



中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

工程爆破技术

● 主 编 张宏升



● 煤炭工业出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

工 程 爆 破 技 术

主 编 张宏升

副 主 编 胡湘宏

参编人员 张宏恩

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工程爆破技术/张宏升主编. —北京: 煤炭工业出版社, 2006

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5020-2907-9

I. 工… II. 张… III. 爆破技术—专业学校—教材 IV. TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 058152 号

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 16³/₄

字数 394 千字 印数 1—5,000

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

社内编号 5694 定价 34.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书系统地介绍了炸药爆炸的基本理论、爆炸材料、起爆方法、爆破作用原理、爆破技术、控制爆破、爆破安全技术等与工程爆破设计和施工有关的概念、原理、方法和施工工艺，并且各章末均附有复习题。

本书具有较强的实用性，还适当地介绍了国内外的先进经验和技术，可作为中等职业教育勘探与掘进专业教材，也可作为工程爆破技术人员的参考书。

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从2001年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，以满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001年10月

前

言

本套教材是中国煤炭教育协会和煤炭工业出版社受教育部职业与成人教育司委托,根据2000年教育部《面向21世纪职业教育课程改革和教材建设规划》勘探与掘进专业教学指导方案,结合目前工程实际情况,组织部分职业院校的教师编写而成。教材编审委员会于2005年8月在河北省北戴河召开了教材编写大纲审定会议,2006年4月在江苏省镇江召开了书稿审定会,会后各书主编根据提出的意见进行修改与完善。各书主审人员对书稿进行了认真的审阅。

勘探与掘进专业中等职业教育国家规划教材全套书共7本,可作为中等专业学校、技工学校和职业中学勘探与掘进专业及相关专业的通用教材,可作为企业在职人员的培训教材,也可作为从事矿山勘探与掘进、矿井地质的技术人员以及生产组织管理者的参考用书。

本套教材力求内容先进性、实用性和系统性的统一,同时考虑中等职业教育的特点、人员培养的基本规格和知识、能力、素质结构的要求,注重学生生产实践能力培养。使学生在牢固掌握勘探与掘进专业必需的文化基础知识和专业知识的基础上,具有综合职业技能和全面素质,具有继续学习和创业创新能力。

《工程爆破技术》一书是勘探与掘进专业中等职业教育国家规划教材中的一本,甘肃煤炭工业学校的张宏升编写了绪论、第一章、第二章、第五章中第三、四节,宁夏第一工业学校的胡湘宏编写了第二章、第五章中第一、二节、第六章,石家庄工程技术学校的张宏恩编写了第三章、第五章中第五、六节、第七章;陕西能源职业技术学院的雷明安担任此书主审。在此,对在本教材成书过程中提供帮助的人士深表感谢!

中等职业学校“勘探与掘进专业”

教材编审委员会

2006年6月

目 录

绪 论	1
第一章 炸药爆炸的基本理论	4
第一节 炸药和爆炸的基本概念	4
第二节 炸药的起爆和敏感度	7
第三节 炸药的传爆	11
第四节 炸药的氧平衡与有害气体	18
第五节 炸药的热化学参数与爆炸性能	21
第二章 爆破材料	29
第一节 工业炸药的分类	29
第二节 硝铵类炸药	31
第三节 硝化甘油类炸药与黑火药	37
第四节 煤矿许用炸药	38
第五节 工业雷管	42
第六节 索状起爆材料	51
第三章 起爆方法	58
第一节 非电起爆法	58
第二节 电力起爆法	67
第四章 爆破作用原理	72
第一节 岩石爆破破碎的几种假说	72
第二节 药包的爆破作用	73
第三节 装药量计算原理	77
第五章 爆破技术	79
第一节 井巷掘进爆破技术	79
第二节 井下采矿爆破技术	94
第三节 露天爆破技术	114
第四节 硐室爆破	127
第五节 水下爆破	149
第六节 特殊爆破	161

