



乳
化
炸
药

冶金工业出版社

乳 化 炸 药

汪旭光 著

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书简述了乳化炸药的基础理论——表面活性剂和乳化液，系统地阐述了乳化炸药的组分与性质、配方设计与制备工艺、性能特点及其影响因素、提高乳化炸药稳定性的技术途径、乳化炸药的使用技术与典型实例，并讨论了乳化炸药的理化性能和稳定性的测试技术。

此书可供从事工业炸药和工程爆破的研究、设计、生产或施工的有关工程技术人员和工人参考，也可作为有关高等院校的教学参考书。

乳 化 炸 药

汪旭光 著

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 12 7/8 字数 338 千字

1986年2月第一版

1986年2月第一次印刷

印数00,001~2,420册

统一书号：15062·4382 定价3.50元

序 言

乳化技术在工业炸药中的应用与发展导致了油包水型乳化炸药的诞生。近二十年来，乳化炸药在工业炸药领域里已成为引人注目的炸药之一，受到了国内外工业炸药界的普遍重视。

1980年以来，著者曾应云南省金属学会等有关单位的邀请，在云南、河北、四川等地举办的训练班上，以“矿用炸药的发展与新型炸药”为题，结合自己从事工业炸药，特别是乳化炸药的研究实践与体会，讲述了矿用炸药的技术进展、乳化炸药的基本理论、品种配方、性能特点及其生产使用和测试技术等。本书就是在上述讲稿的基础上，进一步补充著者和同事们从事乳化炸药研究的成果和实践经验，同时引入了国内外有关文献资料，扩充整理编写而成的。毫无疑问，在乳化炸药这样有深入开展研究前景的领域中不断涌现出新的技术成果是可想而知的，要想将这些新成果都及时收入本书，是十分困难的。

乳化炸药在我国已取得了可喜的进展，七十年代以来，已有一批化工厂和矿山陆续开始了乳化炸药的生产、销售和使用。不难想象，乳化炸药的广泛应用，必将引起我国工业炸药生产和使用技术的变化，甚至用户也会有较大的变化。然而也应看到，在乳化炸药的广泛使用过程中，无论是乳化炸药本身的品种、性能，还是生产和使用技术都需要进一步完善。著者编写本书的目的之一，就是为了给同行们在进一步开展研究中提供一些线索。

全书共分九章。第一章综合叙述了工业炸药的主要技术进展，有利于读者了解全貌；第二、三章简要讨论了乳化炸药的基础理论——表面活性剂和乳化液；第四章阐述了乳化炸药的各种组分及其作用。这三章是作为认识乳化炸药本质的基础，也为后面的讨论提供了依据。第五、六、七三章分别讨论了乳化炸药的配方与制备工艺、性能特点与影响因素以及稳定性问题。这

些内容正是进一步深入研究乳化炸药的规律，综合提高乳化炸药性能和稳定性应该知道的。第八章介绍了乳化炸药的使用技术和一些典型实例，它是影响和促进乳化炸药发展的另一个重要方面，无论是爆破工程师还是炸药工程师都需要掌握它。在第九章中，为了节省篇幅，只简要叙述了乳化炸药的一些理化性能和稳定性的测试技术，而远非是乳化炸药测试技术的全貌。

