

文章编号: 1006-9941(2013)01-0126-05

## 2,4,6-三硝基-2,4,6-三氮杂环己酮的合成研究进展

马丛明<sup>1</sup>, 刘祖亮<sup>1</sup>, 姚其正<sup>1,2</sup>

(1. 南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094; 2. 中国药科大学药学院, 江苏 南京 210009)

**摘要:** 汇集、分析、评述了合成 2,4,6-三硝基-2,4,6-三氮杂环己酮(Keto-RDX)的方法、途径、特点及原料和硝化体系。附 22 篇参考文献。认为:以脲和乌洛托品为原料合成 Keto-RDX 的直接法具有反应步骤少、成本低、产率高的优点和难分离提纯产物的缺点,而通过 1,3,5-三嗪类中间体合成 Keto-RDX 的多步法具有反应步骤多,成本高的缺点和易分离提纯产物的优点。

**关键词:** 有机化学; RDX 酮; 含能材料; 合成

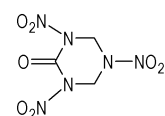
**中图分类号:** TJ55; O626.4

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.01.026

### 1 引言

现今,寻找新的高能钝感炸药是炸药设计和合成的重要方向,其目标是:比 1,3,5-三氨基-2,4,6-三硝基苯(TATB)钝感;拥有比 1,3,5,7-四硝基-1,3,5,7-四硝基氮杂环辛烷(HMX)更高的能量<sup>[1]</sup>;即希望这些含能化合物除了比 TATB 钝感外,其密度接近  $2.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,爆压高于 40 GPa,爆速大于  $9000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,还要具有更好的氧平衡、热力学和水解稳定性。在已知的一系列含能化合物中,2,4,6-三硝基-2,4,6-三氮杂环己酮因具有密度大、爆速高、能量输出超过 HMX 等优良的爆炸性能<sup>[1-3]</sup>而受到了人们的关注。2,4,6-三硝基-2,4,6-三氮杂环己酮,又称 662、RDX 酮、K-6 和 TNTC,其分子结构如 Scheme 1 所示。该化合物为白色结晶,可溶于丙酮、浓  $\text{HNO}_3$ 、乙腈、硝基苯等溶剂。与其他环状硝基脲化合物相比,如 TNGU(tetranitroglycoluril)和 K-55 等,RDX 酮因具有六元环状结构而呈现良好的水解稳定性<sup>[4]</sup>。Mitchell 等发现该化合物在酸性环境中水解稳定性更佳,其在酸性环境中的质量减小量仅为碱性环境中的  $1/10$ <sup>[1]</sup>。以 RDX 酮为主体组成的高聚物粘结炸药,具有较低的撞击感度,优良的物理和化学安定性、成型性和力学性能,适用于装填破甲弹和非起爆药雷管。



Scheme 1

国内外对 RDX 酮的合成路线和制备工艺进行了广泛而深入的研究,主要有两种合成方法:一是直接法,即以脲和乌洛托品(六亚甲基四胺,HA)为原料,在硝化(解)液中直接制得 RDX 酮与 RDX 的混合物,然后分离。我国科研工作者在 1966 年使用此法经硝解合成出 RDX 酮,之后有人在直接硝解法制备黑索今(RDX)的废酸中加入尿素,也可获得该化合物。二是多步法,首先用小分子缩合环化成 1,3,5-三嗪类中间体,然后再硝化制得 RDX 酮。该法是以逐步发展起来的,常分两步进行,先用小分子缩合环化(一般借助 Mannich 反应)成 RDX 酮的前身-1,3,5-三氮杂环己烷-2-酮(又称:1,3,5-三嗪烷-2-酮,1,3,5-triazinan-2-one)等衍生物,再经硝化(解)制得 RDX 酮。根据起始用于缩合的小分子种类或结构的不同,现已形成多种合成 RDX 酮的小分子缩合多步法。然而,直接法分离提纯产物比较困难,多步法步骤多、成本高。本文即从直接法和多步法角度对 RDX 酮的合成方法及反应特点进行综述、分析。