第六章 控制爆破	188
第一节 光面爆破技术.....	188
第二节 预裂爆破及缓冲爆破.....	195
第三节 拆除爆破.....	199
第四节 楼房拆除爆破.....	214
第五节 水压拆除爆破.....	223
第六节 静态破碎法.....	230
第七章 爆破安全技术	234
第一节 爆破安全规程.....	234
第二节 爆破施工中的安全问题.....	234
第三节 爆破公害.....	239
第四节 爆破仪表.....	244
参考文献	259

绪 论

“爆破”，一个神秘、冷酷、令人生畏的名词，但是，“爆破”又是一把双刃剑，当人们把它引入并应用于工程领域时，它又以其巨大的能量造福于人类，并在社会主义建设事业中发挥出无可比拟的重大作用。

我国早在公元9世纪的唐代中叶（但是有较多实质证据的则为宋代），就发明了黑火药，是中国古代四大发明之一，从公元10~19世纪，黑火药是世界上唯一使用的炸药，它在人类文明和进步史上有着深远的影响。黑火药在采矿业中的成功应用开辟了民用炸药生产的广阔市场，被认为是中世纪结束及工业革命开始的标志。因而，我国工程爆破有着悠久的历史，举世公认。

几个世纪过去后的今天，尽管世界工业发生了巨大变化，但爆破法仍然是采矿工程中破碎岩石的主要手段。为了提高爆破效果，先后出现了铵油炸药、铵梯炸药、水胶炸药、浆状炸药、乳化炸药等，构成了当今炸药市场品种多样化的局面。同时，雷管、导爆索、点火具等起爆器材的发展又极大地推进了爆破水平的提高。

新中国成立以后，火药古国重振雄风，工程爆破技术再度崛起。随着科学技术的发展，爆破技术水平不断提高且爆破器材产品性能不断改进，爆破器材发展很快，爆破器材在工程领域的应用也不断扩大。在许多方面的研究已逐步形成一个比较完整的科学技术体系。产品门类繁多，主要包括工业炸药、起爆药剂、起爆器材与专用火工品、索类火工品、油气井射孔器材、烟火药剂与制品等。它不仅可应用于军事，而且可应用于许多工业部门。因此，爆破器材工业体系是一个典型的军民两用行业，在国防建设和国民经济主战场上的地位和作用不断提高，深受世界各国的高度重视。目前，我国工程爆破技术已广泛应用于国民经济各个基础产业部门，如冶金、煤炭、水电、土建、铁道、交通、航运、石油、天然气、机械制造等工业部门，尤其在矿山、能源、交通、城市建设中发挥出重要作用。

近年来，工程爆破工作者在各自不同的岗位上刻苦探索，勤奋求实，开拓进取，不断创新，创造了我国工程爆破界前无古人的辉煌业绩。国内外推广应用了导爆管系统及抗静电、杂电和射频电的安全电雷管及耐高温、高压电雷管，研制出了无起爆药雷管、电磁雷管等新型起爆器材。

历史潮流浩浩荡荡，在20世纪90年代，工程爆破领域里市场需求以几何级数上升，工程爆破的技术要求也越来越高，爆破方式也多种多样，一次的用药有几十吨，上百吨，有时多达上千吨。

20世纪90年代末，中国的工程爆破技术领域呈现出百花齐放，百舸争流的喜人形势。如条形药包定向抛掷爆破、大型厂房拆除爆破、双向折叠爆破、大型钢结构的切割爆破、钢管防渗芯墙围堰拆除爆破工程等，令人眼花缭乱……爆破技术的创新和应用，使工程爆破事业在经济建设中大显神威。

