

低温感发射药包覆层的力学性能

堵平, 何卫东, 王泽山

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 针对现有太根包覆发射药, 研究了其内外包覆层在不同温度下的力学性能。通过拉伸、压缩和冲击试验, 探讨了内外包覆层力学性能的差异, 并通过中止燃烧试验, 得出实际太根包覆药在不同温度下的破孔规律。研究发现, 太根药内外包覆层的力学性能受温度影响较大, 可利用这一特性来制造低温感包覆药。加入阻燃剂二氧化钛后, 包覆层的力学性能降低, 但在不同温度下的变化趋势不变, 不会对包覆药的整体效果造成不利影响。

关键词: 爆炸力学; 发射药; 包覆层; 力学性能

中图分类号: TJ 55; TQ 562

文献标识码: A

文章编号: 1007-7812(2005)02-0035-04

Mechanical Performance of Coating-layer of LTSC Propellant

DU Ping, HE Weidong, WANG Ze-shan

(Nanjing University of Science and Technology Chemistry School, Nanjing 210094, China)

Abstract: Aiming at current TEGDN coated propellant, the mechanical performance of interior-exterior coating-layer is studied at different temperatures. The difference of mechanical performance of interior-exterior coating-layer is discussed by means of tensile test, compressing test and impactive test. The broken-hole laws of current TEGDN coated propellant are obtained by terminating-burning experiments. The results show that the mechanical performance of interior-exterior coating-layer is heavily affected by the factor of temperature. This characteristics can be utilized to manufacture LTSC coated propellant. When titanium dioxide as an anti-combustion additive added into the coating-layer, the mechanical performances of coating-layer turn worse, but its tendency does not change, and will not influence the whole capability of coated propellant.

Key words: explosion mechanics; gun propellant; coating; mechanical performance

引言

低温感包覆发射药技术改善火炮性能的效果, 已得到国内外同行的广泛认可^[1]。含有一定比例包覆药的混合装药, 改变了发射药膛内的燃烧规律, 补偿了因温度变化而引起的燃速改变所带来的影响, 增大了 $P-t$ 曲线的压力平台效应, 提高了火炮的效率, 降低了装药弹道的温度系数^[2]。引起这些改变的原因, 就是发射药外表面包覆层的作用。该包覆层由一种特殊的含能高分子材料加入助剂构成, 与火药本体完全相容且不会发生火药成分的迁移, 能够有效地通过阻燃和增加燃面的方法来抵消温度变化的影响, 达到降低温度系数的效果, 因此, 充分了解包覆层的性能十分必要。对包覆好的成品药的性能已进行了很多研究^[3], 本文通过拉伸、压缩、冲击等手

段对太根包覆层材料在不同温度下的力学性能进行了初步分析, 并测试了实际太根包覆药的破孔率。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

试剂: 含能高分子材料, 南京理工大学火药装药技术研究所; 锐钛型二氧化钛, 镇江钛白粉股份有限公司; 15/19 太根药, 255 厂; 丙酮、乙醇, 化学试剂。

仪器: UH-25 型 25 吨油压试验机, 上海试验机制造厂; 成套压药模具, 自制; AGS-10KND 型材料试验机, 日本岛津(Shimadzu)公司; 3GM-3 型三辊研磨机, 河北省抚宁机械修造厂; SE2-6 型摆锤式冲击试验机; 中止燃烧试验仪, 255 厂。

1.2 实验方法

1.2.1 拉伸试验

收稿日期: 2004-07-10

作者简介: 堵平(1969-), 男, 工程师, 博士研究生, 研究方向为含能材料装药设计。

根据太根药包覆层内层和外层配方,用含能高分子材料、二氧化钛和少量的乙醇和丙酮混合溶剂,充分混匀胶化后,放入特制药模用油压机压制出宽 4 mm,厚 0.8 mm 的扁形药条,切药后驱溶干燥,制成长 120 mm 的试样,在高温(50)、常温(15)、低温(-40)3种温度下保温 24 h,用材料试验机测试其抗拉性能。

1.2.2 压缩试验

试样制备过程同上,只是用药模制成试样尺寸为直径 4 mm,高度 20 mm 的药柱,在高温(50)、常温(15)、低温(-40)3种温度下保温 24 h 后,用材料试验机测试其抗压性能。

