

朱忠节 何广沂 编著

岩石爆破新技术

中国铁道出版社

岩石爆破新技术

朱忠节 何广沂 编著

中国铁道出版社

1986年·北京

岩石爆破新技术

朱忠节 何广沂 编著

中国铁道出版社出版

责任编辑 王顺庆

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 印张：9.625 字数：216 千

1986年4月 第1版 第1次印刷

印数：0001—4,000册 定价：1.85元

内 容 简 介

本书介绍国内外近几年来出现的爆破新技术。书中对岩石各种爆破的基本原理、设计方法和计算公式等,作了较详尽的论述,并列举了一些工程实例。其中着重讲述了梯段爆破、隧洞爆破和聚能爆破的新经验。可供从事爆破的技术人员和科研工作者参考。

前 言

建国以来，我国每年用爆破方法完成的土石方量，要以亿立方米计，开挖掘进的井巷、隧洞和地下工程、要以千公里计。爆破技术广泛应用于铁道、冶金、煤炭、公路、水利、电力、建工、化工和军工等许多部门。爆破技术日臻完善，规模日渐扩大，水平日益提高。五十至七十年代，我国在露天大爆破方面、积累了丰富的经验，经系统的总结和整理，已陆续出版了这方面的一些著作，反映了我国大爆破技术的现代水平。

近年来，我国的爆破技术向着新和精的方向发展。我们曾参加过许多大小规模的露天和隧洞爆破工程，在生产实践以及科学研究方面，采用了新技术，积累了一些技术资料。为适应我国四化建设的需要，特编写《岩石爆破新技术》一书，着重反映近年来我国岩石爆破设计与工程实践中的新成果，并介绍国外的一些新经验，供从事爆破技术工作者参考。编写中，力求理论联系实际，结合工程实例辅以具体说明，这样，有助于读者解决爆破设计与施工中遇到的实际技术问题。

本书首先对爆破材料，尤其是近年出现的新型产品作了简要介绍，并着重给出了炸药爆轰参数的有关计算公式，便于论述以后有关章节时应用。

梯段爆破是爆破新技术的基础。本书在论述梯段爆破时，吸取了近年来国外发展起来的新观点，在爆破理论、设计计算原理和装药结构等方面，都有所创新。随着石方施工

机械化的发展,钻孔机械的改进,深孔梯段爆破技术在采矿部门得以继续发展,目前许多基建部门也采用了。与之相适应而迅速发展起来的微差爆破技术,为多排炮眼一次起爆、扩大爆破规模创造了条件;预裂爆破、光面爆破等新技术的应用,使爆破效果更臻理想,为爆破界所瞩目而迅速推广,并且日益显示出其重要性。这些爆破新技术,在本书有关章节中都作了详尽的论述。

六十年代中期以来,隧洞爆破单是修建铁路隧道,其总长即超过1800多公里。我们根据十多年从事长隧道施工的亲身经验,写了隧洞爆破一章,从隧洞钻爆技术的原理、开挖方法、各种掏槽新型式,炮眼布置,直至装药量和其他参数的计算,进行了系统的阐述。书中还介绍了隧道全断面机械化爆破循环掘进和微差爆破、光面爆破在隧道施工中的应用。这些新技术在提高隧洞掘进速度,保证施工质量等方面,都起到了显著作用。

此外,还介绍了聚能爆破的原理及其具体应用。

由于我们的技术水平不高,经验不足,本书难免有缺点、错误,诚恳地希望读者给予指正。本书有些内容,引用了不少同志的论著;许多同志给了我们许多教益和启发,特表示衷心感谢。本书在编写过程中,承蒙阮月波同志的协助和支持,亦表示感谢。

