

浆状炸药的理论与实践

冶金工业出版社

浆状炸药的理论 与实践

汪旭光 聂森林
云主惠 胡能钦 编著

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书系统总结了二十多年来有关浆状(水胶、乳化)炸药的理论和生产经验。书中较详细地讨论了浆状炸药各种组分的性质和作用、配方、工艺和相应的生产设备。本书以相当大的篇幅叙述了浆状炸药的物理化学和爆炸反应的基础理论,介绍了这方面的一些主要研究成果。在此基础上讨论了浆状炸药的现场混制装填机械化、爆破作业中的实际使用技术与经济效果。第六章还专门阐述了逆相浆状炸药——乳化炸药的有关基本理论、生产与使用技术,讨论了提高该类炸药稳定性的技术途径。第八章是关于浆状炸药性能的测试技术。

本书可供冶金、煤炭、化工、水利、铁道、建筑和军工等部门有关从事工业炸药和爆破技术的教学、科研、设计、生产人员参考。

浆状炸药的理论与实践

汪旭光 聂森林
云主惠 胡能钦 编著

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74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 19 3/4 字数 522 千字

1985年5月第一版 1985年5月第一次印刷

印数00,001~2,500册

统一书号: 15062·4153 定价5.30元

前 言

浆状炸药是美国犹他大学M.A.库克 (Cook) 教授和加拿大法南姆(Farnam)于1956年12月发明并开始应用的。它以水作为一种主要组分,以达到改善铵油炸药缺乏抗水性的独特思想,使人们对于炸药的认识有了一个新的飞跃,给炸药爆轰理论带来了全新的概念。无疑,它的出现是工业炸药发展史上又一次重大革命,因此M.A.库克教授于1968年获得了诺贝尔金质奖章。

二十多年来,浆状(水胶)炸药(包括逆相浆状炸药——乳化炸药)的基本理论、品种配方、生产工艺、测试和使用技术都获得了重要发展,使用范围不断扩大,产量逐年增长,显示了该类炸药的强大生命力和良好的技术经济效益,成为当代工业炸药中博得各国普遍重视的主流品种之一。可以毫不夸张地说,到目前为止,浆状炸药业已成为一类品种繁多,性能良好,能量密度可以调节,又能满足不同爆破作业需要的庞大工业炸药体系。

我国从1959年开始研制浆状炸药。在有关科技人员的辛勤努力下,无论是品种发展更新和实际应用,还是工艺、设备、测试和理论研究探讨,都很好地结合了我国原料资源特点和实际建设的技术经济要求。七十年代又相继研究和使用了逆相浆状炸药,发展颇为迅速,形成了独具我国特色的品种系列,在露天和地下的各种爆破作业中获得了广泛的应用,保证和促进了我国采掘工业的发展,使我国浆状炸药的研究与应用逐步接近和达到了世界先进水平。如今浆状炸药在我国已形成一个独立的比较完整的抗水工业炸药体系,正在取代传统的胶质炸药和铵梯炸药,与干爆炸剂——铵油炸药、铵松蜡炸药竞相发展。

浆状炸药的广为应用与深入研究,迫切需要一本系统论述浆状炸药理论与实践方面的专门著作。作者大胆尝试地编著了本

书，以飨读者。全书共分八章，第一、五章由胡能钦同志编写，第二、三、六、七章由汪旭光同志编写，第四章由云主惠同志编写，第八章由聂森林同志编写，最后由汪旭光同志统一整理修改定稿。

本书比较全面地涉及了浆状炸药的基本理论、配方工艺、测试方法、使用技术和混制装药机械化以及发展历程，既有作者从事浆状炸药研究工作的一些成果，也引用了国内外有关浆状炸药的文献资料。考虑到近年来逆相浆状炸药——乳化炸药迅速发展的事实和美好前景，本书单立一章（第六章）对逆相浆状炸药作了专门叙述，以引起广大读者的重视，希望对我国逆相浆状炸药的进一步发展，起到有益的参考作用。