进入21世纪以来，工程爆破的专家、学者和技术人员已将系统工程、信息论、分形

理论及非连续变形分析等新思想、新方法引入爆破理论研究。在爆破过程的计算机模拟和应用先进的计算机程序方面也取得很大进展,尤其是近两三年所取得的成就,更加丰富多彩,令人瞩目。比如在首钢孟家沟矿进行了近 10 余年来未曾做过的大型硐室千吨级炸药的抛掷爆破,取得了良好的效果;在青藏铁路较为系统地开展了冻土爆破的研究和实践,开拓了我国工程爆破的新领域;广州地铁在高大建筑群基础边缘开挖大型竖井及隧道,其成功经验为我国城市地铁开挖爆破工程开辟了新途径;海南三亚铁炉港实施的月产 $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的大型深孔爆破,无论在爆破的块度控制以及在开挖爆破组织管理方面,都取得了令人钦佩的成就;多台阶分层预裂及硐室爆破一次成型技术,取得了令人感叹的平整美观坡面,该技术为我国各种道路边坡开挖提供了新方法和新经验;水利水电行业在小湾、龙滩、水布垭等大型水电站的近 800 m 高边坡和跨度超过 30 m,高度达 70 余米的大型地下厂房的开挖爆破中,也取得丰富的经验;三峡工程二期土石围堰钢管混凝土芯墙爆破拆除,也取得圆满成功。

浙江省温州市高 93 m 不对称框架楼房的爆破拆除,是我国爆破拆除的最高建筑物,因种种因素的影响而受到全国媒体的关注,其成败不仅关系到施工单位的利益和成就,也关系到我国爆破界的声誉。由于设计正确,施工精心,防护得力,爆破震动和飞石得到了有效控制,未对周围建筑物造成任何损失,扩大了我国爆破界的声誉和影响。

浙江省宁波镇海电厂 150 m 高钢筋混凝土烟囱和高大厂房拆除爆破,同样受到我国爆破界和当地媒体的关注。150 m 烟囱是目前我国用爆破法拆除的最高烟囱,取得了成功。接着在镇海电厂烟囱爆破拆除的基础上,武汉市也成功地解决了高烟囱折叠爆破的关键技术,完成了 100 m 钢筋混凝土烟囱折叠爆破。

控制爆破技术的出现与应用是工程爆破发展史上的重要里程碑。采用控制爆破,可以在人口和建筑物密集的城市安全高效地进行建筑结构的拆除和土石方开挖,突破了城市这个“爆破禁区”。在改革开放的 20 多年里,废旧楼房、建筑物的拆除日益增多,这既给工程爆破行业带来了很大的发展机遇,同时,也在工程爆破技术人员面前摆下了一道道难题……但是,工程爆破的专家、学者和技术人员采用控制爆破技术攻克了一个个难关,并在全中国推广应用,使全中国的工程爆破公司顺利完成了大量的城市拆旧工程,并在实践中不断提高控制爆破技术。例如,地处闹市的北京华侨大厦旧楼拆除工程,总拆除量达 3000 余立方米,主楼共 8 层高达 34 m,两侧楼 7 层,高 28 m,是一项外部条件恶劣、难度大的拆除工程,爆破工程共凿 6000 余个炮孔,装药 6000 多公斤,分九段毫秒顺序起爆,整个楼房均按预定方向与范围倒塌,既保证了安全,又达到了设计的爆破效果。

水下爆破是工程爆破的一个重要分支,可用于航道疏浚、海港开发、河口治理、沉船解体、水电工程等方面。爆破技术作为一种强有力的现代化施工手段还可以应用于国民经济的其他许多领域。随着爆破技术的进步,爆破器材在结构原理、设计思想、生产工艺和性能等方面将会有很大的发展,具有宽广的发展前景。

同时我国在爆破成型、复合技术和医疗方面取得了新的成果,在工程爆破管理方面也取得了丰富的经验。

新的世纪,工程爆破技术主要创新战略是:①进一步探索爆破能量控制技术的新工艺、新方法,发展炸药能量转化过程的精密控制技术,大力提高炸药能量利用率,降低爆破的有害效应;②加强爆破理论和模拟技术的研究,以指导工程的实践;③发展工程爆破

