

文章编号:1006-9941(2022)11-1099-07

制式包装设计压力对无水肼液体推进剂危险等级分类影响试验

徐飞扬¹,姚亚东²,吴星亮¹,王旭¹,李文海³,陈世雄¹,刘大斌¹,徐森¹

(1. 南京理工大学 化学与化工学院, 江苏 南京 210094; 2. 北京航天试验技术研究所, 北京 100074; 3. 中国兵器工业火炸药工程与安全技术研究院, 北京 100035)

摘要: 为了完善无水肼的危险等级分类,依据联合国橘皮书爆炸品危险性分级程序,对制式包装无水肼(包括2种尺寸:18 kg和120 kg)分别开展EIDS隔板试验和外部火烧试验。分别采用高速摄像、红外热成像和压力数采测试系统表征样品在火灾刺激下的燃爆过程、火球表面最高温度以及冲击波效应。结果表明:外部火灾条件下,无水肼-18 kg样品的TNT当量为0.724,是无水肼-120 kg样品的1930.67倍。无水肼在特定条件下具有明显的爆炸特性,不同制式包装设计压力下的无水肼分别显示出了1.1 C和1.3 C的危险等级。无水肼的危险等级分类与其包装设计压力联系密切,应在实际使用允许范围内,降低无水肼等液体推进剂的包装强度,以有效降低其危险性。

关键词: 无水肼;EIDS隔板试验;外部火灾试验;制式包装设计压力;危险等级

中图分类号: TJ04; O69

文献标志码: A

DOI:10.11943/CJEM2021327

0 引言

无水肼是一种具有类似氨臭味的无色透明液体,有较强的吸湿性,它具有比冲高、可双模式使用等优点,主要应用于航空和航天等领域^[1-2]。无水肼还是一种工业品原材料,可用于制作发泡剂和农作物杀虫剂等^[3-4]。国内外研究者对无水肼进行了相应研究。Askey^[5]运用紫外线吸收法分析了无水肼的热分解特性;Bellerby^[6]通过实验研究了锰和铬对无水肼在氮气和氨环境下的均相分解速率的影响。胡长诚^[7]重点介绍了无水肼的制备和提纯方法;禹天福^[8]描述了空间环境下无水肼的三类爆炸危险性。

相关研究人员在含能物质危险性分级领域同样开展了重要工作。Wehrstedt^[9]对氰胺以及其50%水溶

液进行了危险性分级;Persson等^[10]重新研究了包装对LMP-103S液体推进剂运输危险等级的影响,通过改变包装条件,可将LMP-103S的危险等级由1.3 C降低为1.4 S;徐森等^[11]根据联合国试验系列6(c)标准条例的规定证明了样品包装的设计对安全带预紧装置的危害等级分类有重要影响。目前无水肼主要危险等级为第8类,腐蚀品;次要危险性是易燃(第3类)和毒害(第6.1类)。因其具有腐蚀性和毒性,同时考虑到相容性,无水肼的包装材料一般为带有一定工作压力的密闭制式不锈钢储罐,当其遭遇火灾时,容易导致无水肼产生剧烈的爆燃,甚至是爆炸现象^[12-15]。另一方面,国内航天单位对无水肼储存场所安全距离的设定依据主要为《建筑设计防火规范》和《石油化工企业设计防火标准》等规范^[16],严重忽视了其爆炸危害。无水肼在特定条件下具有明显的爆炸特性,然而联合国对包装无水肼的危险等级分类并不够全面,因此,完善制式包装无水肼的危险等级分类十分有必要。

本研究依据联合国橘皮书的爆炸品危险性分级程序^[17],对包装无水肼(包括2种尺寸:18 kg和120 kg)开展冲击波感度试验和无水肼制式储罐的外部火灾试验,为全面表征和完善无水肼的危险等级提供可靠依据,同时为无水肼等液体推进剂爆炸事故的预防和控

收稿日期:2021-12-07;修回日期:2022-03-17

网络出版日期:2022-09-29

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助(No.30922010503)

作者简介:徐飞扬(1992-),男,博士研究生,主要从事液体推进剂安全性方面研究。e-mail:2443634307@qq.com

通信联系人:徐森(1981-),男,教授,主要从事爆炸力学、含能材料爆轰、危险性分级方面的研究。e-mail:xusen@njust.edu.cn

引用本文:徐飞扬,姚亚东,吴星亮,等.制式包装设计压力对无水肼液体推进剂危险等级分类影响试验[J].含能材料,2022,30(11):1099-1105.