1.2.3 冲击试验

根据太根药包覆层内层和外层配方,用含能高分子材料、二氧化钛和少量乙醇和丙酮混合溶剂,充分混匀,在三辊机上胶化,并压制成厚度为 4 mm 的药片,趁热用刀片和直尺割成长度 60 mm,宽度 6 mm 的药条,驱溶干燥,再根据冲击试验的需要分

割成所需长度的试样,在高温(50)、常温(15)、低温(-40)3种温度下保温 24 h 后,用摆锤冲击试验机测试其无缺口抗冲击性能。

1.2.4 中止试验

根据太根药包覆层内层和外层成分的配方配制包覆液,分别包覆 15/19 太根药的内外层,内层占药量的 5%,外层占 4%。在高温(50)、常温(15)、低温(-40)3种温度下保温 24 h 后,针对不同的中止压力,在中止燃烧试验仪中测试破孔率,采用强点火条件,使包覆层基本不燃烧,可以更准确地反映其力学性能。

2 试验结果

2.1 拉伸试验

包覆层内外层在不同温度下的拉伸力学性能见表 1。应力-应变曲线见图 1 和图 2。

将包覆药外层制成极薄的膜在电子显微镜下拍

表 1 不同温度下太根包覆药内外层的拉伸试验数据

Table 1 The tensile test data for the interior-exterior coating-layer of TEGDN propellant under different temperatures

包覆层	温度/	最大应力/ (N·mm ⁻¹)	最大应变/ %	断裂应力/ (N·mm ⁻¹)	断裂应变/ %	断裂荷载/ N	断裂伸长/ mm	杨氏模量/ (N·mm ⁻¹)
内层	50	18.59	17.63	18.35	17.79	59.70	12.45	22.19
	15	20.26	14.10	20.06	14.29	65.28	10.01	21.31
	-40	17.90	10.53	17.75	10.91	57.74	6.79	24.63
外层	50	15.94	8.56	15.67	8.98	51.00	6.47	23.01
	15	17.71	8.25	17.55	8.62	57.10	6.03	23.33
	-40	18.37	5.83	18.28	6.00	59.48	4.20	25.02

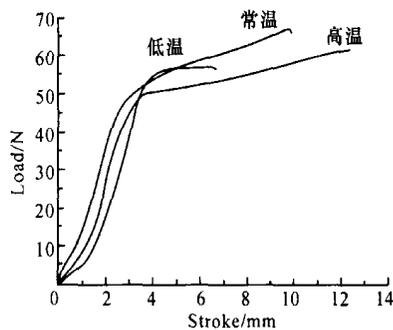


图 1 不同温度下内层的应力-应变曲线

Fig. 1 Stress-strain curves of interior-layer at different temperatures

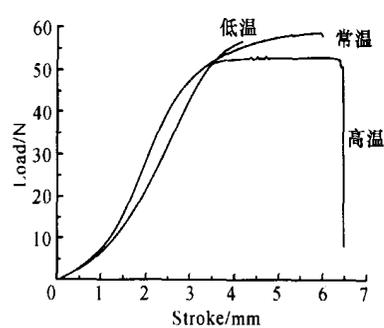


图 2 不同温度下外层的应力-应变曲线

Fig. 2 Stress-strain curves of exterior-layer at different temperatures

摄照片,其结构如图 3 所示。

2.2 压缩试验

包覆层内外层药柱在不同温度下的压缩力学性能见表 2。

2.3 抗冲击试验

包覆药内外层在不同温度下,采用无缺口试样的抗冲击性能实验结果如表 3。

2.4 中止试验

不同温度和中止压力下太根包覆药的破孔率数据见表 4。

表 2 不同温度下包覆层药柱的抗压模量

Table 2 Compressing elastic of coating-layer at different temperatures

温度/		- 40	- 30	- 20	- 10	0	10	20	30	40	50
压缩模量/ (N · mm ²)	内层	68.6	77.4	86.3	92.1	120.8	184.2	255.6	258.3	239.6	222.9
	外层	43.6	52.4	61.7	83.5	82.8	114.9	142.0	144.6	125.7	111.3



图 3 包覆药外层的电镜照片(常温, 放大 50 000 倍)

Fig. 3 TEM picture of exterior-layer of coated propellants

表 3 不同温度下包覆药内外层的破坏冲击功

Table 3 Impactive work of breaking interior-exterior coating-layer at different temperatures