施工装备技术，提高施工机械化与自动化水平；④爆破器材要向高质量、多品种、低成本和生产工艺连续化发展；⑤爆破安全技术要进一步创新与发展。这一战略思想正在我国工程爆破科研、设计和施工中贯彻实施，有些已经取得重大进展或阶段性成果，达到国际领先或国际先进水平。比如，三峡永久船闸直立深槽开挖爆破技术、青藏铁路冻土爆破技术、地铁开挖减震技术、高层建筑拆除爆破技术等，都在国家重点工程建设中做出了重大贡献。同时，在积极推广新技术、新方法、新产品等方面，也大力推动了行业技术进步。

第一章 炸药爆炸的基本理论

第一节 炸药和爆炸的基本概念

一、爆炸现象及其分类

在自然界及我们日常生活中广泛地存在着爆炸现象。爆炸现象就是：物质在急剧的物理或化学变化过程中，使周围的介质受到冲击或破坏，同时产生光、热和响声。

谈到爆炸人们会立即想到炸药。我们的祖先发明了火药，逐渐被广泛地应用到交通、水电、水利、地质、农林、化工、建材、军工、采掘等领域。近年来，还迅速应用到电力部门的爆炸压接、机械部门的爆炸成型、建筑部门的爆炸拆除、医疗部门的爆炸消除胆结石等许多新的领域。

根据爆炸产生的原因和特点，一般将爆炸现象分为三类：

1. 物理爆炸

爆炸前后，仅发生物态的急剧变化，而物质的化学成分（分子组成）并未改变，这类爆炸被称为物理爆炸。如锅炉爆炸是由于炉内的水受热后转化为水蒸气，随水蒸气的增多，压力不断升高，当炉内蒸汽压力值超过炉壁时（假设调压阀失控），就会发生爆炸，炉壁产生破裂和飞散。这种过程仅仅是物质形态发生变化而物质化学成分并未改变，属物理爆炸。轮胎的爆炸也属于物理爆炸。物理爆炸在日常生活中比较常见，甚至会给人民生活 and 生命安全带来不便和威胁。

2. 化学爆炸

爆炸前后，不仅物质的物态发生了急剧的变化，而且产生了化学反应，物质的化学成分也发生了改变，这类爆炸被称为化学爆炸。如炸药爆炸是炸药获得外界一定能量的作用后，会迅速产生化学反应，产生大量气体，释放出大量能量对外做功。炸药爆炸前后，不仅物态发生了变化，而且物质成分完全不同，属化学爆炸。最常见的化学爆炸还有瓦斯爆炸和煤尘爆炸等。化学爆炸在日常生产中比较常用，所以人们通常所说的爆炸多指化学爆炸。

3. 核爆炸

某些物质的原子核发生聚变或裂变反应时，在瞬时释放出巨大的能量，形成高温高压并辐射出多种射线，这种反应被称为核爆炸。如原子弹爆炸、氢弹爆炸等。

实际上，物理爆炸不便被工业所利用，核爆炸也因其技术复杂且费用昂贵，也暂不能用于矿山爆破工程。工业上主要是利用炸药产生的化学爆炸，特别是在矿山的爆破工程中应用得更为广泛。

二、产生化学爆炸的条件

在工程爆破中，几乎都是利用工业炸药的爆炸来破碎岩石和矿石。用炸药爆破矿岩时，爆炸瞬间可以看到火光、烟雾、飞石、随即听到响声。这表明炸药爆炸时，会放出大

量的热，并生成大量的气体，而且反应速度快。这也是炸药化学爆炸的三个基本特征，是形成化学爆炸的三个必备条件，常又称为化学爆炸三要素。

1. 爆炸反应过程中放出大量的热能

放热是化学爆炸反应得以自动高速进行的首要条件，也是炸药爆炸对外做功的能量。爆炸放出热量的多少是炸药做功能力的基本标志，也常以此作为比较炸药性能的指标。一些物质的反应热见表 1-1。一般常用工业炸药爆炸时，每 1 kg 炸药爆炸可释放出的热量均大于 3000 kJ，瞬时可以把爆炸产物加热到 2000~5000 ℃ 的高温。

