

文章编号: 1006-9941(2001)02-0080-06

# 硝酸铵型燃气发生剂研究现状

鲁国林

(湖北红星化学研究所, 湖北 襄樊 441003)

摘要: 综述了硝酸铵(AN)的理化性能、晶型转变及其改性方法,介绍了用于导弹燃气发生器的AN型燃气发生剂的研究现状。

关键词: 燃气发生剂; 硝酸铵; 复合固体推进剂

中图分类号: V512

文献标识码: A

## 1 引言

硝酸铵(AN)是多数工业炸药的主要组分,但在推进剂中使用相当有限,主要局限在低燃速、低能量要求的燃气发生剂中,如作为液体火箭、导弹滚动控制、伺服机构用涡轮泵启动的气体发生器或喷气飞机的紧急启动器<sup>[1-3]</sup>。AN推进剂不仅具有燃烧火焰温度低,燃气不含有氯或氯化物等腐蚀性产物,燃气中固体颗粒含量低等特点,而且对温度和冲击不敏感,在宽温度范围内有较好的力学性能。但用AN作氧化剂存在能量低、燃速非常慢、吸湿性、室温条件下的形态(晶型、相)转变易引起体积变化等不足之处。

本文综述了硝酸铵的理化性能、晶型转变及其改性方法、用于导弹燃气发生器的AN型燃气发生剂研究现状。

## 2 AN的理化性能

AN是无色晶体,易溶于水,虽有吸湿性,但并不形成水合物,能溶于乙醇、醋酸和硝酸。AN在水中具有负热效应,因而可用于制备冷冻混合物。纯AN沸点约为210℃(1.3 kPa),蒸馏不分解。在101 kPa压强下约230℃时分解,大于325℃发生爆燃,AN受压在260~300℃可能爆炸。AN的主要理化性能数据如表1所示<sup>[3,4]</sup>。

收稿日期: 2000-12-07; 修回日期: 2001-03-15

作者简介: 鲁国林(1963-),男,高工,从事复合固体推进剂配方研究。

表1 AN的主要理化性能

Table 1 Physical and chemical properties of ammonium nitrate

分子 量	密度 /g·cm <sup>-3</sup>	生成热 /kJ·mol <sup>-1</sup>	爆热 /kJ·mol <sup>-1</sup>	熔点 /°C	氧含量 /%	氧平衡 /%	比容 /(l/kg)	爆温 /°C
80	1.725	364.22	115.7	170	60	20	980	1230

## 3 AN的晶型转变及其改性方法

### 3.1 AN的晶型转变

据文献报道,在一般压强下,AN主要存在五种稳定结晶变体(晶型)<sup>[3,4]</sup>,常以转变温度来区别:

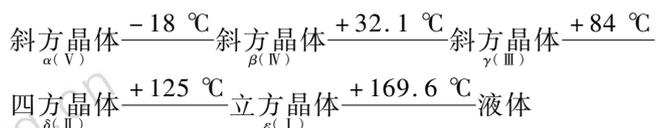


表2给出了AN不同晶态的晶格参数和稳定范围<sup>[5]</sup>。不同文献报道的AN晶型转变温度并不完全相同<sup>[6-10]</sup>,对于火炸药制造或研究者来说,应该重视的是几种晶型转变时晶体体积的变化,结果如表3所示<sup>[4,5]</sup>。

表2 AN不同晶态的晶格参数和稳定范围

Table 2 Crystallographic data and stability ranges of AN phases

相态	晶系	单元 公式	晶胞参数/Å			稳定范围/°C	
						湿	干
V	斜方	8	a=7.943	b=7.972	c=9.832	< -18	< -18
IV	斜方	2	a=5.745	b=5.438	c=4.942	-18~32	-18~55
III	斜方	4	a=7.7184	b=5.8447	c=7.162	32~84	-
II	四方	2	a=5.7193	-	c=4.932	84~125	55~125
I	立方	1	a=4.366	-	-	>125	>125

表3 AN相变时的体积变化

Table 3 Volume changes of the phase transitions of AN			
AN的晶型转变	温度 /°C	体积变化率 /%	热效应 /J·g <sup>-1</sup>
I → II	125.2	2.3	49.8
II → III	84.2	1.7	22.2
III → IV	32.1	3.7	20.9
IV → V	-18	3.2	6.7

