



含能材料译丛

Demystifying Explosives: Concepts in High Energy Materials

神奇的含能材料

[印度] S. Venugopalan 著

赵凤起 安亭 曲文刚 杨燕京 译

ELSEVIER



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

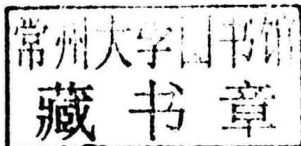
含能材料译丛

神奇的含能材料

**Demystifying Explosives:
Concepts in High Energy Materials**

[印度] S. Venugopalan 著

赵凤起 安 亭 曲文刚 杨燕京 译



国防工业出版社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字:军-2016-079 号

图书在版编目(CIP)数据

神奇的含能材料/(印)S. 维努戈帕兰(S. Venugopalan)著;赵凤起等译. —北京:国防工业出版社, 2017. 11

书名原文: Demystifying Explosives: Concepts in High Energy Materials
ISBN 978-7-118-11442-3

I. ①神… II. ①S… ②R… ③赵… III. ①化工材料
IV. ①TQ04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 267479 号

This edition of *Demystifying Explosives: Concepts in High Energy Materials* by S. Venugopalan is published by arrangement with Elsevier Inc., a Delaware corporation having its principal place of business at 360 Park Avenue South, New York, NY 100010, USA

本书简体中文版由 Elsevier Inc. 授权国防工业出版社独家出版发行。

版权所有,侵权必究。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 12¼ 字数 213 千字

2017 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 88.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

Demystifying Explosives: Concepts in High Energy Materials

Sethuramasharma Venugopalan

ISBN: 9780128015766

Copyright © 2015 Elsevier Inc. All rights reserved.

Authorized Chinese translation published by National Defense Industry Press.

《神奇的含能材料》(第1版)(赵凤起 安亭 曲文刚 杨燕京 译)

ISBN: 978-7-118-11442-3

Copyright © Elsevier Inc. and National Defense Industry Press All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from Elsevier Inc. Details on how to seek permission, further information about the Elsevier's permissions policies and arrangements with organizations such as the Copyright Clearance Center and the Copyright Licensing Agency, can be found at our website: www.elsevier.com/permissions. This book and the individual contributions contained in it are protected under copyright by Elsevier Inc. and National Defense Industry Press (other than as may be noted herein).

This edition of Demystifying Explosives: Concepts in High Energy Materials by S. Venugopalan is published by arrangement with Elsevier Inc.

注 意

本译本由国防工业出版社完成。相关从业及研究人员必须凭借其自身经验和知识对文中描述的信息数据、方法策略、搭配组合、实验操作进行评估和使用(由于医学科学发展迅速,临床诊断和给药剂量尤其需要经过独立验证)。在法律允许的最大范围内,爱思唯尔、译文的原文作者、原文编辑及原文内容提供者均不对译文或因产品责任、疏忽或其他操作造成的人身及/或财产伤害及/或损失承担责任,亦不对由于使用文中提到的方法、产品、说明或思想而导致的人身及/或财产伤害及/或损失承担责任。

Printed in China by National Defense Industry Press under special arrangement with Elsevier Inc.

This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the contract.

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签,无标签者不得销售。

**本书献给在全世界恐怖袭击爆炸中
身亡的无辜遇难者,祈祷我们的地球
能尽快摆脱恐怖主义的威胁。**

如果处理不小心,含能材料(HEMs;包括炸药、火药和烟火药剂)是非常危险的。在我超过三十年的职业生涯中,我在合成、工艺放大、生产、测试乃至废弃物处理等几乎每一个含能材料研发相关的过程中,都目睹过非常可怕的故事,其中的一些事故造成了人员伤亡。事故的伤者和死者既有刚接触含能材料的初学者,也有自负、自满的资深从业者。如果在处理含能材料时不遵守标准操作规程(SOPs)和“行为准则”,不出事的概率是非常小的。本书第八章“含能材料的安全性”中有更多的相关信息。