表 1-1 一些物质的反应热

物质名称	反应形式	释放的热量/(kJ·kg ⁻¹)
煤 (C)	与氧按化合量燃烧	8960
氢 (H ₂)	与氧按化合量燃烧	13524
硝化甘油	爆炸反应	6217
硝化棉	爆炸反应	4291
梯恩梯 (TNT)	爆炸反应	4187
黑火药	爆炸反应	2784
铵梯炸药	爆炸反应	4228
雷 汞	爆炸反应	1733
迭氮化铅	爆炸反应	1536

2. 化学反应速度快

这是炸药爆炸区别于一般化学反应的标志。1 kg 煤在空气中燃烧可放出大约 10032 kJ 的热量，这比 1 kg 炸药爆炸时放出的热量多得多，但是煤的燃烧十分缓慢，热量不能积累，燃烧放出的大部分热量散失在空气中而无法达到很高的能量密度，所以并不能形成爆炸。相反，1 kg TNT 炸药全部反应所需的时间仅为十万分之一秒左右，在这极其短暂的时间里，反应产生的热量来不及向周围散失，在药包所占的容积内将产生很高的能量密度，从而形成爆炸。可见，仅有反应过程大量放热的条件，还不足以形成爆炸，还必须要化学反应速度快，才能产生爆炸。因为只有高速的化学反应，才能忽略能量转变过程中热传导和热辐射造成的损失，使反应所释放的热量全部用来加热气体产物，使其温度、压力猛增，借助气体的膨胀对外做功，从而产生爆炸现象。

一般工业炸药的爆炸反应速度可达到 3000~6000 m/s 以上。一个 20 cm 长的普通小药卷可在 10⁻³~10⁻⁴ s 内反应完毕，其反应速度是非常快的。

3. 反应生成大量气体

炸药爆炸后生成的气体产物是对外界做功的理想介质。由于气体具有很大的可缩性和很高的膨胀系数，炸药爆炸瞬间产生的气体产物处于强烈的压缩状态，在爆炸反应所释放的热量作用下形成高温气体急剧膨胀，对周围介质产生巨大压力而造成破坏。也就是说，炸药的內能借助于气体的膨胀迅速转变为对外界的机械能。如果反应时没有大量气体产生，那么，即使这种反应的放热量很大，反应速度很快，也不会形成爆炸。

工业炸药爆炸时的气体生成量，一般为 700~1000 L/kg。

以上三个条件是相辅相成的，缺一不可。放出的热使温度上升，促使反应加快。而反过来高速反应又促使产生大量的气体和放出热量，气体的压力和温度急剧上升。

三、炸药化学变化的基本形式

由于炸药的化学反应速度、激发条件、炸药性质和其他因素的不同，其反应的形式也各异。目前一般分为四种形式，即热分解、燃烧、爆炸和爆轰。

1. 热分解

热分解是炸药缓慢进行的化学变化过程。炸药在常温下也可进行分解，但反应过程中不产生火、光和声响，因此不易被觉察，对外界也没有破坏作用。分解的速度主要取决于周围环境温度，温度越高分解就越快。当温度升高到一定值时，热分解就会转化为燃烧，甚至导致爆炸。不同性质的炸药，热分解的速度也不同，热安定性差的炸药，在较低温度下就能发生快速热分解。

研究炸药的热分解性质，对炸药的库存有着实际意义，贮存炸药时要特别考虑到热分解。在一个库房中贮存的炸药量不宜过多，堆放不宜过密；应保持通风良好，保持低温，防止库内温度升高，避免热分解加剧，严防炸药燃烧或爆炸事故的发生。另外，由于炸药热分解必然导致炸药贮存一定时间后其爆炸性能下降，所以超过保质期的炸药必须进行销毁处理。