XU Fei-yang, YAO Ya-dong, WU Xing-liang, et al. Experimental Study on the Influence of Standard Packaging Design Pressure on the Hazard Classification of Anhydrous Hydrazine Liquid Propellant[J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2022, 30(11):1099-1105.

制以及爆炸安全防护距离的合理规划提供借鉴和指导。

1 实验

1.1 试验样品及其包装

无水肼由北京航天试验技术研究所提供, 纯度 $\geq 98.5\%$ 。样品及其制式不锈钢储罐基础参数如表 1

表1 无水肼基础性能参数和制式包装设计压力

Table 1 Basic performance parameters and standard packaging design pressure of anhydrous hydrazine

samples	formula	density / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	oxygen balance/%	test value of combustion heat / $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	theoretical value of combustion heat/ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	net weight of sample/kg	packaging design pressure/MPa
anhydrous hydrazine-18 kg	N_2H_4	1.08	-99.84	18.95	19.37	18	1.00
anhydrous hydrazine-120 kg						120	0.33

Note: the package was shaped like a cylinder.

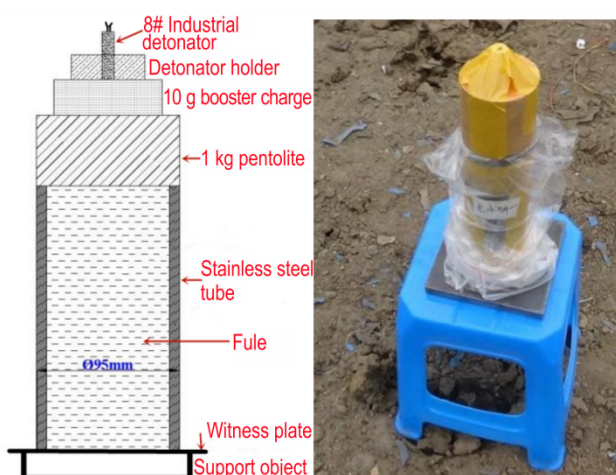


图1 EIDS隔板试验测试方法

Fig.1 EIDS gap test

图1中, EIDS 钢管的外直径约为 95 mm, 壁厚约为 11 mm, 长度为 280 mm。验证板的材质为 A3 钢板, 尺寸为 200 mm \times 200 mm \times 20 mm。传爆药柱为 1 kg PETN/TNT (50/50) 标准药柱, 实验平行测试 3 次。

1.2.2 外部火灾试验

外部火灾试验是爆炸品危险性分级程序中最重要试验之一, 主要是依据包装样品在发生火灾时产生的冲击波效应和见证板的破损情况等来综合判定样品的危险等级, 外部火灾试验测试系统如图 2 所示。

图 2 中, 采用高速摄像机 (型号 FASTCAM Mini UX 100) 观察样品毫秒级时间内的响应特性和反应过程, 采样频率为 1000 fps; 使用红外热成像仪 (型号

所示。

1.2 试验方法及条件

1.2.1 隔板试验

橘黄书关于含能材料冲击波感度的测试方法主要有联合国 (UN) 隔板和极不敏感引爆物质 (EIDS) 的隔板试验^[17]等, 考虑到钝感含能物质爆轰临界压力与其尺寸密切相关, 选择尺寸较大的 EIDS 隔板试验开展无水肼冲击波感度研究, 测试方法如图 1 所示。

