



国防特色教材·职业教育

工程爆破技术

• 韦爱勇 主编

HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

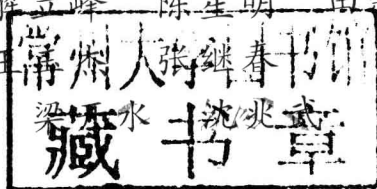
北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色教材·职业教育

工程爆破技术

主 编 韦爱勇
副主编 高文学 胡坤伦
参 编 解立峰 陈星明 田新帮 白红杰
主 审 王 伟 张继春
特聘评审 梁水 沈兆武



哈尔滨工程大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本教材是经国防科工局立项批准的国防特色职业教育“十一五”国家级规划教材之一。全书共分13章,主要介绍了炸药及其爆炸、常用工业炸药和起爆器材、常用起爆方法、岩石爆破作用原理、露天一般土岩爆破、硐室爆破、地下工程爆破、光面爆破技术、建(构)筑物拆除爆破、特殊爆破技术、水下爆破、爆破安全技术与施工组织、工程爆破施工机具等内容。

本教材可作为高等学校采矿工程、铁路道路交通工程、土木工程、水利水电工程、弹药工程与爆炸技术等高职高专“工程爆破”课程以及相关专业相应课程教材,也可作为岩土工程、爆破安全、爆炸技术应用、含能材料应用、岩土安全工程类专业专科生的选修教材和参考书,还可作为爆破工程及其相关领域工程技术人员的爆破技术培训教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程爆破技术/韦爱勇主编. —哈尔滨:哈尔滨
工程大学出版社,2010.5

ISBN 978-7-81133-766-2

I. ①工… II. ①韦… III. ①爆破技术—高等学校—
教材 IV. ①TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 077301 号

工程爆破技术

主编 韦爱勇

责任编辑 张盈盈

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南岗区东大直街124号 发行部电话:0451-82519328 传真:0451-82519699

<http://press.hrbeu.edu.cn> E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:19.5 字数:289千字

2010年5月第1版 2010年5月第1次印刷 印数:1000册

ISBN 978-7-81133-766-2 定价:37.00元

前 言

爆破技术在军事上主要用于军事工程的土石方工程爆破作业的克服障碍物,破坏作业,如炸毁桥梁、隧道、机场、港口、仓库和武器装备、杀伤敌人、销毁武器装备和弹药等。中国人民解放军在历次革命战争中采用爆破手段完成了大量战斗任务和工程保障任务。在解放战争时期的临汾战役中,中国人民解放军工兵曾用坑道爆破法炸开坚固的临汾城墙,为攻城部队开辟了通道。和平时期进行军事工程准备,是一切主权国家的国防战略措施和战备工作的重要组成部分,包括修建国防公路、军用铁路等。

爆破技术在工程上应用更广,是采矿工程、铁路道路交通工程、水利水电工程、城市建设工程的拆除爆破等行业不可替代的工程技术。按爆破对象,实施爆破作业可分为土石爆破和结构物爆破;按装药与爆破目标的相对位置,分为内部装药爆破和外部装药爆破;按工程技术要求,分为抛掷爆破、松动爆破、压缩爆破、定向爆破、光面爆破、预裂爆破和拆除爆破等。

内部装药爆破,是将爆破装药设置在目标内部实施的爆破,可充分利用炸药爆炸的能量,但所需时间较长,多用于国防工程施工和时间充裕情况下的土石方工程作业,如开采石料、改造地形、挖掘坑道工事、开挖路基、构筑障碍物、开挖地下洞库等,也可用于破坏坚固目标(如永备工事、桥墩、混凝土路面、机场跑道等)。外部装药爆破或称裸露药包爆破,作业简便、迅速,但需要炸药较多,多用于时间紧迫的破坏作业(如炸毁桥梁、隧道、机场、港口、仓库和武器装备等)。装药的形状常用的有集中药包、延长药包和聚能药包。实施爆破作业时,要严格遵守《爆破安全规程》。

