

太 安

欧育湘 主编

2

兵器工业出版社

太 安

欧育湘主编

兵器工业出版社

(京)新登字049号

内 容 简 介

全书共九章，分别叙述太安的性质、制备原理、生产工艺、定性鉴定和定量测定以及成品检验等。本书系根据生产实际经验及近期国内外发表的有关资料写成，内容丰富、新颖，可供从事太安科研、生产和应用的工程技术人员、工人及有关院校师生使用。

教育出版

北京新华书店

(北京)海淀区车场(100)

各地新华书店

通县向阳印刷厂印装



开本：787×1092 1/32 印张：6.437 字数：141 千字

1993年 3月第1版 1993年 3月第1次印刷

印数：1~1000 定价：5.00元

ISBN 7-80038-441-1/TQ·15

前 言

太安是硝酸酯类炸药的典型代表，自第二次世界大战以来，已成为重要的高能炸药之一，在军、民两方面都得到了较广泛的应用。在硝酸酯炸药中，太安的安定性是最好的，其做功能力和猛度均略高于黑索今，且制造工艺简单，原料来源广泛(主要原料均可由碳、水、空气或石油气合成)，因而太安虽因机械感度较高和安定性逊于黑索今而使其在军事上的某些应用为黑索今所取代，但50年代以来，由于高分子混合炸药的发展，使太安的应用领域有所扩大，人们对太安也仍然保持很大的兴趣，它的生产和研究一直为各国所重视。我国是生产太安的国家之一，且在这面积累了许多宝贵的经验，多年来，我们深感有必要编写一本论著太安的专书，以作为火炸药系列丛书之一，今日夙愿得偿，作者非常感谢兵器工业出版社的同志为出版本书所做的努力和付出的辛勤劳动。

本书由我国从事太安生产、工艺设计及教学的人员联合编写，廖支援同志编写第三章及第七章，李永庆同志编写第四章第二、三、四节，郭振常同志编写第四章第一节及第六章第一、二、三节，孙东如同志编写第四章第五、六、七节及第九章，郑占明同志编写第四章第八节，武振元同志编写第五章，其余章节均由欧育湘同志编写，并由欧育湘任主编。全书经原兵器工业部火炸药公司、发展规划部及火炸药学会组织的专家评审委员会审定。作者对参与审定的全体专家深表谢意。

本书反映了我国太安生产的实际经验及近年国内外发表

的有关太安的资料，内容丰富、新颖。但限于作者水平，书中缺点错误在所难免，且全书出自多名作者的手笔，虽经主编仔细修改和统一，但在体例、用语及规格上，仍可能不够划一之处，所有这些，都祈望读者批评和斧正，

欧育湘

1991年9月

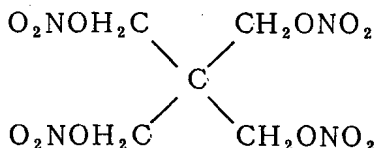
目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 太安的性质	(5)
一、太安的物理性质	(5)
二、太安的化学性质	(12)
三、太安的爆炸性质	(24)
四、太安的生理性能	(36)
第三章 太安的制造理论	(38)
一、硝化机理	(38)
二、结晶原理	(45)
第四章 直接硝化法制造太安工艺	(53)
一、原材料	(53)
二、工艺流程概述	(64)
三、季戊四醇的连续硝化	(68)
四、太安的精制	(75)
五、钝化太安的制备	(78)
六、太安的干燥、筛选及包装	(81)
七、废酸处理及丙酮回收	(83)
八、制造太安的工艺设备	(85)
第五章 季戊四醇硝化的自动调节与联锁保护	(101)
一、硝化系统主要检测与控制及联锁保护	(101)
二、硝化机反应温度自动调节系统	(103)
三、稀释机水流量自动调节系统	(110)
第六章 太安的质量标准、生产检验和成品检验 ...	(112)
一、太安的质量标准	(112)

二、钝化太安的质量指标	(116)
三、太安生产过程中的检验	(117)
四、太安成品检验	(122)
五、钝化太安成品检验	(132)
第七章 太安的应用	(136)
一、概述	(136)
二、太安在火工品中的应用	(136)
三、以太安为基的混合猛炸药	(139)
四、太安造型粉	(145)
五、热固性太安混合炸药	(148)
六、挠性太安混合炸药	(154)
七、塑性太安混合炸药	(160)
八、低密度太安混合炸药	(163)
九、含太安浆状炸药	(168)
十、太安在推进剂中的应用	(171)
第八章 太安的定性鉴定及定量测定	(172)
一、太安的定性鉴定	(172)
二、太安中氮含量测定	(178)
三、定量测定太安的其他方法	(186)
第九章 太安生产中的安全技术与环境保护	(192)
一、生产安全技术	(192)
二、设备检修安全技术	(194)
三、贮存、运输太安的安全技术	(195)
四、三废处理	(196)
主要参考文献	(198)