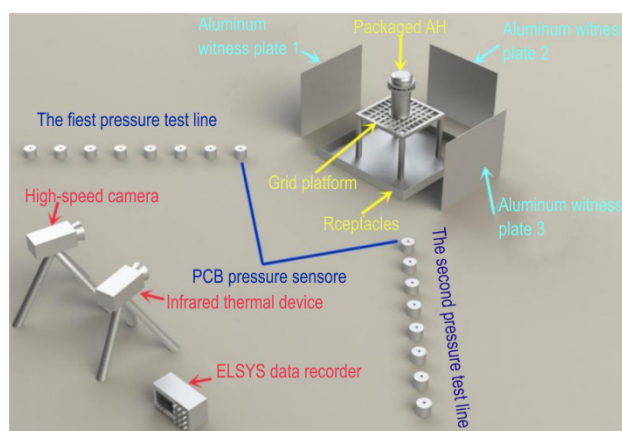


图2 外部火灾试验测试系统

Fig.2 Diagram of external fire test apparatus

A615, 采样频率 12.5 fps) 记录火球表面最高温度; 采用压力测试系统 (包含 ELSYS 数据记录仪和 PCB 压力传感器) 表征样品的冲击波效应, 2 条压力测试线夹角为 90°, 每条线上布置 8 个测试点, 所有壁面压力传感器测试前均已标定, 各个压力传感器距样品中心距离分别为 5、7、9、11、14、16、18 m 和 21 m。见证板与燃烧池中心间距为 4 m, 样品下方燃烧池填充足量的航空煤油液体燃料, 以保证样品有充足的时间反应。

2 试验结果与分析

2.1 EIDS 隔板试验

EIDS 隔板试验测试结果如图 3 所示。

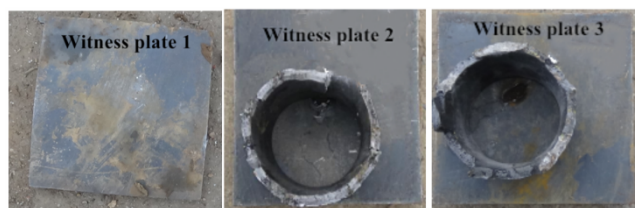


图3 无水肼的EIDS隔板三发实验结果

Fig.3 three times EIDS gap test results of anhydrous hydrazine

由图3可知,三发平行试验中,20 mm厚的验证板均无穿孔,仅有轻微变形现象,依据橘黄书判定标准试验结果为“-”,即无水肼对冲击波作用不敏感。分析认为,无水肼虽然有N—N高能键,但分子结构简单,自身不含氧,隔板试验中,与空气接触面积极小,导致无法发生氧化还原反应。此外,液体推进剂是一种均相物质,自身内部一般不会产生气泡,没有利于爆轰反应发生的“热点”存在,因此无水肼在强冲击波作用下也不具有传播爆轰的能力。

2.2 外部火灾试验

2.2.1 燃爆过程

净重分别为18 kg和120 kg的制式不锈钢包装无水肼燃爆过程部分高速录像结果如图4所示。

火烧条件下,无水肼的受热温度远超其热分解温度(无水肼沸点为113.5℃),与储罐接触部分的推进剂不断发生快速热分解反应,并产生大量的高温、高压

气体产物(N_2 和 H_2)^[1]。由于样品储存于密闭容器中,气体体积膨胀,蒸汽压不断增加,使得储箱内部压力超过了推进剂包装的设计压力,最终推进剂储箱被炸开,发生了不同程度地燃爆反应。进一步分析认为,在反应发生后毫秒级时间内,还未受热分解的剩余样品在高压反应产物和冲击波作用下向四周抛洒并雾化,变成小液柱和小液滴,细小的液柱、液滴在高温环境的作用下迅速蒸发变成气态可燃物,并被火焰引燃,进一步发生剧烈的燃烧反应。由图4可以看出,0~500 ms时间段内的无水肼-18 kg样品火球尺寸较无水肼-120 kg样品更大,反应更为剧烈。无水肼-18 kg样品火球持续时间相对较短,1500 ms时刻显著变小,无水肼-120 kg样品火焰无明显衰弱现象。

煤油燃烧火焰的平均温度、煤油点火到样品反应以及样品反应持续时间如表2所示。

由表2可知,无水肼-120 kg样品从煤油点火起始至样品反应开始这一时间段明显短于无水肼-18 kg样品。分析认为,煤油的平均温度差异较小,相同试验条件下,包装尺寸更大的无水肼受热比表面积更大,因此单位时间内的热分解产气速率相对更快;另一方面,无水肼-120 kg样品包装的约束强度较无水肼-18 kg储罐弱(无水肼-120 kg和无水肼-18 kg储罐设计压力分别为0.33 MPa和1.0 MPa),使得质量大的包装样品

