

文章编号:1006-9941(2019)12-0998-06

布氏压力计法评估炸药寿命的判据研究

陈捷,熊鹰,睢贺良,于谦,池钰,孙杰,徐瑞娟,陈建波

(中国工程物理研究院化工材料研究所,四川 绵阳 621999)

摘要: 针对布氏压力计法评估炸药贮存寿命的判据问题,分别以0.05%和0.1%分解深度为终点指标,按照Berthelot方程进行线性回归,获得了32种炸药在不同温度(25~50℃)下的贮存寿命比对结果,发现存在两种情况:(1)对于大多数炸药,同一温度下,以0.05%分解深度为终点判据预估的贮存寿命小于以0.1%分解深度预估的贮存寿命,但却会出现以前者评估出的贮存寿命超短的现象;(2)对于极少数炸药,接近室温时,同一温度下以0.05%分解深度为终点判据预估的贮存寿命大于以0.1%分解深度预估的贮存寿命,但随着温度的升高,以0.05%分解深度预估的贮存寿命又重新小于以0.1%分解深度预估的贮存寿命。产生差异的原因在于,各温度下所选用的数据点是否均处于炸药等速分解期内。结果表明,以炸药处于等速分解期时的分解深度作为布氏压力计法评估炸药贮存寿命的终点判据更具有科学意义。

关键词: 分解深度;炸药;贮存寿命;终点判据;布氏压力计法

中图分类号: TJ55; O643

文献标志码: A

DOI: 10.11943/CJEM2019015

1 引言

炸药在热力学上处于亚稳态,其安全和爆轰等性能会随时间推移而不断发生变化,进而直接影响其运输、贮存乃至在战场上的使用。因此,如何准确评估预测炸药的老化和贮存寿命一直是含能材料领域关注的热点之一。在常温条件下(通常炸药的贮存条件),炸药的热分解过程十分缓慢,常规测试手段往往很难检测到明显的变化。文献^[1]指出可以炸药在较高温度条件下分解失效机理与常温下分解失效机理相同为原则,采用加速老化的方法对其贮存寿命进行测试与评估。国内外标准^[2-3]中把炸药中对时间和环境变化最敏感的性能参数(如质量损失率、安定剂的损耗量等)定为是否失效的特征量,并选其临界值作为评估贮存寿命的判据。单质炸药和混合炸药在环境应力的作用

和影响下,会发生缓慢的化学变化并释放出气体,同时,还会与气体发生次生反应,形成更复杂的气体组分^[4],故释气与质量损失一样被认为是炸药老化的重要特征量^[5-9]。布氏压力计法^[1,10]即是一种量气法,由苏联学者安德列夫于1951年率先应用于炸药安定性研究,测定炸药由热分解产生气体产物的压力,并换算为标准状态下气体的体积,通过分解气体产物的体积与时间的关系曲线,研究炸药的热分解动力学及预估贮存寿命,其最大优点在于它是全玻璃测试系统,可以排除其它材料引入的干扰因素,该方法适用于所有炸药的热分解动力学研究,包括液体和易升华样品,因为凝聚相和气相产物始终处于同一个环境温度之中,实验条件易于控制一致,实验结果的重复性较好;同时炸药蒸气也参与了反应,包括它与分解产物之间的反应,这与炸药贮存时存在的自催化等情况相符合,因此,实验结果具有实际应用价值,故在炸药定型鉴定中,中国工程物理研究院化工材料研究所多采用布氏压力计法评估其贮存寿命并建立了标准方法^[11]。而且,历来是以炸药热分解深度达0.1%为寿命终点判据,但评估出的炸药常温贮存寿命通常在几十年甚至上百年^[5-9,12],为进一步确认该终点判据的科学性,本研究以两种分解深度(0.05%和0.1%)为终点判据,预估了

收稿日期:2019-01-18;修回日期:2019-05-14

网络出版日期:2019-06-18

基金项目:总装专项项目(989900709006)

作者简介:陈捷(1968-),女,副研究员,主要从事材料老化研究。

e-mail: chenjie311@caep.cn

通信联系人:孙杰(1972-),男,研究员,主要从事含能材料设计、

制备、弹药评估与处置研究。e-mail: sunj@caep.cn

引用本文:陈捷,熊鹰,睢贺良,等.布氏压力计法评估炸药寿命的判据研究[J].含能材料,2019,27(12):998-1003.

