

文章编号: 1003-1480 (2025) 02-0031-07

硝酸锶-5AT点火药吸湿性研究

尚云平, 陈雪, 张俊, 吴志强, 张星, 尚飞

(湖北航鹏化学动力科技有限责任公司, 湖北 襄阳, 441003)

摘要: 为了研究吸湿性对硝酸锶-5AT点火药点火性能的影响, 在低、中、高3种湿度环境下进行了硝酸锶-5AT点火药吸湿性试验, 计算了不同湿度环境下吸湿率随时间的变化, 并将吸湿前后的硝酸锶-5AT点火药装配至气体发生器中进行了输出性能试验。结果表明: 硝酸锶-5AT的吸湿率随时间而增大, 且环境湿度越高, 吸湿率增速越快。与干硝酸锶-5AT相比, 吸湿后硝酸锶-5AT在20, 30, 40 ms时的输出压力较低, $p-t$ 曲线一致性较差, 压力起始时间出现了较明显的延迟, 且随着硝酸锶-5AT水分含量增加, 延迟时间变长。当硝酸锶-5AT水分含量为9.54%时, 点火药产生的能量无法引燃产气药; 当硝酸锶-5AT水分含量为22.52%时, 初级点火药产生的能量无法点燃硝酸锶-5AT点火药。硝酸锶-5AT从开袋后到装配至气体发生器中的间隔时间不应超过0.5 h。

关键词: 硝酸锶-5AT; 点火药; 吸湿性; 气体发生器; 输出性能

中图分类号: TJ55; TQ562 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1003-1480.2025.02.005

Study on Hygroscopicity of Strontium Nitrate-5AT Ignition Powder

SHANG Yun-ping, CHEN Xue, ZHANG Jun, WU Zhi-qiang, ZHANG Xing, SHANG Fei

(Hubei Hangpeng Chemical Power Technology Co. Ltd., Xiangyang, 441003)

Abstract: In order to study the effect of hygroscopicity on the ignition performance of strontium nitrate-5AT ignition powder, the hygroscopic tests of strontium nitrate-5AT were carried out in low, medium and high humidity environment, and the variation of hygroscopicity under different humidity environments was calculated. The strontium nitrate-5AT before and after moisture absorption was assembled into a gas generator for output performance test. The results show that the hygroscopicity of strontium nitrate-5AT increases with time, and the higher the environmental humidity, the faster the increase in the hygroscopicity. Compared with dry strontium nitrate-5AT, the strontium nitrate-5AT after moisture absorption has lower output pressure at 20 ms, 30 ms, and 40 ms, poor consistency in the $p-t$ curve, and a significant delay in the start time of pressure. Moreover, as the moisture content of the strontium nitrate-5AT increases, the delay time becomes longer. When the moisture content of the strontium nitrate-5AT is 9.54%, the energy generated by the ignition powder cannot ignite the gas producing powder; When the moisture content of the strontium nitrate-5AT is 22.52%, the energy generated by the primary ignition powder cannot ignite the strontium nitrate-5AT ignition powder. The interval time between opening the bag and assembling strontium nitrate-5AT into the gas generator should not exceeds 0.5 hours.

Key words: Strontium nitrate-5AT; Ignition powder; Hygroscopicity; Gas generator; Output performance

点火药是一类重要的火工药剂, 通常起到过渡作用, 被初级点火药引燃后, 输出更大能量点燃下级装

药^[1]。常见的点火药有黑火药、硝酸锶-5AT点火药、金属粉点火药、B-KNO₃点火药等^[2]。其中, 硝酸锶

收稿日期: 2024-12-22

作者简介: 尚云平 (1991-), 女, 工程师, 主要从事安全气囊气体发生器技术研究。

引用本文: 尚云平, 陈雪, 张俊, 等. 硝酸锶-5AT点火药吸湿性研究[J]. 火工品, 2025(2): 31-37.