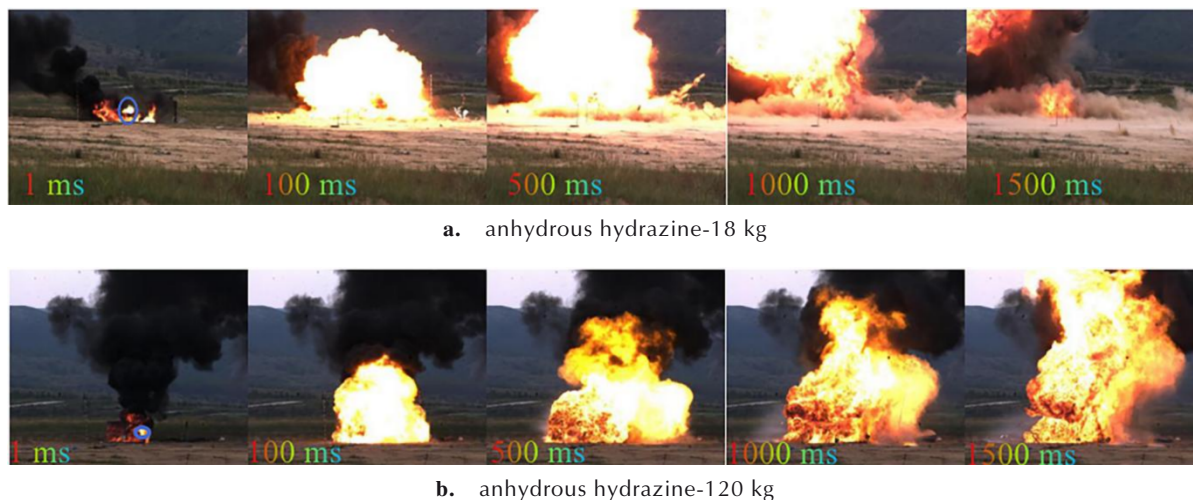


图4 无水肼样品燃爆过程高速录像图

Fig.4 High-speed video images of the deflagration process for anhydrous hydrazine samples

表2 煤油火焰的温度时间参数

Table 2 Temperature and time parameters of flame in external fire test

samples	mean temperature of the fuel fire / $^{\circ}C$	time from ignition to deflagration	duration of deflagration/s
anhydrous hydrazine-18 kg	732	11 min and 16 s	1.78
anhydrous hydrazine-120 kg	767	10 min and 21 s	2.85

在更短时间内发生了反应。

图5为两组样品火烧试验后验证板及包装的破损情况。

由图5可知,无水肼-18 kg样品火烧刺激下发生了爆炸,包装严重破碎,见证板显著变形,有穿孔现象;而无水肼-120 kg样品的储箱仅仅被撕裂,未发现碎片,见证板完好。



a. anhydrous hydrazine-18 kg



b. anhydrous hydrazine-120 kg

图5 火烧试验后验证板及包装的破损情况

Fig.5 Witness plates and damage conditions of the packages after external fire tests

2.2.2 冲击波超压和爆炸当量

无水肼-18 kg和无水肼-120 kg样品的反射冲击波超压峰值随距离的衰减趋势结果如图6所示。

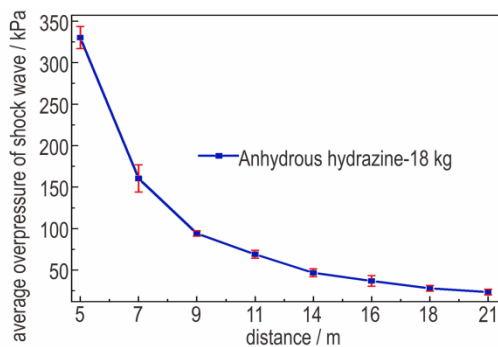
由图6可知,无水肼-18 kg样品反应时有强烈的冲击波效应,离爆心水平距离5 m处,超压峰均值最高为330.16 kPa,而对应的无水肼-120 kg样品超压峰均值最高仅为9.81 kPa。借鉴爆炸相似律^[18],对2组样品地面反射超压进行拟合,可得到如图7所示的拟合曲线。