各章中列出了一些参考文献，对于需要进一步了解某些问题的读者，可能有所裨益。

由于著者学识浅薄，书中错误之处在所难免，请读者指正。

著者对于那些支持和帮助完成本书的领导和同志们，特别是袁经纬先生校阅了本书第二、三章，谨致衷心的感谢。

著 者

1985年5月10日

目 录

第一章 概论	1
第一节 工业炸药的技术进展	1
第二节 乳化炸药的定义与品种	4
一、乳化炸药的定义	4
二、乳化炸药的品种	8
第三节 乳化炸药的发展	10
第二章 表面活性剂	16
第一节 表面活性与表面活性剂	16
一、表面活性	16
二、表面活性剂	21
三、非离子表面活性剂	31
第二节 表面活性剂的作用及原理	38
一、润湿与渗透作用	38
二、增溶作用	39
三、起泡作用	43
四、乳化与去污作用	45
第三节 表面活性剂的化学结构与性质的关系	46
一、关于HLB值	47
二、表面活性剂的分子结构、分子量与其性质之间的关系	58
三、表面活性剂的疏水基团的种类与其性质间的关系	61
第三章 乳化液的概述	65
第一节 乳化液的基本概念	65
一、定义	65
二、乳化液的种类	67
三、影响乳化液类型的因素	71
第二节 乳化液的物理化学性质	74
一、对温度的依赖关系	74

二、粒子大小及其分布	75
三、粘度	77
四、光学性质	82
五、电性质	83
第三节 微乳化液	84
一、微乳化液的基本概念	84
二、微乳化液的性质	85
三、微乳化液的形成机理	87
四、形成微乳化液所需乳化剂量	89
第四节 乳化技术	89
一、制备乳化液的技术	89
二、乳化设备	96
三、制备乳化液时应考虑的几个影响因素	104
第四章 乳化炸药的组分及其作用	110
第一节 形成连续相的油相材料	110
一、油相材料的作用	110
二、油相材料的选择	112
三、常用油相材料的种类与技术性能	113
第二节 形成分散相的氧化剂水溶液	124
一、氧化剂水溶液的作用	124
二、氧化剂水溶液的选择	126
三、几种常用氧化剂盐的性能	129
第三节 密度调整剂	141
一、概述	141
二、密度调整剂	142
第四节 油包水型乳化剂	153
一、乳化剂的选择	153
二、几种常用的乳化剂	158
第五节 其它添加剂	167
一、晶形改性剂	167
二、乳化促进剂	169
三、乳胶稳定剂	170

第五章 乳化炸药的配方与制备工艺	176
第一节 氧平衡及其计算	176
第二节 乳化炸药的配方设计	181
一、乳化炸药的配方设计原则	181
二、乳化炸药的配方设计要点	184
三、乳化炸药的配方举例	184
第三节 药卷与袋装产品的生产工艺	184
一、概述	184
二、连续乳化生产工艺	186
三、间断乳化生产工艺	198
第四节 散装产品的生产工艺	207
一、概述	207
二、散装产品的生产工艺举例	209
第五节 乳胶与铵油炸药掺合产品的生产工艺	216
一、概述	216
二、乳胶与铵油炸药掺合产品的生产工艺实例	221
第六章 乳化炸药的性能与其影响因素	226
第一节 理化性能及其影响因素	226
一、外观状态及其控制	226
二、密度及其影响因素	227
三、粒子大小与分布	232
四、抗水性	240
第二节 爆炸性能及其影响因素	241
一、爆轰敏感度	241
二、爆速与猛度	245
三、殉爆距离	257
四、热化学能	259
五、沟槽效应	263
六、临界直径	267
第三节 安全性能与储存稳定性	268
一、安全性能	268
二、有毒气体	271