-5AT 点火药是一种以硝酸锶 ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$) 为氧化剂, 5AT (5 氨基四氮唑) 为燃料的新型点火药, 是某型号安全气囊气体发生器常用的点火药之一。该气体发生器装药包括点火管 (内装发火药)、点火药和气体发生剂 (主装药) 3 部分。当汽车发生碰撞达到一定加速度时, 点火管首先被激发, 然后引燃点火药, 再引燃气体发生剂, 从而产生大量的气体充满气囊。气体发生器要求贮存时间大于 15 a, 在这期间点火药不能吸湿受潮, 否则会因其输出能量不足而无法快速引燃气体发生剂, 从而导致气囊无法正常打开。然而, 硝酸锶和 5AT 均为极易吸湿的材料, 暴露于空气中极易吸附空气中的水分子^[3]。并且, 硝酸锶-5AT 点火药存在药剂开袋后不能及时使用完的问题, 过高的环境湿度会使点火药结块, 从而导致药剂燃烧比表面积降低, 严重影响其点火性能, 甚至发生瞎火。

为了探究吸湿性对硝酸锶-5AT 点火药点火性能的影响, 本文在低、中、高 3 种湿度环境下进行了硝酸锶-5AT 点火药吸湿性试验, 通过点火药样品吸湿增重计算了不同湿度环境下吸湿率随时间的变化; 将吸湿前后的点火药装配到气体发生器中进行输出性能试验, 对比不用水分含量硝酸锶-5AT 的 $p-t$ 曲线; 并对硝酸锶-5AT 点火药的包装方式及装配过程中的分配时间进行了设计。

1 硝酸锶-5AT 点火药吸湿性试验

1.1 试验原理

吸湿性是指药剂在存放过程中与水亲和能力的大小^[4-5]。硝酸锶-5AT 点火药吸湿性试验装置如图 1 所示。

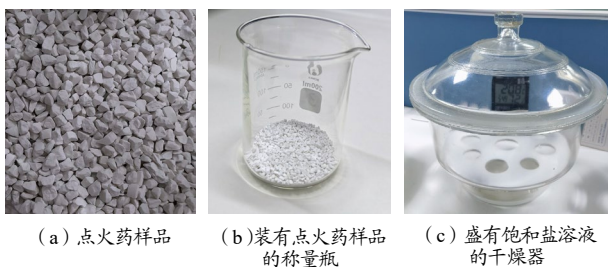


图 1 硝酸锶-5AT 点火药吸湿性试验装置

Fig.1 Hygroscopic test device of $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ -5AT ignition powder

按照 GJB 5891.9-2006 火工品药剂吸湿性测定, 称取一定重量的硝酸锶-5AT 点火药样品置于称量瓶中, 在恒温 (25 °C) 常压条件下, 将称量瓶敞口放置于干燥器的隔板上, 干燥器内盛有不同的饱和盐溶液, 用于模拟不同的湿度环境。每间隔一定时间, 称量一次干燥器内样品的增重, 计算样品的吸湿率。吸湿率计算公式^[6]为:

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式 (1) 中: W 为样品吸湿率, %; m_2 为吸湿后称量瓶及样品总质量, g; m_1 为吸湿前称量瓶及样品总质量, g; m_0 为干样品质量。

1.2 试验方法

为了研究硝酸锶-5AT 点火药样品在低、中、高 3 种不同湿度环境下的吸湿性, 在干燥器内配制了 3 种饱和盐溶液, 分别是用于模拟低湿环境的饱和碳酸钾溶液, 对应相对湿度 RH 43%; 用于模拟中湿环境的饱和氯化钠溶液, 对应相对湿度 RH 75%; 用于模拟高湿环境的饱和硝酸钾溶液, 对应相对湿度 RH 93%^[7]。

实验前, 首先测定点火药干样品的基础水分含量, 结果为 0.08%。实验时, 取 15 份一定量的点火药干样品, 并分别称量干样品质量 (m_0); 然后将其分别放入编号为 1[#] ~ 15[#] 的 15 个称量瓶中, 并测定称量瓶及样品总质量 (m_1)。将 1[#] ~ 5[#] 称量瓶敞口放入低湿环境干燥器; 6[#] ~ 10[#] 称量瓶敞口放入中湿环境干燥器; 11[#] ~ 15[#] 号称量瓶敞口放入高湿环境干燥器。依次于 0, 0.5, 1.5, 3.5, 5.5, 7.5, 24.0, 48.0, 72.0, 144.0, 168.0, 192.0, 216.0, 240.0 h 时, 取出 3 个干燥器内所有称量瓶, 测量称量瓶及样品总质量 (m_2), 称量结束后立即将称量瓶放回干燥器内。