由图7可知,两组样品反应瞬间产生的超压峰值十分符合爆炸相似规律,式(1)和(2)分别为无水肼-18 kg和无水肼-120 kg样品的拟合方程。

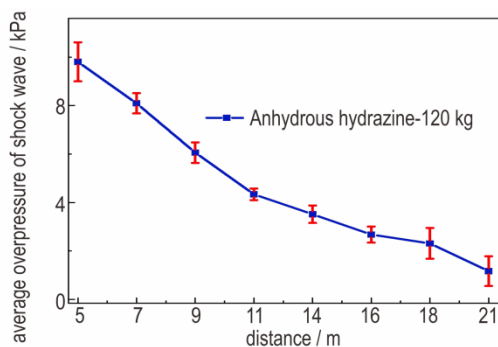
$$p = 129.09 \times \sqrt[3]{\frac{w}{R}} + 378.07 \times \left(\sqrt[3]{\frac{w}{R}}\right)^2 + 1107.75 \times \left(\sqrt[3]{\frac{w}{R}}\right)^3 \quad (1)$$

$$p = 1.43 \times \sqrt[3]{\frac{w}{R}} + 28.54 \times \left(\sqrt[3]{\frac{w}{R}}\right)^2 - 20.20 \times \left(\sqrt[3]{\frac{w}{R}}\right)^3 \quad (2)$$

TNT当量可由公式(3)进行表达^[19]:



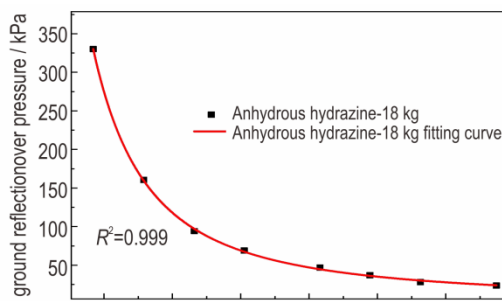
a. anhydrous hydrazine-18 kg



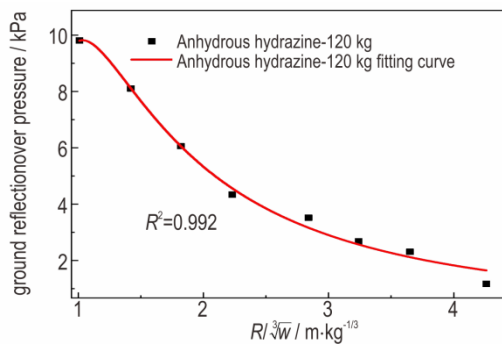
b. anhydrous hydrazine-120 kg

图6 地面反射冲击波超压峰值衰减趋势

Fig.6 Peak pressure attenuation trends of the ground-reflected shock waves



a. anhydrous hydrazine-18 kg



b. anhydrous hydrazine-120 kg

图7 样品地面反射超压拟合曲线

Fig.7 The fitting curves of the ground reflected pressure of samples

$$\text{TNT}_e(\%) = 100 \times \left(\frac{W_{\text{TNT}}}{W_x} \right)_{p_m} \quad (3)$$

式中, TNT_e 为 TNT 当量; W_{TNT} 为 TNT 药柱的质量, kg; W_x 为被测药柱的质量, kg。

公式(4)^[20]为适用公斤级至百公斤级的 TNT 爆炸的冲击波参数经验公式(p 单位:MPa), 将样品反射峰

值超压代入 TNT 拟合公式, 各样品的爆炸等效 TNT 当量数据见表 3。

$$p = 0.109 \times \sqrt[3]{\frac{W}{R}} + 0.56 \times \left(\sqrt[3]{\frac{W}{R}} \right)^2 + 1.98 \times \left(\sqrt[3]{\frac{W}{R}} \right)^3, \quad 1 \leq \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \leq 10 \quad (4)$$

表 3 样品的 TNT 当量

Table 3 The values of TNT equivalent at different distances of two samples

samples	TNT _e (total mass)/kg								average value/kg	TNT _e
	5 m	7 m	9 m	11 m	14 m	16 m	18 m	21 m		
anhydrous hydrazine-18 kg	10.86	11.57	11.56	13.25	14.68	14.69	12.85	14.79	13.03	0.724
anhydrous hydrazine-120 kg	0.034	0.059	0.063	0.049	0.059	0.044	0.041	0.011	0.045	0.000375