AN型推进剂药柱在温度循环试验、贮存或运输过程中当温度变化时,因AN晶型转变产生的体积变化会导致药柱发生缺陷(裂纹),甚至会改变药柱的外形。药柱的裂纹会产生灾难性的燃烧行为,所以有必要了解AN晶型变化及其改性方法,从而满足实际应用的要求。

由AN晶型转变而产生的体积变化使AN推进剂对热循环呈现出滞后现象,这种转变行为受含水量和温度的影响<sup>[11]</sup>。干燥AN在20°C—150°C—-50°C时,转变路径为IV→II→I→II→IV→V;当水份含量大于0.1%,路径为IV→III→II→I→II→IV→V。当温度低于125°C时,湿AN表现出的转变路径为IV→III→II→III→IV→V,而干燥AN的转变路径为IV→II→IV→V。

Engel等人<sup>[11]</sup>采用X射线衍射法研究了AN受热循环时晶格转变。结果表明:在同一时间存在一种以上晶体结构,加热样品到100°C,随后冷却,其转变路径为IV→II→V+IV→V→V+IV→II+IV。从形态II冷却,在约47°C时II转变到V,同时有一部分转变到IV,在-40°C时完全转变到形态V。加热时,在约0°C时一部分转化为形态IV,约47°C时形态V以IV/V混合形式转变到形态II,而一部分形态IV在55°C时转化为形态II。湿AN对热循环转变次序取决于冷却速度。Oommen等人<sup>[12]</sup>采用热机械分析(TMA)研究了AN药片热循环的膨胀行为,图1、图2是AN药片受热循环影响的典型TMA、DSC曲线,表明膨胀行为和热值变化存在滞后现象。