本教材系统介绍了炸药爆炸基本理论、常用工业炸药、起爆器材和起爆方法,常用工程爆破技术的设计和施工方法、施工机具,以及爆破安全技术和施工组织措施,结合最新的爆破技术的成果和科技进展,注重实践应用。教学计划安排 48 学时左右,各学校可根据教学大纲灵活掌握。爆破技术是实践性很强的一门特种技术,同时也是一门发展中的技术,涉及的学科专业知识广泛。学习过程中,应理论联系实际。各章都附有小结和复习思考题。理论学习后,还应加强实践应用训练,进一步掌握工程爆破理论和应用技术,拓宽知识面,提高综合运用能力,增强爆破操作技能。

本教材的编写分工是:第1章、第2章、第3章、第11章,由西南科技大学韦爱勇编写;第8章由北京工业大学高文学编写;第6章由安徽理工大学胡坤伦编写;第5章由高文学、胡坤伦编写;第4章由韦爱勇、田新帮编写;第7章由韦爱勇、胡坤伦编写;第9章由韦爱勇、高文学编写;第10章由南京理工大学解立峰编写;第13章由西南科技大学陈星明编写;第12章由韦爱勇、白红杰编写;全书由韦爱勇任主编、统稿,高文学、胡坤伦任副主编;由武汉理工大学博士生导师、《爆破》杂志副主编王玉杰教授和西南交通大学博士生导师张继春教授担任主审,特聘武汉理工大学博士生导师、《爆破》杂志主编梁开水教授,及中国科学技术大学博士生导师沈兆武教授参加终稿评审。

西南科技大学的王成端教授、陆文教授,中国科技大学陆守香教授、孙金华教授等,提出了宝贵的建议,西南科技大学教务处和西南科技大学国防科技学院,对教材的编写工作提供了大力支持;他们的支持和帮助,对提高和保证教材系统性、科学性、先进性、新颖性、前瞻性等起到了重要的积极作用。编写过程中,参阅了大量的学术专著、教材、期刊文献,白红杰、周小波、裴来政、包光宏等在图形绘制以及文字整理上做了大量工作,大型兵工企业泸州北方化学工业公司的赵其林董事长、谭敏总经理、刘忠良部长,对教材的编写工作提供了大力支持。在此一一表示诚挚地感谢!

由于编者水平有限,缺陷和不足之处在所难免,恳请业界专家、同行和兄弟院校的师生批评指正。为便于教学,编者在本教材的基础上还编辑、整理了部分电教材料。如有需要,请直接与编者联系。编者邮箱:weaiyong278@126.com。

编 者
2009年5月

目 录

第 1 章 炸药及其爆炸作用	1
1.1 炸药爆炸和炸药分类	1
1.2 炸药的氧平衡	3
1.3 炸药的起爆和感度	6
1.4 炸药的爆轰和传爆	8
1.5 炸药的爆炸性能参数	13
本章小结	18
复习思考题	18
第 2 章 常用工业炸药和起爆器材	19
2.1 工业炸药概述	19
2.2 硝铵类粉状炸药	19
2.3 含水炸药	22
2.4 专用炸药	26
2.5 工业雷管	28
2.6 索类起爆材料	35
2.7 起爆药柱	40
2.8 工业炸药和爆破器材的检验和销毁	40
本章小结	42
复习思考题	42
第 3 章 常用起爆方法	43
3.1 导爆管起爆法	43
3.2 导爆索起爆法	48
3.3 电雷管起爆法	51
3.4 混合起爆法	58
3.5 炮孔中的装药起爆方式	60
本章小结	61
复习思考题	61