三、储存稳定性	273
第七章 乳化炸药的稳定性问题	276
第一节 乳化液稳定性理论的概述	276
一、早期的乳化液稳定性理论	276
二、乳化液稳定性理论的近代发展	281
三、乳化液稳定性的电理论	288
四、固体粉末的稳定作用	291
五、乳化液的分层、变型与破乳	293
第二节 乳化炸药稳定性的试验结果	297
一、基质粒子大小的观测结果	297
二、界面膜强度、外相粘度对稳定性影响的试验结果	298
三、不同油相材料对稳定性影响的试验结果	299
四、乳化剂对稳定性影响的试验结果	301
五、水质和水分含量对稳定性影响的试验结果	302
六、添加剂对稳定性影响的试验结果	303
七、工艺条件对稳定性影响的试验结果	305
第三节 提高稳定性的技术途径	309
一、降低氧化剂盐水溶液的析晶点，抑制晶体的析出和增长	309
二、恰当选择油相材料，控制外相的粘度	311
三、合适的乳化剂种类及其含量	312
四、选择适当的添加剂	313
五、稳定工艺条件	314
第八章 乳化炸药的应用实例	316
第一节 概述	316
一、炮孔中的爆炸作用	316
二、最优爆破	317
三、影响乳化炸药选择的技术要点	319
第二节 在露天爆破作业中的应用	324
一、乳化炸药袋装品或散装品在龙烟铁矿等露天矿的应用	324
二、乳胶与粒状铵油炸药掺合产品在美国马丁·康蒂露天 煤矿的应用	327
第三节 在地下爆破作业中的应用	331

一、在庞家堡铁矿中的应用	331
二、在“引滦入津”工程输水隧洞掘进施工中的应用	338
第四节 在VCR方法中的应用	340
一、概述	340
二、爆破漏斗系列试验	341
三、球形药包崩矿	346
四、联合崩矿	350
五、主要技术经济指标	353
第五节 在煤矿中的应用	354
一、在淮北矿务局海孜矿的应用	354
二、许用乳化炸药在开滦矿务局的应用	358
第九章 乳化炸药的测试技术	365
第一节 概述	365
第二节 水分含量的测定	366
一、共沸蒸馏法	366
二、气相色谱法	367
第三节 密度的测定	371
一、散装成品密度的测定	371
二、药卷品炸药密度的测定	371
三、炮孔装药密度的确定	374
第四节 粘度的测定	374
一、粘度测定方法的分类	375
二、旋转法	375
三、堕球法	377
第五节 粒子大小及其分布的观测	378
一、试样的制备	379
二、观测方法	379
第六节 乳化炸药稳定性的观测方法	384
一、动态平衡法	384
二、高、低温循环试验法	386
三、常温储存试验法	387
四、水溶法	387

第七节 抗水性的测定	390
一、实验室测定法	390
二、现场实测法	391
附表	393

第一章 概 论

第一节 工业炸药的技术进展

炸药是人们经常利用的巨大能源之一，它不仅用于军事目的，而且广泛应用于国民经济各个部门，通常将前者称为军用炸药，后者称为工业炸药。炸药在国民经济中有着广泛的用途，受到人们的普遍重视。本书虽然只涉及乳化炸药，但著者认为，在本书的开头先简要叙述工业炸药的主要技术进展，这对于理解乳化炸药的特点和发展将是有益的。

黑火药的发明至今已有两千多年的历史，而现代工业炸药的发明和大量应用只不过一百多年，且最近二十多年来又是世界工业炸药发展史上变化最多、进展最快的时期。下面将按照年代顺序，列述工业炸药发展史上的一些具有里程碑意义的主要发现和发明。

1. 黑火药^[1,2] 正如举世公认的那样，黑火药是我国劳动人民发明的。这一发明开创了人类利用炸药的第一个纪元——黑火药纪元。远在公元前220年，我国劳动人民就初具黑火药的知识。大约在11~12世纪时，黑火药才开始传入阿拉伯国家，后传入欧洲。黑火药在矿业上的应用约为1627年。与原来的火烧法破裂矿岩相比较，黑火药爆破矿岩的效果大为提高。因此，黑火药在采矿工业中的应用被认为是标志着中世纪的结束和工业革命的开始。黑火药作为独一无二的炸药，一直使用到十九世纪七十年代中期，延续了数百年之久。