1.3 试验结果

1.3.1 低湿环境下点火药吸湿性试验

低湿环境对应的 5 份干硝酸锶-5AT 样品质量分别为 10.005, 10.009, 10.103, 10.007, 10.021 g, 平均值为 10.029 g; 吸湿前, 1[#] ~ 5[#] 称量瓶及样品总质量分别为 35.325, 37.220, 34.864, 36.231, 35.215 g, 平均值为 35.771 g。低湿环境下, 不同时刻的 m_2 测量

值及吸湿率 W 计算数据如表 1 所示。

表 1 低湿环境 (RH 43%) 下硝酸锶-5AT 吸湿性实验数据
Tab.1 Experimental data on hygroscopicity of strontium nitrate-5AT in low humidity environment (RH 43%)

t/h	m_0/g	m_1/g	m_2/g	$(m_2 - m_1)/g$	$W/\%$
0			35.771	0	0
0.5			35.774	0.003	0.03
1.5			35.779	0.008	0.08
3.5			35.784	0.013	0.13
5.5			35.790	0.019	0.19
7.5			35.799	0.028	0.28
24.0			35.835	0.064	0.64
48.0	10.029	35.771	35.951	0.180	1.79
72.0			36.044	0.273	2.72
144.0			36.240	0.469	4.68
168.0			36.284	0.513	5.12
192.0			36.317	0.546	5.44
216.0			36.339	0.568	5.66
240.0			36.363	0.592	5.90

1.3.2 中湿环境下点火药吸湿性试验

中湿环境 (RH 75%) 对应的 5 份硝酸锶-5AT 干样品质量分别为 9.995, 10.002, 10.008, 10.010, 10.015 g, 平均值为 10.006 g; 吸湿前, 6[#] ~ 10[#] 称量瓶及样品总质量分别为 26.276, 27.323, 28.402, 29.116, 30.132 g, 平均值为 28.250 g。中湿环境下, 不同时刻的 m_2 测量值及吸湿率 W 计算数据如表 2 所示。

表 2 中湿环境 (RH 75%) 下硝酸锶-5AT 吸湿性实验数据
Tab.2 Experimental data on hygroscopicity of strontium nitrate-5AT in medium humidity environment (RH 75%)

t/h	m_0/g	m_1/g	m_2/g	$(m_2 - m_1)/g$	$W/\%$
0			28.250	0	0
0.5			28.259	0.009	0.09
1.5			28.266	0.017	0.17
3.5			28.315	0.065	0.65
5.5			28.353	0.103	1.03
7.5			28.383	0.133	1.33
24.0			28.626	0.377	3.76
48.0	10.006	28.250	28.915	0.666	6.65
72.0			29.010	0.760	7.60
144.0			29.095	0.845	8.45
168.0			29.116	0.866	8.65
192.0			29.173	0.923	9.22
216.0			29.180	0.930	9.30
240.0			29.203	0.954	9.53

1.3.3 高湿环境下点火药吸湿性试验

高湿环境 (RH 93%) 对应的 5 份硝酸锶-5AT 点火药干样品质量分别为 10.110, 10.007, 10.004, 10.009, 10.113 g, 平均值为 10.049 g; 吸湿前, 11[#] ~ 15[#] 称量瓶及样品总质量分别为 28.126, 27.067, 28.620, 29.151, 27.978 g, 平均值为 28.188 g。高湿环境下, 不同时刻的 m_2 测量值及吸湿率 W 计算数据

如表 3 所示。

表 3 高湿环境 (RH 93%) 下硝酸锶-5AT 吸湿性实验数据
Tab.3 Experimental data on hygroscopicity of strontium nitrate-5AT in high humidity environment (RH 93%)

t/h	m_0/g	m_1/g	m_2/g	$(m_2 - m_1)/g$	$W/\%$
0			28.188	0	0
0.5			28.207	0.019	0.19
1.5			28.231	0.043	0.43
3.5			28.291	0.103	1.03
5.5			28.349	0.161	1.60
7.5			28.396	0.209	2.08
24.0			28.749	0.561	5.58
48.0	10.049	28.188	29.138	0.950	9.46
72.0			29.477	1.289	12.83
144.0			30.443	2.255	22.44
168.0			30.748	2.560	25.47
192.0			31.001	2.813	28.00
216.0			31.230	3.042	30.28
240.0			31.461	3.273	32.57