### 3.2 AN晶型转变的改性方法

AN形态IV/III的转变是推进剂研究者最关心的晶型转变,在AN中加入一定量的添加剂(相稳定剂)如钾盐或金属氧化物,可以阻止AN形态IV/III的转变。

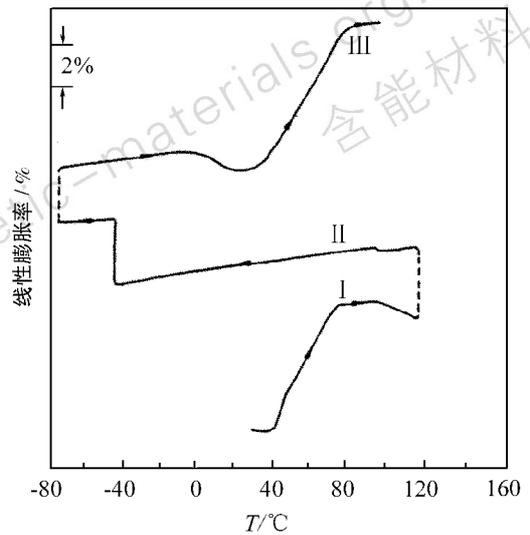


图1 热循环时AN的TMA曲线

Fig.1 TMA curves of AN on thermal cycling

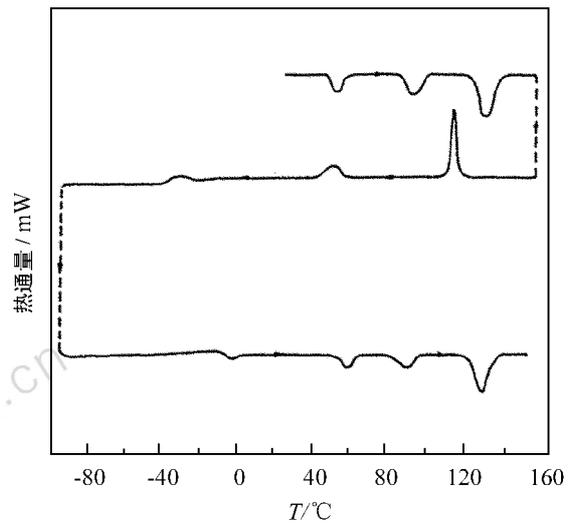


图2 热循环时AN的DSC曲线

Fig.2 DSC curves of AN on thermal cycling

首先研究的相稳定剂是KNO<sub>3</sub><sup>[13-15]</sup>,采用AN-KNO<sub>3</sub>固体溶液取代纯AN时,IV/III转变就得到抑制。含5%KNO<sub>3</sub>的AN-KNO<sub>3</sub>固体溶液,因一部分K<sup>+</sup>取代NH<sub>4</sub><sup>+</sup>,有利于AN保持为状态III(取代状态IV),样品通过混合水溶液共溶或共晶制备。除KNO<sub>3</sub>外,其它碱金属硝酸盐同样对晶型转变有影响,硝酸钾稳定形态III,硝酸铯稳定形态II。从AN-KNO<sub>3</sub>体系的热循环历程来看,加入3%或5%KNO<sub>3</sub>时,AN形态III是稳定的。在加热时,III/II转变向较高温度方向漂移,

而Ⅱ/Ⅰ和Ⅰ/Ⅱ转变不受影响;但在冷却后重新加热到室温时,Ⅳ/Ⅲ转变重新出现,转变温度取决于 $\text{KNO}_3$ 浓度。这说明 $\text{KNO}_3$ 或 $\text{KNO}_3$ 量只改变了晶型转变温度。

与 $\text{KNO}_3$ 等相稳定剂相比,KF对AN晶型转变的影响更为显著<sup>[16-17]</sup>,2%的KF就可以完成抑制AN的相转变。Oommen等人<sup>[12]</sup>研究了不同阴离子的钾盐对AN相转变的影响,采用DTA、DSC和TMA研究AN与KF、KCl、KI、 $\text{K}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{KNO}_3$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_4$ 、KSCN、 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 共晶盐的热行为。当这些钾盐加入1%~2%时,从室温开始加热(DTA、DSC扫描)没有发现AN相转变,而在TMA测量中发现仍存在线性膨胀。图3结果表明:为了完全抑制-80~100℃的相转变,就需要高达9%的钾盐。虽然KF对抑制AN相转变是高效的,但也需要较高含量的KF才能阻止热循环时的膨胀。当用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 作添加剂时,既改变AN的晶型变化又改变AN的分解特征, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 既是相稳定剂又是AN分解的催化剂。

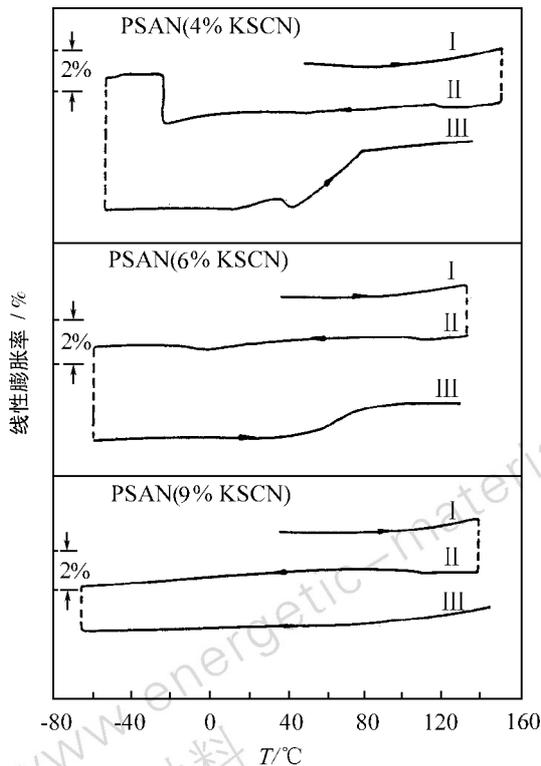


图3 热循环时PSAN(KSCN)的TMA曲线

Fig.3 TMA curves of PSAN(KSCN) on thermal cycling

Rao等人汇编了<sup>[18]</sup>其它盐如 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 等对AN相转变的影响。PSAN也可由二硝酰胺金属盐来实现<sup>[19]</sup>,将少量二硝

酰胺钾(KDN)引入AN,对AN相稳定有作用而推进剂能量无损失,KDN-AN体系改善了AN推进剂弹道性能。

除钾盐外,不同金属氧化物对AN相稳定也有一定影响<sup>[19-22]</sup>,这些金属氧化物主要有: NiO、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、ZnO、CuO等,NiO因形成二硝酸二胺基镍络合物而有较好稳定性<sup>[11,23]</sup>; CuO形成二胺基铜络合物限制了状态Ⅲ,且保持到大于50℃才发生相变; ZnO作相稳定剂表现出的特征与二胺基络铜相似。值得注意的是金属/金属化合物能增加AN推进剂的燃速和点火能力<sup>[24]</sup>。从吸湿性、点火特性等综合考虑,用金属氧化物作AN相稳定剂是有益的,然而这些在实际推进剂中尚未得到综合考核。

