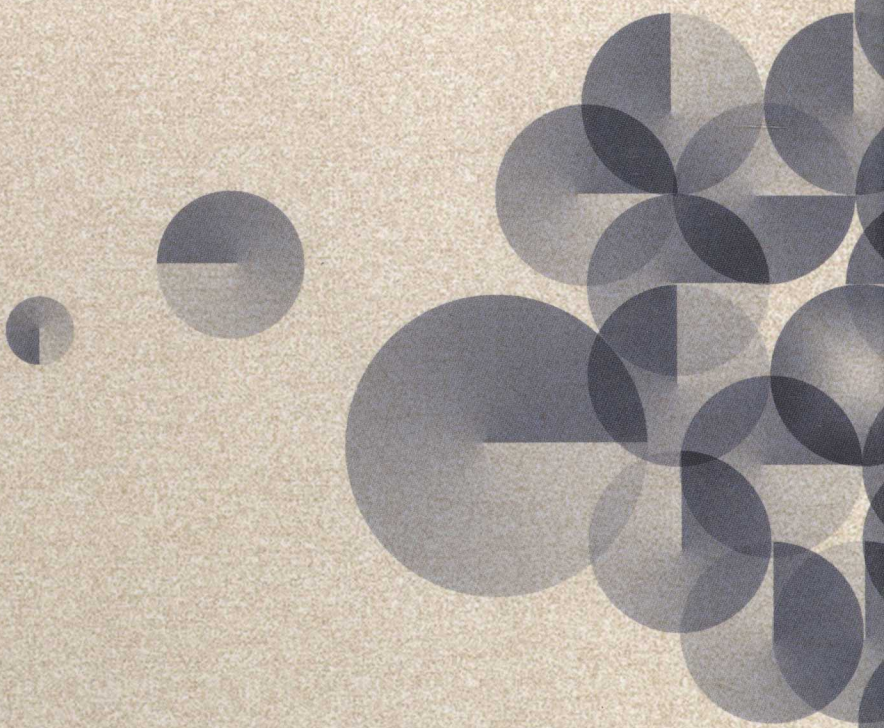




含能材料 暨阻燃材料研究五十年

——欧育湘教授八十华诞文集

欧育湘教授文集编委会 编



科学出版社

含能材料暨阻燃材料研究五十年

——欧育湘教授八十华诞文集

欧育湘教授文集编委会 编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书收录了欧育湘教授的 40 篇中英文论文,分为芳香及相关化合物研究、高密度含能化合物研究和阻燃材料研究等几部分。欧育湘教授一生从事含能和阻燃这两类特殊材料的研究;在含能材料领域中,始终秉持“多氮、致密、高能”的理念,在芳香和笼状高能量密度化合物的设计、合成和性能研究中做了大量工作;在阻燃材料研究中,欧育湘教授作为先行者,不仅积极介绍、宣传新产品、新技术、新法规,也努力研发和推广新产品、新技术,更积极开展阻燃材料的设计、合成、性能和应用研究。相信本书能给相关学科的读者,特别是青年学生和科研工作者以启发和借鉴。

图书在版编目 (CIP) 数据

含能材料暨阻燃材料研究五十年:欧育湘教授八十华诞文集/欧育湘教授文集编委会编. —北京:科学出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-03-045749-3

I. ①含… II. ①欧… III. ①功能材料-文集 ②阻燃剂-文集
IV. ①TB34-53 ②TB39-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 225210 号

责任编辑:张海娜 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:张 倩 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

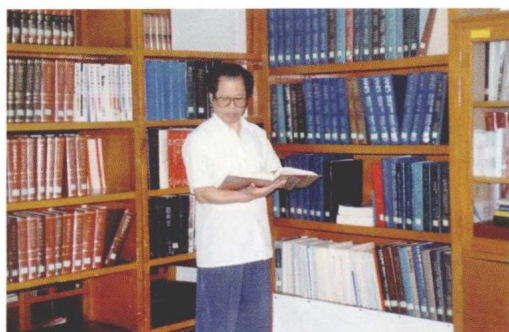
2015 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 9 月第一次印刷 印张:17 3/4 彩插:2

字数:426 000

定价:298.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



欧育湘教授在查阅资料



欧育湘教授在广州金发科技股份有限公司



师生合影(一)



师生合影(二)