由表 3 可知, 无水肼-18 kg 和无水肼-120 kg 样品的爆炸 TNT 当量分别为 0.724 和 0.000375。显然, 较小质量包装无水肼的爆炸效应更加显著, 表明样品反应时的冲击波效应并未随着尺寸的增大而增强, 反而是显著降低。此外, 进一步观察表 2 发现, 无水肼-120 kg 样品的爆燃反应持续时间要长于无水肼-18 kg 样品, 表明无水肼-18 kg 样品的燃烧反应速率更快, 同样可以认为相同试验条件下其反应更加剧烈, 这与超压结果的规律一致。分析认为, 无水肼在火灾条件下的爆炸危害效应与其制式包装的设计压力密切相关, 而与质量大小无必然联系。由于无水肼-120 kg 样品设计压力仅为 0.33 MPa, 使得其开始发生受热分解至样品包装被炸开这一时间段明显小于无水肼-18 kg 样品(设计压力为 1.0 MPa), 表 2 中的数据佐证了这一观点。爆炸 TNT 当量结果是以样品总质量进行计算的, 而样品质量的增大和受热时间更短致使无水肼-120 kg 样品中未参与反应的比例更高, 因此, 其计算得出的结果反而更小; 另一方面, 爆燃过程中无水肼在冲击波作用下抛洒成悬浮液滴, 当无水肼过量时, 爆炸瞬间周围环境的氧气量不足反而会抑制燃烧反应的进行, 大幅削弱冲击波强度^[21]。由此认为壳体的设计强度对无水肼的爆炸效应具有显著影响。出于安全目的, 应在实际使用允许范围内, 降低无水肼等液体推进剂制式包装设计的强度, 将其危险性从爆炸降低为爆燃及以下。

2.2.3 红外结果与分析

利用红外热像仪测量样品火烧反应过程中的火球表面的最高温度, 结果如图 8 所示。

由图 8 可知, 红外结果可以分为 2 个阶段。第一

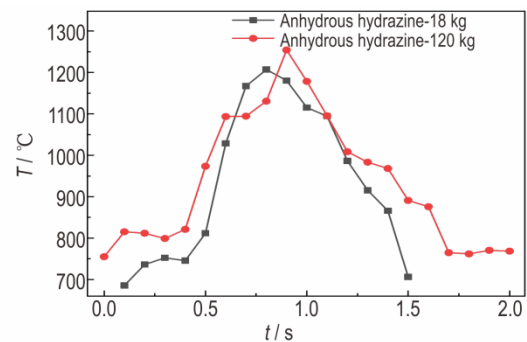


图 8 样品反应过程火球表面最高温度

Fig.8 The highest temperature of the fireball surface in the reaction process.

阶段, 从反应瞬间开始, 火球表面最高温度随时间的延长而迅速升高; 第二阶段, 火焰表面温度逐渐下降。样品质量的不同使得二者温度变化趋势的时间转折点有所不同, 样品爆炸火球的特征参数见表 4。

由表 4 红外试验结果可知, 无水肼-18 kg 和无水肼-120 kg 样品包装无水肼反应火球的表面最高温度分别为 1207.1 °C 和 1254.3 °C, 二者温度差异性小, 这是因为火焰温度的高低和样品的自由基浓度以及活跃程度相关, 而与样品质量无关联^[22]。

2.3 危险等级分类

将 2 组样品的试验结果汇总, 包含冲击波效应、包

表 4 红外试验结果

Table 4 Infrared testing results

samples	highest surface temperature of fireball/°C	maximum diameter of fireball/m
anhydrous hydrazine-18 kg	1207.1	13.6
anhydrous hydrazine-120 kg	1254.3	15.0