请牢记,含能材料与火和电一样,既可以是人类最好的朋友,也可以是人类最危险的敌人,这完全取决于你如何对待它。

译者序

本书的原版标题“Demystifying Explosives: Concepts in High Energy Materials”意为《揭开火炸药的面纱:含能材料的基本概念》,题目中的含能材料(High Energy Materials)在国内常用的名称为含能材料(Energetic Materials)。本书旨在揭开含能材料的“面纱”,对其基本原理和概念以及含能材料在各领域的应用情况等进行全面、系统的介绍。含能材料是一类蕴含着大量能量并且可以在短时间内完成能量释放的材料,从1000多年前我国发明含能材料的始祖——黑火药至今,其范畴、性能和应用领域等已经有了翻天覆地的变化。目前,含能材料主要包括炸药、推进剂、发射药和烟火药,不仅广泛用于毁伤、推进、运载和烟火等军事领域,也在石油和矿产开采、安全气囊、焊接和建筑物爆破拆除等民用领域发挥着巨大的作用。可见,含能材料是一类“神奇”的材料。

本书是 Elsevier 出版社于 2015 年出版的一本综述含能材料基本概念和发展现状的学术专著。作者 Venugopalan 教授是印度含能材料研究实验室(High Energy Materials Research Laboratory, HEMRL)的著名专家,担任实验室安全工程分部的主任,主要从事的研究领域包括复合推进剂以及含能氧化剂和黏合剂的合成。Venugopalan 教授从事含能材料研究长达 30 多年,对于含能材料的基本原理及概念有深入认识,对含能材料的发展及应用亦有深入的研究。译者认为,本书将会成为含能材料领域初学者和科研人员很有价值的参考书。

本书共 12 章。第一章主要介绍了含能材料的基本概念和分类,并回顾了人类追寻能量的历史以及含能材料的发展历程;第二章讨论了含能材料的能量性能,并介绍了燃烧热、爆热、氧平衡等与能量性能相关的参数;第三章主要从爆燃和爆轰两个方面论述了含能材料的爆炸;第四章主要阐述了含能材料的爆炸性能,并介绍了军用炸药和工业用炸药以及炸药的制造工艺;第五章主要介绍了含能材料在身管武器发射中的应用以及发射药的配方和性能参数;第六章介绍了含能材料在火箭推进中的应用,并讨论了推进剂的能量性能和燃烧性能;第七章介绍了含能材料用作烟火药剂的情况;第八章主要论述了与含能材料相关的安全问题,并给出了含能材料研究和生产中应遵循的准则;第九章主要讨论了含能材料的安全检测,并介绍了多种炸药检测的手段;第十章按照色谱技术、光谱技术、热分析技术和感度测试技术的分类,介绍了多种含能材料表征和评价方法;第十一章阐述了含能材料的发展趋势和面临的挑战;第十二章主要论述了含能材料在国民经济中的应用,尤其是在石油开采、安全气囊和建筑物爆破拆除等方面的应用。

本书第一章和第二章由赵凤起翻译,第三章和第四章由安亭翻译,第五章至第七章由曲文刚翻译,第八章至第十二章由杨燕京翻译;全书由赵凤起统稿和审校。张建侃硕士也参与了其中部分章节的翻译工作。

值此书中文译本出版之际,我们在此首先要感谢“装备科技译著出版基金”评审专家委员会的专家们,感谢他们热心的指导和宝贵的建议。此外,我们也要感谢国防工业出版社的肖志力等编辑,感谢她们为此书出版而付出的辛勤劳动。最后,我们还要感谢燃烧与爆炸技术国家级重点实验室的同仁们给予的支持与帮助。

由于译者水平有限,译文中不当之处在所难免,恳请读者不吝指正。

译者

2017年6月于西安

序 一

Vladimir E. Zarko 博士

Voevodsky 化学动力学和燃烧研究所 凝聚系统燃烧实验室
(俄罗斯科学院西伯利亚分院, 俄罗斯新西伯利亚 Institutskaya 街 3 号)

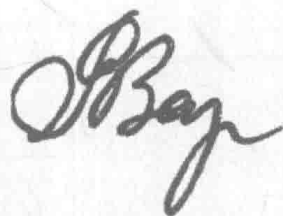
炸药、火药和烟火药剂均属于含能材料, 已有大量的文献对其进行了详细论述。但是, S. Venugopalan 教授所撰写的这本书可能是第一部阐明含能材料基本概念并着重于论述炸药、火药和烟火药剂之间关系的著作。该著作也涉及了含能材料的安全性、安全检测、仪器表征、性能评价、发展趋势及其在国民经济中的应用等方面内容。本书的作者试图使得“炸药”这个吓人的名词不再神秘, 同时在学术界以及本领域的初学者和资深从业者中普及含能材料的概念和知识。