欧育湘教授与爱人陆风娣副主任医师



欧育湘教授夫妇与孙女合影



欧育湘教授与中日含能材料与环境
国际会议代表合影



欧育湘教授出席中日含能材料与环境国际会议



北京国际阻燃材料与技术会议合影



第一届国际烟火、推进剂学术会议合影



在北京主持第一届国际阻燃会议暨展览会



在国际学术会议上与国外专家交流



国际知名杂环化学家 A. R. Katritzky
受聘为北京理工大学名誉教授



欧育湘教授指导博士生实验



欧育湘教授与学生感恩聚会合影



欧育湘教授与来华讲学专家合影



师生游园合影(一)



师生游园合影(二)



师生游园合影(三)



师生游园合影(四)



1989 年度含能材料论证会暨火炸药专家讨论会合影



国家出版基金项目《现代兵器火力系统》丛书编委会合影



院士局专家走访广州金发科技股份有限公司

欧育湘教授文集编委会

主编：李建军

编委：李加荣 王子平 刘进全
赵 毅 吴玉凯 陈 宇

序

含能材料是国民经济特别是国防建设上有着特殊作用和地位的功能材料,含能材料的研究局限多、危险大、进步艰难。欧育湘教授一生致力于高能、钝感、致密含能化合物的合成、表征、应用及其相关研究,取得“高能量密度材料技术研究”国防科技进步一等奖等成果,曾任兵器工业火炸药教学指导委员会副主任委员、火炸药学会常委、兵总火炸药专家委员会委员、炸药系列教材编审委员会主任委员,曾获 1978 年科学大会奖、兵器工业优秀教材二等奖、北京理工大学科技进步特等奖,培养了数十名当前已成为本领域研究中坚的中青年学者,为我国的火炸药及国防事业做出了杰出贡献。

阻燃材料是重要的建筑、防护材料,在国民经济和人民的日常生活中发挥越来越重要的作用。欧育湘教授充分利用含能材料的基本原理和军工技术,走军民结合的道路,成为我国阻燃材料研究的开拓者和阻燃科学的奠基人之一,两度担任中国阻燃学会主席和北京理工大学阻燃材料研究国家专业实验室主任,为国内阻燃材料的研究、发展、应用和产业化做出了特殊贡献。他指导学生设计合成的磷系笼状化合物 Trimer 的性能比一般的磷系阻燃剂远为杰出,已作为主要添加组分成功用于国防耐热阻燃涂料。

我和欧育湘教授相识于 20 世纪 80 年代末,我们一起指导过多名研究生,从事乳化炸药和民爆器材等研究,我们的合作十分融洽、相得益彰。

欧育湘教授一生教书育人,著书立说,发表有关含能材料和阻燃材料领域的文献 300 余篇,著作 40 余部,培养博士和硕士研究生 50 余人,也曾在不同的管理岗位尽职尽责。欧育湘教授虽曾获国防科技进步一等奖等奖项,并两次入选中国工程院院士有效候选人,但为人谦和、低调,从不张扬,至今仍在进行专业著述。

值欧育湘教授八十华诞之际,该书汇聚了欧育湘教授五十年来从事含能材料暨阻燃材料研究的精华,相信能给相关读者展示我国在这两类材料的研究脉络,为未来的发展提供有益的参考。

中国工程院院士
中国工程爆破协会理事长
俄罗斯圣彼得堡工程科学院院士



2015 年 7 月于北京

自序

我祖籍江西吉安,1935年农历十二月廿八日生于湘中古城——新化县。在动荡和新旧交替的年代我渡过了少年时光。1954年9月,我带着羞涩和惊喜,幸运地考入了当时的北京工业学院(现北京理工大学)化学工程系,成为一名大学生。更令我颇感意外的是我的本科专业是炸药学,从此我的一生就与这个特殊的专业紧密联系在一起,成为中华人民共和国火炸药和国防事业的终身奉献者。1959年炸药专业毕业后留在母校任教,至2006年七十退休,而今已年届耄耋。

我毕生唯一的工作单位是北京理工大学。在这所美丽的校园里,我度过了平凡而有意义的62年。这里是我成长、成熟、工作和奋斗过的地方,我对这里的一切充满了感激和怀念。七十年来,北京理工大学秉承延安自然科学学院的传统和精神,在军工、国防领域为祖国安全和世界和平做出了巨大贡献,能有幸成为这所伟大学校的一份子,并为这所学校的建设和发展奉献了自己的微薄力量,使我感到无比的自豪和光荣。