1.4 结果分析

依据表 1~3 中的数据, 绘制低、中、高湿度环境下硝酸锶-5AT 点火药的吸湿率曲线, 如图 2 所示。

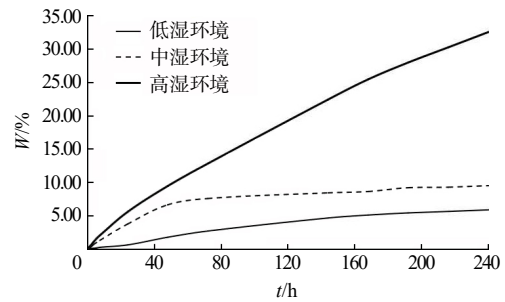


图 2 低、中、高湿度环境下硝酸锶-5AT 吸湿率曲线
Fig.2 Hygroscopicity curves of strontium nitrate-5AT in low, medium, and high humidity environments

由图 2 可见, 低、中、高湿度环境下, 硝酸锶-5AT 的吸湿率均随时间而增大, 且环境湿度越高, 吸湿率增速越快。在低湿环境下, 3.5 h 时, 硝酸锶-5AT 吸湿率为 0.13%, 其水分含量由 0.08% 增加至 0.21%, 符合点火药水分含量小于等于 0.25% 的指标要求; 5.5 h 时, 硝酸锶-5AT 吸湿率为 0.19%, 其水分含量升高至 0.27%, 超出指标要求; 168.0 h 时, 吸湿率为 5.12%, 趋于饱和稳定状态, 吸湿率增大速率变缓; 240.0 h 时, 其吸湿率为 5.90%。在中湿环境下, 1.5 h 时, 硝酸锶-5AT 吸湿率为 0.17%, 其水分含量由 0.08% 增加至 0.25%, 符合指标要求; 48.0 h 时, 硝酸锶-5AT 吸湿率为 6.65%, 趋于饱和稳定状态, 吸湿率增速变缓; 240.0 h 时, 其吸湿率为 9.53%。在高湿环境下, 0.5 h 时, 硝酸锶-5AT 吸湿率为 0.19%, 其水分含量由 0.08%

增加至 0.27%，超出指标要求；且在实验时间内，其吸湿率随着时间而持续增大，无变缓趋势，240.0 h 时，吸湿率为 32.57%，且仍然继续吸收水分。

2 硝酸锶-5AT 点火药吸湿前后的理化性能

2.1 外观形貌

吸湿前后，硝酸锶-5AT 点火药样品在 20 倍显微镜下的外观形貌如图 3 所示。由图 3 可见，吸湿后，硝酸锶-5AT 点火药的外观发生了明显变化，其颜色由白色变成黄色，且出现了结块。

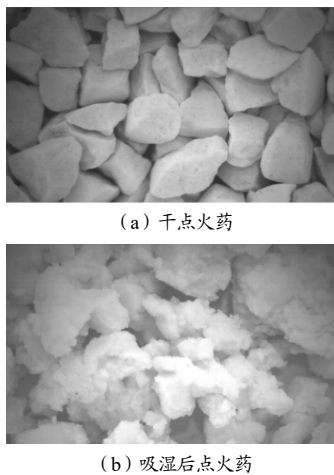


图 3 硝酸锶-5AT 点火药吸湿前后外观形貌

Fig.3 Appearance and morphology of strontium nitrate-5AT ignition powder before and after moisture absorption

2.2 感度数据

感度是指含能药剂在外界能量作用下起爆的难易程度，按照外界能量作用形式不同，可分为摩擦感度、撞击感度、静电感度等。其中，摩擦感度、撞击感度值越低越安全，静电感度值越高越安全。对吸湿前后硝酸锶-5AT 点火药的感度进行测定，结果如表 4 所示。

表 4 硝酸锶-5AT 点火药吸湿前后感度数据

Tab.4 Sensitivity data of strontium nitrate-5AT ignition powder before and after moisture absorption