#### 4 AN型燃气发生剂

AN型燃气发生剂具有燃温低、燃气洁净、价格便宜等优点,因此受到国内外推进剂专家广泛重视。根据粘合剂品种和特点来区分,主要有: AN/惰性粘合剂、AN/含能粘合剂。

##### 4.1 AN/惰性粘合剂燃气发生剂

惰性粘合剂是指像HTPB、端羧基聚丁二烯(CTPB)、聚酯(PE)、聚醚等高分子聚合物,国内外已在燃气发生器中应用的主要有: 丁吡橡胶、HTPB、聚酯、醋酸纤维素(CA)等。

国外早期研究的丁吡橡胶/AN燃气发生剂<sup>[4]</sup>组成为: AN占75.5%,采用6%的双氰铵作降温剂,燃气发生剂在6.9 MPa下的燃速约为 $2.54 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ,燃速压强指数为0.44。

湖北红星化学所<sup>[25]</sup>于70年代曾研究出AN/CA型燃气发生剂,其中AN占62.5%,俄罗斯等国也采用类似的AN/CA型配方,该类配方广泛用于精密舵机控制系统。这类燃气发生剂的静态燃速:  $1.71 \sim 2.1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 静态燃速压强指数:  $0.58 \sim 0.69$  ( $2.94 \sim 8.83 \text{ MPa}$ ); 分解温度/爆燃温度:  $154^\circ\text{C}/202^\circ\text{C}$ ; 密度:  $1.469 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

湖北红星化学所80年代初研制出424H-8和424H-8A两个PSAN/HTPB燃气发生剂配方,一是全部采用AN作氧化剂的配方;二是加入少量的AP来调节燃烧性能,并采用添加剂来改善工艺、燃烧等性能。806所于90年代初也研制出HTPB-PSAN燃气发生剂<sup>[26]</sup>,燃气发生剂性能水平为: 7 MPa下的燃速为 $1.1 \sim 4 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ,压强指数小于0.5,燃烧火焰温度小于 $1200^\circ\text{C}$ 。

美国、荷兰等国家都开展了 PSAN/HTPB、PSAN/PE 等燃气发生剂的研究,典型的配方及其燃温、燃烧性能<sup>[23,25,27,28]</sup>如表 4 所示。

表 4 PSAN/HTPB (PE) 燃气发生剂配方与性能  
Table 4 Compositions and properties of PSAN/HTPB (PE) gas generator propellants

配方代号	主要组成	燃温 $r/\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$		$n$	$r = ap^n$ (1~8 MPa)
		/K	(6.86 MPa)		
TP-H-3388	AN/NaB/HTPB	1275	1.27	0.65	-
TP-H-3341	AN/AD/HTPB	1361	1.75	0.49	-
TP-Q-3134	AN/PE	1250	1.22	0.68	-
TP-Q-3133	AN/PE	1533	1.68	0.41	-
TP-Q-3135	AN/DHG/PE	1150	2.44	-	-
CK-1001	PSAN/HTPB	1251	-	-	$1.251p^{0.310}$
CK-1102	PSAN/HTPB/AD	1244	-	-	$1.392p^{0.409}$
CK-1109	PSAN/HTPB/C.C/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1223	-	-	$1.171p^{0.380}$
CK-1116	PSAN/HTPB/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1365	-	-	$1.348p^{0.409}$
OCGG-411C	AN/HTPB	1263	1.397	0.56	-
OMAX 700	AN/HTPB	1323	0.81	-	-