试验温度	冲击功/(10 ⁶ J · m ⁻²)	
	内层	外层
高温	3.94	2.18
常温	2.79	1.55
低温	0.79	0.34

表 4 强点火条件下 15/19 太根包覆药的破孔率

Table 4 Broken-hole rate of 15/19 TEGDN coated propellant under the condition of strong ignition

试验温度	破孔率/%				
	32MPa	48MPa	75MPa	100MPa	115MPa
高温	1.40	2.70	6.80	24.90	32.10
常温	2.70	2.50	16.40	28.90	34.90
低温	1.40	4.60	24.40	32.40	41.30

3 结果讨论

从前 3 组试验结果看, 包覆药的内层和外层在不同温度下力学性能的变化有着大体相同的规律: 常温下强度很好, 高温下强度也很好或稍有下降, 但低温下强度较差; 不论在何种温度下, 内层的强度明显好于外层, 而且, 高温下内外层的力学性能差异较大, 低温下的差异则较小。

在拉伸试验中(见图 1、2), 内外层的表现有所不同。内层是纯高分子材料, 为均相体系, 拉伸时表现出的行为曲线形状基本相似, 起初随着材料的拉伸, 应变增加, 应力也迅速增加, 但经过一段过程后, 曲线发生了明显的转折, 应变继续增大而应力增加很小, 甚至出现下降的情形, 然后再缓慢增加直至断

裂, 只是断裂伸长不同, 低温下最小而高温下最大。这符合高分子材料典型的屈服特征, 说明随着温度的下降, 这一体系中并未发生聚集态的变化, 只是高分子链段运动的自由度发生了不同程度的改变, 所以表现出不同的断裂伸长。外层是含能材料中加入二氧化钛所构成的非均相体系, 在高温和常温条件下表现出的行为与内层基本相同, 但在低温下没有屈服现象, 拉伸的应力应变曲线后期基本为一条直线。这可能是由于前者中有机相和无机相的线膨胀系数不同, 无机粒子的线膨胀系数较小, 温度的变化对其体积的影响较小, 而含能高分子材料的线膨胀系数较大, 由于该体系中含能材料所占的比例很大, 因此无机粒子是分散相, 含能材料是连续相(图 3 电镜照片, 是常温条件下所摄, 其中黑色的是二氧化钛粒子, 其余部分是含能材料, 因为所制成的膜极薄, 所以几乎透明)。当温度升高至常温甚至高温时, 无机粒子体积膨胀的程度小于含能材料, 所以连续相的含能材料就将分散相的二氧化钛粒子紧紧地包裹在一起, 形成类似于均相体系的材料, 表现出明显的屈服特征; 反之, 当温度下降至低温时, 二氧化钛粒子的收缩程度要小于含能材料, 这样就会在两相之间出现极小的裂缝和缺陷, 在拉伸的外力作用下, 裂缝和缺陷处产生应力集中的现象, 导致材料在表现出屈服行为前就断裂。再就内层的拉伸行为来说, 由于内层是均相体系, 温度变化时材料的体积变化是均匀的, 不会存在因为膨胀系数不同而造成的应力集中现象, 所以应力-应变曲线的形状基本相同。

在压缩试验和抗冲试验中, 内外层的力学行为特征基本相似, 但低温下差异较小而高温下差异较大, 这同样说明它们符合高聚物的特性, 在温度升高时大分子链段运动的自由度增加, 宏观上表现出一定的韧性; 低温时大分子链的刚性增加, 表现出脆性的特征, 在受到压缩和冲击作用时, 低温下更容易被破坏。从火药包覆层在膛内所受到的力来看, 本文中的压缩试验和抗冲试验更能反映包覆层的真实情形。火药端面是包覆层覆盖在内孔上, 受到的是瞬间的冲击压力。压缩试验反映了包覆层受静态压力的

情形,而冲击试验反映了包覆层动态受压的情形,图 4 和图 5 的数据基本表现出相同的规律性,在低温下,内外层的强度差值比高温下小,这可以解释为高聚物的力学性能随温度的变化很大,但二氧化钛的力学性能随温度的变化很小,它的加入产生了拉平效应,使得外层的强度随温度下降的幅度比内层要小;二氧化钛粒子具有较高的硬度,分布于高分子链之间起骨架作用,使得外层与内层的强度在温度降低时逐步接近。