第4章 岩石爆破作用原理	62
4.1 岩石性质及工程分级	62
4.2 岩石爆破破坏过程	65
4.3 装药量计算方法	70
4.4 影响爆破作用因素	74
本章小结	84
复习思考题	84
第5章 露天土岩爆破	86
5.1 露天浅孔爆破	86
5.2 露天深孔爆破	89
5.3 多排孔毫秒延期爆破	97
5.4 挤压爆破	100
5.5 宽孔距爆破技术	102
5.6 药壶爆破和裸露药包爆破	104
本章小结	106
复习思考题	106
第6章 地下工程爆破	107
6.1 平洞掘进爆破方法	107
6.2 掏槽爆破	110
6.3 平洞全断面掘进爆破	117
6.4 竖井和斜洞开挖	127
6.5 大型地下硐库开挖爆破	129
6.6 地下采场深孔爆破	130
6.7 地下采场浅孔爆破	137
本章小结	139
复习思考题	139
第7章 光面爆破和预裂爆破	140
7.1 光面爆破	140
7.2 预裂爆破	151
本章小结	160
复习思考题	160

第 8 章 硐室爆破	161
8.1 硐室爆破的特点及分类	161
8.2 硐室爆破方案设计	163
8.3 硐室爆破参数设计	169
8.4 硐室加预裂爆破	179
8.5 硐室爆破施工设计	180
8.6 爆破对工程地质条件的影响	185
本章小结	187
复习思考题	187
第 9 章 建筑物拆除爆破	188
9.1 基础类建(构)筑物拆除爆破	188
9.2 桥梁拆除爆破	193
9.3 楼房建筑物拆除爆破	195
9.4 高耸建(构)筑物拆除爆破	204
9.5 拆除爆破施工与防护	211
9.6 拆除爆破安全技术	214
本章小结	218
复习思考题	218
第 10 章 特殊爆破	220
10.1 聚能爆破	220
10.2 特殊环境爆破	223
10.3 特殊介质爆破	229
10.4 爆炸加工	233
10.5 静态破裂技术	236
本章小结	239
复习思考题	240
第 11 章 水下爆破	241
11.1 水下爆破特点和类型	241
11.2 水下钻孔爆破	244
11.3 水底裸露药包爆破	249
11.4 水下爆炸压密	253
11.5 水下岩塞爆破	255

11.6 围堰和挡水岩坎拆除爆破	259
11.7 水下爆破安全技术	260
本章小结	263
复习思考题	264
第 12 章 工程爆破施工机具	265
12.1 钻孔机具	265
12.2 装药机械	272
12.3 破碎机械和铲装设备	276
本章小结	277
复习思考题	277
第 13 章 爆破安全技术与施工组织管理	278
13.1 爆破施工安全技术	278
13.2 爆破有害效应控制	281
13.3 爆破安全管理	297
13.4 爆破施工组织	299
本章小结	300
复习思考题	300
参考文献	302

第1章 炸药及其爆炸作用

1.1 炸药爆炸和炸药分类

1.1.1 炸药和炸药爆炸

1. 炸药

炸药是在一定的外界能量作用下,能够发生快速化学反应,并释放能量、生成大量的热和气体产物的物质。

通常条件下,炸药是比较安全的化合物或混合物。但是,当外界能量作用使得炸药或其局部获得了足够的活化能量后,会使炸药发生剧烈化学反应,引起炸药爆炸,放出巨大的能量,产生巨大的破坏作用,对周围介质做功,并伴随有强烈的声、光、热等效应。

2. 炸药爆炸特征

炸药爆炸是一个快速进行并能自动传播的化学反应过程,在反应过程中放出大量的热并生成大量的气体产物。因此,炸药的爆炸反应过程同时具备以下三个基本特征:

(1)放出大量的热 炸药爆炸过程中放出大量的热量,是炸药发生爆炸反应并自行传播的必要条件,如果没有放出足够的热量,炸药爆炸就不可能发生,也不可能对外做功;

(2)生成大量的气体产物 炸药爆炸过程生成大量的气体产物,是炸药爆炸对外做功的介质,这些气体产物包括 CO_2 , CO , NO_2 , NO , SO_2 , H_2S , H_2O (气态)等,在炸药爆炸的瞬间,处于高温、强烈的压缩状态,炸药对外做功,正是由于这些气体产物对外急剧膨胀、对周围介质产生巨大压力和破坏作用;