4.2 AN/含能粘合剂型燃气发生剂

为提高 AN 燃气发生剂燃速和能量,可采用含能粘合剂的技术途径。

4.2.1 AN/GAP 型燃气发生剂

GAP 具有正的生成热和较高的密度,与 AN 组合使用可得到感度低、能量高、相对较高的燃速、燃气洁净(无腐蚀性及残渣含量少)燃气发生剂,因而受到国内外广泛关注。

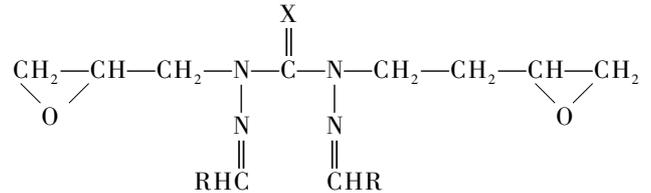
湖北红星化学所研制的 AN/GAP 型燃气发生剂<sup>[29]</sup>主要组成为: PSAN 58%, GAP 粘合剂体系 27.2%, 降温剂 8%。该燃气发生剂配方的比冲  $I_{sp}$ :  $1\,981\text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; 燃速:  $2.3\sim 5.8\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  (6.86 MPa); 燃速压强指数:  $0.5\sim 0.7$ ; 密度:  $1.53\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ; 残渣含量: 2.8%; 实测燃温  $T_c$ :  $1\,140\text{ }^\circ\text{C}$ 。Helmy 等人<sup>[30]</sup>研究的 AN/GAP 型燃气发生剂 GG-16 配方主要组成为: PSAN 占 65.4%, GAP 粘合剂体系占 23.1%, BDNPA/F 占 10%。该燃气发生剂配方的比冲  $I_{sp}$ :  $2\,228\text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; 特征速度  $C^*$ :  $1\,386\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 燃温:  $1\,891\text{ }^\circ\text{C}$ , 6.9 MPa 下动态燃速为  $8.2\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ 。日本、欧美等国对于 GAP/PSAN 燃气发生剂配方及其燃烧性能进行了大量研究,主要结果列于表 5<sup>[31]</sup>。

表 5 国外 GAP/PSAN 燃气发生剂配方及燃烧性能  
Table 5 Compositions and burning properties of GAP/PSAN propellants

配方基本组成	催化剂种类	$r/\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$	
		(6.86 MPa)	压强指数
GAP/AN/BDNPA/F	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.2	0.596
GAP/AN/BDNPA/F	AD	5.16	0.68
GAP/AN/BDNPA/F	-	5.2/8.0	0.63/0.50
GAP/AN/BTTN/TMETN	MOVO	7~8	0.5~0.55
GAP/AN/BTTN/NG	MO	12.70	0.60
GAP/AN/TMETN/NC	C.C/CB/B/LC	6.30	0.5(5~12 MPa)
GAP/AN/DEP (BDNP)	ZD/ZrO <sub>2</sub> /CB	5.0	-

4.2.2 AN/含 N-N 键环氧粘合剂型燃气发生剂

为克服叠氮含能粘合剂 GAP 推进剂点火性能差、燃烧性能不稳定等缺点,印度的 Jain 和 Oommen 等人<sup>[32,33]</sup>合成了一系列带 N-N 键环氧树脂粘合剂,与 AN 组合使用,提高了推进剂的燃速和能量水平。含 N-N 键环氧粘合剂结构如下:



典型树脂有: X = O, R = C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>, 双苯甲醛酰肼环氧化物 (DEBCH); X = O, R = C<sub>4</sub>H<sub>3</sub>O, 双糠醛酰肼环氧化物 (DEFCH); X = S, R = C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>, 双苯甲醛硫代酰肼环氧化物 (EBTCH); X = S, R = C<sub>4</sub>H<sub>3</sub>O, 双糠醛硫代酰肼环氧化物 (DEFTCH)。

采用上述粘合剂和 80% PSAN 推进剂的燃烧性能见表 6<sup>[33]</sup>, PSAN 中相稳定剂一般控制为 3%。由表 6 的结果可知: 推进剂的燃速取决于粘合剂和相稳定剂的种类,糠醛类树脂配方的燃速一般比苯醛体系高, DEFCH、DEFTCH/PSAN (3% KF) 配方燃速明显高于常用的 CTPB 配方。相稳定剂对含 N-N 键环氧树脂推进剂的燃速影响显著, KF 相稳定剂对提高推进剂燃速更有效, DEFTCH/ PSAN (3% K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) 配方燃速同样优于 CTPB; PSAN 体系的燃速相对高于未改性的 AN 配方。这些结果表明: 就增加燃速而言, N-N 键树脂优于 CTPB 粘合剂。