第一章 绪论

太安的化学名称是季戊四醇四硝酸酯(pentaerythritol tetranitrate), 系统命名应为2, 2-(双硝酰氧基甲基)-1, 3-丙二醇二硝酸酯(2, 2-bis (nitroxymethyl)-1, 3-propanediol dinitrate)①, CSA登记号为[78-11-5]。太安分子式为 $C_5H_8N_4O_{12}$, 相对分子质量为316.15, 氮含量为17.71%, 氧平衡(按生成 CO_2 计)为-10.1%, 结构式如下:



太安有很多名称, 德国称为Pentrit、Niperyth、Nitropenta 和 NP, 英、美等国称为PETN、penthrite 和 penta。太安最常用的英文代号是PETN, 俄文代号是ТЭН。中文名太安即ТЭН的音译。过去太安也称喷特儿, 系penty的音译。

太安于1891年②由B. 托伦斯(Tollens)首先制得, 1894年德国西莱茵公司就获得了制造太安的专利。在第一次世界大战期间, 由于制造季戊四醇所需的原料——甲醛及乙醛均未工业化生产, 所以限制了太安的应用。大战后, 很多国家对太安进行了研究, 并逐步将其用于军事上和工业上。由于太安

①从1972年起, 美国化学文摘(CA)采用太安的系统命名法。

②也有资料报导为1894年。

独特的爆炸性能，在第二次世界大战中，太安用于制造雷管、导爆索及传爆药，也用于装填多种小口径炮弹，在硝酸酯炸药中独占鳌头。当时美国太安的年产量达6000t，德国的最高月产量达到1400t。太安(多为钝感太安)除单独使用外，还与梯恩梯、特屈儿、二硝基甲苯、硝酸铵及铝粉等制成各种混合炸药，其中最重要的是太安与梯恩梯的混合物——喷托莱特 (pentolite)。

太安是现有的最安定的硝酸酯炸药，也是最猛烈的炸药之一，其做功能力和猛度均略大于黑索今，分别约为梯恩梯的130%及150%。此外，太安的爆轰感度很高(极限药量为0.01g $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$)，临界直径很小(密度 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 时为3mm)，而且太安的制造工艺简单(工业上一般以硝酸硝化季戊四醇制得)，原料来源广泛(甲醛、乙醛及硝酸均可由碳、水、空气或石油气合成)。因而太安虽因机械感度较高和安定性比黑索今低而使其在军事上的某些应用被黑索今所取代，但人们对太安似乎仍保持很大的兴趣。在1960~1978年间，美国化学文摘收录的有关太安的文献就有360篇，包括太安的结构、性能、制造工艺、应用及分析等多个方面。

自70年代以来，各国对太安的分子结构及太安的性质进行了很多深入的研究，例如用X射线和中子衍射测定了太安中原子的位置及太安的晶体结构，用各种现代物理—化学方法测定了太安的导热系数、线膨胀系数、绝热弹性模数、电化学性能、光学性能、声学性能、表面性能及机械性能等。太安颗粒的特性，例如颗粒尺寸对太安各种性质，特别是爆炸性质的影响，也是一个引人注目的课题，文献中已经发表了好几篇这方面的报告。太安的老化性能也已列入人们的研究规划。太安的热安定性及相容性更一直是一个活跃

的研究领域,研究者们曾采用各种技术(如差示热扫描、热重量分析、化学发光等)测得了固态及液态太安热分解的大量动力学数据及太安在接近贮存温度下的分解产物,还研究了各种辐照效应(例如中子辐射、 ^{60}Co 辐射、 γ 射线辐射等)对太安稳定性的影响。近年来发表的有关太安的文献,最多的是关于太安的爆炸性能的,它们涉及太安的冲击波感度(如冲击波感度与太安粒度及密度的关系,太安结晶方向对冲击波感度的影响)、落锤感度、(包括太安单晶的真空落锤感度)、摩擦感度、冲击起爆机理、激光和光引爆太安、气体混合物爆炸引爆太安、燃烧至爆轰的转化及爆炸状态方程等,尤以冲击波引爆方面的为多。

在太安制造工艺方面,对于季戊四醇的硝化,似乎无多大进展,仍限于硝酸硝化及硝硫混酸硝化。但对太安的重结晶及超细太安、球状太安和单晶太安的制备的报导比较多,文献中比较系统地介绍了太安用丙酮重结晶的动力学,结晶条件的选择及其对产品质量的影响,连续结晶装置的设计方程,重结晶的计算机语言及数学模型等。

