

doi: 10.7690/bgzdh.2018.07.020

战斗部装药热胀特性试验与分析

杨青山¹, 郭建新², 郝云峰², 赵志江¹, 王庆华¹, 徐鹏²

(1. 驻 763 厂军事代表室, 太原 030008; 2. 晋西集团江阳公司研究所, 太原 030041)

摘要: 针对某战斗部装药在高温条件下药柱表面增高的问题, 对战斗部装药热胀特性进行试验。综合产品类别及质量情况, 制定排查方案, 对装药类型中的典型产品进行分析, 依据产品的试验室经验数据、炸药样件的测量数据等, 进行了保高温试验排查、数据测算、产品研制生产各阶段数据统计和试验验证。结果表明: 通过试验得出战斗部装药受热膨胀的固有特性, 并提出了应用建议。

关键词: 战斗部装药; 膨胀; 炸药样件; 固有特性

中图分类号: TJ410 **文献标志码:** A

Study and Analysis on High Temperature Expansion of Charge of Warhead

Yang Qingshan¹, Guo Jianxin², Hao Yunfeng², Zhao Zhijiang¹, Wang Qinghua¹, Xu Peng²

(1. Military Representative Office in No. 763 Factory, Taiyuan 030008, China;

2. Research Institute, JinXi Group Jiangyang Company, Taiyuan 030041, China)

Abstract: Aiming at the problem of grain surface increasing of certain type warhead charge, carry out test on warhead charge thermal expansion feature. Consider the product category and quality situation, make the investigation scheme, and analyze the typical product of charging. According to the product lab experience data, explosive sample data and so on. Carry out high temperature sustainable test investigation, data measurement, data statics and test verification of every stage of product research. The results show that the inherent characteristic of warhead charging thermal expansion is acquired and put forward related application suggestion.

Keywords: charge of warhead; expansion; explosive sample; inherent characteristic

0 引言

受热膨胀是物体的一种基本性质。某战斗部装药在生产期间发生高温条件下药柱表面长高的现象。为排查确认产品质量状态, 摸清战斗部装药特性, 笔者按类型对系列型号产品进行排查, 制定了装药热胀分析方案, 搜集各产品热胀试验数据并补充热胀试验验证, 确保其他产品不发生因装药热胀带来的产品质量问题, 经分析认为是因橡胶包覆和装药受热膨胀后叠加造成的, 这是战斗部装药的固有特性^[1]。基于此, 笔者通过对常用类型炸药进行监测, 从数据上反映出产品的这一特性, 在产品设计和批量过程中关注这一问题, 尽量杜绝由于热胀造成产品失效而带来的损失。

1 产品类别区分及质量情况

1.1 按装药方法区分^[2]

目前生产和在研的产品主要有注装药、压装药和 PBX 类装药 3 大种类, 其装药结构有所不同。因此排查方案只对 3 种装药类型中的典型产品进行分

析, 其他产品均可参照分析结果进行类比。典型产品分类情况如表 1 所示。

表 1 典型产品分类情况

序号	产品装药名称	装药类型	主要组分
1	钝黑梯铝-2	注装药	钝化黑索今、铝粉、TNT
2	钝黑梯铝	注装药	钝化黑索今、铝粉、TNT
3	A-IX-II	压装药	钝化黑索今、铝粉
4	海萨尔	压装药	黑索今、铝粉、石墨、复合蜡
5	JO-8	压装药	奥克托今、氟橡胶、石蜡
6	云爆炸药	压装药	黑索今、铝粉、AP、石墨、钝感剂
7	PBX 类炸药	注装药	黑索今、铝粉、粘结体系

1.2 按炸药分类^[3]

1.2.1 TNT 基混合炸药类

钝黑梯铝-2 炸药主要应用于火箭弹战斗部装药中, 截止到目前已交付部队几十万发, 且科研试验累计数量近千发, 未发生因热胀导致的质量问题。

1.2.2 JO-8 炸药压装药

JO-8 压装药主要应用到破甲系列战斗部。经过大量的研制试验及部队演练使用, 该产品未发生因热胀导致的质量问题。

收稿日期: 2018-03-02; 修回日期: 2018-03-13

作者简介: 杨青山(1973—), 男, 山西人, 学士, 工程师, 从事未来武器装备发展, 破甲弹、末制导炮弹、火箭弹等整机和零部件、装药制造技术, 质量控制办法、成本管理等研究。