在这62年的漫长岁月中,我很少离开母校,只有几次短暂的别离。20世纪60年代末,我被借调出校,参加一个含能材料厂的建设。在选址、筹建、落成和投产成功的数年经历中,很好地培养和丰富了我的实践经验。另一次是20世纪70年代末,我有幸作为祖国改革开放后的第一批访问学者,受派到英国和美国,从事有机合成化学及物理有机化学研究,师从国际杂环化学大师A. R. Katritzky教授。国外的访学经历不仅使我的业务能力得到显著提高,更大大开扩了我的眼界。A. R. Katritzky教授于1994年访问我校,并成为我校著名的名誉教授。至今,我校已有数名学者到大师的课题组开展了博士研究、博士后研究、访问学者研究及相关交流。

我的科研方向主要是含能材料和阻燃材料,具体而言是新含能化合物及阻燃化合物的合成。关于含能材料,我和我的同事及研究生始终秉持多氮、高能化合物的研究方向,合成的新结构(包括中间体)可能数以百计,但这些新化合物都未获得实际应用,只有一定的理论意义,仅供后来者参考。倒是有一些国外先于我们合成、但相应的合成工艺尚处于保密的含能化合物,经我们摸索出优化条件而合成制得,有极少数曾获得应用或正在进行应用研究。关于阻燃材料,我们做了大量国外新产品、新技术、新法规等的介绍和宣传工作。所合成的新结构有限,不过有一个是值得提的,就是我们称之为Trimer的磷系笼状化合物。Trimer是我们自行设计、率先合成、具有完全自主知识产权的产品,国外至今未见报道。该化合物及其产品工艺已获中国发明专利授权,正准备申报奖项。Trimer具有比一般磷系阻燃剂远为杰出的实用性能,作为主要添加组分已成功用于国防耐热阻燃涂料,且该涂料也已获中国发明专利。与含能化合物不同,我们合成的绝大部分阻燃化合物是国外已有的,只是当时合成工艺尚未公开。不过我们制备的这些阻燃剂不少已工业生产,为国内广泛应用,甚至远销国外,至今仍在市场畅销。其中几个已获得省、部级鉴定成果。

教师是我毕生唯一的职业。当然,在从教、科研相结合的同时,我也积极著述。毫无疑问,著述也是为了更好地教书育人,而且这也是培养研究生特别是博士生所不可或缺的。

我和我的研究生著译颇丰,但除了《炸药学》、《高能量密度化合物》及《阻燃剂——制造、性能与应用》三部中有我们的部分科研成果外,其他著作都是本学科前人取得的理论及实际结果,我们只是将这些结果系统化、条理化、全面化,使之更顺乎人们的逻辑思维,以利于学习。至于我们的很多译作,是为了介绍国外的科研情况,便于国内的研究者参考。

回首往事,审视平生,我一生颇为满意的成就是培养了 50 名左右的研究生(大部分是博士),我与他们之间的师生之情是我一生最大的宝贵财富。如今,我的研究生大都已人到中年,他们中有享受国务院特殊津贴的知名专家、省部级青年科研专家、新世纪学术带头人,还有国有企业的总工程师、上市公司的董事长,也有单位的普通员工、仍在艰辛创业的默默奋斗者,其成就有高有低,有的是省级优秀科技创新团队负责人,有的获得过国家发明或国家科技进步奖,有的已成了事业的中流砥柱、学科的精英,有的已是教授、博导;也有一些尚在默默无私地奉献,蓄势待发,期于大成。有的研究生已定居海外,成绩斐然,且一直致力于中外科技合作交流。看到他们在不同的岗位辛勤努力、默默奉献、开花结果,作为导师,我感到无比的欣慰和高兴!当然,他们的业绩主要是他们自身发奋图强、不断进取的结果,但他们的成功和成就也正是为师者最大的愿望。退休之后,我常回忆起和研究生共同渡过的难忘时光:一起艰难求索的科研历程,论文答辩前的日日夜夜……多少往事,历历在目。每每想起这些,总感到心情无比愉悦,我的付出值了!现在,我虽已年届八十,但我一直和我的研究生保持密切联系,不管我有什么困难,在京的研究生就像我的孩子一样总是招之即来,为我解困排忧。有些在外地和海外的研究生,虽然往来不十分频繁,但仍保持联系。尽管山川异域,但日月同天,思念永驻心中!