本书的作者不仅在火药、炸药、含能材料相关物的合成方面有非常丰富的实际经验, 在火炸药的生产、质量和安全性方面也有较深的造诣。作者在书中讨论了具有实际意义的问题和相应的解决措施, 这使得该书引人入胜。俄罗斯人将这称为“获取第一手资料”。作者的表达方法则非常简洁而有趣。本书论述含能材料的定义、分类以及不同含能材料的能量性能间的关系, 并对此进行了解释。书中精心制作的图片、实例和每个章节末尾的思考题以及推荐阅读的书目对于读者更深入地理解相关概念均有很大的帮助。

本书中推进剂一章(第六章)论述了火箭发动机内弹道性能的基础以及其与推进剂配方之间的关系, 并展望了推进剂研究人员所面临的挑战。火箭学有着非常光明的未来, 许多国家都开展了雄心勃勃的空间项目, 而梦想选择推进剂这一行业的年轻人则可以从这一章中了解一些基础知识。对于冲压发动机这样利用空气中的氧气为燃料燃烧供氧的吸气式发动机来说, 若火箭进入到无氧的外层空间, 也需要使用基于含能材料的推进剂配方, 因为这样的配方有利于氧化剂和还原剂的反应及燃烧。

如果像全氮化合物这样的先进含能材料能用作推进剂的组分, 那么火箭学的发展将会更好。全氮化合物属于分解强放热的材料, 它们的分解过程中能释放出大量的能量, 从而使火箭获得很高的比冲。然而, 全氮化合物的应用也面临着许多问题, 包括安全性、成本和燃烧稳定性等。

我确信本书的内容对于学生、研究人员、科学家和技术人员理解含能材料的基本概念是非常有用的。本书的结构合理,内容充实,也是一本非常好的教学用书。



(V. E. Zarko 教授)

简介:

Vladimir E. Zarko 博士于1985年在新西伯利亚的流体力学研究所获得了哲学博士和理学博士学位,1989年成为新西伯利亚工业大学的教授。因在应用研究和教学中的卓越贡献,他获得了多枚俄罗斯宇航协会颁发的奖章。他已在含能材料领域出版了5部著作并发表了150余篇学术论文,拥有11个专利。1993年,他被推选为印度 HEMSI 的荣誉会员,并于1997年成为美国 AIAA 的副会士。1993—1994年,他受邀到伊利诺伊大学作访问学者,1997年受邀至加州大学伯克利分校作访问学者。2012年,他在以色列海法的以色列理工学院教授燃烧课程。

Vladimir E. Zarko

(教授,实验室主任)

序 二

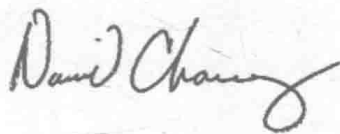
David Chavez 博士

目前,大量书籍涵盖了含能材料的不同领域,例如炸药、推进剂和烟火技术,而且相关研究开展得相当深入和细致。然而,介绍含能材料相关知识的书籍较少。本书是最早将多学科紧密联系在一起的书籍之一,对含能材料知识的学习起着重要的作用。

本书从概念角度进行了系统阐述,有助于读者打好基础。本书所涉及的内容包括:含能材料的能量、爆燃与爆炸、性能、推进技术、烟火技术、安全问题、表征和评估、趋势和挑战及应用情况。

本书列举了一些通过一步步的细致分析从而解决相关问题的实例,有助于读者更好地理解本书所涵盖的内容。每一章结尾都给出了与本书主要内容相关的问题、参考文献和推荐读物。本书章节内容清晰,作者对含能材料多样化和复杂艰涩的概念进行了精彩的阐述。

丛书计划为从事含能材料不同领域的科研人员和初学者提供一套较高水平的读物,也可以作为科研人员学习含能材料相互关联知识的参考书籍。本书对于与含能材料相关的图书馆、大学图书馆和公共图书馆有很大的收藏价值,能为含能材料知识在具有化学背景的学生间传播学习起积极的推动作用。



David Chavez 博士

美国新墨西哥州 Los Alamos 国家实验室科学家

简介:

David Chavez 博士从加州理工学院获得了荣誉学士学位,从哈佛大学获得了博士学位。他是美国国家自然科学基金和纪念 Beinecke 奖学金获得者、Los Alamos 国家实验室的 Frederick Reines 杰出奖获得者和法国 Cachan 的巴黎高等师范学院的客座教授。2011 年,他因在原子和分子科学领域的贡献而获得了 E. O. Lawrence 奖。他已在有机化学和含能材料合成领域发表了 50 余篇文章(引用达 1800 余次),在含能材料和烟火药剂方面拥有 10 项专利。

序 三

Mahadev B. Talawar 博士

能为本书撰写序言,我感到十分荣幸。本书的作者 S. Venugopalan 是我在 HEMRL 多年的资深同事。我能回想起来,由于他在含能材料领域丰富的经验和在基础与应用化学方面的雄厚背景,很多科学界的官员和工作者为解决自己在火药、炸药和含能材料相关有机合成中的疑问,都会慕名而来向他请教。他也是一名受欢迎的教师,常被邀请做各种主题尤其是含能材料主题的演讲,实验室的科学互助会对于让他写一本以含能材料各种基础概念、发展和应用为中心的书的呼声越来越高。这本书就是这些呼声与作者汗水的结晶。

作者清晰地阐明了炸药、含能材料、爆燃和爆轰等基本术语,并根据不同类别的含能材料举了例子。基于热化学理论,他阐明了含能材料的能量特性。他的见解,尤其是关于含能材料生成焓的重要性的讨论是原创性的,并且非常清晰易懂。在第二章结尾处,他用于描绘含能材料不同参数之间相互关系的网格图表,极好地描述了含能材料的基本概念。正如作者在引言中解释的那样,这本书主要是用于激发含能材料领域初学者的兴趣。拥有化学学位的大学生可以轻松地理解火药、炸药和烟火药之间错综复杂的关系并选择含能材料作为他/她的职业。这本书还涉及含能材料相关的多个方面,包括安全和安保,用于性能表征的仪器分析和性能评估,未来趋势以及含能材料在国民生产中的应用。各章的实例和每章后的思考题对于读者来说也是十分有用的。

正如我在上文中谈到的,我深刻地感受到这本书不仅适合于每一位含能材料的科学技术工作者,也可以加进化学类的学院图书馆书单中,以增加读者对含能材料重要性和视野的认识。不仅对于初学者,即使是对于含能材料领域经验丰富的研究者来说,这本书也是很有价值的,因为以更广阔的视角理解含能材料的整体对于工作来说也大有裨益。我相信这本书会成为一本独特的科学畅销书,并且在不久的将来,含能材料化学将和其他化学的分支一样,成为多数大学和学院的课程之一。



Mahadev B. Talawar 博士

印度普恩含能材料研究实验室(HEMRL)科学家

简介:

Mahadev B. Talawar 博士,含能材料研究实验室(HEMRL)科学家,普恩,印度。

Talawar 博士于1994年在印度卡纳塔克大学获得博士学位。他已从事了20余年的军用先进含能材料研究工作,在同行评审的著名国际和国内杂志上发表了150余篇材料科学领域的论文,并在国内和国际学术会议上展示了多项含能材料领域的工作。1998年,Talawar 博士在俄罗斯莫斯科门捷列夫化工大学作访问学者研究。此外,他也是美国《含能材料》和俄罗斯《燃烧、爆炸和冲击波》杂志的编委会成员并担任多个国际学术期刊的审稿人。2005—2012年,Talawar 博士在荷兰禁止化学武器(OPCW)组织担任高级化学武器观察员。这期间的工作带给他化学武器销毁方面的丰富经验。作为OPCW的成员,他访问了50余个国家,对多次销毁工作都作出了很大贡献。

前 言

炸药的历史最早可以追溯到 2000 多年以前。公元前 200 年,中国人首次制造出了第一种炸药,这种炸药被称为枪药或者黑火药。随后的将近 1400 年时间里,炸药领域的发展出现了长时间的停滞,直到公元 1249 年前后,英国修道士 Roger Bacon 才开始对黑火药进行细致的实验研究。但实际上,炸药与推进剂真正的快速发展始于 19 世纪中叶,这要归功于大量来自欧洲的研究者,其中最杰出的当属诺贝尔。本书第一章会详细介绍炸药以及推进剂发展的几个重要的历史时刻。