CHEN Jie, XIONG Ying, SUI He-liang, et al. Explosive Life Evaluation Criterion by Burdon Method[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2019, 27(12):998-1003.

32种炸药在不同温度下的贮存寿命的,并进行了对比分析。

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

单质炸药:超细六硝基芪(HNS-IV,自制),苯并三氧化呋咱(BTF,自制),太安(PETN,805厂),六硝基六氮杂异伍兹烷(CL-20,375厂),1,1-二氨基-2,2-二硝基乙烯(FOX-7,西安近代化学研究所);混合炸药(包括3种PETN基PBX,9种RDX基PBX,8种HMX基PBX,3种TATB基PBX,1种LLM-105基PBX,1种BTF基PBX,1种HMX基PBX,均为自制)。

布氏压力计法测试系统(自制)示意图如图1所示。用玻璃薄膜指针式传感器,待测试样放于反应空间,受热分解后,在反应空间内产生的气体使与之相连的薄膜弯曲,带动指针偏移,通过补偿空间充入空气使反应空间与补偿空间压力平衡,测试补偿空间的气体压力即为试样分解产生的气体压力,并换算为标准状态下气体的体积,选取不同加热温度进行实验,即获得不同温度下气体体积随时间的变化曲线。实验温度的选择原则是:对于全分解实验,实验温度一般选择为炸药峰值分解温度以下50℃的温度点,在实验终止时,布氏压力计反应空间压力接近 1.01×10^5 Pa;其余实验温度以其分解机理与常温下分解机理相同为原则,并

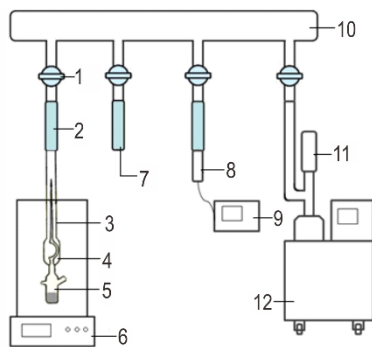


图1 布氏压力计法测试系统

1—真空活塞,2—真空胶管,3—布氏压力计,4—补偿空间,5—反应空间,6—恒温浴,7—接补气管路,8—气体压力变送器,9—数字压力表,10—系统管路,11—真空计,12—真空泵

Fig.1 Measuring system of the Burdon Method

1—vacuum piston, 2—vacuum hose, 3—Bourdon manometer, 4—compensation space, 5—reaction space, 6—constant temperature oven, 7—connector with blowdown pipe, 8—gas pressure transmitter, 9—digital manometer, 10—system pipeline, 11—vacuometer, 12—vacuum pump

至少选取4个温度点。

2.2 寿命评估实验

实验前将样品在50℃条件下真空干燥4h。然后定量称取炸药试样置于布氏压力计中,在 1.33×10^{-2} Pa压力下连续抽真空4h,封闭出口,再将布氏压力计浸入到恒温浴中,炸药试样则在定容、恒温和一定真空条件下受热分解。测试分解释放的气体压力,换算成标准状态下的气体体积 V_H ,并得到 V_H 随时间的变化曲线,选取不同加热温度进行实验,获得不同温度下 V_H 随时间的变化曲线,进而获得试样在不同温度下达指定分解深度所需的时间 τ 。根据Berthelot方程^[13](1),推算出试样在规定温度下达到同样分解深度的时间,即贮存寿命 τ 。

$$\lg \tau = A + BT \quad (1)$$

式中, τ 为炸药试样分解达某一深度所需的时间,d;A、B为待定系数;T为不同实验温度,K。

实验条件分为以下两种:(1)80~170℃,装填密度为 $0.1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$;(2)全分解实验(≥ 180 ℃),装填密度为 $0.001 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