项目	干点火药	吸湿后点火药
摩擦感度/%	72	0
撞击感度/J	19.9	4.0
静电感度/mJ	20.31	91.72

由表 4 可见，吸湿后的硝酸锶-5AT 点火药比干点火药更安全。

2.3 DSC 曲线

差示扫描量热法 (DSC) 是一种常用的热分析方法，主要用于测试药剂的预点火反应，热分解过程中吸热峰、放热峰、反应峰的个数，吸热放热的起始温度、峰温，热分解反应的活化能和反应热等^[7]。采用德国耐驰 STA449F3 同步热分析仪测试吸湿前后硝酸锶-5AT 点火药的 DSC 曲线，结果如图 4 所示。

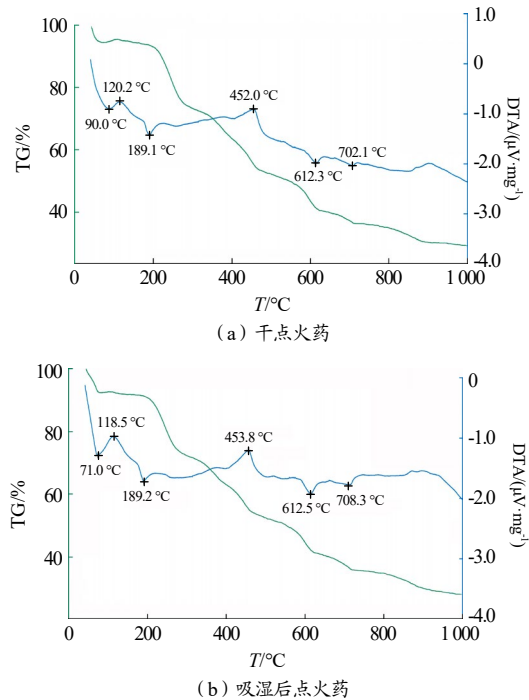


图 4 硝酸锶-5AT 点火药吸湿前后 DSC 曲线

Fig.4 DSC curve of strontium nitrate-5AT ignition powder before and after moisture absorption

由图 4 可见，吸湿后硝酸锶-5AT 点火药与干点火药的热分解过程中的吸热峰、放热峰个数和峰温无明显差异，仅第 1 个吸热峰的温度存在轻微差异，吸湿后点火药的峰温为 71.0 °C，干点火药峰温为 90.0 °C，峰温的差异主要是由于点火药水分含量不同造成的。

3 硝酸锶-5AT 点火药吸湿前后输出性能测试

点火药的输出性能是指其燃烧过程中的压力变化，是点火药的一项关键指标，它决定着点火过程是否符合主装药（气体发生剂）的要求^[8]。采用 60L TANK 压力容器罐对吸湿前后硝酸锶-5AT 点火药的

输出性能进行测试。具体方法：将被测点火药置于气体发生器中，再将气体发生器置于压力容器罐内，点火，利用装在罐内侧壁的压力传感器测试点火药燃烧过程中压力随时间的变化，用 $p-t$ 曲线来表征燃烧时间和最大燃烧压力。依据前期经验可知，相较于常温 (+23 °C) 和高温 (+85 °C) 环境，硝酸锶-5AT 点火药在低温环境 (-40 °C) 下更易出现点火延迟的情况，因此只需验证吸湿前后硝酸锶-5AT 点火药在低温环境下的输出性能。技术指标要求其压力起始时间 ($TTFG$) 小于 5 ms；20 ms 时的压力 (p_{20}) 在 75 ~ 105 kPa；30 ms 时的压力 (p_{30}) 在 125 ~ 182 kPa；40 ms 时的压力 (p_{40}) 在 190 ~ 235 kPa；50 ms 时的压力 (p_{50}) 在 242 ~ 284 kPa；最大压力 (p_{max}) 在 280 ~ 340 kPa。

3.1 干点火药的输出性能测试

将 5 份干点火药 (水分含量为 0.08%) 分别装于 5 发气体发生器 (编号 $zc-1, \dots, zc-5$) 中，再置于保温箱中，-40 °C 保温 4 h 后进行输出性能测试。得到的干点火药输出性能测试数据如表 5 所示， $p-t$ 曲线如图 5 所示。