由于作者学识浅薄，经验有限，因而书中错误之处在所难免，热诚希望读者批评指正。本书编著过程中，曾得到朱定军、陈积松、王庆贵、李树田、程宏盛等同志的热情支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

作 者

1982年5月

目 录

前 言

第一章 浆状炸药的产生和发展	1
第一节 浆状炸药的产生	1
一、浆状炸药问世前的酝酿	1
二、浆状炸药的出现	4
第二节 浆状炸药的发展	5
一、概述	5
二、火炸药敏化的浆状炸药	8
三、金属粉敏化的浆状炸药	8
四、气泡敏化的浆状炸药	10
五、现状	12
第三节 回顾与展望	16
一、从浆状炸药的演变得到的启示	16
二、展望前景	17
第二章 配方和制备工艺	19
第一节 组分及其作用	19
一、水	19
二、氧化剂	23
三、敏化剂（可燃剂）	40
四、胶凝剂	55
五、交联剂	67
六、其它添加剂	69
第二节 配方	76
一、浆状炸药的配方设计	76
二、典型配方举例	86
第三节 包装产品制备工艺	86
一、概述	86

二、设备	88
三、典型工艺流程	93
第四节 安全技术	95
一、浆状炸药生产	96
二、起爆药包的制作	99
三、废水净化处理	100
第三章 浆状炸药的物理化学原理	104
第一节 浆状炸药的凝胶体系	104
一、非稠化、稠化和胶凝的浆状炸药	104
二、胶凝剂的溶胀水合	105
三、凝胶体系的特性	113
第二节 交联反应机理	125
一、植物胶凝剂的交联反应	125
二、聚丙烯酰胺的交联反应	130
第三节 浆状炸药的抗水性	140
一、浆状炸药抗水的相对性	140
二、浆状炸药抗水性能的影响因素	144
三、提高浆状炸药抗水性能的途径	147
第四节 浆状炸药的密度	151
一、浆状炸药的能量密度特点	151
二、浆状炸药的密度控制	154
三、充气浆状炸药的密度——压力问题	157
第四章 浆状炸药爆炸的理论基础	161
第一节 炸药的热化学性质	161
一、炸药的爆炸反应方程式	161
二、炸药的比容	172
三、炸药的爆热	173
四、炸药的爆温	179
第二节 浆状炸药的爆轰理论	185
一、概述	185
二、爆轰现象的基本性质	185
三、气体动力学的基本知识	186

四、冲击波	188
五、气体爆轰理论	190
六、凝聚体系的爆轰理论	192
七、爆轰过程的激发与反应机理	196
第三节 浆状炸药的爆轰特性	200
一、浆状炸药的爆轰	200
二、影响浆状炸药爆轰特性的因素	202
第四节 浆状炸药的爆炸性能	210
一、爆速	210
二、爆轰压与炮孔压	215
三、沟槽效应	220
四、威力	224
五、猛度	233
六、感度	237
七、有毒气体与炮烟	256
八、安全度	260
第五章 现场混制与装填机械化	264
第一节 概述	264
一、装药技术的发展	265
二、混制和装填机械的分类	268
三、装填机械化对浆状炸药的要求	269
四、安全技术	269
五、装药车的设计原则	274
第二节 露天矿的混制与装药机械化	274
一、混装车	274
二、泵送车	289
第三节 地下矿的混制与装填机械化	291
一、散装浆状炸药泵送装药器	292
二、浆状炸药药卷型装药器	301
第四节 技术经济效果及其发展前景	309
一、经济效果	309
二、发展前景	314