我从 18 岁进入北京理工大学,已经走过了 62 年。我的一生堪称平顺,因为祖国和人民为我提供了良好的学习、科研、工作和生活条件及环境,祖国给予我的甚多,我报效祖国的甚少。今天,我心怀感恩,过着幸福、宁静、平和的晚年生活,青山夕照,满目盛景!我当十分珍惜今天的幸福时光,豁达开朗,努力做到福寿绵长。期待学生们的事业如日中天,家庭和谐、美满,幸福万年长!祝愿伟大的祖国更加繁荣昌盛,政通人和,国泰民安,更加美好!

欧育湘

2015 年 7 月 23 日于橡树园

前 言

转眼之间,尊敬的欧育湘教授就要迎来八十华诞。回顾欧老师求学、从教和科研的经历,严师、慈父的形象历历眼前。在我们师从恩师求学、深造的过程中,遇到专业知识的疑点、难点时,欧老师亲自给我们解惑,使我们进步;实验中遇到麻烦、困惑时,欧老师手把手地传教,让困难迎刃而解……我们忘不了在北京理工大学五号教学楼 214、219 和阻燃实验室的日日夜夜,寒冬酷暑赶论文,尤其是节假日别人度假和休息、而自己只能做实验,且偏偏进展不顺、死活不出结果心烦意乱时,欧老师常陪伴和鼓励我们,给予建议,指点迷津,帮我们克服一个又一个困难,从无序到有序,从迷茫、失望到茅塞顿开、走向成功;当我们怀揣忐忑,将一篇篇不成熟的论文交给欧老师时,他从不指责我们,而是细心指导和认真修改。当然,我们也忘不了日常生活中恩师对我们的关怀和照顾,除了父母,我们生活中的诸多问题,甚至恋爱中的纠结和麻烦都没少向欧老师倾诉和请教,每当此时,欧老师总是认真倾听,告诫我们不要急,慢慢来。如今,欧老师的学生在各行各业努力工作、辛勤奉献、做出成绩,是对老师最好的回馈。

欧老师教学严谨、科研认真,敬业、奉献,与世无争是他最好的品质体现。欧老师与千千万万师长一样,在教育战线辛勤劳作、默默奉献。从踏入北京工业学院(北京理工大学前身)炸药专业求学开始,欧老师就与火炸药结下了不解之缘;20 世纪 80 年代末、90 年代初,在国家行业调整和发展需求的牵引下,欧老师和同仁一道,积极开拓新的研究领域——阻燃材料。在两种材料的研究中,欧老师和同仁积极进取,不断创新,建树颇丰。

欧老师曾任原兵器工业部化工教学指导委员会副主任委员、火炸药学会常委、火炸药专家组成员。1989 年与同行发起并筹建了我国第一个阻燃材料国家专业实验室,被任命为该实验室主任;曾任中国阻燃协会主任委员、银光化工集团独立董事、广州金发科技股份有限公司客座研究员、国内 6 家阻燃剂及阻燃材料公司的技术顾问、国内多家期刊的副主编和编委。“高能量密度材料技术研究”获国防科技进步一等奖,两次成为中国工程院院士有效候选人。

国内外类似的恩师寿庆文集很多,如何做出特色,使之既有纪念意义又有学术价值就成了编委会思考的问题。在通览欧老师的学术论文、著作的基础上,发现欧老师的含能材料研究历程可以找到贯穿其中的主线,即“多氮、致密、高能、钝感芳香化合物”和“氮杂、致密、高能笼型化合物”,这也是含能材料过去数十年研究的脉络。欧老师的建树主要体现在:20 世纪 80 年代与同仁一道明确提出“多氮、致密、高能、钝感芳香含能化合物”的研究思路,在随后的三十多年研究中,欧老师和他的弟子们一道沿着此方向努力前行。今天,各种新型高氮含能材料如 CL-20、ONC、TNAZ、AND、LLM-105、ANBDF、氮原子簇、高氮离子盐等相继出现,其中也有欧老师及同仁的点滴贡献。1997 年,我们总结提出的新型高能量密度化合物设计研究的建议对含能化合物的设计很有借鉴作用。在阻燃材料的研究中,欧老师不仅积极介绍、宣讲国外的新产品、新技术、新法规,也努力研发和