装和见证板的破坏程度等,并依据橘黄书爆炸品危险性分级程序标准判定两组产品的危险等级,结果如表5所示。

由表5可知,依据橘黄书含能物质标准分级程序,无水肼-18 kg制式样品的危险等级应为1.1 C;制式无水肼-120 kg包装样品反应过程中火球最大尺寸为

15.0 m,明显超越了见证板距燃烧池中心的距离,判定其危险等级为1.3 C。包装无水肼的危险性分类结果与其包装的设计压力大小有关,应适当降低无水肼推进剂的包装壳体强度。此外,制式储罐的设计应该包含带有可控制开口的低压阀门,以提高其储运和使用安全性。

表5 外部火烧条件下包装样品的危险等级

Table 5 Hazard classes for packaged anhydrous hydrazine involved in the external fire test

samples	design pressure/MPa	shock wave effect	the extent of damage to the packaging	the extent of damage to the witness plate	hazard class
anhydrous hydrazine-18 kg	1.00	strong	seriously broken, forming a certain number of small fragments	obviously deformed and clearly perforated	1.1 C
anhydrous hydrazine-120 kg	0.33	weaker	torn open	no distortion, no perforation	1.3 C

3 结论

(1)无水肼液体推进剂没有冲击波感度,不具有传播爆轰的能力。

(2)火灾刺激条件下,无水肼-18 kg样品的TNT当量为0.724,是无水肼-120 kg样品的1930.67倍。无水肼在特定条件下具有明显的爆炸特性,不同包装强度下,无水肼分别显示出了1.1 C和1.3 C的危险等级。

(3)包装无水肼的危险性分类结果与其包装设计压力密切相关,与质量大小并无明显关联。出于安全目的,应在实际使用允许范围内,降低无水肼等液体推进剂制式包装的设计强度,以有效降低其危险性。研究结果在液体推进剂生产和储存等场所的防爆安全设计以及运输和使用过程中的安全管理等方面具有指导和借鉴意义。

参考文献:

- [1] 李亚裕. 液体推进剂[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2011: 288-300.
LI Ya-yu. Liquid propellant [M]. Beijing: China Aerospace Press, 2011: 288-306.
- [2] WELSH T W, BRODERSON H J. Anhydrous hydrazine. III. Anhydrous hydrazine as a solvent [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 1915, 37(4): 816-824.
- [3] MATSUMOTO M, KANO H, SUZUKI M, et al. Carcinogenicity and chronic toxicity of hydrazine monohydrate in rats and mice by two-year drinking water treatment [J]. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2016, 76: 63-73.
- [4] LI Z X, ZHANG W Y, LIU C X, et al. A colorimetric and ratio-metric fluorescent probe for hydrazine and its application in living cells with low dark toxicity [J]. *Sensors and Actuators B Chemical*, 2017, 241: 665-671.
- [5] ASKEY P J. The thermal decomposition of hydrazine [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 1930, 52 (3): 970-974.
- [6] BELLERBY J M. The effect of some dissolved metal-ion contaminants on the homogeneous decomposition rate of anhydrous hydrazine [J]. *Journal of hazardous materials*, 1986, 13(1): 57-60.
- [7] 胡长诚. 国外水合肼、无水肼制备及提纯方法研发进展 [J]. 化学推进剂与高分子材料, 2005, 3(4): 1-5.
HU Chang-cheng. Foreign research and development progress of preparation and purification methods for hydrazine hydrate and anhydrous hydrazine [J]. *Chemical Propellants & Polymeric Materials*, 2005, 3(4): 1-5.
- [8] 禹天福, 吴志坚. 空间环境下无水肼和甲基肼的爆炸危险性 [J]. 火箭推进, 2001(6): 1-7.
YU Tian-fu, WU Zhi-jian. The explosion risk of anhydrous hydrazine and methylhydrazine in space environment [J]. *Journal of Rocket Propulsion*, 2001(6): 1-7.
- [9] WEHRSTEDT K, WILDNER W, GUTHNER T, et al. Safe transport of cyanamide [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 170(2): 829-835.
- [10] PERSSON M, ANFLO K, DINARDI A. A family of thrusters for ADN-based monopropellant LMP-103S [C]. 48th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., with permission, 2012.
- [11] XU S, LIU D, PAN F, et al. Hazard classification of seat belt pretensioners by UN test 6 (c) [J]. *Procedia Engineering*, 2012, 45: 533-538.
- [12] AIAA standards, the American Institute of Aeronautics and Astronautics. Special Project_ Fire, Explosion, Compatibility, and Safety Hazards of Hypergols-Monomethylhydrazine (AIAA SP-085-1999) [S]. 1999.
- [13] HERBERT I. The UK Buncefield incident e the view from a UK risk assessment engineer [J]. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2010, 23(6): 913-920.
- [14] SHARMA R K, GURJAR B R, WATE S R, et al. Assessment of an accidental vapour cloud explosion: Lessons from the Indian Oil Corporation Ltd. accident at Jaipur, India [J]. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2013, 26(1): 82-90.