(3)反应过程高速度并自行传播 炸药爆炸反应过程具有极高的速度,一块炸药可在 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ s 内完成化学反应,一般工业炸药的爆炸反应速度可达 $3\,000 \sim 6\,000$ m/s。

在外界能量激发下,炸药一旦发生爆炸,就能连续不断地传播下去,直至全部炸药化学反应完毕。

上述三点,是炸药爆炸不同于一般化学反应的三个重要特征,也是炸药爆炸的基本条件,又称炸药爆炸三要素。

1.1.2 炸药的化学反应形式

由于反应方式和引起化学反应的环境不同,炸药发生化学反应有三种不同形式,即热分解、燃烧和爆炸。

(1)热分解 炸药在常温下也能进行分解,放出热量,但分解速度很慢,不会形成爆炸。当

温度升高时,分解速度加快,温度继续升高到某一定值后,可能转化为燃烧或爆炸。

炸药的热分解性能关系到炸药的储存安全。存放炸药的环境温度会对炸药热分解产生影响。一般来说,炸药在库房内堆放不应过多、过密,要注意通风,防止温度升高时因热分解加剧而引起爆炸事故。

(2)燃烧 在一定的条件下,绝大多数炸药都能够稳定地燃烧而不爆炸。少量的炸药在空气中燃烧比较缓慢,且不伴随有声效应。但炸药在密闭容器内燃烧时,气体产物不易排出,温度、压力就会急剧增加,燃烧极易转化为爆炸。利用炸药的燃烧性质,可对废旧炸药进行燃烧销毁。

(3)爆炸 炸药受到足够的外能激发时,会发生剧烈的化学反应而产生爆破。炸药的爆炸化学反应只在反应区内进行,并在炸药中按一定速度逐层自行传播。反应区传播的速度称为炸药的爆速。传播过程稳定的爆炸称为爆轰。受内、外界因素影响,不稳定的炸药爆炸过程可能造成传爆中断,使炸药爆炸反应不完全。

炸药化学反应的上述三种基本形式之间有着非常密切的联系,在内、外界因素作用下可以互相转化。炸药的热分解在一定的条件下可以转变为燃烧,而炸药的燃烧随温度和压力的增加又可能转变为爆炸,直至过渡到稳定的爆轰;因炸药的性能缺陷或装药条件不当,也可能使炸药的爆轰转变为爆燃,甚至传爆中断。

1.1.3 炸药分类

炸药品种很多,不同炸药的组成、物理化学性质和爆炸性能也有差异。一般可根据炸药的组成和用途进行分类。

1. 按炸药的组成分类

(1)单质炸药 指由单一化合物组成的炸药,如硝酸酯类(硝化甘油、硝化乙二醇)、硝基化合物类(梯恩梯[$\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$]、黑索金[$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_3(\text{NO}_2)_3$]、奥克托金、太安[$\text{C}_5\text{H}_3(\text{ONO}_2)_4$]、硝酸盐类(硝酸脲、硝酸胍)等。单质炸药一般不单独用于工程爆破作业,大多作为混合炸药的组分或起爆器材(雷管、导爆索、导爆管等)的装药。

(2)混合炸药 指由两种或两种以上成分所组成的机械混合物,包括气体混合炸药、液体混合炸药、固体混合炸药等。混合炸药中可以含或不含单质炸药,但必须含有氧化剂和可燃剂,且二者按一定比例均匀混合。混合炸药组分中也可以含有其他非爆炸性物质,以改善炸药的爆炸性能、安全性能和机械力学性能或成形性能、抗高低温性能。混合炸药是工程爆破中应用最广、品种最多的一类炸药,如黑火药、铵油炸药、乳化炸药、水胶炸药、含铝混合炸药、高分子黏结炸药等。

2. 按用途分类

(1)起爆药 主要用于起爆其他工业炸药。这类炸药的主要特点是敏感度较高,在很小的外界热或机械能量作用下就能发生爆炸,而且迅速转为爆轰。起爆药一般都是单质炸药,主要用于引发其他炸药发生爆炸,在雷管、枪弹底火、火帽中使用较多,比如叠氮化铅、二硝基重氮