扩大太安的应用在近30年内取得了很大的成果。自从黑索今在很多军用方面取代了太安以后,太安的用途曾仅限于制造雷管、导爆索及传爆药,但现在已经出现了多种含太安的混合炸药,如薄片炸药(用于金属成型、包覆及硬化),低密度炸药、泡沫炸药、低爆压炸药、可模塑炸药、挠性炸药、浆状炸药、浇铸复合炸药等。此外,太安还用于以火花引爆的无起爆药雷管。太安与丙烯腈混合物的爆轰产物 N_2/CO_2 和 N_2/CO ,或太安在 O_2 中或 O_2/He 中的爆轰产物,可用为高滞止温度气体激光器。

在太安的分析测试中,已广泛采用各种现代仪器,见诸

文献报导的有紫外、核磁、质谱、极谱、薄层色谱、液相色谱、凝胶渗透色谱、差示热扫描及X射线等，其中以分光光度法应用最为普遍。

可以认为，无论从理论或从实践的角度来看，太安都是一种已为人们所充分研究了炸药，有关它的资料很多，本书将根据生产实践经验及文献资料，在下述各章中对太安的性质、制造工艺、生产过程自动控制、技术安全、应用及分析方法等，作较为详细而系统的论述。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，特别是参考了有关太安的生产工艺、安全技术、分析方法等文献，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了有关领导和同志们的帮助，在此表示衷心的感谢。

太安是一种高能炸药，在生产和使用过程中，必须严格遵守安全技术规程，防止事故的发生。本书在编写过程中，参考了有关文献，特别是参考了有关太安的生产工艺、安全技术、分析方法等文献，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了有关领导和同志们的帮助，在此表示衷心的感谢。

第二章 太安的性质

一、太安的物理性质

1. 结晶结构

太安为白色结晶，有两种晶型，即I(α)型和I(β)型(PETNI及PETNI I)。前者为正方晶系，后者为斜方晶系。最常见的稳定晶型是PETNI。130°C时，PETNI转变为PETNI I 。两种晶型的晶胞参数见表2.1。

表2.1 太安两种晶型的晶胞参数

晶 型	PETN I(22°C)	PETN II(133°C)
单晶胞长/nm <i>a</i>	0.938	1.329
<i>b</i>	0.938	1.349
<i>c</i>	0.671	0.683
每一晶胞分子数	2.0	4.0

随结晶溶剂不同，重结晶析出的太安可为针状、斜方或立方晶体，但通常易形成针状结晶。如在乙酸乙酯中重结晶，则可生成立方晶体。

根据X射线测定，太安分子中的原子间距为：C—C 0.150nm，C—O 0.137nm，O—N 0.136nm，N—O (硝基) 0.127nm。

2. 热性能

纯太安熔点为 142.9°C ，沸点为 200°C (常压)或 180°C (68.7kPa)或 160°C (2.7kPa)。太安单晶升华热为 121.8kJ/mol (根据表2.2蒸汽压数据计算所得)，熔化热为 49.5kJ/mol ；但此值随结晶方法而异。如单晶有缺陷，熔化热可降至 41.0kJ/mol 。太安的燃烧热为 2588kJ/mol ，标准生成热为 510.5kJ/mol (定容)或 539.7kJ/mol (定压)，热容为 $1.14\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ (115°C 时)或 $1.0\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ (25°C)，导热系数为 $2.5\times 10^{-1}\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。太安的线膨胀系数，对密度为 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 的聚集体，在高于室温 88°C 的范围内，其平均值为 $11\times 10^{-5}\text{K}^{-1}$ 。

3. 蒸汽压

实验测得太安在各温度下的蒸汽压见表2.2。

表2.2 太安的蒸汽压

温度/ $^{\circ}\text{C}$	蒸汽压/ Pa
97.0	0.12
110.6	0.43
121.0	1.50
131.6	5.16
138.8	9.73

有些早期文献所报导的太安蒸汽压偏高，这是因为在测定蒸汽压过程中，太安发生了解解。

在不同温度范围内，太安的蒸汽压可用式(2.1)及式(2.2)计算。

$$\log p = 14.44 - 6352/T + \log 133.3 \quad (2.1)$$

$$\log p = 17.73 - 7750/T + \log 133.3 \quad (2.2)$$

上两式中 p ——太安蒸汽压(Pa);

T ——热力学温度(K)。

式(2.1)及式(2.2)适用温度分别为323~371K及383~412K。

4. 密度

不同温度下PETNI及PETNI的结晶密度示于表2.3。

表2.3 太安结晶密度

测定方法	温度/°C	晶 型	结晶密度/g·cm ⁻³
X射线计算	22	I	1.778
X射线计算	136	II	1.716
实验测定	22	I	1.778

太安的最大压药密度可达1.74g/cm³，其装药密度与压药压力的关系见表2.4。

表2.4 太安在不同压力下的装药密度

压药压力/MPa	装药密度/g·cm ⁻³
35.5	1.575
71.0	1.638
142.0	1.710
213.0	1.725
284.0	1.740

5. 其他物理性能

太安的偶极矩为 $15.7 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$ ，它在二噁烷中的偶

极距为 $8.35 \times 10^{-3} \text{C} \cdot \text{m}$ ，在苯中为 $6.7 \times 10^{-30} \text{C} \cdot \text{m}$ 。而季戊四醇的偶极距约为 $6.7 \times 10^{-30} \text{C} \cdot \text{m}$ 。