表 5 干点火药输出性能测试数据

Tab.5 Output performance test data of dry ignition powder

编号	$TTFG/ms$	p_{20}/kPa	p_{30}/kPa	p_{40}/kPa	p_{50}/kPa	p_{max}/kPa
zc-1	3.7	90.9	161.3	217.7	261.5	306.0
zc-2	4.6	90.5	163.4	218.1	263.2	306.6
zc-3	3.4	95.4	168.1	225.9	269.4	310.8
zc-4	3.7	96.6	168.8	226.6	271.5	313.2
zc-5	4.0	89.6	161.7	219.2	265.0	311.8
平均值	3.9	92.6	164.7	221.5	266.1	309.7

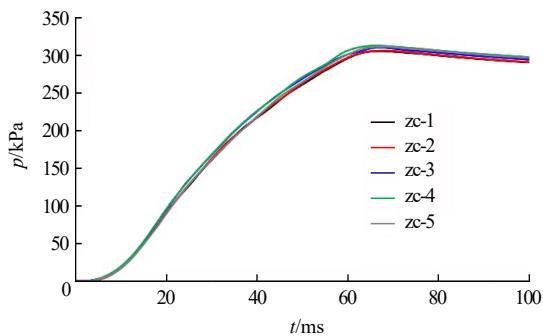


图 5 干点火药的 $p-t$ 曲线

Fig.5 The $p-t$ curve of dry ignition powder

由表 5 及图 5 可见，干点火药的 $TTFG$ 、 p_{20} 、 p_{30} 、 p_{40} 、 p_{50} 、 p_{max} 均满足指标要求，且 $TTFG$ 均值为 3.9 ms， p_{20} 均值为 92.6 kPa，能够保证气体发生器正常工作。

3.2 吸湿后点火药的输出性能测试

3.2.1 水分含量为 1.68% 的点火药输出性能

将 5 份在高湿度环境下吸湿 5.5 h 后的点火药 (水分含量为 1.68%) 分别装于 5 发气体发生器 (编号 $xs-1, \dots, xs-5$) 中，再置于保温箱中，-40 °C 保温 4 h 后进行输出性能测试。得到的水分含量为 1.68% 的点火药输出性能测试数据如表 6 所示， $p-t$ 曲线如图 6 所示。

表 6 水分含量为 1.68% 的点火药输出性能测试数据

Tab.6 Output performance test data of ignition powder with a moisture content of 1.68%

编号	$TTFG/ms$	p_{20}/kPa	p_{30}/kPa	p_{40}/kPa	p_{50}/kPa	p_{max}/kPa
xs-1	9.9	65.2	145.5	210.6	262.5	314.2
xs-2	10.7	33.1	110.1	175.5	240.8	305.9
xs-3	8.9	38.7	120.4	189.6	245.9	308.0
xs-4	10.0	67.9	147.4	212.1	263.3	316.1
xs-5	11.1	63.0	143.2	206.5	259.0	312.2
平均值	10.1	53.6	133.3	198.8	254.3	311.3

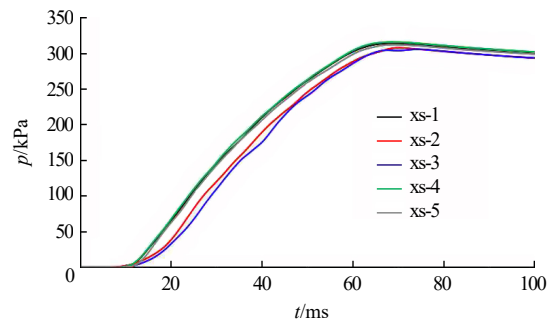


图 6 水分含量为 1.68% 点火药的 $p-t$ 曲线

Fig.6 The $p-t$ curve of ignition powder with a moisture content of 1.68%

由表 6 及图 6 可见，在高湿环境下吸湿 5.5 h 后，压力起始时间 $TTFG$ 均值为 10.1 ms，较干点火药延长了 6.2 ms。并且， p_{20} 、 p_{30} 、 p_{40} 压力值较干点火药均有所降低。