酚(DDNP)、斯蒂酚酸铅等。近年来,我国还生产使用了性能优越的新型起爆药,如糊精叠氮化铅、D·S 共沉淀起爆药、K·D 复盐起爆药、CTC 起爆药等。

(2)猛炸药 指利用自身爆轰能量对外做功的炸药。与起爆药不同,这类炸药比较钝感,需要较大的外界能量激发才能爆炸,但爆炸威力较大。常用的梯恩梯(TNT)、黑索金(RDX)、奥克托金(HMX)、太安(PETN)、乳化炸药、水胶炸药等都是猛炸药。在军用和民用爆破工程中,大量使用的是由混合炸药组成的猛炸药。

(3)火药 火药的作用主要是爆燃,包括发射药和固体推进剂,主要用作火炮或火箭的推进剂,也可用作点火药、延期药。火药的爆燃速度快,并放出大量的气体和热量,比如黑火药、单基火药、双基火药等。

(4)烟火剂 基本上也是由氧化剂与可燃剂组成的混合物,其主要作用是燃烧,并产生声、光、热、烟等特定效应,在极个别的情况下也能爆轰。一般用来装填照明弹、信号弹、燃烧弹、曳光弹等。

1.2 炸药的氧平衡

1.2.1 炸药的氧平衡

炸药的化学成分主要由碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)四种元素组成,有些炸药还含有氯、硫、金属及其他成分。炸药爆炸的化学反应过程是一个氧化还原反应过程,反应时所消耗的氧是由炸药本身提供的。

炸药内的含氧量,与安全氧化炸药内的可燃元素所需含氧量之间的关系,称为炸药的氧平衡。

炸药的氧平衡分为下列三种不同的情况:零氧平衡、正氧平衡和负氧平衡。

零氧平衡的炸药爆炸后,生成产物应为 CO_2 、 H_2O 、 N_2 和其他元素的高级氧化物,其放热量最大、做功能力最大、产生的有毒气体量最少。

负氧平衡的炸药,因含氧量不足,爆炸产物中会有 CO 、 H_2 ,甚至会出现固体碳或其他氧化不完全的产物。正氧平衡炸药的爆炸产物,会出现 N_xO_y 等气体。正氧平衡和负氧平衡的炸药都不利于发挥炸药的最大威力。 CO 、 N_xO_y 不仅都是有毒气体,而且对瓦斯爆炸反应起催化作用,这样的炸药不能应用于有瓦斯煤尘爆炸危险的地下矿井爆破作业。

炸药的氧平衡是设计混合炸药配方、确定炸药使用范围和条件的重要依据。

1.2.2 炸药氧平衡值计算

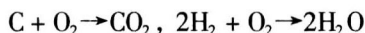
1. 单质炸药氧平衡计算

含碳、氢、氧、氮的单质炸药,其化学分子式可用如下通式表示:

$$\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d \quad (1.1)$$

其中, a, b, c, d 分别代表在一个炸药分子中碳、氢、氧、氮的原子个数。

发生爆炸反应时, 可燃元素碳、氢的完全氧化是按下式进行的:



也就是说, a 个碳原子变成 CO_2 , 需要消耗 $2a$ 个氧原子, b 个氢原子变成 H_2O , 需要消耗 $b/2$ 个氧原子。而炸药本身所含有的氧的原子数是 c , 因此 c 与 $(2a + b/2)$ 的差值, 就反映了上述三种氧平衡的情况:

(1) $c - (2a + b/2) > 0$ 的炸药为正氧平衡炸药;

(2) $c - (2a + b/2) = 0$ 的炸药为零氧平衡炸药;

(3) $c - (2a + b/2) < 0$ 的炸药为负氧平衡炸药。

单质炸药的氧平衡可按下式计算, 即

$$O.B = \frac{[c - (2a + b/2)] \times 16}{M} \times 100\% \quad (1.2)$$

式中 16——氧的相对原子质量;