中止试验充分说明了太根药经过包覆后,包覆层在不同温度下的破孔规律。利用高分子材料的力学性能随温度变化而改变的特性,对多孔发射药进行包覆,造成不同温度下破孔率的差异,就会产生一定的低温感效果^[3]。但是,将包覆层设计为外层阻燃、内层不变的双层结构,效果会更好。如果只包覆内层,因其不具有阻燃性,则需要较大的厚度,才能控制一定的破孔率,起始的压力冲量也较大;若只包覆具有阻燃性的外层,则因为强度减小也需要提高包覆层的厚度,这样会降低整体装药的能量。采用内外层复合结构,利用外层的阻燃钝感作用和内层的强度支撑,可以控制适当的包覆厚度,达到较好的低温感效果。从本文来看,在外层中加入阻燃剂二氧化钛后,不同温度下力学性能比内层都有所降低,但随着温度变化的趋势相似,因而不会从本质上改变包

覆药的低温感性能。

4 结 论

(1) 含二氧化钛的外包覆层,在不同温度下的力学性能与内层相比有所下降,但随温度变化的规律基本相似;采用内外层复合包覆的方法,在获得良好的阻燃钝感效果的同时,不会从本质上改变包覆药的低温感性能。

(2) 太根包覆药内外层受到拉伸作用时,在不同的温度下表现出不同的断裂特性。其中外层在低温下的断裂表现出明显的脆性断裂特征,分析认为是非均相体系中两相的线胀系数不同的原因。

(3) 太根包覆药内外层受到压缩和冲击作用时,随着温度的降低,其力学性能也明显下降。包覆药外层的强度明显小于内层,但在低温时差距缩小,这是二氧化钛的拉平效应造成的。

参考文献:

- [1] 王泽山,徐复铭,张豪侠. 火药装药设计原理[M]. 北京:兵器工业出版社,1995.
- [2] 宋时育,王泽山. 低温感装药弹道性能的研究[J]. 火炸药学报,2000,23(2):4-7.
- [3] 罗运军,应三九,王泽山,等. 包覆火药破孔规律的研究[J]. 南京理工大学学报,1995,19(6):489-492.
- [4] 黄洪勇,王泽山. 制造低温感火药的一种工艺方法[J]. 火炸药学报,1998,(1):16-18.

(上接第 20 页)

step on DSC curve from the first mass-loss step on TG, where TNAZ decomposed together with RDX.

(5) For TZ-CMDB propellants, influenced by the decomposition of TNAZ, only the decomposition peak of RDX (the minor decomposition peak of the propellants) moved towards the high temperature on the PDSC curves, and for TZ-NEPE propellants, both the decomposition peaks of NG and RDX moved towards the lower temperature.

Reference:

- [1] LI Jizhen, FAN Xue-zhong, FAN Xiping, et al. A study on the compatibility of 1, 3, 3-trinitroazetidine with some energetic components and inert materials [A]. The 18th IUPAC international conference on chemical thermodynamics and the 12th national conference on chemical thermodynamics and thermal analysis[C]. Beijing, China, 2004.

- [2] Olah G A, Squire D R. Chemistry of Energetic Materials [M]. New York: Academic Press Inc., 1991: 27-58.
- [3] Jabvy Z, Zeman S, Sucaska M. 1, 3, 3-Trinitroazetidine (TNAZ) (Part I. Synthese and properties) [J]. Journal of Energetic Materials, 2001, (19): 219-239.
- [4] Manning T, Prezelski J, Moy S, et al. High-energy propellant containing oxetane thermoplastic elastomer binder [P]. WO: 9821168, 1998.
- [5] Capelbs C, Travers B E. High-energy melt cast propellants [P]. US: 5 717 158, 1998.
- [6] Ampleman G, Brousseau P, Thiboutot S, et al. Insensitive melt-cast plastic-bonded explosives containing energetic polyurethane thermoplastic elastomer binders [P]. EP: 1167324, 2002.
- [7] Baker E L, Daniels A, Fuchs B, et al. Shaped charge warheads performance using new more powerful explosive formulations [A]. Proceedings insensitive munitions & energetic materials technology symposium [C]. 1998, 1-6-1.