1.2.3 黑索今、铝粉类压装药

榴弹及炮射导弹类产品装填该类炸药，主要有A-IX-II和海萨尔2种炸药，由于使用环境受发射过载力较大^[4]，因此该类装药经压制后密度较高，且弹体结构为了满足发射安全性，其强度较高，目前未发生因热胀导致的产品质量问题。

1.2.4 云爆剂类

云爆剂压装药和云爆剂PBX装药在各型云爆火箭弹上应用，研制和生产期间未发生热胀导致的产品质量问题。

2 装药热胀特性样件试验

采用压装药柱保温试验的方法，对膨胀系数进行验证。保温条件如下：

1) 高温保温箱1台，设定温度为70℃，恒温48h；

2) A-IX-II、8701、JH-14和JO-8裸药柱各3个。

单节药柱试验结果见表2—9。

表2 A-IX-II单节药柱热胀高度试验结果

编号	15℃	70℃	变化量/mm	线膨胀系数
1	49.54	49.80	0.26	9.54E-05
2	49.65	49.75	0.10	3.66E-05
3	49.65	49.83	0.18	6.59E-05
均值	—	—	0.18	6.60E-05

表3 A-IX-II单节药柱热胀直径试验结果

编号	15℃	70℃	变化量/mm	线膨胀系数
1	85.45	85.62	0.17	3.62E-05
2	85.45	85.62	0.17	3.62E-05
3	85.40	85.62	0.22	4.68E-05
均值	—	—	0.1866	3.97E-05

表4 8701单节药柱热胀高度试验结果

编号	15℃	70℃	变化量/mm	线膨胀系数
1	79.94	80.08	0.14	3.18E-05
2	79.98	80.12	0.14	3.18E-05
3	79.98	80.08	0.10	2.27E-05
均值	—	—	0.1266	2.88E-05

表5 8701单节药柱热胀直径试验结果

编号	15℃	70℃	变化量/mm	线膨胀系数
1	88.28	88.40	0.12	2.47E-05
2	88.23	88.42	0.19	3.92E-05
3	88.28	88.40	0.12	2.47E-05
均值	—	—	0.1433	2.95E-05

表6 JH-14单节药柱热胀高度试验结果

编号	15℃	70℃	变化量/mm	线膨胀系数
1	61.05	61.13	0.08	2.38E-05
2	60.70	60.95	0.25	7.49E-05
3	59.65	59.85	0.20	6.10E-05
均值	—	—	0.1766	5.32E-05

表7 JH-14单节药柱热胀直径试验结果

编号	15℃	70℃	变化量/mm	线膨胀系数
1	59.38	59.48	0.10	3.06E-05
2	59.45	59.58	0.13	3.98E-05
3	59.44	59.58	0.14	4.28E-05
均值	—	—	0.1233	3.77E-05

表8 JO-8单节药柱热胀高度试验结果

编号	15℃	70℃	变化量/mm	线膨胀系数
1	135.96	136.46	0.50	6.69E-05
2	135.97	136.50	0.53	7.09E-05
3	135.94	136.38	0.44	5.88E-05
均值	—	—	0.49	6.55E-05

表9 JO-8单节药柱热胀直径试验结果

编号	15℃	70℃	变化量/mm	线膨胀系数
1	138.10	138.58	0.48	6.32E-05
2	138.20	138.60	0.40	5.26E-05
3	138.12	138.48	0.36	4.74E-05
均值	—	—	0.4133	5.44E-05

结果表明：A-IX-II药柱轴向线膨胀系数 $6.60 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，径向线膨胀系数 $3.97 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ；8701药柱轴向线膨胀系数 $2.88 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，径向线膨胀系数 $2.95 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ；JH14药柱轴向线膨胀系数 $5.32 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，径向线膨胀系数 $3.77 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ；JO-8药柱轴向线膨胀系数 $6.55 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，径向线膨胀系数 $5.44 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。

3 真实产品线膨胀系数

产品研制生产各阶段数据统计和试验验证情况如下。

3.1 某攻坚弹战斗部装药

装药为PBX类装药，其线膨胀系数按照国军标中规定的方法进行测试，配方鉴定阶段测试得到装药的线膨胀系数为 $3.87 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ；设计定型阶段测试得到装药的线膨胀系数均值为 $7.04 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ；本次问题分析测试得到线膨胀系数为 $4.20 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。