2. 燃烧

炸药在热源和火焰作用下会燃烧。炸药燃烧不是全部同时参与反应，而是局限于极小的范围。反应释放出来的能量靠热传导向未反应区传播，并激起化学反应，其速度可达每秒厘米或数米，甚至数百米。在一定条件下（温度、压力、炸药的物化性质和结构各方面稳定），炸药的燃烧过程是稳定的。只要压力、温度不改变，燃烧就不会改变，直到炸药全部燃尽为止。当压力、温度升高时，燃速也明显增大；压力、温度超过某一极限时，燃烧的稳定性就会被破坏，燃烧转变为爆炸（轰）。炸药在密闭条件下燃烧时，由于产生的气体不易排出，不易散热，压力、温度就会急剧上升直至爆炸。一旦炸药燃烧，切不可用砂土掩盖。因为炸药本身含有氧化剂（俗称自带氧），密闭反而会导致压力升高，促使燃烧加快，甚至引起爆炸。

3. 爆炸

爆炸反应从局部开始，反应区内能形成压缩冲击波，使反应区内外的温度、压力和密度等状态产生剧烈的变化，反应能量的传递和反应区的传播靠压缩冲击波来进行。爆炸的反应速度不稳定，从每秒数百米到每秒数千米，能放出更多的热量和产生更高的温度，并产生很高的压力。

炸药爆炸和燃烧相类似，其化学反应只在局部区域内进行。它们的主要区别是：燃烧靠热传导来传递能量和激起化学反应，而爆炸是靠瞬间产生的冲击波的作用来传递和激发化学反应；燃烧受环境影响较大，爆炸则基本上不受环境的影响；爆炸反应比燃烧更为激烈；燃烧产物的运动方向与反应区传递方向相反，而爆炸产物的运动方向则与反应区传播方向相同，因此爆炸可以产生很大的压力。

4. 爆轰

炸药的爆轰也是从局部开始，靠爆轰波向未反应区传播。其速度可达每秒数千米。不同的炸药爆轰速度不同，但对于同一种炸药来说，均有一个固定的爆轰速度，只要达到爆

轰条件，爆轰速度则不会增加。

爆炸和爆轰没有本质的区别。反应速度高而且保持恒定的爆炸称为稳定爆炸，也称爆轰。反应速度较低且变化不定的爆炸称为不稳定爆炸，简称爆炸。其反应速度不仅低于爆轰，而且容易衰减，甚至熄爆，使炸药不能完全反应，以致产生熄爆、爆燃或拒爆等现象。

炸药的上述四种反应形式之间有着密切的联系，在一定条件下可以相互转化。例如燃烧着的炸药在密闭状态下可以转化为爆炸；在起爆良好条件下的弱性炸药可以转化为爆轰；炸药变质受潮又可能由爆炸转变为燃烧。因此我们必须创造良好的条件，使炸药爆炸反应处于稳定爆轰状态，以取得良好的爆破效果，达到安全生产的目的。

第二节 炸药的起爆和敏感度

一、炸药的起爆

炸药具有爆炸的性能，但炸药在未受外界能量作用时，处于相对稳定状态，也就是说，它不会自行发生爆炸。利用炸药进行爆破作业时，必须由外界给予足够的能量，使炸药中的局部活化，失去其相对稳定状态，就会立即发生爆炸反应。使炸药局部失去相对稳定性开始发生爆炸反应的过程称为炸药的起爆。炸药起爆所需要的最低限度的外界能量称为起爆能。

多种形式的外能都可以激起炸药起爆，但从工程爆破技术、作业安全和有效使用炸药的角度看，热能、爆炸能和机械能比较有实际意义。

1. 热能

当炸药受到热或火焰的作用时，其局部温度将达到爆点，从而引起爆炸。例如，火雷管起爆法就是利用导火索的火焰来引爆火雷管；电雷管起爆法就是利用电流使电雷管桥丝加热引爆电雷管。