推广新产品、新技术,更积极开展阻燃材料的设计、合成、性能和应用研究,做了大量工作。

汇编本书的目的有二:一是总结和整理欧老师一生的研究成果,希望大家在汇总了解欧老师主要学术成就的同时也能看到欧老师学术思路的萌芽、成型和发展;二是以此作为激励和鞭策我们及后来者应该像欧老师这样的辛勤耕耘者一样,不管在什么岗位,哪怕是国家、特别是国防迫切需要的、时刻都存在高危险的火炸药领域,都应该兢兢业业、刻苦努力、淡泊名利、奋发贡献。当然,这也将作为我们全体弟子回馈恩师的一份礼物,希望能给恩师添彩!

感谢各位师兄弟和友人的建议和帮助。在汇编过程中,得到郝鹏飞、路红燕、刘明星、杨俊娟、柴洪新、杨德利、张盼、柳安军、张凯、冯雪、徐敏、庄晓磊、傅蕾、郑凯、姚欢、邱发东、闫小惠、牛勇辉、赵章涛等博士、硕士的帮助,在此一并致谢。本书由李加荣教授负责统稿,经欧育湘教授过目。本书汇编论文充分尊重原文,但由于论文来自于不同刊物,为了统一格式和对原文错误的必要修订,编者做了适当的修正。此外,限于编者水平,疏漏和不妥之处在所难免,希望读者批评指正。

欧育湘教授文集编委会

2015年7月7日于北京理工大学

缩 略 语

7201	2,4,6,8,10,12-六硝基-2,4,6,8,10,12-六氮杂三环[7.3.0. ^{0^{3,7}}]十二烷二酮-5,11
7507	1,3,3,5,7,7-六硝基-1,5-二氮杂环辛烷
8401	2,4-二硝基-8,11-二硝亚胺基-2,4,6,8,10,12-六氮杂三环[7.3.0. ^{0^{3,7}}]十二烷
ABS	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯
ADN	二硝酰胺铵
AEO	N,N'-双(2-叠氮乙基)草酰胺
ANBDF	7-氨基-6-硝基苯并二氧化呋咱
ANPZ	2,6-二氨基-3,5-二硝基氧化吡嗪
APP	聚磷酸铵
AT	3-氨基-1,2,4-三唑
avEHC	平均有效燃烧热
avHRR	平均热释放速率
avMLR	平均质量损失速率
BCSDX	1,3,5,8,10-五硝基-1,3,5,8,10-四氮杂双环[5.3.0]癸烷
BDP	双酚 A 双(二苯基)磷酸酯
Bis-HMX	2,4,6,8-四硝基-2,4,6,8-四氮杂双环[3.3.0]辛烷
CB[6]	葫芦脬
CN-329	2,4,5,10-四氯-3,9-二磷螺环[5,5]十一烷-3,9-二氧-3,9-二(三聚氰胺盐)
CL-20, HNIW	六硝基六氮杂异伍兹烷
D-14	四硝基吡啶
DAAB	O,O'-二氨基偶氮苯
DAAF	二氨基偶氮呋咱
DAF	3,4-二氨基呋咱
DAOAF	二氨基氧化偶氮呋咱
DBBDP	4,4'-二羟基联苯双(二苯基磷酸酯)
DCEPP	O,O'-二(2-氯乙基)-O''-[2-双(2-氯乙氧基)磷酰基]丙基磷酸酯
DMF	N,N-二甲基甲酰胺