3.2 某小型低成本修正弹战斗部装药

装药为钝黑梯铝-2注装药。其线膨胀系数按照国军标中规定的方法进行测试，装药的线膨胀系数为 $6.05 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。

3.3 压装药热胀验证试验

3.3.1 产品结构

选取某产品装药进行试验验证。该产品装药为海萨尔压装药柱，用虫胶漆粘接后通过硅橡胶灌封装入弹体，结构见图1。

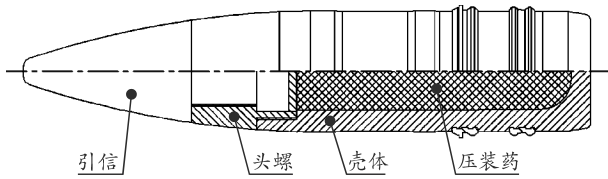


图 1 产品装药结构

3.3.2 验证试验情况及结果

试验对药柱和产品进行了高温保温，保温条件如下：

- 1) 高温保温箱 1 台，设定温度为 70 °C，恒温 48 h；
- 2) 单节裸药柱 3 个、组合药柱 3 套、产品装药弹体 2 发。

试验结果见表 10—13。

表 10 单节药柱热胀高度结果

编号	15 °C	70 °C	变化量/mm	线膨胀系数
1	66.90	67.10	0.20	5.44E-05
2	66.66	66.80	0.14	3.82E-05
3	66.68	66.90	0.22	6.00E-05
4	66.72	66.90	0.18	4.91E-05
5	66.80	67.10	0.30	8.17E-05
6	66.74	66.94	0.20	5.45E-05
均值	—	—	0.206 666 7	5.632E-05

表 11 单节药柱热胀直径结果

编号	15 °C	70 °C	变化量/mm	线膨胀系数
1	51.44	51.52	0.08	2.22E-05
2	51.40	51.56	0.16	4.45E-05
3	51.42	51.50	0.08	2.22E-05
4	51.42	51.50	0.08	2.22E-05
5	51.40	51.50	0.10	2.78E-05
6	51.40	51.60	0.20	5.56E-05
均值	—	—	0.116 666 7	3.242E-05

表 12 组合药柱热胀试验结果

编号	15 °C	70 °C	变化量/mm	线膨胀系数
1	200.84	201.48	0.64	5.79E-05
2	201.22	201.84	0.62	5.60E-05
3	201.84	202.36	0.52	4.68E-05
平均值	—	—	0.59	5.36E-05

表 13 装药弹体热胀试验结果

测量点	15 °C	70 °C	变化量/mm	膨胀系数
1	46.50	45.50	1.00	3.91E-04
2	46.60	45.20	1.40	5.46E-04
3	46.60	45.50	1.10	4.29E-04
4	46.78	45.75	1.03	4.00E-04
5	46.58	45.50	1.08	4.22E-04
6	46.60	45.75	0.85	3.32E-04
7	46.60	45.75	0.85	3.32E-04
8	46.50	45.75	0.75	2.93E-04
平均值	46.595	45.587 5	1.007 5	3.93E-04

可见，对于压装药而言，当装药受弹体在直径方向强力约束时，其长度方向的线膨胀系数要高于直径方向的线膨胀系数，验证数据显示增大 615%；

单个药柱和粘接后的组合药柱在高度方向上线膨胀系数基本一致。

3.4 云爆类装药药柱热膨胀试验

云爆药柱直径 273.5 mm，药室直径 275.3 mm，轴向长度 1 392 mm。对产品进行了高低温保温试验，结果表明：壳体膨胀系数为 $2.36 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ；药柱膨胀系数为轴向 $1.68 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 、径向 $5.48 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。试验变形情况见表 14、表 15。

表 14 云爆药柱高、低温试验轴向变形

温度/°C	温度变量/°C	药柱/mm	壳体/mm	过盈	间隙/mm
60	45	1.052 40	1.478 30	—	0.425 90
40	25	0.584 64	0.821 28	—	0.236 64
20	5	0.116 93	0.164 26	—	0.047 33
0	15	-0.350 78	-0.492 77	—	0.141 99
-15	30	-0.701 57	-0.985 54	—	0.283 97
-30	45	-1.052 35	-1.478 30	—	0.425 95
-45	60	-1.403 14	-1.971 07	—	0.567 93