M ——炸药的相对分子质量。

2. 混合炸药氧平衡计算

在铵油炸药、乳化炸药、水胶炸药等混合炸药中, 除了含有碳、氢、氧、氮等元素外, 还可能含有铝、钠、钾、铁、硫等其他元素。在实际计算炸药的氧平衡时, 应该将后面几种元素考虑在内。除了考虑将碳氧化为 CO_2 , 氢氧化为 H_2O 之外, 一些金属元素还应考虑生成金属的氧化物。硫一般作为可燃剂处理, 生成 SO_2 。各种元素的氧化最终产物大致如下: $\text{C} \rightarrow \text{CO}_2$; $\text{H} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na} \rightarrow \text{Na}_2\text{O}$; $\text{K} \rightarrow \text{K}_2\text{O}$; $\text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$; $\text{Si} \rightarrow \text{SiO}_2$; $\text{S} \rightarrow \text{SO}_2$ 等。

如果炸药中还含有氯的化合物, 如氯酸钾、高氯酸铵(钠)等, 在计算其氧平衡值时, 应将氯考虑为氧化性元素, 生成氯化氢和金属氯化物等产物, 而剩余的其他可燃元素则按完全氧化计算。

实践表明, 乳化炸药、水胶炸药的组分较复杂, 用公式(1.2)已不能直接计算, 需要作适当修正。如以 $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d\text{X}_e$ 表示含铝、硫等炸药的实验通式(X 表示任意一种可燃元素), 那么这些炸药的氧平衡值可用下式计算, 即

$$O.B = \frac{[c - (2a + \frac{b}{2} + m \times e)] \times 16}{M} \quad (\text{g/g}) \quad (1.3)$$

式中 e ——可燃元素 X 的原子数;

m ——可燃元素 X 完全氧化时, 氧原子数与该原子数之比, 如: $\text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$ 时, $m = 3/2$;

$\text{Na} \rightarrow \text{Na}_2\text{O}$ 时, $m = 1/2$; $\text{S} \rightarrow \text{SO}_2$ 时, $m = 2$ 。

对于一个比较复杂的混合炸药体系来说, 采用各组分的百分率与其氧平衡值的乘积的总和来计算比较简便, 即

$$O.B = \sum_{i=1}^n O.B_i K_i \quad (1.4)$$

式中 $O.B_i$ ——炸药各组分的氧平衡值;

K_i ——炸药各组分的百分比含量。

炸药的氧平衡也可用百分数表示,如 TNT 的氧平衡可表示为 -74% 。

由式(1.4)可知,混合炸药的氧平衡可由其组成和配比计算得到。一般来说,应使工业炸药的氧平衡尽量接近于零氧平衡。

常用炸药和物质的氧平衡值见表 1.1。

表 1.1 一些常用炸药和物质的氧平衡值

物质名称	分子式	相对原子质量或相对分子质量	氧平衡值/(g/g)
硝酸钾	KNO_3	101	+0.396
太安	$\text{C}_3\text{H}_8(\text{ONO}_2)_4$		-0.101
高氯酸铵	NH_4ClO_4	117.5	+0.340
黑索金	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_6\text{N}_6$	222	-0.216
奥克托金	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_8\text{N}_8$	296	-0.216
二硝基甲苯磺酸钠	$\text{C}_{13}\text{H}_{20}\text{O}_5\text{SNa}$	348	-2.300
硝化甘油	$\text{C}_{13}\text{H}_5\text{O}_9\text{N}_3$	227	+0.035
高氯酸钾	KClO_4	138.5	+0.462
梯恩梯	$\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$	227	-0.740
木粉	$\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}_{10}$		-1.370
亚硝酸钠	NaNO_2		+0.348
石蜡、凡士林	$\text{C}_{18}\text{H}_{38}$		-3.465
田菁胶	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$		-1.185