3 结果与讨论

3.1 32种炸药贮存寿命预估结果

根据布氏压力计法实验结果,以0.1%分解深度为判据,预估32种炸药在室温(25℃)下的贮存寿命见表1。

综合比较32种炸药两种分解深度(0.05%和0.1%)下的贮存寿命(以表2所列典型炸药为例),发现存在以下两种情况:(1)情况一,对于大多数炸药,同一温度下,以0.05%分解深度为终点判据预估的贮存寿命小于以0.1%分解深度预估的贮存寿命,如BTF等炸药,但其中却存在以0.05%分解深度为终点判据预估的贮存寿命超短的现象,如9017、9021等炸药;(2)情况二,对于极少数炸药(32种炸药中仅发现3种即943、905、9023炸药),接近室温时,同一温度下以0.05%分解深度为终点判据预估的贮存寿命大于以0.1%分解深度预估的贮存寿命,但随着温度的升高,以0.05%分解深度预估的贮存寿命又重新小于以0.1%分解深度预估的贮存寿命。

针对上述差异,对表1所列炸药不同温度下的放气量随时间变化曲线逐一进行了分析,从而理清了产生不同情况的原因,由于篇幅所限,在此仅以表2所列典型炸药为例,将结果阐释如下。

表1 32种炸药贮存寿命预估结果

Table 1 Estimated shelf life of 32 explosives

explosives	Berthelot equation	shelf life / a	explosives	Berthelot equation	shelf life / a
920	$\lg\tau=28.91-0.0757T$	256	9026	$\lg\tau=30.34-0.0813T$	3665
930	$\lg\tau=27.63-0.0727T$	2547	9003	$\lg\tau=18.45-0.0431T$	1110
943	$\lg\tau=25.4-0.067T$	744	9021	$\lg\tau=17.99-0.0421T$	767
925	$\lg\tau=19.84-0.050T$	216	9014	$\lg\tau=16.87-0.0366T$	2488
927	$\lg\tau=22.18-0.056T$	851	9014-J	$\lg\tau=20.26-0.0452T$	17428
942	$\lg\tau=20.64-0.0542T$	81	9023	$\lg\tau=21.22-0.054T$	365
933	$\lg\tau=18.13-0.046T$	72	9022	$\lg\tau=24.42-0.0607T$	5864
936	$\lg\tau=20.05-0.055T$	1097	9015	$\lg\tau=18.99-0.0487T$	81
936G	$\lg\tau=18.71-0.048T$	68	9017	$\lg\tau=19.34-0.0479T$	317
906	$\lg\tau=23.14-0.058T$	1956	BTF	$\lg\tau=20.23-0.0535T$	52
908	$\lg\tau=22.19-0.057T$	1386	HNS-IV	$\lg\tau=20.39-0.047T$	278
924A	$\lg\tau=24.04-0.0576T$	20554	PETN	$\lg\tau=33.25-0.0898T$	342
931	$\lg\tau=19.98-0.0484T$	1304	FOX-7	$\lg\tau=20.94-0.0493T$	198
937	$\lg\tau=20.39-0.048T$	3340	CL-20	$\lg\tau=25.78-0.0629T$	29698
905	$\lg\tau=19.50-0.049T$	210	D-CL-20	$\lg\tau=25.00-0.0601T$	34794
932	$\lg\tau=25.36-0.0605T$	59048	HMX@TATB	$\lg\tau=18.99-0.0441T$	1966

Note: 920, 930, 943 are PETN based PBX; 925, 927, 942, 933, 936, 936G, 906, 908 are RDX based PBX; 924A, 931, 937, 905, 932, 9026, 9003, 9021 are HMX based PBX; 9014, 9014-J, 9023 are TATB based PBX; 9022 is LLM-105 based PBX; 9015 is BTF based PBX; 9017 is HNS-IV based PBX.

表2 0.1%和0.05%分解深度下典型炸药贮存寿命预估结果

Table 2 Estimated shelf life of representative explosives at 0.1% and 0.05% decomposition depth

T / °C	shelf life / a							
	0.1% decomposition depth				0.05% decomposition depth			
	BTF	9017	9021	943	BTF	9017	9021	943
25	52	317	767	744	20	4.9	0.033	1049
30	28	183	472	344	11	3.1	0.025	398
35	15	105	291	159	5.6	1.9	0.019	151
40	8.1	61	179	74	2.9	1.2	0.014	57
45	4.4	35	110	34	1.5	0.8	0.011	22
50	2.4	20	68	16	0.8	0.5	0.008	8.3

Note: 9017 is HNS-IV based PBX, 9021 is D-HMX based PBX, 943 is PETN based PBX.