表 7 数据<sup>[33]</sup>说明: 与 AP 体系相比, AN 推进剂的比冲较低。虽然可通过加入 HMX 或 TMETN 增塑剂来提高 AN 推进剂能量, 但这些含能材料的大量引入

带来了事故隐患。理论计算表明:与碳氢粘合剂体系相比,含 N—N 键环氧树脂/AN 体系可获得较大比冲,如 DEFTCH 在固体含量为 85% 时最大比冲为  $2\,178\text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,而对比的 CTPB 体系只有  $2\,016\text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。从工艺与能量角度综合考虑,含 N—N 键环氧树脂粘合剂是一种有前景的材料。

表 6 配方组成和燃烧性能结果

Table 6 Compositions and burning properties of propellants

配方组成	$r/\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$					$n$
	3. IMPa	4. IMPa	5. IMPa	6. IMPa	7. IMPa	
DEFTCH - PSAN( $\text{KNO}_3$ )	1.75	-	2.62	-	3.90	>0.8
DEFCH - PSAN( $\text{KNO}_3$ )	1.96	-	3.35	-	4.28	>0.8
DEBTCH - PSAN( $\text{KNO}_3$ )	1.31	-	2.48	-	2.60	>0.8
DEBCH - PSAN( $\text{KNO}_3$ )	1.40	-	2.60	-	3.72	>0.8
DEFTCH - PSAN(KF)	1.71	2.34	3.28	4.21	5.39	>0.8
DEFCH - PSAN(KF)	1.95	2.47	3.90	4.60	5.98	>0.8
CTPB - PSAN(KF)	1.50	-	2.00	2.52	2.70	0.71
DEFTCH - PSAN( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )	2.56	2.96	3.21	3.60	4.04	0.52
CTPB - PSAN( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )	1.74	2.10	2.35	2.64	2.92	0.60
DEFTCH - PSAN( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 6%)	-	-	-	-	4.20	-
DEFTCH - AN(NO AD)	-	-	-	-	1.56	-
DEFTCH - AN	1.58	1.81	1.90	2.20	2.40	0.48
DEFCH - AN	2.05	2.44	2.46	2.68	2.78	0.33
DEBTCH - AN	1.23	1.41	1.70	2.04	2.10	0.68
DEBCH - AN	1.35	1.59	1.86	1.99	2.20	0.57
CTPB - AN	1.23	1.45	1.59	2.09	2.11	0.67

表 7 推进剂配方理论比冲

Table 7 Theory specific impulse of propellants

配方组成	比冲		配方组成	比冲		配方组成	比冲	
	$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$		$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$		$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}^{-1}$
DEFTCH - AN	2 178		DEFTCH - AP	2 395		DEFTCH - ADN	2 545	
DEBTCH - AN	2 064		DEBTCH - AP	2 389		DEBTCH - ADN	2 470	
CTPB - AN	2 016		CTPB - AP	2 380		CTPB - ADN	2 439	

## 5 结束语

尽管 AN 燃气发生剂存在燃速调节困难、吸湿等缺点,但由于其燃烧火焰温度低、燃气中没有腐蚀性气体,所以,AN 燃气发生剂仍然是燃气发生器使用的一个重要品种。随着公众环境保护意识的增强及 AN 燃气发生剂性能的不断改善,AN 燃气发生剂的应用领域将更加广阔。

### 参考文献:

[1] Sutton E S, Vriesen C W. Gas generator propellants for

aerospace applications[R], AIAA79-1325.