2. 雷酸汞^[3] 1803年英国霍华德 (Howard) 合成了雷酸汞，为雷管的发明奠定了基础。

3. 硝化甘油和硝化棉^[2] 1845年意大利索贝罗 (Sobriero) 发现了硝化甘油，1846年瑞士舍恩比 (Schoenbein) 发现了硝化

棉，这些发明为现代工业炸药的发展和实际应用提供了物质基础。

4. 梯恩梯 (TNT)^[3] 1863年威尔布拉兰德 (Wilbrand) 发现了梯恩梯。

5. 达纳迈特 (Dynamite)^[4] 1865年瑞典艾尔弗雷德·诺贝尔 (Alfred Nobel) 发明了达纳迈特——75%硝化甘油和25%硅藻土组成的硝甘炸药。1875年诺贝尔又以硝化甘油和硝化棉制成了胶质达纳迈特。由于达纳迈特具有优良的爆炸性能，因而迅速取代了黑火药，并无可争辩地应用到二十世纪三十年代中期。无疑，这种长期使用性代表着工业炸药的一个发展纪元——达纳迈特纪元。应当充分肯定，诺贝尔先生在现代炸药发展中所建立的卓越功勋。

一百多年来，达纳迈特在工程爆破中发挥了巨大的作用。但该类炸药敏感度高，有毒易引起头痛，再者成本也较高，因此需要研究降低敏感度的技术途径，以提高其使用的安全性和可靠性。瑞典尼特罗诺贝尔公司 (Nitro Nobel AB) 研制成功的喷射硝化和全自动的生产线，以及相应的产品达纳迈克斯 (Dynamex)，则是这种研究进展的典型代表之一。达纳迈克斯基本上保持了达纳迈特的优点，而安全性能则大为改善。例如，该产品的摩擦和撞击感度比达纳迈特低四倍^[4]。

6. 硝酸铵混合炸药^[2,3] 差不多就在诺贝尔发明达纳迈特的时候，奥尔森 (Olsson) 和诺宾 (Norrbein) 于1867年发明了用硝酸铵和各种燃料制成的混合炸药，奠定了硝酸铵类炸药与硝甘类炸药相互竞争发展的基础。

7. 尼特拉蒙 (Nitramon)^[3] 1934年美国杜邦公司在1,992,216和1,992,217号美国专利中透露了一种非硝化甘油、高含量硝酸铵的尼特拉蒙炸药。这个专利是如此有效，以致在1934~1955年间尼特拉蒙成为露天矿山和采石场爆破中最流行的工业炸药品种。与此同时，苏联也使用过一种称为狄那蒙的硝酸铵炸药，其主要组分是硝酸铵和木粉或其它可燃物。

我国早在二十世纪三十年代的抗日战争时期就发明和使用过由硝酸铵和液体可燃物组成的炸药，是铵油炸药的雏型^[5]。

8. 铵油炸药和浆状炸药^[6~9] 二十世纪五十年代中期开始，工业炸药又进入了一个新的发展时期，即现代爆炸剂纪元，其主要标志是铵油炸药和浆状炸药的发明和推广应用。

铵油炸药。1943年底加拿大的康索利德台多矿山冶炼公司 (Consolidated Mining & Smelting Co) 研究生产了称为普里尔 (Prill) 的多孔粒状硝酸铵。这种多孔粒状硝酸铵在生产过程中通过添加少量的硅藻土作为包覆层以防止硬化结块，这为铵油炸药的制造和炮孔装药机械化提供了方便的条件。

铵油炸药是美国的一个矿山于1954年在炮孔中以3.8升柴油和36公斤多孔粒状硝酸铵的配比第一次试验成功的，但直到1955年才将它作为一类工业炸药大规模地用于矿山爆破中。1955年美国克利夫兰-克利夫矿山公司 (Cleveland-Cliff Mining Co) 在密萨比和密歇根 (Mesabi and Michigan) 铁矿区进行了第一批大规模的粒状铵油炸药现场爆破。随着硝酸铵的种类不同，有粒状铵油炸药和粉状铵油炸药之分。前者是由94.5%多孔粒状硝酸铵和5.5%柴油组成的，后者通常是由硝酸铵、柴油和木粉构成的，例如我国1号铵油炸药是由92%硝酸铵、4%木粉和4%柴油组成的，露天铵油炸药则是92%硝酸铵、3%柴油和5%木粉组成的。