1.2.3 氧平衡值的计算实例

例 1-1 梯恩梯氧平衡值计算。

梯恩梯写成分子通式为 $\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_6\text{N}_3$, $M = 227$, 将其代入式(1.2)得

$$\text{梯恩梯氧平衡值} = \frac{\left[6 - \left(2 \times 7 + \frac{1}{2} \times 5 \right) \right] \times 16}{227} = -0.74 \text{ (g/g)}$$

例 1-2 计算 EL-102 乳化炸药的氧平衡值。EL-102 乳化炸药的组分配比和各组分的氧平衡值列于表 1.2 中。将表中数据代入式(1.4)得氧平衡值,即

$$\begin{aligned} \text{EL-102 乳化炸药氧平衡值 } O.B &= 70.0\% \times (+0.200) + 10\% \times (+0.471) + 1\% \times (-2.39) + \\ &\quad 1.5\% \times (-3.420) + 2.5\% \times (-3.470) + \\ &\quad 1\% \times (-1.00) + 2\% \times (-0.889) \\ &= 0.0029 \text{ (g/g)} \end{aligned}$$

表 1.2 EL-102 乳化炸药的组分配比与氧平衡值

组分名称	百分含量/%	氧平衡值/(g/g)
硝酸铵	70.0	+0.200
硝酸钠	10.0	+0.471
水	12.0	0
失水山梨糖醇单油酸酯(司盘-80)	1.0	-2.39
柴油	1.5	-3.420
复合蜡	2.5	-3.470
硫	1.0	-1.00
铝	2.0	-0.889

1.3 炸药的起爆和感度

1.3.1 炸药起爆能量形式

炸药是一种相对稳定的物质,要使其发生爆炸反应必须要由外界施加一定的能量。这种外能称为起爆能。引起炸药发生爆炸反应的过程称为起爆。由于外界作用能量的形式不同,炸药的起爆能通常有以下形式。

(1)热能 热能是最基本的一种起爆能,火焰、高温等热能形式都能引起炸药爆炸。

(2)机械能 通过机械作用使炸药爆炸。机械作用的方式一般有撞击、摩擦、针刺等。机械作用引起爆炸的实质是在瞬间将机械能转化为热能,从而使局部炸药达到起爆温度而爆炸。在工程爆破中,很少利用机械能进行起爆,但是在炸药生产、储存、运输和使用过程中,应该注意防止因机械能引起的意外爆炸事故。

(3)冲击波能 利用某种炸药的爆炸能可起爆另外一种炸药。例如在爆破作业中,利用雷管、导爆索的爆炸来起爆炸药包等。

(4)电能 电火花或静电也可能引起炸药爆炸。

(5)其他能量形式 光能(可见光、激光)、辐射能等。

1.3.2 炸药的感度

炸药在外界能量作用下,发生爆炸反应的难易程度称之为炸药敏感度,简称炸药感度。炸药感度的高低与所需起爆能量的大小成反比,炸药爆炸所需的起爆能愈小,则炸药的感度愈高,在储存、运输、使用过程中越要注意安全。按照外界能量作用形式的不同,炸药的感度有热感度、机械感度、冲击波感度等。

1. 炸药的热感度

炸药在热能作用下发生爆炸的难易程度称为炸药的热感度,通常以爆发点和火焰感度等

来表示。

(1)炸药的爆发点 炸药的爆发点指使炸药开始爆炸所需加热到的介质的最小温度。常见炸药的爆发点见表 1.3。

表 1.3 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 [#] 岩石铵梯炸药	186 ~ 230	氮化铅	300 ~ 340
3 [#] 露天铵梯炸药	171 ~ 179	黑索金	230
2 [#] 煤矿铵梯炸药	180 ~ 188	特屈儿	195 ~ 200
3 [#] 煤矿铵梯炸药	184 ~ 189	硝化甘油	200
硝酸铵	300	梯恩梯	290 ~ 295
黑火药	290 ~ 310	二硝基重氮酚	150 ~ 151

(2)炸药的火焰感度 炸药在明火(火焰)作用下,发生爆炸反应的难易程度称为炸药的火焰感度。人们可根据火焰感度的不同,选择使用不同炸药,以满足不同的需要。例如,选择火焰感度较高的起爆药(如二硝基重氮酚、叠氮化铅等)作为雷管的第一装药,用以起爆雷管中的猛炸药(黑索金等)。