第六章 逆相浆状炸药	315
第一节 乳化的基本理论	315
一、概述	315
二、乳化剂	316
三、乳化技术	325
四、乳液体系的物理性质	327
第二节 逆相浆状炸药的基本组分及配方举例	329
一、基本组分	329
二、配方举例	339
第三节 逆相浆状炸药的生产	340
一、生产工艺	340
二、生产设备	341
三、安全技术	348
第四节 逆相浆状炸药的主要性能及影响因素	350
一、理化性能	350
二、抗水性能	353
三、安全性能	354
四、爆轰敏感度	355
五、爆炸性能	356
六、储存稳定性	368
第五节 提高逆相浆状炸药稳定性的途径	370
一、概述	370
二、逆相浆状炸药稳定性的试验结果	371
三、提高稳定性的技术途径	378
第七章 浆状炸药的应用	384
第一节 浆状炸药的起爆	384
一、起爆的必要性和经济性	384
二、对起爆药包的要求	386
三、起爆药包的品种与组装	387
四、起爆药包的布置	394
五、轴心强力起爆	396
第二节 浆状炸药在露天矿的应用	400

一、露天矿用浆状炸药的特点	400
二、影响孔网参数的设计因素	402
三、装药与填塞	408
四、组合装药	414
五、应用实例	422
第三节 浆状炸药在地下矿的应用	428
一、地下爆破对浆状炸药的要求	428
二、在地下小直径炮孔中的应用	430
三、在地下大直径炮孔中的应用	440
第四节 使用的安全技术	445
一、装卸与运输	445
二、现场爆破工作	447
第五节 技术经济效果的综合评价	448
一、最优爆破	448
二、钻孔成本	451
三、炸药成本	453
四、装载和运输成本	454
第八章 浆状炸药性能的测试技术	456
第一节 概述	456
第二节 理化性能的测定	458
一、水含量的测定	458
二、胶粘性和流变性的测定	462
三、气泡的测定	465
四、密度的测定	467
五、抗水性的测定	467
六、耐冻性的测定	473
七、理化安定性的测定	475
第三节 爆炸性能的测定	482
一、爆轰感度的测定	483
二、爆破过程中的动态钝化效应的测定	491
三、爆速的测定	498
四、爆压、猛度和炮孔压的测定	513

五、威力的测定	522
第四节 安全性能的测定	538
一、机械感度的测定	539
二、热和火焰作用感度的测定	550
三、爆炸气体产物的测定	556
四、在煤矿应用的安全性的测定	566
附表	578
1. 我国一些浆状炸药品种的抗水性能试验结果	578
2. 我国一部分浆状炸药的耐冻试验结果	580
3. 使用不同组分表面活性剂的耐冻2号浆状炸药耐冻试验效果	581
4. 国内外一些浆状炸药品种的临界直径实测值	582
5. 国内外一些浆状炸药品种的最小起爆药量实测值	584
6. 国内外浆状炸药及逆相浆状炸药殉爆试验结果	586
7. 径向环状空隙效应测定实例	587
8. 我国用导爆索法测定浆状炸药爆速的数据	589
9. 用水箱法得到的浆状炸药等的速度和爆压实测值及与 理论值的比较	590
10. 国内外浆状炸药的铅柱压缩试验结果	591
11. 我国一些浆状炸药的爆破漏斗试验结果	593
12. 砂纸冲击感度试验法与无砂纸冲击感度试验法对比测定结果	596
13. 我国测定浆状及逆相浆状炸药枪击感度的试验情况	597
14. 国外测定浆状炸药枪击感度的试验情况	598
15. 国外卡板间隔试验测得的一些结果	601
16. 国内外浆状炸药的摩擦感度测定结果	602
17. 国外密闭加热试验结果	603
18. 国内浆状炸药的爆发点测定情况	604
19. 浆状炸药的赤热铁棒试验结果	604
20. 国内外关于井下爆破工程及炸药有毒气体量许可范围 值及安全性等级划分的规定	605
21. 长沙矿山研究院测得的几种炸药比容值 (升/公斤)	607
22. 用气相色谱仪测定工业炸药爆炸气体产物组分的实例	608
23. 国外浆状炸药的爆炸气体组分分析数据	610