3.2 针对第一种情况分析

BTF炸药不同温度下放气量随时间变化曲线见图2。

图2中横坐标 V_H 为 $0.157 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $0.314 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ 分别对应BTF炸药分解深度达0.05%和0.1%时的放气量(图2a中两条平行横线分别用于明示分解深度达0.05%~0.1%的放气量区间)。一般认为,炸药热分解分为四个时期:延滞期、加速期、等速期、降速期^[14]。由于炸药在制备过程中吸附的微量溶剂以及存在的易升华组分均会在高温条件下快速地升华或分解,因此认为前期放气量低于 $0.05 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ (BTF炸药在 $120 \text{ }^\circ\text{C}$

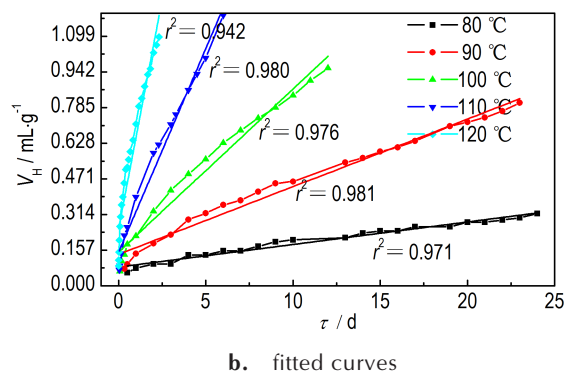
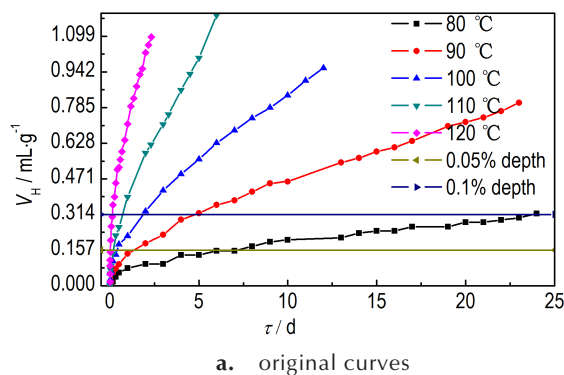


图2 BTF炸药在80~120 °C下 V_H - τ 曲线
Fig.2 V_H - τ curves of BTF at 80~120 °C

条件下分解5 min的放气量)的数据为无效数据^[5],取消各温度下放气量低于 $0.05 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ 的数据点后,采用

一元线性关系拟合各温度下放气量随时间变化曲线,如图2b所示。由图2b可知,在不同温度下,炸药的热解放气量(V_H)与时间(τ)均表现出良好的线性关系(r 均大于0.97),故可认为在高温条件下炸药热分解进行几分钟(在120℃下为5 min)至几小时(在80℃下为7 h)后便已进入至等速期;同时表明其在80℃及以上温度下的延滞期和加速期都相对短暂。因无论是0.1%分解深度还是0.05%分解深度对应的数据点均在线性关系曲线上(即等速分解期内),故无论采用0.05%还是0.1%分解深度为终点预估炸药贮存寿命均可,只是以0.05%分解深度预估的贮存寿命小于以0.1%分解深度预估的而已。

HNS-IV基PBX(9017炸药)不同温度下放气量随时间变化曲线见图3a,D-HMX基PBX(9021炸药)不同温度下放气量随时间变化曲线见图3b。

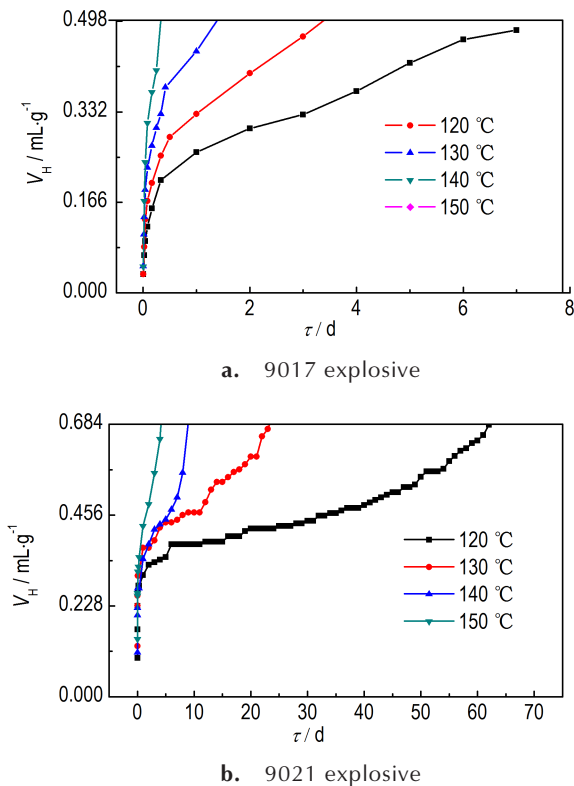


图3 9017和9021炸药在不同温度下 V_H - τ 曲线
Fig.3 V_H - τ curves of 9017 and 9021 explosives at 120~150 °C