2. 机械能

炸药在撞击或摩擦等机械能作用下，使受机械作用的局部炸药分子活化，炸药颗粒间产生强烈的相对运动，机械能瞬间转化为热能，从而引起炸药爆炸。但利用机械能起爆炸药既不方便也不安全，工程爆破中一般不采用。在运输和使用炸药时，必须注意机械作用可能引爆炸药的问题，以防爆炸事故发生。

3. 爆炸能

工程爆破中常用一种炸药爆轰产生的爆轰波和高温高压气体产物流引爆另一种炸药。例如利用雷管或导爆索的爆炸来引爆炸药。

二、炸药的敏感度

炸药在外界能量作用下引起爆炸的难易程度称为炸药的敏感度（以下简称感度）。炸药的感度大小，取决于它的化学组成和物理状态。各种炸药的感度相差非常大，也就是说，炸药的感度与不同形式的起爆能并不存在固定的比例关系。例如二硝基重氮酚，对热能感度高，对机械能感度较低；TNT炸药在静压下压力达 500 MPa 不起爆，但在不大的冲击作用下即可起爆。

如果炸药的感度过高，就会给生产、贮存、运输和使用带来危险。如果使用炸药的感度过低，则会给爆破造成困难。因此，炸药的感度高低对生产、贮存、运输和使用具有重要意义，对安全生产更加重要。在工程爆破中，炸药的用量较大，炸药的感度必须适中，以6号和8号工业雷管能够起爆为宜。

炸药的感度根据起爆能形式，可分为机械感度、热感度、爆轰感度、静电感度等。

1. 热感度

炸药在热能作用下发生分解、燃烧、爆炸和爆轰的难易程度称为热感度。根据加热方式不同，炸药的热感度相应的分为爆发点和火焰感度。

(1) 爆发点。每一种炸药都有一个能使它引起爆轰的最低温度，这个温度值为炸药的爆发点。爆发点越低，表明炸药对热的感度越高。几种炸药的爆发点见表1-2。

表1-2 几种炸药的爆发点

炸药名称	爆发点/℃	炸药名称	爆发点/℃
EL系列乳化炸药	330	雷汞	175~180
2号岩石铵梯炸药	186~230	氯化铅	300~340
3号露天铵梯炸药	171~179	黑索金	230
2号煤矿铵梯炸药	180~188	特屈儿	195~200
3号煤矿铵梯炸药	184~189	硝化甘油	200
硝酸铵	300	梯恩梯（TNT）	290~295
黑火药	290~310	二硝基重氮酚	150~151

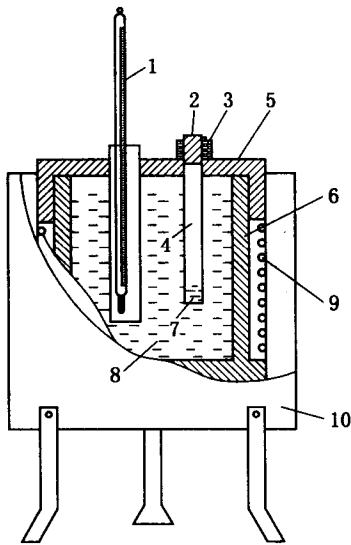


图1-1 爆发点测定器

- 1—温度计；2—塞子；3—螺套；
4—试管；5—盖；6—圆桶；7—炸药；
8—合金液；9—电热丝；10—外壳

值得注意的是：有的炸药爆发点虽高，而其燃点却较低，发火性强，发火后能转变为爆轰，如黑火药就是如此。所以不能片面认为爆发点高的炸药就一定安全。

在工业生产中，用爆发点测定器来测定炸药的爆发点。爆发点测定装置如图1-1所示。它主要为一铁罐，内装低熔点伍德合金液，罐壳与合金液间装有隔热层防止热损失。合金液用电热丝加热，温度可调节，并由温度计指示。测定时，电热丝通电，先将合金液预热到100~150℃，再将内装0.05g所测炸药的铜管插入合金液中（深度不小于铜管的2/3），然后以每秒增加20℃的速度继续加热。爆炸瞬间合金液的温度，即为被测炸药的爆发点。