24. 国外有关浆状炸药有毒气体含量的实测数据	612
25. 长沙矿山研究院于臼炮—石英砂填塞法实验室条件下 下取样分析各种炸药有毒气体含量的结果	614
26. 长沙矿山研究院、北京矿冶研究总院在井下爆破 条件下取样分析的有关炸药有毒气体含量结果	614
主要参考文献	615

第一章 浆状炸药的产生和发展

第一节 浆状炸药的产生

一、浆状炸药问世前的酝酿

浆状炸药是抗水工业炸药中的一种。工业炸药和现代猛炸药一样，都是由黑火药发展而来的。在发明黑火药的我国，把主要成分硝石、硫磺等称为药物。例如汉代的《神农本草经》分别把硝石和硫磺列入“上品药”和“中品药”。因此，当时把由硝酸钾（硝石）、硫磺和木炭组成的混合物称之为黑火药。一些历史文献记载，在公元前数世纪，中国已经发明了黑火药，唐朝（约公元八〇八年）已有黑火药的初步配方。公元八至九世纪，中国的硝石和炼丹术同时传入阿拉伯国家。1225年，烟火以及火药制造方法传入阿拉伯国家，1228年起各种兵器也逐渐传入这些国家，并约在十三世纪中叶，黑火药及其制造秘密才由阿拉伯传入欧洲。十七世纪以前，在国外黑火药只用于军事目的，直到公元1627年，在奥地利的西利基上保布罗夫的水平巷道里才第一次使用黑火药来爆破岩石；同一年，在匈牙利有人将黑火药用于矿山爆破硬煤，从而开始了利用黑火药的能量来代替人们的体力劳动。从那时起，黑火药已普遍地用于各种不同的工程爆破作业中，如采矿、筑路、筑坝、地面改造等。黑火药几乎没有进行过任何改进而应用了约五百年之久。

然而，黑火药毕竟威力太弱，将其作为一种有效的炸药用于进行各种工程爆破，尚嫌其反应太慢，威力太低，因此，人们曾试图寻找一种威力更大的炸药来代替它。但直到十九世纪四十年代意大利的索布雷罗（Sobrero）和瑞士的舍恩伯恩（Schoenbein）分别发现了硝化甘油和硝化纤维素以后，才出现了改进黑

火药的新希望。十九世纪六十年代，A.B.诺贝尔（Alfred B.Nobel）发明了以雷汞为基础的普通雷管以后，硝化甘油才被作为一种炸药得到合适的应用。然而这种硝化甘油在当时，由于爆炸危险性大仍没有达到实际使用阶段。只有在诺贝尔发明了应用硅藻土来吸收硝化甘油制造代那买特之后，才获得了使硝化甘油固化的方法，这时才有可能于爆破作业中用硝化甘油取代黑火药。此后继续采用硝化纤维素（约8%左右）来胶凝吸附硝化甘油成新型爆胶，可使之与纯硝化甘油的威力相近，从而最终完成了胶质代那买特的全部发展工作。无疑，诺贝尔的重大发明开创了现代工业炸药发展史的起点。1875年，诺贝尔又以硝化甘油和硝化棉制成了胶质代那买特（即爆胶），进一步改进了工业炸药。由于这些发明，从而结束了若干世纪以来，在军事和民用爆破中一直沿用黑火药的历史，而代之以硝化甘油胶质炸药为主体的工业炸药时代，并逐步建立了现代炸药爆轰理论和工程爆破理论。