图3a中横坐标 V_H 为0.166 mL·g⁻¹和0.332 mL·g⁻¹分别对应9017炸药分解深度达0.05%和0.1%时的放气量。据此推导出9017炸药两种分解深度时的Berthelot方程,见表3。

从表3可以看出,两种分解深度推导的贮存寿命关系式线性均很好,但相比而言,0.1%分解深度预估

贮存寿命的关系式线性好于0.05%分解深度的;而从图3a也可看出,0.1%分解深度对应的各温度下的数据点均处于等速期,0.05%分解深度对应的各温度下的数据点多处于加速期,虽然按其推导出的贮存寿命关系式相关性也好($r^2=0.95$),但因分解速率很快且不稳定,据此预估室温下的贮存寿命则远远小于以等速期内分解深度(0.1%)预估的贮存寿命。

表3 9017炸药不同分解深度预估贮存寿命关系式

Table 3 Berthelot equations of shelf life estimating of 9017 explosive at different decomposition depth

decomposition depth / %	Berthelot equation	r^2
0.05	$\lg\tau = 15.32 - 0.0405T$	0.950
0.1	$\lg\tau = 19.34 - 0.0479T$	0.999

9021炸药的情况更明显,其不同温度下放气量随时间变化曲线见图3b。图中横坐标 V_H 为0.228 mL·g⁻¹和0.456 mL·g⁻¹分别对应其分解深度达0.05%和0.1%时的放气量。据此推导出9021炸药两种分解深度时的Berthelot方程,见表4。

表4 9021炸药不同分解深度预估贮存寿命关系式

Table 4 Berthelot equations of shelf life estimating of 9021 explosive at different decomposition depth

decomposition depth / %	Berthelot equation	r^2
0.05	$\lg\tau = 8.223 - 0.0240T$	0.938
0.1	$\lg\tau = 17.99 - 0.0421T$	0.971

从表4可以看出,0.1%分解深度贮存寿命的关系式线性好于0.05%分解深度的;而从图3b中也可看出,0.05%分解深度对应的各温度下的数据点全部处于加速期,虽然按其推导出的贮存寿命关系式相关性也好($r^2=0.938$),但据此预估室温下的贮存寿命则远远小于以0.1%分解深度为终点判据预估的贮存寿命,且预估寿命超短乃至不可信。

3.3 针对第二种情况分析

进一步,当0.05%分解深度对应的各温度下的数据点有处于加速期的情形时,还会出现第二种情况,即接近室温时,同一温度下以0.05%分解深度为终点判据预估的贮存寿命大于以0.1%分解深度预估的贮存寿命,但随着温度的升高,以0.05%分解深度为终点判据预估的贮存寿命又重新小于以0.1%分解深度预估的贮存寿命,具体阐释如下。