## 2 以脲和乌洛托品为原料合成 RDX 酮

### 2.1 硝酸、硝硫混酸体系

张跃军<sup>[5]</sup>以乌洛托品、脲或者硝基脲为原料,在

收稿日期: 2012-03-27; 修回日期: 2012-04-20

作者简介: 马丛明(1988-),男,博士生,主要从事含能材料的合成与应用研究。e-mail: maming1306@126.com

通讯联系人: 姚其正(1951-),男,教授,主要从事含能材料的合成与应用研究,氮杂环药物研究。e-mail: qz\_yao@yahoo.com.cn

99%硝酸和硝硫混酸中合成 RDX 酮。实验发现使用硝硫混酸硝化剂, RDX 酮的产率在 90% 以上, 产物为 RDX 酮与 RDX 的混合物; 使用纯硝酸硝化剂, RDX 酮的产率仅在 50% 左右。

为了探索 RDX 酮的形成机理, 张跃军<sup>[6]</sup>分别以 1,5-甲撑基-3,7-二硝基-1,3,5,7-四氮杂环辛烷 (DPT), 1-乙酰氧甲基-3,7-甲撑基-3,5,7-三硝基-1,3,5,7-四氮杂环辛烷 (PHX), 1,7-二乙酰氧基-2,4,6-三硝基-2,4,6-三氮杂庚烷 (BSX) 为原料, 研究了在硝硫混酸中与脒或硝基脒反应合成 RDX 酮。由于 HA、DPT、PHX 和 BSX 分子中具有叔胺基氮原子数量不同, 它们在硝解剂中生成非硝基取代的  $N,N'$ -二羟甲基胺的碎片分子  $[RN(CH_2OH)_2, R \neq NO_2]$  的能力和 (摩尔) 数量不同, 从而证明是  $N,N'$ -二羟甲基胺类碎片与脒或硝基脒缩合并硝化生成 RDX 酮。与此同时, 实验发现<sup>[7]</sup>在硝化剂中先加脒或硝基脒, 后加 HA 的加料方式使 RDX 酮产率最高, 且硝基脒比脒更利于提高 RDX 酮的产率。

在硝硫混酸中, 用乌洛托品或 / 和硝基脒的硝酸盐作原料对 RDX 酮产率有影响。Shokrollahi 等<sup>[8]</sup>用 HA 二硝酸盐或 HA 分别和脒反应, 合成 RDX 酮的产率依次为 37% 和 34%; 而 Boniuk 等<sup>[9]</sup>分别用二硝基脒和二硝基脒的盐与 HA 反应, 合成 RDX 酮的产率可依次提高到 45% 和 55%, 伴随产生的 RDX 产率分别为 30% 和 15%。

综合以上结果表明: (1) 以脒和乌洛托品为原料, 硝酸或硝硫混酸合成 RDX 酮的直接法: 原料易得, 方法简单, 但仅得到 RDX 酮与 RDX 的混合物, 单一产品需分离。(2) 硝基脒及其硝酸盐对提高 RDX 酮产率至关重要, 可能是这些脒的衍生物更易和 HA 碎片 (如  $N,N'$ -二羟甲基胺等) 缩合, 且硝基脒及其盐不消耗体系中硝酸, 不产生硝化生成的水。

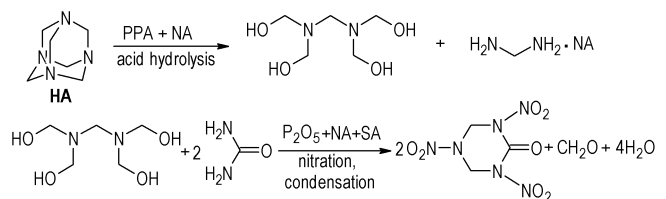
## 2.2 含多磷酸的混酸体系

张跃军<sup>[5]</sup>在多磷酸混酸体系中以 HA 和脒来合成 RDX 酮, 产率超过 100% (按 HA 单分子计。理论上, 1 分子 HA 可分解为 3 分子的  $N,N'$ -二羟甲基胺, 与脒可制得 3 分子 RDX 酮), 产物为 RDX 酮与 RDX 的混合物。虽然多磷酸 (PPA) 加入到硝硫混酸中使介质的硝化能力有所下降, 但是, PPA 的脱水作用<sup>[10]</sup>能使硝化介质处在无水或少水状态, 而有利于缩合和硝化, 并使原料脒或硝基脒转化为有利的中间体:  $N,N'$ -二硝基脒参与反应生成 RDX 酮。2000 年, Henryka 等<sup>[11]</sup>使用  $N,N'$ -二硝基脒与 HA 在硝解液中合成出 RDX 酮。