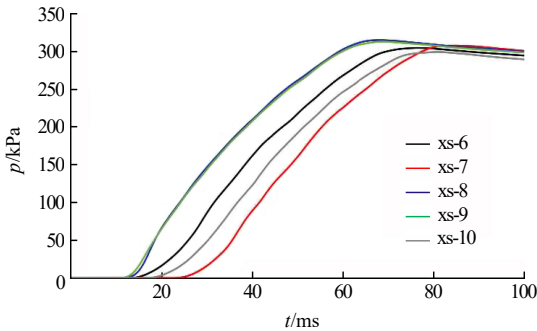
3.2.2 水分含量为 2.16% 的点火药输出性能

将 5 份在高湿环境下吸湿 7.5 h 后的点火药 (水分含量为 2.16%) 装于 5 发气体发生器 (编号 $xs-6, \dots, xs-10$) 中，再置于在保温箱中，-40 °C 保温 4 h 后进行输出性能测试。得到的水分含量为 2.16% 的点火药输出性能测试数据如表 7 所示， $p-t$ 曲线如图 7 所示。由表 7 及图 7 可见，吸湿 7.5 h 后， $TTFG$ 均值为 16.4 ms，较干点火药延长了 12.5 ms； p_{20} 、 p_{30} 、 p_{40} 压力值进一步降低。并且，5 发气体发生器的 $p-t$ 曲线一致性变差。

表 7 水分含量为 2.16% 的点火药输出性能测试数据

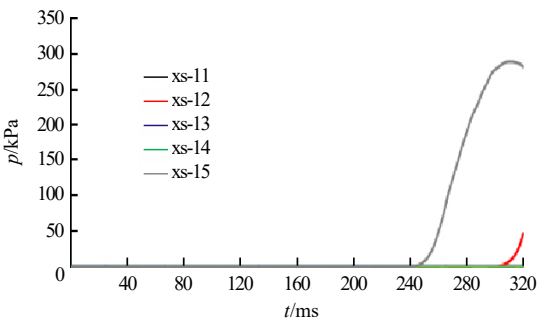
Tab.7 Output performance test data of ignition powder with a moisture content of 2.16%

编号	$TTFG/ms$	p_{20}/kPa	p_{30}/kPa	p_0/kPa	p_{50}/kPa	p_{max}/kPa
xs-6	14.5	16.6	86.7	162.1	217.9	304.7
xs-7	24.4	0.2	16.4	89.3	160.9	307.7
xs-8	12.7	66.7	147.0	209.8	261.9	315.0
xs-9	12.0	65.4	144.1	208.1	259.0	312.8
xs-10	18.3	3.7	48.9	123.1	192.3	299.3
平均值	16.4	30.5	88.6	158.5	218.4	307.9

图 7 水分含量为 2.16% 点火药的 $p-t$ 曲线Fig.7 The $p-t$ curve of ignition powder with a moisture content of 2.16%

3.2.3 水分含量为 5.66% 的点火药输出性能

将 5 份在高湿度环境下吸湿 24.0 h 后的点火药 (水分含量为 5.66%) 装于 5 发气体发生器 (编号 xs-11, ..., xs-15) 中, 再置于在保温箱中, $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保温 4 h 后进行输出性能测试。得到的水分含量为 5.66% 的点火药 $p-t$ 曲线如图 8 所示。

图 8 水分含量为 5.66% 点火药的 $p-t$ 曲线Fig.8 The $p-t$ curve of ignition powder with a moisture content of 5.66%

由图 8 可见, 吸湿后硝酸锶-5AT 点火药的输出性能发生了明显变化。吸湿 24.0 h 后, $TTFG$ 延迟严重, 最快也需 240 ms, 由于测试系统只采集了 320 ms 内的压力变化, 因此, $p-t$ 曲线中只能看见编号为 xs-12 和 xs-15 的 2 个气体发生器有压力产生, 但试验中 5 发气体发生器均有双响的声音, 表明 5 发气体发生器的点火药均点燃了产气药, 但 xs-11、xs-13 和

xs-14 气体发生器的 $TTFG > 320\text{ ms}$, 所以未观测到压力产生。

3.2.4 水分含量分别为 9.54% 和 22.52% 的点火药输出性能

取高湿环境下吸湿 48.0, 144.0 h 后的点火药 (水分含量依次为 9.54%, 22.52%) 各 5 份, 分别装于 10 发气体发生器 (编号依次为 xs-16, ..., xs-25) 中, 再置于在保温箱中, $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保温 4 h 后进行输出性能测试。试验结果表明, 吸湿 48.0 h 或吸湿 144 h 后, 试验中均无压力产生, 也未听见声响。对试验后的产品进行解剖, 发现吸湿 48.0 h 后, 点火药已燃烧, 但产气药完好, 可见点火管内的初级点火药点燃了硝酸锶-5AT 点火药, 但硝酸锶-5AT 点火药产生的能量不足, 无法引燃产气药; 吸湿 144 h 后, 点火药、产气药均完好, 表明点火管内初级点火药产生的能量不足, 未点燃硝酸锶-5AT 点火药。