表 15 云爆药柱高、低温试验径向变形

温度/°C	温度变量/°C	药柱/mm	壳体/mm	过盈	间隙/mm
60	45	0.674 45	0.162 43	0.512 02	—
40	25	0.374 69	0.162 43	0.212 26	—
20	5	0.030 10	0.032 50	0.002 40	—
0	15	-0.224 81	-0.097 46	—	0.127 35
-15	30	-0.449 63	-0.194 91	—	0.254 72
-30	45	-0.674 45	-0.292 37	—	0.382 08
-45	60	-0.899 27	-0.389 82	—	0.509 45

3.5 某大型产品注装药热膨胀试验

3.5.1 高温贮存试验条件

试验温度：70 °C；试验持续时间：48 h。

3.5.2 试验结果

试验结果见表 16。

表 16 某大型产品战斗部主装药药柱高温贮存测试结果

试验状态	直径均值	高度均值	外观变化
1#常温	74.381	61.880	无崩裂现象
2#常温	74.517	73.568	无崩裂现象
1#高温	74.397	61.910	无崩裂现象
2#高温	74.528	73.580	无崩裂现象
尺寸变化率均值%	0.018	0.032	无崩裂现象
结果	药柱轴向及径向尺寸变化均在万分之五以下，无明显变化		无崩裂现象

3.6 破甲弹主装药部件高温试验

3.6.1 被试品状态

主装药为 JH14 炸药，主药柱 2 发，主装药部件 2 发。试验之前，在常温状态下对被试品进行参数测量。

3.6.2 试验结果

主药柱、主装药的测量数据见表 17、表 18。

表 17 主药柱参数

测试点	主药柱高度/mm	主药柱直径/mm	主药柱摆差/mm
点 1	123.280	88.095	0.36
点 2	123.160	88.200	0.28
点 3	123.160	88.280	
点 4	123.220	—	
平均值	123.205	88.192	0.32

测试点	主药柱高度/mm	主药柱直径/mm	主药柱摆差/mm
高温点 1	123.460	88.180	0.38
高温点 2	123.380	88.290	0.27
高温点 3	123.360	88.315	
高温点 4	123.400	—	
高温均值	123.400	88.262	0.325

表 18 主装药参数

测试点	主药柱高度/mm	主药柱直径/mm	主药柱摆差/mm
点 1	157.74	87.99	0.21
点 2	157.70	88.12	0.18
点 3	157.68	88.235	
点 4	157.70	88.295	
平均值	157.705	88.16	0.195

测试点	主药柱高度/mm	主药柱直径/mm	主药柱摆差/mm
高温点 1	157.90	88.125	0.21
高温点 2	157.96	88.240	0.2
高温点 3	157.96	88.350	
高温点 4	158.00	88.360	
高温均值	157.955	88.269	0.205

3.6.3 结论

通过对常温状态被试品参数及经过保高温后的被试品参数进行对比发现, 高温试验对破甲弹主药柱, 主装药部件的变形及贴合影响如下:

1) 高温储存后, 壳体、主药柱及合装主装药均有所膨胀, 高度、直径增长约 0.2 mm;

2) 经高温储存后, 主药柱及合装主装药的摆差无明显变化;

3) 高温试验后, 药型罩与药柱贴合相对常温时紧密。

3.7 单兵火箭云爆弹高温贮存试验

本次试验样机为温压战斗部用主药柱, 药柱质量为 2 kg, 主药柱由 3 段药柱通过虫胶漆粘接而成, 传爆药柱与主药柱通过虫胶漆粘接。试验前, 在自然温度状态下对被试品进行参数测量, 各药柱参数见表 19—21。

通过对常温状态被试品参数及经过保高低温后的被试品参数进行对比发现, 高温贮存试验对温压弹药柱有如下影响:

1) 被试品经高温贮存后, 主药柱、传爆药柱均

有所膨胀, 高度、直径、内孔增长 0.1~0.2 mm, 随箱冷却后恢复到未保温状态;

2) 被试品在高温状态药柱黏性降低, 压制药柱边缘在测量时有些微掉渣现象, 整体药柱相对于常温药柱变的松软、起酥; 后经过随箱冷却, 未见上述现象, 恢复到保温前状态。

表 19 常温参数

编号	常温高度/mm	常温质量/g	常温内径/mm	常温外径/mm
1	70.00	700.4	27.76	86.38
2	69.92	700.0	27.74	86.40
3	60.06	601.0	27.76	86.42