- [15] 陈新华, 聂万胜. 液体推进剂爆炸危害性评估方法及应用[M]. 国防工业出版社, 2005, 90-120.
CHEN Xin-hua, NIE Wan-sheng. Evaluation method and application of liquid propellant explosion harmfulness[M]. National Defense Industry Press, 2005, 90-120.
- [16] GJB 2216A-2019 肼类燃料和硝基氧化剂包装贮存运输要求[S]. 2019.
GJB 2216A-2019 Requirements for package storage and transportation of hydrazine fuels and nitro-oxidizers[S]. 2019.
- [17] ST/SG/AC.10/11/Rev.7. Recommendations on the transport of dangerous goods, tests and criteria, 7th Rev. ed. [S]. New York: United Nations Publication, 2019.
- [18] HENRYCH J, MAJOR R. The dynamics of explosion and its use [M]. Amsterdam, 1979, 558-570.
- [19] HELD M. TNT-Equivalent [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1983, 8(5):158-167.
- [20] 张玉磊, 王胜强, 袁建飞, 等. 不同量级 TNT 爆炸冲击波参数相似律实验研究[J]. 弹箭与制导学报, 2016, 36(6): 53-56.
ZHANG Yu-lei, WANG Sheng-qiang, YUAN Jian-fei, et al. Experimental research on similarity law of explosive shock wave parameters with different orders of magnitude TNT [J]. *Journal of Projectile, Rockets, Missiles and Guidance*, 2016, 36(6): 53-56.
- [21] XU H B, CHENG L K, ZHANG D Z. Mitigation effects on the reflected overpressure of blast shock with water surrounding an explosive in a confined space [J]. *Defence Technology*, 2020, 17(3): 1071-1080.
- [22] 宋哲. 基于自由基光谱的预混火焰温度检测研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2020: 8-22.
SONG Zhe. Research on temperature detection of premixed flame based on free radical spectrum [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2020: 8-22.

Experimental Study on the Influence of Standard Packaging Design Pressure on the Hazard Classification of Anhydrous Hydrazine Liquid Propellant

XU Fei-yang¹, YAO Ya-dong², WU Xing-liang¹, WANG Xu¹, LI Wen-hai, CHENG Shi-xiong¹, LIU Da-bin¹, XU Sen¹

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074, China; 3. China Safety Technology Research Academy of Ordnance Industry, Beijing 100035, China)

Abstract: To improve the hazard classification of anhydrous hydrazine, the extremely insensitive detonating substance (EIDS) gap test and external fire test were conducted for the standard packaging anhydrous hydrazine (18 kg and 120 kg) in accordance with the United Nations "Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Manual of Tests and Criteria". The deflagration process, the highest temperature of the fireball surface and shock wave effect of samples were obtained by a high-speed camera, an infrared thermal imaging and a shock wave pressure acquisition system. The experimental results show that, under external fire conditions, the TNT equivalence of the anhydrous hydrazine-18 kg was 0.724, which was 1930.67 times that of anhydrous hydrazine-120 kg. Under certain conditions, anhydrous hydrazine has obvious explosive properties and can be assigned to Division 1.1 C or Division 1.3 C for different packaging design pressures. The hazard class of anhydrous hydrazine is closely related to the standard packaging design pressure. For safety purposes, the design pressure of packaged anhydrous hydrazine should be properly reduced within the allowable range to effectively reduce its hazard.

Key words: anhydrous hydrazine; EIDS gap test; external fire test; standard package design pressure; hazard classification

CLC number: TJ04; O69

Document code: A

DOI: 10.11943/CJEM2021327

Grant support: The Fundamental Research Funds for the Central Universities (No.30922010503)

(责编:王馨逸)