4 硝酸锶-5AT 点火药分配时间控制

为了防止点火药在气体发生器装配过程中快速吸湿, 装药工序往往是在一个恒温恒湿的房间内进行, 一般通过空调和除湿机共同保证该房间的环境湿度。然而, 夏季是一年中湿度最高的季节, 是点火药最易吸湿的季节, 房间内湿度通常在 70% 左右, 可近似看作本文的中湿度环境, 点火药开袋后可视为裸露在中湿环境中。分配时间是指点火药从开袋到被装配至气体发生器内的时间间隔。若点火药开袋后长时间暴露在环境中, 药剂会吸湿导致其水分含量超出指标要求, 影响气体发生器的输出性能, 因此, 需要控制点火药的分配时间。

对 2023 年全年点火药开袋的水分含量进行统计分析, 发现点火药开袋的基础水分含量为 0.04% ~ 0.15%。由表 2 可知, 中湿环境下, 点火药经过 0.5 h 的吸湿率为 0.09%, 此时点火药水分最高可达 0.24%, 仍然符合指标水分要求 ($\leq 0.25\%$)。因此, 为了保证点火药的点火性能, 分配时间不允许超过 0.5 h, 即开袋后必须在 0.5 h 内使用完。此外, 为了降低点火药开袋时的基础水分, 可采用“双层铝塑袋+抽真空+

干燥剂”的方式对点火药进行包装,其中,内层铝塑袋装药,外层铝塑袋装干燥剂。该包装方式可以防止点火药在存储过程中快速吸湿,从而有效降低点火药开袋时的基础水分。

5 结论

(1) 在低(RH 43%)、中(RH 75%)、高(RH 93%) 3种湿度环境下,对硝酸锶-5AT点火药的吸湿性进行了试验研究,结果表明3种湿度环境下,硝酸锶-5AT的吸湿率均随时间而增大,且环境湿度越高,吸湿率增速越快。

(2) 对吸湿前后硝酸锶-5AT点火药的输出性能进行了测试,结果表明,与干硝酸锶-5AT相比,吸湿后硝酸锶-5AT在20,30,40 ms时的输出压力较低, $p-t$ 曲线一致性较差,压力起始时间出现了较明显的延迟,且随着点火药水分含量增加,延迟时间变长。当点火药水分含量达到9.54%时,点火药无法引燃产气药;当点火药水分含量达到22.52%时,点火管内的初级点火药无法点燃硝酸锶-5AT点火药。

(3) 为了控制硝酸锶-5AT点火药在气体发生器装配环节的水分含量,开袋后需保证点火药在0.5 h内使用完毕。为了降低点火药开袋时的基础水分,可

采用“双层铝塑袋+抽真空+干燥剂”的方式对点火药进行包装,其中,内层铝塑袋装药,外层铝塑袋装干燥剂。

参考文献:

- [1] 梁杰. 吸湿性对典型含金属粉点火药性能影响研究[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2021.
- [2] 任响宁, 罗运强, 张俊, 等. 一种安全气囊用新型点火药配方研究[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2021(03): 52-55.
- [3] 时烁. 湿度对红色药热安全性的影响研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.
- [4] 李智, 何魁元. 含硝酸银烟火剂的化学安定性研究[J]. 火工品, 1995(3): 23-25.
- [5] 朱艳辉, 高俊国, 张倩, 等. 含金属粉点火药的吸湿性研究[J]. 爆破器材, 2007, 36(2): 15-17.
- [6] 朱雅红, 马凤娥, 盛涤伦, 等. 硝酸锶吸湿性问题的探讨[J]. 火工品, 2006(4): 34-36.
- [7] 郭雪莹. 几种典型火工药剂湿热环境下的特性研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
- [8] 韩冰, 魏伦, 郑双, 等. 一种新型点火药的性能研究[J]. 火工品, 2015(2): 22-25.