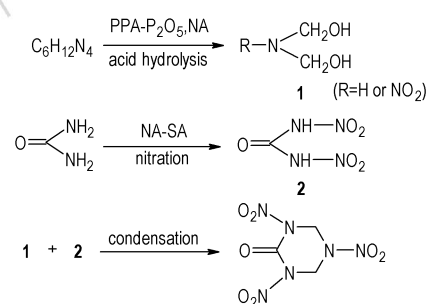
在多磷酸混酸合成 RDX 酮的研究中, 奚美珏等<sup>[12]</sup>除了运用常规一步法合成 RDX 酮外, 还设计出二步法, 如 Scheme 2 所示, 首先将 HA 在 PPA 和少量硝酸的混合酸中低温酸解成相关小分子碎片, 然后将此混合物加到含有脒的 PPA-硝硫混酸中, 进行缩合和硝化, 制得 RDX 酮等。二步法的 RDX 酮产率高达 130% 以上 (按 HA 单分子计), 为以 HA 为原料合成 RDX 酮方法中的最高者。二步法解决了两个问题: 一是避免了脒对 HA 酸解的影响, 二是产生较多的 HA 酸解碎片有利 RDX 酮的形成, 揭示出一分子 HA 能制得多分子 RDX 酮的本质。多磷酸混酸二步法中同时伴随产生率在 20% 以上的 RDX, 故该法显著地提高了原料 HA 的利用率。

Sikder 等<sup>[13]</sup>在磷酸酐  $P_2O_5$  存在的条件下制备 RDX 酮, 结果表明, RDX 酮的合成经历多步反应, 包括 HA 酸解、脒硝化、缩合形成 RDX 酮的反应, 如 Scheme 3 所示。

多磷酸法合成 RDX 酮的原料价廉易得, 多磷酸可降低硝酸的氧化性, 使体系的酸性适合 HA 酸解成所需的碎片, RDX 酮产率较高。但是, 此法缺陷在于: 废酸成分较复杂, 废酸处理有一定困难。



Scheme 2



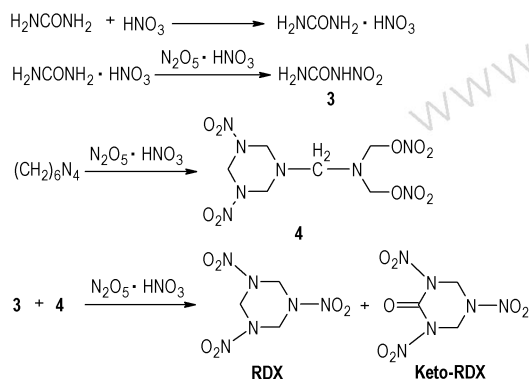
Scheme 3

## 2.3 硝酸-五氧化二氮体系

曹端林等<sup>[14]</sup>设计了以硝酸-五氧化二氮作为硝化剂合成 RDX 酮的新方法, 其合成过程如 Scheme 4 所示。Hale<sup>[15]</sup>研究发现 HA 在发生硝解反应的同时, 也发生脱硝基和水解等副反应, 这主要取决于硝化酸中活化剂  $NO_2^+$  的浓度和强度, 也取决于硝化酸的酸度函

数,硝化的结果是这两种反应平衡的结果<sup>[16]</sup>。当硝化剂的浓度较小时,硝化活化剂的浓度较低,酸度函数较大。为促进 HA 硝解反应的进行,需增加硝化剂的用量,当该用量达到最佳值后,继续增加则导致产物 RDX 酮的氧化分解逐渐加剧,因此硝化剂的用量不宜过大。