PETN基PBX(943炸药)不同温度下放气量随时

间变化曲线如图4所示。

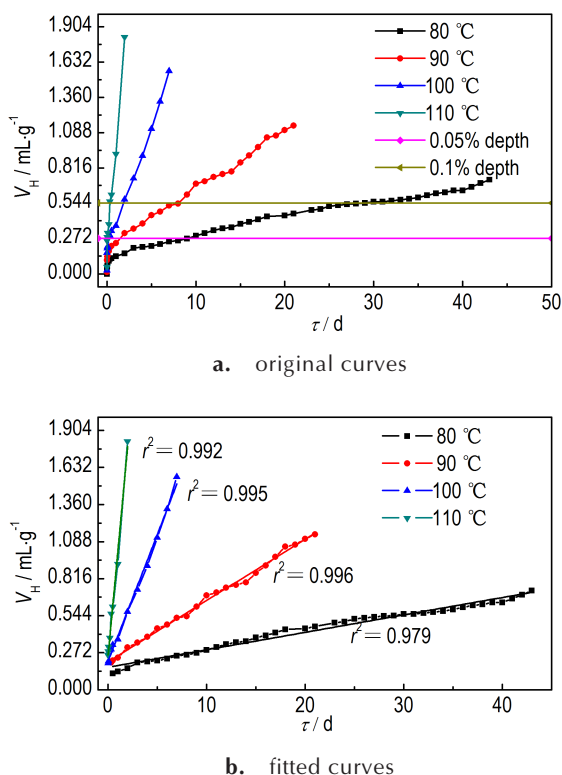


图4 PETN基PBX(943炸药)在80~110 °C下 V_H - τ 曲线
Fig.4 V_H - τ curves of PBX based on PETN (943 explosive) at 80~110 °C

从图4b可知,在不同温度下,忽略实验前期的几个数据点后,PETN基PBX的热解放气量(V_H)与时间(τ)也均表现出良好的线性关系(r 均大于0.97),可以认为是处于热分解等速期,无论是0.1%分解深度($V_H=0.544 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$)还是0.05%分解深度($V_H=0.272 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$)对应的数据点均在线性关系曲线上;但从图4a可以看出,100 °C时,分解深度达0.05%的实际数据点处于加速期与等速期之间的拐点上,据此推导室温下的贮存寿命,就会出现接近室温的同一温度下,以0.05%分解深度为终点判据预估的贮存寿命大于以0.1%分解深度预估的贮存寿命,而随着温度的升高,同一温度下,以0.05%分解深度为终点判据预估的贮存寿命又重新小于以0.1%分解深度预估的贮存寿命。

4 结论

基于两种不同分解深度预估贮存寿命的情况分析,可得出以下结论:达0.1%分解深度及以上时,炸药在各实验温度下均处于等速分解期,选择在等速分

解期内的数据点(时间与温度的关系)预估贮存寿命,才科学合理,而炸药未达到0.1%分解深度(如0.05%)时,在各实验温度下未必都处于等速分解期,则会出现预估的贮存寿命很短或者出现有悖常理的情况,因此炸药寿命终点判据的选择应以所有实验温度下的数据点均处于等速分解期为原则,故而选择0.1%分解深度作为寿命终点判据具有科学意义;而在保证所有实验温度下分解深度对应的数据点均在等速分解期的前提下,可选取0.05%分解深度作为终点判据预估贮存寿命。

致谢:文中32种炸药的实验数据凝结了同事们多年的辛勤汗水,在此表示由衷感谢!

参考文献:

- [1] 董海山. 炸药及相关物性能[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 36-46.
DONG Hai-shan. Properties of explosives and related materials [M]. Beijing: Sciences Press, 2005: 36-46.
- [2] 梁燕军, 庞晓萍, 何国书, 等. GJB 770B-2005 火药试验方法[S]. 北京: 2005.
LIANG Yan-jun, PANG Xiao-ping, HE Guo-shu, et al. GJB 770B-2005 The method of propellant[S]. Beijing: 2005.
- [3] Department of Defense. MIL-STD-1751A Safety and performance tests for the qualification of explosives (high explosives, propellants, and pyrotechnics)[S]. American: 2001.
- [4] Maestas L M, Guilinger T R, Kelly M J, et al. Enhanced gas analysis for diagnostics and surveillance(EGADS): contamination free gas sampling and analysis[R]. SAND97-2430C.
- [5] 左玉芬, 熊鹰, 房永曦, 等. JOB-9003 炸药热老化寿命评估及其结构表征[J]. 化学研究与应用, 2010, 22(2): 152-155.
ZUO Yu-fen, XIONG Ying, FANG Yong-xi, et al. Thermal ageing life evaluation and structure characterization of JOB-9003 explosive [J]. *Chemical Research and Application*, 2010, 22 (2): 152-155.
- [6] 陈捷, 左玉芬, 刘家彬, 等. 苯并三唑氧化物与其塑料粘结炸药安定性的比较[J]. 化学研究与应用, 2010, 22(12): 1561-1564.
CHEN Jie, ZUO Yu-fen, LIU Jia-bin, et al. Comparison of stability of BTF and PBX based on BTF [J]. *Chemical Research and Application*, 2010, 22(12): 1561-1564.
- [7] 尉淑琼, 刘家彬. 布氏压力计法评估六硝基芪-IV 贮存寿命[J]. 四川化工, 2011, 14(6): 15-16.
WEI Shu-qiong, LIU Jia-bin. Evaluation of storage life of Hexanitrostilbene-IV using Blush pressure method [J]. *Sichuan Chemical Industry*, 2011, 14(6): 15-16.
- [8] 陈松林, 刘家彬, 尉淑琼, 等. 六硝基六氮杂异伍兹烷的热分解反应动力学研究[J]. 含能材料, 2002, 10(1): 46-48.
CHEN Song-lin, LIU Jia-bin, WEI Shu-qiong, et al. Study on thermal decomposition kinetics of Hexanitrohexaazaisowurtzitan [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials*, 2002, 10(1): 46-48.
- [9] 艾进, 李建军, 陈建波, 等. LLM-105 基 PBX 炸药的热分解反应动力学[J]. 火炸药学报, 2016, 39(4): 37-41.