- [2] Oommen C, Jain S R. Ammonium nitrate: a promising rocket propellant oxidizer[J]. Journal of Hazardous Materials, 1999, A67: 253.
- [3] Gadiot G M H J L, Hoffmans D W, Korting P A O G, et al. "Clean" propellants for commercial applications[R]. AD/A329686: 430.
- [4] 马庆云. 复合火药[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997, 16-19.
- [5] Herrmann M J, Engel W. Phase transitions and lattice dynamics of ammonium nitrate[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1997, 22(3): 143.
- [6] Kestila E, Valkonen J. Effect of the crystallization on the phase transitions of ammonium nitrate[J]. Thermochimica Acta, 1993, 214(17): 305.
- [7] Dellien I. A DSC study of the phase transformations of ammonium nitrate[J]. Thermochimica Acta, 1982, 55(2): 181.
- [8] Langfelderova H, Ambrovic P. Study of the influence of experimental conditions on the course of the DSC curve of ammonium nitrate[J]. Thermochimica Acta, 1982, 56(3): 385.
- [9] Sramko T, Jona E. Thermal properties of ammonium nitrate II study transformations and their completeness by the change of heating mode[J]. Thermochimica Acta, 1985, 92: 731.
- [10] Kestila E, Valkonen J. DSC studies on the effect of particle size on  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  at temperatures between 25 and 100 °C[J]. Thermochimica Acta, 1994, 233(2): 219.
- [11] Engel W. Ammonium nitrate: a less polluting oxidizer[A], 24th Int. Annu. Conf. of ICT[C], 1993, 3: 1-9.
- [12] Oommen C, Jain S R. Phase modification of ammonium nitrate by potassium salts[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 1999, 55: 903.
- [13] Guth E D, Falls I. Method for stabilizing of ammonium nitrate[P], USP 3018164.
- [14] Holden J R, Dickinson C W. Crystal structures of three solid solution phase of ammonium nitrate and potassium nitrate[J]. Physical Chemistry, 1975, 79(3): 249.
- [15] Cady H H. The ammonium nitrate-potassium nitrate system[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1981, 6(2): 49.
- [16] Mishra I B. Potassium fluoride stabilized ammonium nitrate[P]. USP 4552736.
- [17] Ashok M K, Lee I. Potassium fluoride stabilized ammonium nitrate and method of producing potassium fluoride stabilized ammonium nitrate[P], USP 5098683.

- [18] Rao C N R, Prakash B, Natrajan M. Crystal structure transformation in inorganic nitrites, nitrates and carbonates, National bureau of standards [R], NSR DS-NNS 53, 1975.
- [19] Highsmith T K, Hinshaw C J, Wardle R B. Phase-stabilized ammonium nitrate and method of making [P], USP 5292387.
- [20] 李君励, 张惠坤. 复合推进剂中的硝酸铵[J]. 推进技术, 1994, (1): 58.
- [21] Junli-li, Yalong-xu. Some recent investigation in solid propellant technology for gas generator [R], AIAA 90-2335.
- [22] 赵孝彬, 侯林法, 张小平. 硝酸铵的改性[J]. 含能材料, 1999, 7(2): 67.
- [23] Korting P A O G, Zee F W M, Meulenbrugge J J. Performance of no chlorine containing composite propellants with low flame temperatures [R], AIAA 87-1803.
- [24] Menke K, Maub J B, Schubert H. Characteristic properties of AN/GAP-propellants [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1996, 21(3): 139.
- [25] 邓康清, 陶自成. 国外气体发生剂研制动向[J]. 固体火箭技术, 1996, 19(3): 34.
- [26] 李君励, 张惠坤, 张建国. 硝酸铵推进剂关键技术研究[J]. 上海航天, 1996, 5: 25.
- [27] Markovitch I L, Krason M A. Low energy propellant development [R], AIAA 80-1274.
- [28] Markovitch I L, Krason M A. Low burn gas generator propellant [R], AD-A129853.
- [29] 柴玉萍, 陶自成, 杜又新, 等. GAP/AN 燃气发生剂研制[J]. 固体火箭技术, 1999, 22(4): 50.
- [30] Helmy A M. GAP propellant for gas generator application [R], AIAA 87-1725.
- [31] 赵孝彬, 侯林法, 张小平. GAP/AN 推进剂的研制现状(一)[J]. 飞航导弹, 2000, 9: 55.
- [32] Thangamathesvaran P M, Jain S R. New N-N bonded epoxides as binders for hypergolic fuel grains [J]. Journal of aeronautical society of INDIA, 1993, 45(3): 194.
- [33] Oommen C, Jain S R. Phase-stabilized ammonium nitrate-based propellants using binders with N—N bonds [J]. Journal of propulsion and power, 2000, 16(1): 133.

## Present Situation of Ammonium Nitrate Gas Generator Propellant

LU Guo-lin

(Hubei Red-Star Chemical Institute, Xiangfan, 441003, China)

**Abstract:** The review is an attempt to consolidate the information on physical and chemical properties of ammonium nitrate (AN), AN phase transitions and modifications. Present situation of AN propellants for missile gas generator applications is introduced.

**Key words:** gas generator propellant; ammonium nitrate; composite solid propellant