该方法提高了反应过程中的安全程度,RDX 酮产率高,可达到 120%;同时因硝化剂中无其它杂酸,废酸方便回收利用,反应过程基本能做到无污染,是一种环保型的合成方法。



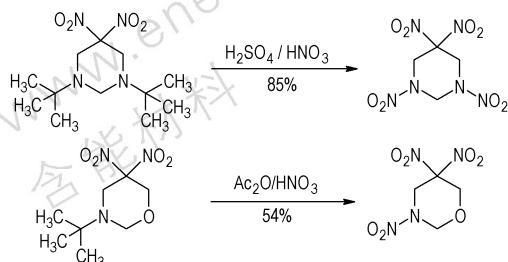
Scheme 4

### 3 小分子缩合多步法合成 RDX 酮

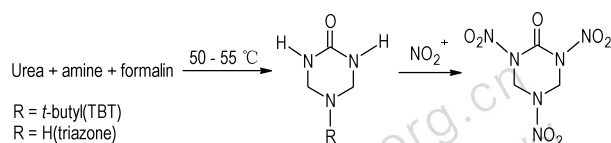
#### 3.1 以 2-氧-5-叔丁基-1,3,5-三氮杂环己烷 (TBT) 为前体合成 RDX 酮

Adolph 等<sup>[17]</sup>曾使用硝硫混酸或乙酸酐-HNO<sub>3</sub> 作为硝解剂,在较温和的条件下将 *N*-叔丁基氮杂环己烷衍生物中的 *N*-叔丁基直接就位置换为 *N*-硝基胺类化合物,如 Scheme 5 所示。

直至 1994 年, Mitchell 等<sup>[1]</sup>借鉴上述方法,设计以 2-氧-5-叔丁基-1,3,5-三氮杂环己烷(TBT)为前体,利用直接就位置换的方法合成出 RDX 酮,其合成路线如 Scheme 6 所示。作者采用 HNO<sub>3</sub>/N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/乙酸酐、HNO<sub>3</sub>/N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/三氟乙酸酐、乙腈/NO<sub>2</sub>BF<sub>4</sub> 等不同的硝解剂来完成 TBT 的硝解过程,其中,在乙腈/NO<sub>2</sub>BF<sub>4</sub> 中制备 RDX 酮的产率最高,为 61%<sup>[18]</sup>。



Scheme 5

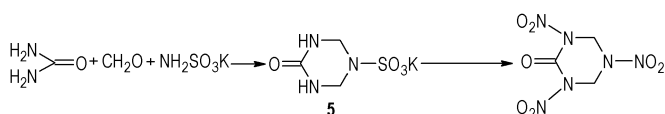


Scheme 6

此法首先用小分子脲、甲醛和叔丁胺经 Mannich 反应缩合环化,制得中间体-1,3,5-三氮杂环己烷-2-酮衍生物,起始原料易得、价廉,反应操作安全、简单。然而,由于前体缩合物 TBT 的产率仅 60% 左右,反应总产率较低,第二步的硝化反应还发生一些副反应,产物不纯。近来,周诚等<sup>[19]</sup>对该方法合成 RDX 酮的工艺进行了优化研究,使 RDX 酮的总产率提高到 48%,纯度达 98.8%。

#### 3.2 以氨基磺酸钾、甲醛和脲为原料合成 RDX 酮

从“绿色化学的原子经济性”角度看,“3.1”中以 TBT 为前体合成 RDX 酮的方法不经济,没有充分地应用原料,浪费了占 TBT 中较多质量份额的叔丁基,所以对上法改进是必然的。Ermakov 等<sup>[20]</sup>提出用氨基磺酸钾替代上法中的叔丁胺,和甲醛、脲缩合制备相应的中间体:4-氧-1,3,5-三氮杂环己烷-1-磺酸钾(5)。将该前体经硝酸/发烟硫酸体系硝化可得到产物 RDX 酮,总产率为 18%,其合成如 Scheme 7 所示。