1958年加拿大铁矿公司 (IOCC) 和加拿大工业有限公司 (CIL) 实现了多孔粒状铵油炸药的现场装药机械化，1960年美国又在这个基础上发展成混装车。由于铵油炸药具有原料来源广泛、成本低廉、容易制备和实现机械化装药、使用方便与安全等一系列优点，受到各国的普遍重视，发展极为迅速，早已成为矿山爆破中的主要炸药，其使用比例大致占70%左右。但是也应指出，缺乏抗水性和低的体积威力则是铵油炸药的主要缺点。

浆状炸药。1956年12月美国犹他大学M.A.库克 (Cook) 教授和加拿大铁矿公司H.E.法南姆 (Farnam) 发明的浆状炸药克服了铵油炸药的两个缺点。其极好的抗水性是通过下述独特思想

所获得的，即将水添加到铵油炸药混合物中，然后使体系胶凝，以防止水的侵入或氧化剂盐的沥滤，而且密度较高，易沉入有水炮孔底部。无疑，它的出现集中了现代化学和物理学的精华，打破了炸药基本理论中“水火不相容”的传统观念，使人们对于炸药的认识有了一个新的飞跃，是继达纳迈特之后，工业炸药发展史上又一次重大革命。

五十年代库克和法南姆集中研究和开发了梯恩梯和铝粉敏化的浆状炸药。1963年美国埃列克化学公司研制了非金属化的燃料敏化的浆状炸药，并实现了浆状炸药现场混装系统(SMS)。1969年美国杜邦公司生产了用甲胺硝酸盐(MMAN)敏化的浆状炸药。七十年代初期，非炸药敏化的小直径雷管敏感的浆状炸药(包括品种、相应的包装机械和使用技术)和低成本的含燃料油的气泡敏化的浆状炸药在许多国家相继问世，促进了浆状炸药的推广应用。我国从1959年开始研制浆状炸药，六十年代中期在矿山爆破作业中获得应用，其代表性品种是4[#]浆状炸药。七十年代初期，我国浆状炸药发展十分迅速，首先是胶凝剂(田菁胶、槐豆胶)和交联技术获得重要突破，继而品种不断增加，其典型代表有田菁10号浆状炸药、槐1号无梯浆状炸药、5号浆状炸药和聚1号浆状炸药等等。浆状炸药装车与可泵送浆状炸药的出现，更好地满足了露天爆破作业的需要。如今，浆状炸药已在世界范围内形成一个独立的比较完整的抗水工业炸药体系，正在取代传统的达纳迈特炸药，与干燥炸剂——铵油炸药竞相发展。

9. 乳化炸药^[10] 乳化炸药是1969年6月3日由H.F.布卢姆(Blum)于3,447,978号美国专利中首次透露的，是一类新崛起的水基硝铵类炸药，目前正在蓬勃兴起。其具体发展情况将在本章第三节中叙述。

第二节 乳化炸药的定义与品种

一、乳化炸药的定义

目前我国对这类炸药的命名尚不统一，比较流行的叫法有：

乳化炸药，乳化油炸药，乳胶炸药，逆相浆状炸药等。近年来，著者曾就这类炸药的名称与许多同行交换过意见，考虑到这类炸药的制备技术和主要特点，多数专家认为，本书以采用乳化炸药较宜。因此，著者在引用有关文献时，不管原文献中的名称如何，则一律统称为乳化炸药。

乳化炸药泛指一类用乳化技术制备的油包水(W/O)乳胶型抗水工业炸药，要给这类炸药下一个言简意明的定义确实是相当困难的。通常认为，乳化炸药是以氧化剂水溶液的微细液滴为分散相，悬浮在含有分散气泡或空心玻璃微球或其它多孔性材料的似油类物质构成的连续介质中，形成一种油包水型的特殊乳化体系。显然，这样的定义是不能包括不含水的乳化炸药的，然而这种无水的乳化炸药又是实际存在的。