进入 20 世纪,在合成高能、高热稳定性以及低易损性炸药研究方面取得了里程碑式的进展。同时,用于火箭、枪炮以及其他小型武器的火药也取得了巨大的进步。此外,对于在炸药与推进剂的使用中必不可少的烟火药的研究也取得了巨大的突破。炸药、推进剂以及烟火药(统称为含能材料,HEM)领域在 20 世纪取得的这些突破主要归功于化学研究的巨大跨越,特别是有机合成、先进测量学、爆炸学和工程学的发展。然而,尽管含能材料研究领域在 20 世纪取得了巨大的进步,我们也必须认识到,这些进步与其他领域如聚合物化学、电子学以及计算机科学等取得的进步相比是远远落后的。这是由于含能材料研究的诸多约束和限制,科学工作者们必须不断面对新型含能材料发展中的安全、稳定性(热稳定性,物理稳定性以及储存稳定性等)、成本以及其他相关问题。

在含能材料领域已经出版了很多优秀的书籍、手册以及期刊(本领域的重要刊物已在第一章列出)。此外,随着网络技术的发展,大量有关含能材料的信息通过点击鼠标即可获得。但是作者始终认为仍然需要一本着眼于含能材料的各种概念而不是其详细的制备、性质以及应用方面内容的书籍。作者有超过 30 年对于含能材料的研究经历,涉及多种推进剂和炸药的生产、质量把控以及研发等。长期的研究经历使作者认识到确实需要一本能够将含能材料的相关基本概念整体梳理介绍清楚的书籍,本书正是这种理念下的产物。本书中,我们尝试为各种概念配以插图,以期能够通过这种简单的方式使阅读变得更加容易、有趣以及易于融会贯通。作者尤其希望本书能够为新加入含能材料领域的工作者们带来帮助,无论他们是从事生产、质检还是研发工作。

本书为第一版印刷,可能在某些地方会出现差错、遗漏等,欢迎读者在阅读过程中予以指正反馈,并欢迎各种关于本书的建设性意见,这对于我们下一版的修订和编辑将是非常有帮助的,作者对此表示衷心感谢。

致 谢

在本书完成之际,作者向曾给予帮助的以下人员表示真挚的谢意:R. Sivatalan 博士,一位经验丰富的炸药合成研究者,对本书进行了很好的编辑;H. S. Yadav 博士,来自 HEMRL(Pune)的退休科学家,感谢他在炸药学和冲击波方面所给予的有益讨论;Harries Muthurajan 博士和 Marine 女士在原稿的打印和格式化方面给予了大力支持;我的儿子,Vijay Venugopalan 给予了他所有的帮助和支持,保证了本书的顺利完成;也要感谢 Pune 的 HEMRL 的科学家和同事,是他们鼓励我来写这本书。

我还要感谢 Valdimir Zarko 教授(化学动力学研究所所长,新西伯利亚,俄罗斯科学院)、David Chavez 博士(美国 Los Alamos 国家实验室)和 M. B. Talawar 博士(HEMRL,Pune,印度),感谢他们对本书的评述和所提的一些建设性意见。

