摘, 2019(11): 30-32.
- [3] 李景伟, 钟维坤. 加快军事智能化发展助推新质战斗力生成[J]. 军队指挥自动化, 2018(4): 15-18.
- [4] 金欣. 指挥控制智能化现状与发展[J]. 指挥信息系统与技术, 2017, 8(4): 10-18.
- [5] 曹雷, 鲍广宇, 陈国友. 指挥信息系统: 第 2 版[M]. 北京: 国防工业出版社, 2018.
- [6] 卡尔·冯·克劳塞维茨. 战争论[M]. 北京: 解放军出版社, 1964.
- [7] 闫书豪, 余静, 朱兴权. 浅析智能化战场感知[J]. 密码与信息安全学报, 2017, 29(2): 57-60.
- [8] 胡晓峰, 郭盛明, 贺筱媛. 指挥信息系统的智能化挑战——“深绿”计划及 AlphaGo 带来的启示与思考[J]. 指挥信息系统与技术, 2016, 7(3): 1-6.