(2) 火焰感度。炸药在明火（火焰或火花）作用下发生爆炸反应的难易程度，称为炸药的火焰感度。一般用炸药对导火索喷出火焰的最大引爆距离值（上限距离）来表示，单位为mm。

雷管的正起爆药均有较高的火焰感度。一般工业炸药（包括黑火药）用火点燃时通常只发生不同程度的

燃烧。

试验时，将 1 g 受试炸药装入加强帽中，导火索的一端对准火帽中的炸药，点燃导火索的另一端，燃至最后喷出火焰作用于炸药的表面，观察其是否发火。一般采用六次测验的平均值：6 次 100% 发火的最大距离为上限距离，它表征炸药的火焰感度；6 次 100% 不发火的最小距离为下限距离，它表征炸药对火焰的安全性。

2. 机械感度

炸药在冲击、摩擦、挤压等机械作用下，局部引起高温，从而引起爆炸反应的难易程度称为机械感度。

(1) 冲击感度。冲击感度是机械感度中重要的一种，是指炸药在机械冲击作用下，引起爆炸反应的难易程度。

冲击感度一般常用立式落锤仪进行测定，装置如图 1-2 所示。测定时将 0.05 g 炸药试样置于击砧套筒内上、下两击柱中间，然后用 0.5~20 kg 重锤，设定落高为 25 cm，自由下落冲击击柱，观察是否爆炸。用 25~50 次试验中测得试样爆炸次数的百分数表示受试炸药的冲击感度。

冲击感度有 3 种表示法：① 10 kg 重锤自 25 cm 高处自由落下，撞击 25~50 次，求出爆炸百分数，即爆炸冲击感度。表 1-3 为几种炸药的爆炸冲击感度。② 上下限法，即 100% 爆炸的最低落高和 100% 不爆炸的最高落高。③ 50% 爆炸的“特征高度”，即找出爆炸百分数 50% 那一点的落锤高度。

测定冲击感度的目的是为了解加工和运输过程中，当受到意外冲击时，炸药还能否保持其安定性，是否会发生意外早爆事故。

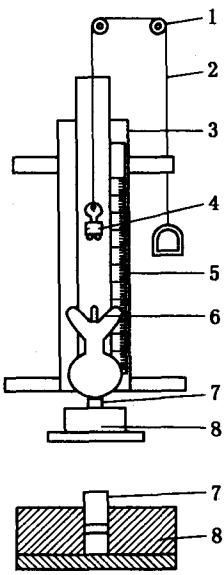


图 1-2 立式落锤仪

- 1—滑轮；2—钢丝绳；
- 3—导轨；4—钢爪；
- 5—刻度尺；6—落锤；
- 7—击柱；8—套筒

表 1-3 几种炸药的冲击感度

炸药名称	EL 系列 乳化炸药	2 号岩石硝 酸铵类炸药	硝化甘油 类炸药	黑索金	特屈儿	黑火药	梯恩梯
爆炸百分数/%	≤8	20	100	70~75	50~60	50	4~8

(2) 摩擦感度。炸药的摩擦感度是指炸药在机械摩擦作用下炸药发生爆炸反应的难易程度。

目前我国常用的测定炸药摩擦感度的摆式摩擦仪，摆长为 2.0 m，摆锤重 1 kg，装置如图 1-3 所示。测定时取炸药试样 0.01~0.03 g，装入上下击柱间，摆落下时摆锤撞击有静载的摩擦击柱，上下击柱产生水平相对位移，摩擦炸药试样，观察是否爆炸。用 25 次试验中得试样爆炸次数的百分数，表示试样炸药的摩擦感度。

几种炸药的摩擦感度试验结果见表 1-4，其感度用 25 次平行试验的爆炸百分数表示，试验条件为摆角 96°，表压 4903 kPa，负荷 593299 kPa，摆锤 1 kg，药量 0.03 g。