为进一步比较乳化炸药和浆状炸药(水胶炸药)，表1-1列述了该两类炸药的组成。图1-1标绘了乳化炸药和浆状炸药的生产工艺流程方框图。

表1-1和图1-1说明，乳化炸药就其基本组成来说，与浆状炸药等含水炸药相比，没有本质上的区别，但是各个组分在体系中所起的作用、体系的内部结构、外观形态和制备工艺等则是迥然不同的。浆状炸药是以硝酸铵等无机氧化剂盐的水溶液为连续相，非水溶性的可燃剂、敏化剂(固体或液体)为分散相构成的凝胶体系，属于水包油型(O/W)的范畴。也就是说，浆状炸药是由氧化剂、敏化剂、水溶性胶体和非溶解的固体粒子的浓度以及水分含量所控制的，通过固定水溶性组分的方法来防止固液分凝和液液分层。而乳化炸药是以氧化剂水溶液为分散相，非水溶性组分为连续相构成的乳化体系，属于油包水型。它是通过油包水的物理内部结构来获得良好的抗水性能和防止组分分离的。

由于乳化炸药的氧化剂水溶液呈微细液滴存在，氧化剂与可燃剂接触紧密充分，爆轰易于激发和传递，因此乳化炸药通常是不添加敏化剂的，只需要普通组分的巧妙结合就可以了。但是在乳化炸药的组分中，油包水型乳化剂则是不可缺少的关键组分。

必要时,也需要向其中添加诸如乳化促进剂、晶形改性剂和乳胶稳定剂等少量添加剂,以改进其性能。

概括地说,乳化炸药包括四种主要组分,形成三个乳化相^[11],即:

1. 形成分散乳化相的无机氧化剂盐的水溶液组分 它是制备乳化炸药的基础,基本上是由硝酸铵加热溶解于水中形成的。当然,也可以包含其它水溶性的可与乳胶配伍相容的氧化剂,如硝酸钠、硝酸钙、硝酸钾、硝酸钡、硝酸锌、高氯酸铵、高氯酸

表 1-1 乳化炸药和浆状炸药的组成

组分分类		乳 化 炸 药		浆 状 炸 药	
		可能添加的组分名称	百分含量	可能添加的组分名称	百分含量
氧化剂		AN, SN, CN, SP, AP, Up, HNO ₃	50~85	AN, SN, CN, SP, AP	50~80
可燃剂		非水溶性可燃物(如石蜡、燃料油等)	2~7	液体或固体可燃物(水溶性、非水溶性均可)	2~10
水			8~15		6~20
水溶性增稠剂		很少使用	—	古尔胶, 田菁胶, 淀粉等	0.5~4
表面活性剂		HLB值为3~7的乳化剂或复合乳化剂(如M-201, S-80)	0.5~2.5	水溶性表面活性剂, 如十二烷基磺酸钠, 也可不加	0.1~1.0
敏化剂	水溶性的	不添加或加MMAN, HN等	0~30	MMAN, HN, MEAN, EGMN	5~30
	非水溶性的	铝粉硝基化合物, 也可不加	0~15	铝粉, 硝基化合物	0~25
敏化气泡		玻璃微球, 膨胀珍珠岩, 化学发泡剂等	15~35 (体积%)	同左	15~35 (体积%)
少量添加剂		稳定剂, 乳化促进剂, 晶形改性剂	0.05~1.0	通常不添加或添加稳定剂等	0.5~2.0

注: AN—硝酸铵; SN—硝酸钠; CN—硝酸钙; SP—高氯酸钠; AP—高氯酸铵; UN—硝酸尿; HN—硝酸; MMAN—硝酸甲胺。