表 20 高温参数

编号	高温高度/mm	高温质量/g	高温内径/mm	高温外径/mm
1	70.20	700.0	27.88	86.72
2	70.14	700.2	27.86	86.68
3	60.26	602.0	27.90	86.74

表 21 恢复常温后参数

编号	恢复常温后高度/mm	恢复常温后质量/g	恢复常温后内径/mm	恢复常温后外径/mm
1	70.00	700.2	27.76	86.4
2	69.92	700.0	27.80	86.4
3	60.06	602.0	27.78	86.4

4 试验结果

1) 试验结果表明: 炸药在没有壳体约束的情况下, A-I X-II (压装)、8701 (压装)、JH-14 (压装)、JO-8 (压装)、云爆药 (压装)、海萨尔 (压装)、炸药 (压装)、钝黑梯铝-2 (熔铸)、浇注炸药的线膨胀系数均在同一个量级, 均为 10^{-5} 量级。

2) 对比分析 PBX 类装药、钝黑梯铝装药、海萨尔等装药的线膨胀系数, 可以看到高度方向上的线膨胀系数基本接近, 在同一量级。

3) 压装海萨尔炸药的测量数据表明: 当直径有强力约束时, 在高度方向上线胀系数比直径方向上增加 615%。可推断对于压装药而言, 直径在强力约束条件下, 高度方向上线胀系数会显著增大^[5]。

4) 火箭、导弹类战斗部的装药弹体为薄壁结构, 强度较低, 在装药的直径方向上无法进行强力约束, 当装药热胀时, 其壳体直径方向会有一定的弹性变形, 装药在直径方向有一定的膨胀量, 故而在高度方向上线膨胀系数的增大情况会减弱。

5 结束语

1) 战斗部装药受热膨胀是炸药的一种固有特性, 由于炸药装入战斗部后, 炸药的热胀性能会随着壳体约束而有所变化, 所以在产品的研制过程中, 应参照国军标, 测量真实战斗部由于热胀可能出现

的失效问题^[6]。

2) 充分考虑产品的使用环境和储存环境温度, 在药块与壳体之间合理设计一定的间隙, 或在装药与壳体之间考虑加装缓冲层, 避免装药结构尺寸变形, 以解决装药由于温度急剧变化引起的热胀问题。

参考文献:

[1] 欧育湘. 炸药学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006: 6-83.

(上接第 91 页)

参考文献:

[1] 张相炎. 新概念火炮技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014: 1-4.

[2] 罗定. 某转管自动机动态特性分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2013: 1-3.

[3] 文晓洲, 封锋, 陈军. 多管火箭炮射序优化[J]. 兵工自动化, 2017, 36(8): 5-9.

[4] 徐鹏, 范锦彪, 祖静. 高速动能弹侵彻硬目标加速度测试技术研究[J]. 振动与冲击, 2007, 26(11): 118-122.

[5] 沈碧云. 小型高速可编程多路数据采集存储系统的研

[2] 陈熙蓉, 许丽云, 陈书言, 等. 炸药特性与装药工艺[M]. 北京: 国防工业出版社, 198: 8-10.

[3] 陈国光, 董素荣. 弹药制造工艺学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004: 286-287.

[4] 王义磊, 吴越. 一种圆弧杆式战斗部设计与飞散特性数值模拟[J]. 兵工自动化, 2017, 36(3): 87-92.

[5] 《炸药理论》编写组. 炸药理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982: 57-62.

[6] 金韶华, 松全才. 炸药理论[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2010: 54-57.

究[D]. 南京: 南京理工大学, 2012: 8-9.

[6] 冯元伟, 冯宗明. 基于FPGA和单片机的多通道同步触发信号发生器[J]. 信息电子工程, 2012, 12(1): 111-113.

[7] 张亮, 张振海, 李科杰, 等. 基于三轴加速度传感器的弹载存储测量装置[J]. 探测与控制学报, 2016, 38(2): 13-17.

[8] 王茂森, 李兴, 戴劲松. 基于现场可编程门阵列的高速多通道并行测量系统设计[J]. 测试技术学报, 2015, 29(4): 303-307.

[9] 史继刚, 易文俊, 管军, 等. 基于粒子群-牛顿算法的弹丸阻力系数辨识[J]. 兵器装备工程学报, 2017(2): 23-26.