虽然硝酸铵是在1658年被发现的，但是关于它的爆炸性质却在过了将近两个世纪后的1843年才被揭晓，而且直到十九世纪六十年代初，瑞典化学家奥尔森（Olssen）和诺宾（Norrbein）才发现硝酸铵可用碳质和纤维素来敏化，将硝酸铵作为混合炸药的主要成分，并于1867年5月31日提出了第一个工业用硝酸铵炸药的专利。这个专利采用硝酸铵和5~10%的木炭混合而成。诺贝尔立即把硝酸铵作为吸附剂并入了他的产品中，并提出在混合物中加入10~30%的硝化甘油，以便使之易于爆轰和增加炸药的威力，取名为特级代那买特。虽然代那买特惊人地扩大了化学炸药的效能，并使产生的爆炸能力不断增长，但是它却给工业炸药带来了许多新的问题——价格昂贵和敏感度高。寻求解决上述问题是二十世纪上半叶研究和发展工业炸药的一个十分重要的课题。它的主要途径是降低硝化甘油胶质炸药的成本和危险性或提高硝酸铵炸药的抗水性。前者经过长期的研究进展并不很大，而后者研究则取得了显著的进展，并成为以后世界各国改进工业抗水

炸药的主要方向。硝酸铵加到硝化甘油胶质炸药中后，仍然存在着吸湿和易溶于水的问题。为解决工业炸药的抗水问题，虽曾研究出多种方法，但所有的方法均使炸药成本大大提高，而且硝酸铵的防水涂层如硬脂酸钙、白凡士林、松香、石蜡等在通常的大气压力下其抗水性还比较有效，但在15~20磅/英寸²的压力下，却会使之失去效能并使硝酸铵炸药更加进一步钝化。向硝铵炸药中加入淀粉或防水剂证明是很成功的，这样即使只含有少量的硝化甘油仍可足够抵销加入防水剂后感度下降的影响。但是硝铵代那买特的抗水性仍不能令人满意。

二十世纪三十年代杜邦公司的奈特拉蒙（Nitramon）炸药专利完成了一种以硝酸铵为主体的硝铵类炸药的抗水方法。这种方法在1934~1955年间是相当有效的，以致使奈特拉蒙成了工业炸药中最流行的品种之一，尤其是露天矿和采石场爆破，更为广泛采用。奈特拉蒙中最流行的产品奈特拉蒙A，是M.A.库克（Cook）以硝酸铵、二硝基甲苯、硬脂酸钙和硅铁为主要成分发展起来的。1934年，苏联第一次使用了类似的产品——狄那蒙（Динамон）最简单炸药。1935年美国在市场上也出现了名为“奈特拉蒙”的最简单炸药。我国在抗日战争期间（1938~1945）即已由胶东解放区广大军民使用硝酸铵、废机油配制成价廉、安全的铵油炸药，广泛应用于反侵略战争中。

美国于1956年在密萨比（Mesabi）铁矿区第一次试用了一类新型硝铵炸药——铵油炸药。美国的实践表明，铵油炸药原料简单，容易制备，是一种廉价的矿用炸药，用于矿山爆破又是十分有效的。因此，尽管普通硝铵类炸药也曾在工业炸药发展过程中作过二十年之久的重大贡献，但是，铵油炸药一出现，便迅速占据了工业炸药的主导地位，获得了巨大的经济效益。然而，铵油炸药也存在着硝铵类炸药本身固有的两个严重的缺点：（1）不抗水，即易被水降低其爆轰感度，不能用于有水深孔及其它潮湿条件的爆破作业。（2）威力低，即由于密度低，在炮孔内爆轰时产生的炮孔压力较低，不能顺利地爆破坚硬矿岩，尤其在露天台

阶根底部分和在崩落最困难的挤压爆破中更是如此。

胶质代那买特价格昂贵和敏感度高，使用不安全，普通硝酸铵类炸药（包括铵油炸药）也有不少缺点，这就促使人们不断进行着新型防水炸药的研究工作。在1940年M. A. 库克对非硝化甘油的高比例硝酸铵炸药防水问题进行研究的基础上，美国于1943年开始注意含水炸药的研究，五十年代中期，对铝—硝酸铵—水系统进行的细致研究导致了解决硝酸铵类炸药防水问题的新方法，是当今世界广泛研究应用的浆状炸药发明的前奏。