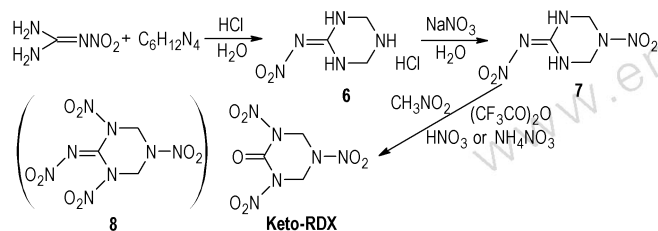
Scheme 7

相对 TBT 法, Ermakov 等人的方法优势十分明显,他们所用的氨基磺酸钾与叔丁胺比较,具有来源广、价格低,不影响后续反应中硝硫混酸的成份,以及废酸易于回收利用等特点。但该法的难点是:脲和甲醛的缩合对反应条件的要求非常苛刻,许多情况下会生成各种产物(包括一些聚合物),产品分离比较困难,从而使得前体化合物没有固定的熔点,质量难以控制,影响到后续反应的硝化和 RDX 酮的总产率。

#### 3.3 以 2-硝亚氨基-六氢-1,3,5-三嗪及其类似物为前体合成 RDX 酮

前面所述的两种多步法都涉及到脲和甲醛之间的缩合,这种缩合产物复杂,要获得较纯的 RDX 酮的前体 TBT 或化合物 5 是很困难的,且它们的产率都较低,对下一步的硝化反应会有影响。为避免这些问题, Hunag 等<sup>[21]</sup>使用 HA 作缩合中间体的原料,代替甲醛

和叔丁胺或氨基磺酸钾(即醛与胺两部分),用硝基胍代替脲,可水解、缩合成在水中析出的2-硝亚氨基-六氢-1,3,5-三嗪(**6**,常为**6**的盐酸盐);再将**6**与硝酸钠、盐酸反应制备2-硝亚氨基-5-硝基-六氢-1,3,5-三嗪(**7**),将**6**或**7**分别加入到不同的硝化剂体系 $(CF_3CO)_2O/HNO_3$ 或 $(CF_3CO)_2O/NH_4NO_3$ 混合物中得到RDX酮的产率为62.2%<sup>[22]</sup>,合成过程如Scheme 8所示。



Scheme 8

该方法的优点是每一步的反应产率都较高(**6**的产率在70%以上,按硝基胍计;**7**的产率在90%以上),得到的RDX酮产品纯度高(杂质RDX较少),热稳定性好。但该方法中反应每步持续时间都较长,HA利用率低;最后一步硝化需用到三氟乙酰,明显增加了制备RDX酮的成本,但若用乙酰代替三氟乙酰则得不到RDX酮,而硝化成另一个含能化合物**8**(2-硝亚氨基-1,3,5-三硝基-1,3,5-三氮杂环己烷)。

## 4 结 语

RDX酮是一种高密度含能化合物,其衍生物在新单质炸药的研制中占据较重要的地位。多年来,关于RDX酮的合成方法研究和报道较多,其中由我国科技人员创立和发展起来的直接法是以脲和乌洛托品为原料经硝化剂硝解(化)而制得RDX酮的,分析已采用的各种不同的硝化剂对RDX酮产率的影响,可看到酸性适宜而绝对无水的硝化剂能显著地提高RDX酮的产率,并能使RDX酮产率超过100%,如多磷酸混酸体系与 $N_2O_5-HNO_3$ 体系。而硝硫混酸体系作硝化剂时,因其酸性和硝化能力都较强,有利于伴随物RDX生成,影响了RDX酮的产率;这些规律对今后相关硝化剂的选择和配比的调节具有较大的参考价值。

在直接法中,对于 $N_2O_5-HNO_3$ 体系来说,虽硝化剂中无其它杂酸,废酸回收方便,是一种环保型合成方法,但 $N_2O_5$ 的制备耗能较大,应用上会受到限制。多磷酸的混酸体系有利于RDX酮的形成,可提高原料HA的利用率,但该方法废酸成分较复杂,废酸处理较