- Al Jin, LI Jian-jun, CHEN Jian-bo, et al. Kinetics of thermal decomposition reaction of LLM-105 based PBX explosives [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2016, 39 (4) : 37-41.
- [10] 舒远杰. 高能硝酸炸药的热分解[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010: 19-21.
- SHU Yuan-jie. Thermal decomposition of nitamine high explosives [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2010: 19-21.
- [11] 陈捷, 艾进, 李建军, 等. Q/HC 22A-2018 炸药贮存寿命评估布氏压力法[S]. 绵阳, 2018.
- CHEN Jie, Al Jin, LI Jian-jun, et al. Q/HC 22A-2018 Explosive storage life evaluation Bourdon method[S]. Mianyan: 2018.
- [12] 衡淑云, 韩芳, 张林军, 等. 硝酸酯火药安全贮存寿命的预估方法和结果[J]. 火炸药学报, 2006, 29(4): 71-76.
- HENG Shu-yun, HAN Fang, ZHANG Lin-jun, et al. Estimation method and results of safe shelf life for nitrate ester propellants[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2006, 29 (4): 71-76.
- [13] 曲国庆, 江劲勇, 路桂娥, 等. 某固体推进剂热加速老化试验与贮存寿命预估[J]. 化工新型材料, 2018, 46(11): 249-251.
- QU Guo-qing, JIANG Jin-yong, LU Gui-e, et al. Thermal accelerated aging and storage life prediction of a solid propellant [J]. *New Chemical Materials*, 2018, 46(11): 249-251.
- [14] 舒远杰, 霍冀川. 炸药学概论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 9.
- SHU Yuan-jie, HUO Ji-chuan. Introduction to explosives science[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011: 9.

Explosive Life Evaluation Criterion by Bourdon Method

CHEN Jie, XIONG Ying, SUI He-liang, YU Qian, CHI Yu, SUN Jie, XU Rui-juan, CHEN Jian-bo

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621999, China)

Abstract: Aiming at the criterion of evaluating the shelf life of explosives by Bourdon method, the decomposition depths of 0.05% and 0.1% were used as the end points of life. The comparison results of storage life of 32 kinds of explosives at 25-50 °C were obtained by linear regression based on Berthelot equation. Two cases were found: 1) For most explosives, the estimated storage life at the same temperature that obtained by taking 0.05% decomposition depth as the end point was less than the estimated shelf life that obtained by taking 0.1% decomposition depth as the end point, but sometimes the estimated shelf life by the former would be extremely short; 2) For very few explosives, the estimated shelf life with 0.05% decomposition depth as the end point was greater than the estimated shelf life estimated at 0.1% decomposition depth at room temperature. However, as the temperature increased, the shelf life estimated by the 0.05% decomposition depth was again less than the estimated shelf life of 0.1% decomposition depth. Whether the selected experimental data points at each temperature are in the isokinetic decomposition period of the explosive is the reason for the difference. Results show that it is more scientific to use the decomposition depth of explosives in the isokinetic decomposition period as the end point criterion for evaluating the shelf life by Bourdon method.

Key words: decomposition depth; explosives; shelf life; end point criterion; Bourdon method

CLC number: TJ55; O643

Document code: A

DOI: 10.11943/CJEM2019015

(责编:王艳秀)