S. Venugopalan

作者及原书编辑简介

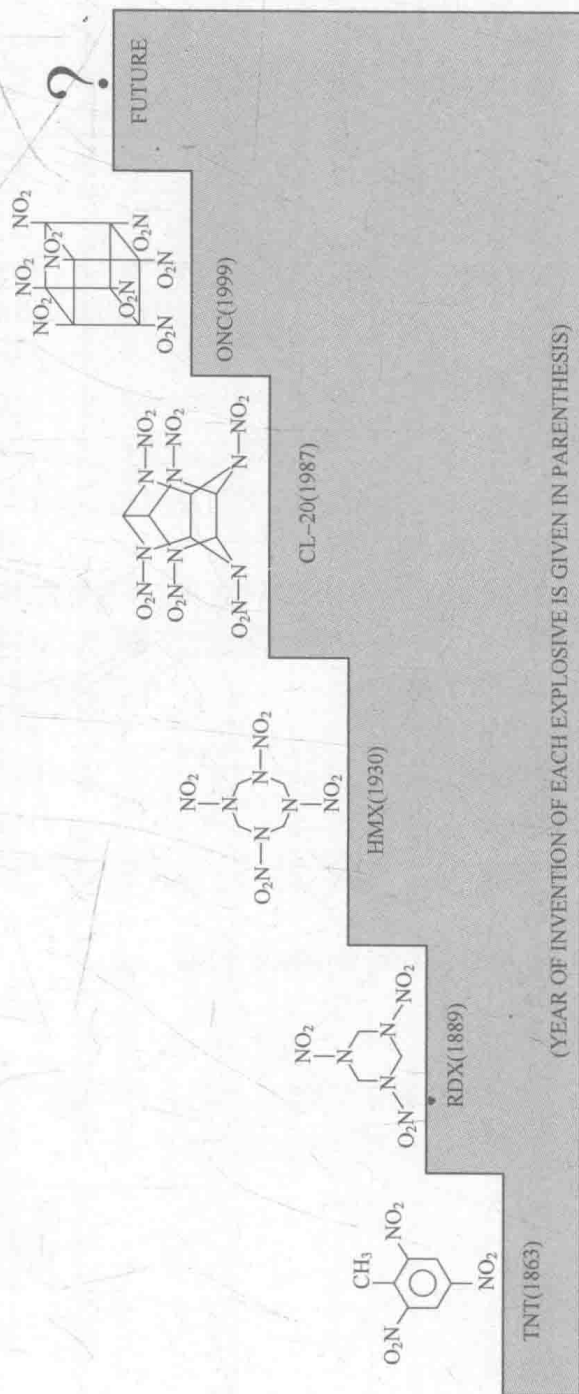


S. Venugopalan 研究生毕业于马德拉斯大学 St Joseph 学院。在从事了 5 年化学教学工作后,成为一间火炸药工厂的质检官员。随后,加入了含能材料研究实验室,作为一名科研工作者在复合推进剂方面以及含能氧化剂和聚合物黏合剂的合成方面开展了一系列工作。同时,担任了 6 年的实验室安全工程部主管。他从事含能材料的研发、生产以及质量检验方面的工作长达 32 年,具有丰富的研究经验。



R. Sivabalan 博士毕业于安那大学化学专业并加入含能材料研究实验室后,主要从事先进含能材料以及不敏感弹药的合成研究。随后,前往新加坡南阳理工大学从事博士后研究。已发表论文 40 余篇,申请专利 3 项,著作权 1 项。目前,在金奈的战斗车辆研发中心工作。

追寻高能之旅



(YEAR OF INVENTION OF EACH EXPLOSIVE IS GIVEN IN PARENTHESIS)

- TNT——三硝基甲苯
- RDX——环三亚甲基三硝胺
(研发炸药)
- HMX——环四亚甲基四硝胺
- CL-20——六硝基六氮杂异戊兹烷
(中国湖20)
- ONC——八硝基立方烷

缩 写 词

ADN:二硝酰胺铵

AMATOL:40% 硝酸铵和 60% 三硝基甲苯的混合物

AN:硝酸铵

ANFO:硝酸铵燃料油

AP:高氯酸铵

BAMO:双(叠氮甲苯)氧丁环

BDNPA:双(2,2-二硝基丙醇)缩乙醛

BDNPF:双(2,2-二硝基丙醇)缩甲醛

BNCP:双(5-硝基-2H-四唑-N)四氮络钴(III)高氯酸盐

BTATz:3,6-双(1-氢-1,2,3,4-四唑-5-氨基)-1,2,4,5-四嗪

Bu-NENA:正丁基硝酰氧乙基硝胺

BTTN:1,2,4-丁三醇三硝醇酯

CD(Nozzle):收敛-扩张(喷管)

CE:爆破炸药(也称特屈儿)

CL-20:中国湖-20(也称 HNIW)

CTPB:端羧聚丁二烯

CYCLOTOL:RDX(77%)和 TNT(23%)的混合物

DBP:邻苯二甲酸二丁酯

DDT:燃烧转爆轰

DMNB:2,3-二甲基-2,3-二硝基丁烷

DNAN:2,4-二硝基茴香醚

DNB:二硝基苯

DNT:二硝基甲苯

DOP:邻苯二甲酸二辛酯

DPA:二苯胺

2N-DPA:2-硝基二苯胺

DSC:差示扫描量热法

DTA:差热分析

ECD:电子捕获探测器

EGDN:乙二醇二硝酸酯