难。另外,直接法合成出的RDX酮常含有RDX,两者结构相似,分离较难。但是,这些问题并不影响直接法的进一步深入研究,因为它的合成步骤少,成本较低,产率较高,并且该法在合成含能材料方面是一种不多见的“一锅煮”式的多组分反应,影响因素较多,有着较大的技术优化空间。

小分子缩合多步法中总结了三种有代表性的RDX酮前体1,3,5-三氮杂环己烷衍生物的合成思路和相关方法。其中前体4-氧-1,3,5-三嗪烷-1-磺酸钾(**5**)和2-硝亚氨基-六氢-1,3,5-三嗪(**6**)的合成原料来源广泛,简单价廉,制备方便,虽然合成得到的RDX酮与直接法相比产率较低,且反应步骤较多与成本较高,但该类方法仍具有竞争优势,即可制得较高纯度的RDX酮,后处理与直接法相比较简单,因此,提高多步法的RDX酮产率,该法将能成为制备RDX酮的主流方法。小分子缩合多步法思路开阔,值得研制其它新炸药时参考与借鉴。

## 参考文献:

- [1] Mitchell A R, Pagoria P F, Coon C L, et al. Nitroureas 1. Synthesis, scale-up and characterization of K-6 [J]. *Propell Explos Pyrot*, 1994, 19: 232-239.
- [2] Fedoroff B T, Sheffield O E, Kaye S M. Encyclopedia of explosives and related items [M]. Dover, N. J.: Picatinny Arsenal, 1974, 6: 117-118.
- [3] Gilardi R, Flippen-Anderson J L, George C. Structures of 1,3,5-trinitro-2-oxo-1,3,5-triazacyclohexane (I) and 1,4-dinitro-2,5-dioxo-1,4-diazacyclohexane (II) [J]. *Acta Cryst*, C46, 1990: 706-708.
- [4] Pagoria P F, Lee G S, Mitchell A R, et al. A review of energetic materials synthesis [J]. *Thermochim Acta*, 2002, 384: 187-204.
- [5] 张跃军. 2,4,6-三硝基-2,4,6-三氮杂环己酮的合成 I 以乌洛托品为原料的合成 [J]. *火炸药学报*, 1999, 22(4): 1-4. ZHANG Yue-jun. Synthesis of 2,4,6-trinitro-2,4,6-triazacyclohexanone (keto-RDX) [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 1999, 22(4): 1-4.
- [6] 张跃军. 2,4,6-三硝基-2,4,6-三氮杂环己酮的合成 II 以 DPT 或 PHX 为原料的合成 [J]. *火炸药学报*, 2001, 24(1): 1-3, 6. ZHANG Yue-jun. Synthesis of 2,4,6-trinitro-2,4,6-triazacyclohexanone (keto-RDX) [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2001, 24(1): 1-3, 6.
- [7] 张跃军. 几种硝化剂中脲和硝基脲的反应形式 (I) 加料方式的研究 [J]. *火炸药学报*, 2001, 24(2): 6-8. ZHANG Yue-jun. Study on the reaction form of urea and nitrourea in nitrating agents [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2001, 24(2): 6-8.
- [8] Shokrollahi A, Zali A, Pouretedal H R, et al. Synthesis of Keto-RDX and its characterizations calculation [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(1): 44-48.
- [9] Bonuik H, Pilecki W, Stawinski T, et al. New method of synthesizing K-RDX using dinitrourea (DNU) [C] // International Annual