2. 炸药的机械感度

炸药的机械感度指炸药在机械撞击下发生爆炸的难易程度,主要包括撞击感度和摩擦感度。测定撞击感度最常用的仪器是立式落锤仪,炸药摩擦感度的测定采用摆式摩擦仪。

3. 炸药的冲击波感度

炸药在冲击波能量(冲击波、爆轰波)作用下,发生爆炸的难易程度称为炸药的冲击波感度。对于可用雷管直接起爆的炸药(称为具有雷管感度),可用极限起爆药量来比较炸药的相对起爆感度。极限起爆药量是指引起炸药完全爆炸的最小起爆药量。几种猛炸药的极限起爆药量列于表 1.4。

表 1.4 几种单质猛炸药的极限起爆药量

起爆药	受试炸药/g		
	梯恩梯	黑索金	特屈儿
氮化铅/g	0.16	0.05	0.10
二硝基重氮酚/g	0.163	0.13	0.17

由表 1.4 所列数据可看出,同一种起爆药对不同猛炸药的极限起爆药量是不同的。对于没有雷管感度的工业炸药,如多孔粒状铵油炸药、浆状炸药等,通常用中继起爆药包(柱)起爆。炸药的冲击波感度还可采用隔板试验或殉爆试验来比较。

4. 影响炸药感度的因素

炸药的感度直接关系到炸药的储存、运输和使用安全。不同种类的炸药或同一种炸药在不同形式外能的作用下所表现出的感度是不同的。影响炸药感度的因素十分复杂,但归结起来主要有以下两方面。

(1) 内在因素的影响 炸药分子中各原子间的键能较低或单质炸药分子中各种原子基团的稳定性较差,则炸药的感度较高;生成热较小的炸药,感度较高;炸药的热效应越大,感度越高;热容量大或热传导性好或活化能高的炸药,感度较低。

(2) 外在因素的影响 一般情况下,粉状混合炸药随着密度的增加感度会降低。当密度过大时,还会造成所谓的“压死”现象(拒爆)。随着温度的升高,炸药的各种感度会相应增加。通常,炸药内的所有惰性物质都会降低炸药的起爆感度。但当惰性杂质的硬度大于炸药的硬度,而且具有棱角,如石英砂粒、碎玻璃、金属碎屑等,可使炸药的机械感度增加。而另外一些较软且热容量大的物质,如水、石蜡等,掺入后可使炸药的感度降低,常将这类物质称为钝感剂。

1.4 炸药的爆轰和传爆

通常将炸药由起爆开始到爆炸终止所经历的过程称为炸药的传爆。炸药的传爆过程就是爆轰波沿炸药柱传播的过程,而爆轰波即是波阵面后面带有化学反应区的冲击波。

1.4.1 波

波是介质扰动的传播。扰动是介质在受到外界作用(如振动、敲打、冲击等)时,介质状态参数(压力、温度、密度等)发生的局部变化,即介质状态变化的传播称为波。空气、水、岩石、土壤、金属、炸药等一切可以传播扰动的物质,通常称为介质。

介质的某个部位受到扰动后,便立即有波由近及远地逐层传播开去。在扰动或波的传播过程中,总存在着已受扰动区与未受扰动区的分界面,此分界面称之为波阵面。波阵面的传播方向就是波的传播方向,波阵面的传播速度就是波的传播速度。扰动前后状态参数变化量很微小的扰动称为弱扰动。声波就是一种弱扰动。波阵面前后的介质状态参数变化很剧烈,或介质状态参数是突跃变化的扰动称为强扰动。冲击波就是一种强扰动。

1.4.2 冲击波

冲击波是指在介质中以超声速传播、并能引起介质状态参数(如压力、密度和温度)发生突跃升高的一种特殊形式的压缩波。如雷击、强力的火花放电以及在充满气体的长管中迅速移动活塞等都可在介质中形成冲击波。