DMSO	二甲基亚砷
DNBA	3,5-二硝基苯甲酸
DNOAF	3,3'-二硝基-4,4'-氧化偶氮呋咱
DNTO	1(4),3-二硝基-1,2,4-三唑酮-5
DOPO	9,10-二氢-9-氧杂-10-磷杂菲-10-氧化物
DTA	差热分析
DTT	2,14 二氧代-5,5,11,11-四硝基-3,7,9,13-四氧杂十五烷
EP	环氧树脂
HAIW	六乙酰基六氮杂异伍兹烷
HBIW	六苄基六氮杂异伍兹烷
HCD	1,3,3,5,7,7-六硝基-1,5-二氮杂环辛烷
HEDM	高能量密度材料
HHMX	六环奥克托今
HMX	奥克托今
HNIDA	六硝基六氮杂金刚烷
HNIW,CL-20	六硝基六氮杂异伍尔兹烷
HNW	六硝基六氮杂异金刚烷
HNS	2,2',4,4',6,6'-六硝基二苯乙烯(六硝基氏)
HNHAW	六硝基六氮杂伍兹烷
KBTFMSA	双(三氟甲基磺酰)胺钾
KTFMSA	三氟甲基磺酰胺钾
LLM-105	1-氧-2,6-二氨基-3,5-二硝基吡嗪
CL-14	二氨基二硝基苯并呋咱或 5,7-二氨基-4,6-二硝基苯并呋咱-1-氧
MA	三聚氰胺
MCA	三聚氰胺氰脲酸盐
NEPE	硝酸酯增塑聚醚
NTO	3-硝基-1,2,4-三唑-5-酮
ODOPB	10-(2',5'-二羟基苯基)-9,10-二氢-9-氧杂-10-磷杂菲-10-氧化物
OMMT	有机蒙脱土
ONC	八硝基立方烷
PAMFIW	五乙酰基一甲酰基六氮杂异伍兹烷
PAT	3-苦胺基-1,2,4-三唑
PBDD	多溴代二苯并噁烷
PBDF	多溴代二苯并呋喃

PC	聚碳酸酯
PEPA	1-氧基磷杂-4-羟甲基-2,6,7-三氧杂双环[2.2.2]辛烷
PNMCIW	五硝基-一氯乙酰基六氮杂异伍兹烷
PNMFIW	五硝基-一甲酰基六氮杂异伍兹烷
PP	聚丙烯
prHRR	最大热释放速率
PVC	聚氯乙烯
PYX	2,6-二苦氨基-3,5-二硝基吡啶
RDP	间苯二酐双(二苯基磷酸酯)齐聚物
RDX	黑索今
TACOT	四硝基二苯并-1,3a,4,6a-四氮杂戊搭烯
TADBIW	四乙酰基二苄基六氮杂异伍兹烷
TADCIW	四乙酰基二氯乙酰基六氮杂异伍兹烷
TADFIW	四乙酰基二甲酰基六氮杂异伍兹烷
TADiBIW	四乙酰基二异丁酰基六氮杂异伍兹烷
TADNIW	四乙酰基二亚硝基六氮杂异伍兹烷水合物
TADNSIW	四乙酰基二亚硝基六氮杂异伍兹烷
TAIW	四乙酰基六氮杂异伍兹烷
TATB	三氨基三硝基苯
TATBIW	三乙酰基三苄基六氮杂异伍兹烷
TCEP	三(2-氯乙基)磷酸酯
TcHMX	三环奥克托今
TCPP	三(2-氯丙基)磷酸酯
TDBDE	四(2,3-二溴丙基)乙二醇双磷酸酯
TDCPP	三(二氯丙基)磷酸酯
TDN	2,2,8,8-四硝基-4,6-二氧杂-1,9-壬二醇
TDTOE	1,2-二(5,5'-二溴甲基-1,3,2-三氧-2-磷杂己烷基)乙烷
TGA	热重分析
THF	四氢呋喃
THR	总释热量
TNAD	1,4,6,9-四硝基-1,4,6,9-四氮杂双环[4,4,0]癸烷
TNAZ	1,3,3-三硝基氮杂环丁烷
TNBIW	四乙酰基-二(对氯苯甲酰基)六氮杂异伍兹烷
TNDAPIW	四硝基二(α -叠氮丙酰基)六氮杂异伍兹烷

TNDAPIW	四硝基二(α -叠氮丙酰基)六氮杂异伍兹烷
TNDCIW	四硝基二氯乙酰基六氮杂异伍兹烷
TNGPA	双(2,6,7-三氧-1-磷-双环[2,2,2]辛烷-1-氧甲基)磷酸酯三聚氰胺盐
TNGU	2,4,6,8-四硝基甘脲
TNT	三硝基甲苯
TNTC,K-6	1,3,5-三硝基-六氢化-1,3,5-三嗪-2-酮
TO	1,2,4-三唑酮-5
TPDBIW	四丙酰基二正丁酰基六氮杂异伍兹烷
TPIW	四丙酰基六氮杂异伍兹烷
Trimer	三(1-氧代-1-磷杂-2,6,7-三氧杂双环[2,2,2]辛烷-4-亚甲基)磷酸酯
TTI	点燃时间
XPS	X 光电子能谱