- Conference of ICT 31<sup>st</sup> (Energetic Materials), 2000, 46/1 – 46/8. CAN 133; 283738.
- [10] Siele V I, Gilbert E E. Process for preparing 1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetracyclooctane: US 3939148[P], 1976 – 02 – 17.
- [11] Henryka B, Witold P, Tomasz S, et al. New method of synthesizing K-RDX using dinitrourea (DNU) [C] // Energetic materials – Analysis, diagnostics and testing; Proceedings of the 31st ICT International Conference. Germany: Karlsruhe, 2000; 1 – 8.
- [12] 奚美虹, 姚其正. 多磷酸法合成 2,4,6-三硝基-2,4,6-三氮杂环己酮[J]. 南京理工大学学报, 1999, 23(6): 550 – 553.  
XI Mei-hong, YAO Qi-zheng. The synthesis of 2,4,6-trinitro-2,4,6-triazacyclohexanone using polyphosphoric acid[J]. *Journal of Nanjing University of Science and Technology*, 1999, 23(6): 550 – 553.
- [13] Sikder N, Bulakh N R, Sikder A K, et al. Synthesis, characterization and thermal studies of 2-oxo-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazacyclohexane (Keto-RDX or K-6) [J]. *J Hazard Mater*, 2003, 96: 109 – 119.
- [14] 曹端林, 曹明保, 李永祥. 绿色硝解技术合成 RDX 酮[J]. 火炸药学报, 2004, 27(1): 12 – 15.  
CAO Duan-lin, CAO Ming-bao, LI Yong-xiang. Synthesis of Keto-RDX using dinitrogen pentoxide as the nitrating agent[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2004, 27(1): 12 – 15.
- [15] Hale G C. Nitration of urotropine using nitric acid [J]. *J Am Chem Soc*, 1925, 47: 2754 – 2757.
- [16] 鲁鸣久, 刘鸿, 丁黎. 氮杂环胺类的硝化剂及硝化反应的研究[J]. 火炸药学报, 1999, 22(3): 1 – 5.  
LU Ming-jiu, LIU Hong, DING Li. Research on the nitrating agents and nitration of the azacycloamines [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 1999, 22(3): 1 – 5.
- [17] Cichra D A, Adolph H G. Nitrolysis of dialkyl tert-butylamines [J]. *J Org Chem*, 1982, 47: 2474 – 2476.
- [18] Ritter H, Braun S, Cshafer M, et al. Relationship between crystal shape and explosive properties of K-6 [C] // International Annual Conference of ICT 32nd (Energetic Materials), 2001, 91/1 – 91/14. CAN 135; 333014.
- [19] 周诚, 周彦水, 霍欢, 等. 1,3,5-三硝基-六氢化-1,3,5-三嗪-2-酮的合成与表征[J]. 火炸药学报, 2011, 34(4): 17 – 20.  
ZHOU Cheng, ZHOU Yan-shui, HUO Huan, et al. Synthesis and characterization of 1,3,5-trinitro-hexahydro-1,3,5-triazin-2(1H-one) [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2011, 34(4): 17 – 20.
- [20] Ermakov A S, Serkov S A, Tartakovskii V A, et al. Use of potassium sulfamate in the synthesis of heterocyclic nitramines [J]. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, 1994, 30(8): 976 – 978.
- [21] Huang D S, Rindone R R. High-energy insensitive cyclic nitramines: US 4983734[P], 1991 – 01 – 08.
- [22] Hunag D S. Preparation of 2,4,6-trinitro-2,4,6-triazacyclohexanone: US 5391736[P], 1995 – 02 – 21.

## Progress in Synthesis of 2,4,6-Trinitro-2,4,6-triazacyclohexanone

MA Cong-ming<sup>1</sup>, LIU Zu-liang<sup>1</sup>, YAO Qi-zheng<sup>1,2</sup>

(1. School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China; 2. School of Pharmacy, China Pharmaceutical University, Nanjing 210009, China)

**Abstract:** The strategies, methods, paths, characters, starting materials and nitrating systems of synthesizing 2,4,6-trinitro-2,4,6-triazacyclohexanone (Keto-RDX) were summarized, analyzed and reviewed with 22 references. Considering that direct method using urotropine and urea as starting materials has the advantages of less steps, lower cost and higher yield and the disadvantages of difficult separation and purification from a mixture of Keto-RDX and RDX, while the multistep method of synthesizing Keto-RDX via 1,3,5-triazine intermediates has the disadvantages of more reaction steps and higher cost and the advantages of easier separation and purification.

**Key words:** organic chemistry; Keto-RDX; energetic material; synthesis

**CLC number:** TJ55; O626.4

**Document code:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.01.026