采用激光测得的太安在694.3nm及1060nm处的光反射率分别为0.79及0.81。太安颗粒度对反射率没有什么影响，但针形结晶对光的反射性比其他晶形略差。在可见光区，太安的扩散反射率在0.9~1.0间变动。在350nm以下，反射率急剧下降。某些近似测定结果表明，太安聚集体的吸光率与其密度及厚度呈指数关系。

6. 溶解度

太安几乎不溶于水，在100g水中，在50°C及100°C时能溶解的太安量分别仅为0.01g及0.035g。太安在乙醇、乙醚、苯等中的溶解度也不大，但易溶于丙酮、乙酸乙酯、二甲替甲酰胺中。

太安在丙酮-水混合液中的溶解度见表2.5及图2-1，在各种溶剂中的溶解度见表2.6。23~25°C时在硝酸中的溶解度

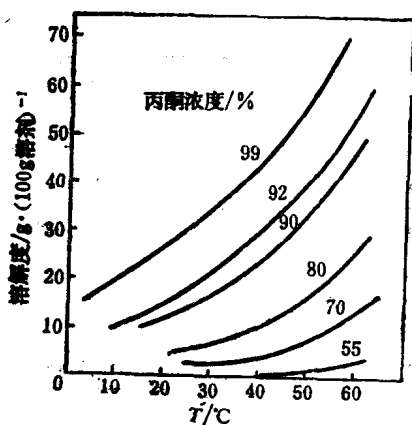


图2-1 太安在丙酮-水混合液中的溶解度

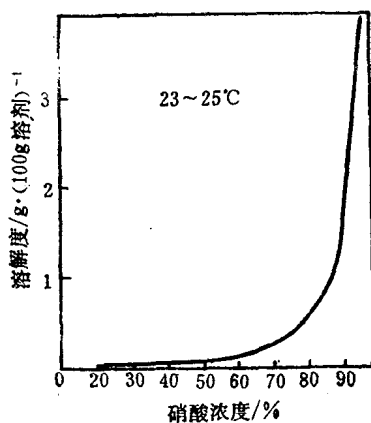


图2-2 23~25°C时太安在不同浓度硝酸中的溶解度

表2.5 太安在丙酮-水混合液中溶解度(g/100g溶剂)

溶解度	丙 酮 浓 度				
	55%	70%	80%	90%	92%
	温度/°C				
1	41	—	—	—	—
2	52	—	—	—	—
2.5	—	24.5	—	—	—
4	62	—	—	—	—
5	—	41.5	22	—	—
10	—	54.5	38.5	15	10
15	—	62	48	24.5	20.5
17.5	—	65	—	—	—
20	—	—	54	34.5	29
25	—	—	59	41.5	34
30	—	—	63	46.5	40.5
35	—	—	—	51.5	45
40	—	—	—	55	50
45	—	—	—	58.5	54
50	—	—	—	61.5	57.5
55	—	—	—	—	60.5
60	—	—	—	—	62.5

·表2.6 太安在各种有机溶剂中的溶解度(g/100g溶液)

溶剂	温度/°C									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
乙醇	0.070	0.085	0.115	0.275	0.415	0.705	1.205	2.225	3.715 (78.4°C)	—
乙醚	0.200	0.225	0.250	0.340	0.450	—	—	—	—	—
丙酮	14.37	16.43	20.26	24.95	36.16	—	42.68 (62°C)	—	—	—
苯	—	0.150	0.300	0.450	1.60	2.910	3.350	5.400	7.900 (80.2°C)	—
甲苯	0.150	0.170	0.230	0.430	0.620	1.100	2.490	3.290	9.120	30.96
乙酸甲酯	—	—	13	17	22	31	—	—	—	—
氯苯	—	—	0.35	2.8	6.1	9.2	12.3	—	—	—
三氯乙烷	—	—	0.18	0.27	0.40	0.58	—	—	—	—
四氯化碳	—	—	0.086	0.108	0.118	0.121	—	—	—	—
二氯乙烷	—	0.9	—	1.5	—	2.6	—	—	—	—
甲醇	—	—	0.46	—	1.15	—	2.6	—	—	—
β -乙氧基乙酸乙酯	—	—	1.5	4.1	7.6	11.2	14.2	—	—	—
二甲替甲酰胺	—	—	—	—	40	—	50	—	—	70
吡啶	—	—	5.436 (19°C)	—	—	8.561	—	—	—	—