二、浆状炸药的出现

在前人艰苦卓著的研究工作的基础上，美国犹他大学的M. A. 库克教授萌发了以水作为工业炸药的主要组分，以达到改善硝酸铵类炸药缺乏抗水性的独特思想。这是一个全新的概念，是对炸药传统理论的挑战。在这一独特思想指导下进行的大量实验，导致1943年库克发明了新型抗水工业炸药——浆状炸药的雏型。为了保持工业炸药的低成本和安全性，这类炸药的主要氧化剂，仍然是硝酸铵。库克等人最初发明的浆状炸药是由硝酸铵—梯恩梯—水或硝酸铵—糖蜜—水所组成的。可是，这类炸药被确认为具有实用价值，那还是在发明后14年的1957年。1958年斯特令—凯斯钦鲍（Streng-Kirschenbaum）因实现了涂料级铝粉和不饱和的硝酸铵水溶液的混合而获得专利。实践证明，这个发明不仅是成功的，而且揭露了并被后来的试验研究所证明了两件新奇事：（1）在含水浆状炸药中，粗粒梯恩梯是一种比细碎梯恩梯好得多的敏化剂；（2）水含量在10~12%以下的硝酸铵—铝—水混合物，比仅含相同数量硝酸铵和铝的干混合物的爆轰感度更高。这两个结论与以往的经验 and 传统看法显然是相矛盾的。虽然关于这两个重要发现的理论认识当时比较模糊，甚至难于解释，但人们对此普遍予以公认，并广泛地应用了这两个新的重要发现。

浆状炸药是一种由氧化剂水溶液、敏化剂和胶凝剂等基本组分组成的混合炸药。一般说来，浆状炸药是一种悬浮态的过饱和胶

凝混合物,其中含有过剩的固体颗粒和各种可爆或易燃物料。由于它在外观上呈可流动的胶凝态浆状物,因此被命名为“浆状炸药”,欧美国家通称为“Slurry Explosives”或“Water gel Explosives”,苏联则称为“Водонаполненные В.В”。

浆状炸药的基本概念是用饱和氧化剂(主要是硝酸铵)水溶液作为连续相(外相)的,以使过量的固体氧化剂和敏化剂、燃料等分散于其中。虽然这种饱和氧化剂水溶液混合物对普通工业雷管不敏感,但其传递爆轰波的性能却是令人满意的,尤其在用威力足够的中继药包起爆的露天大直径炮孔内更是如此。

在一般意义上讲,浆状炸药中的燃料可以是任何可燃物,包括非炸药的燃料如碳氢化合物,含碳物和纤维素等物质,也可以是爆炸性材料(如梯恩梯等负氧平衡的炸药),还可以是可燃和放热量大的金属粉。由于含有大量的水,所以它们不易起爆;而且对于那些可以引起胶质炸药爆炸的震动,冲击和摩擦等特别钝感,因此浆状炸药是所有炸药中最安全的品种之一。添加亲水胶体,如田菁胶、古尔胶、槐豆胶、聚丙烯酰胺等胶凝剂能够提高它们的粘结性,以防止其它组分的离析,同时可以阻止内部水分的渗出和外部水分的渗入,这就是浆状炸药具有防水能力的主要原因。

第二节 浆状炸药的发展

一、概述

浆状炸药是当今世界上研究得比较深入、发展较快而又博得各国普遍重视的一类抗水工业炸药。近年来,随着浆状炸药配制和工艺上的日益完善,炸药性能不断改进,成本不断降低,其用量则在急剧增加。

据统计,在加拿大,1958年只使用了1135吨浆状炸药,到1968年却增加至4360吨。目前浆状炸药消耗量占加拿大全国炸药总用量的25%左右;若以采矿工业的用量计算,则达33%,个别矿山曾达92%。美国1965~1966年浆状炸药只占整个工业炸药总