编 者

一九八四年四月

目 录

第一章 爆破材料	1
一、炸药的性能	1
(一) 炸药的感度	1
(二) 炸药的安定性与稳定性	2
(三) 炸药的氧平衡	3
(四) 炸药的爆炸能计算	6
(五) 炸药的单位重量计算威力	10
二、常用工业炸药	11
(一) 硝酸炸药	11
(二) 铵油炸药	13
(三) 胶质炸药	15
(四) 浆状炸药	15
(五) 乳化油炸药	16
三、非电起爆	21
(一) 导爆索-继爆管起爆器材	21
(二) 塑料导爆管起爆系统	23
第二章 岩石梯段爆破	30
一、梯段爆破和有关术语	30
(一) 梯段爆破	30
(二) 有关的术语	31
二、相似规律和一些药量计算公式	32
(一) 相似规律	32
(二) 一些旧的药量计算公式	34
三、梯段爆破破碎岩石的机理	35
四、梯段岩石松动爆破药量计算原理	38

五、梯段爆破的计算参数	41
(一) 梯段爆破的定位度 f	41
(二) 炸药单位重量计算威力 s	42
(三) 岩石系数 C	44
(四) 装填度 p	46
(五) 炮眼直径 d	46
(六) 梯段高度 H	46
六、梯段爆破装药的分布	47
(一) 底部装药集中度 l_0	47
(二) 柱状装药集中度 l	48
(三) 堵塞或不装药部分 h_0	49
(四) 每个炮眼的总装药量 Q_i	49
(五) 比装药量 q	49
(六) 最大抵抗线 $W_{\max}$	50
(七) 实际抵抗线 W	52
(八) 炮眼间距 a	52
(九) 炮眼直径 d 与梯段高度的关系	53
七、膨胀、抛掷与散射	55
(一) 膨胀	55
(二) 抛掷	59
(三) 散射	60
八、破碎度	61
(一) 破碎度与生产的关系	61
(二) 影响岩石爆破破碎度的因素	62
(三) 获得较好破碎度的特殊方法	65
(四) 取得大块片石料石的方法	67
第三章 微差爆破	69
一、微差爆破发展概况	69
二、微差爆破基本原理和作用	71
(一) 新的自由面和辅助自由面	71

(二) 应力波的迭加	72
三、微差间隔时间	74
四、起爆顺序	77
(一) 深孔爆破	77
(二) 路堑沟槽爆破	81
(三) 隧洞爆破	82
五、微差爆破网路	83
(一) 电爆网路	83
(二) 非电起爆网路	87
(三) 继爆管-导爆索起爆网路	92
(四) 微差起爆器起爆法	94
六、微差爆破振动影响	96
(一) 微差段数对振动效应的影响	96
(二) 微差间隔时间对振动效应的影响	98
(三) 振动速度是衡量爆破振动大小的主要参数	100
(四) 测试爆破振动的仪器	103
七、微差挤压爆破	104
(一) 微差挤压爆破的基本原理	104
(二) 堆碴参数对微差挤压爆破的影响	105
八、微差爆破实例	107
第四章 岩石梯段爆破的实际应用	116
一、岩石梯段爆破设计的程序	116
(一) 爆破参数的选择和计算	116
(二) 几种钻眼直径的炮眼参数	119
(三) 装药结构	122
二、取石场梯段爆破实例	125
(一) 基本情况	125
(二) 爆破设计	126
(三) 爆破效果	129
三、梯段爆破采用宽孔距爆破新技术的	

IV

试验研究.....130

(一) 概述.....130

(二) 宽孔距爆破设计.....131

(三) 装药结构.....134

(四) 爆破网路.....135

(五) 宽孔距爆破可行性分析.....138

四、路堑梯段爆破设计实例.....139

(一) 基本情况.....139

(二) 爆破设计.....139

第五章 隧洞爆破.....143

一、概 述.....143

二、岩石地下建筑围岩分类.....144

三、隧洞的开挖方法148

(一) 上导坑先拱后墙法.....148

(二) 上下导坑先拱后墙法或先墙后拱法.....149

(三) 下导坑先墙后拱法或先拱后墙法.....150

(四) 全断面分层开挖法.....151

(五) 全断面一次开挖法152

(六) 侧壁双导坑开挖法.....153

(七) 品字形导坑先拱后墙法.....153

四、掏槽爆破154

(一) 倾斜炮眼掏槽形式155

(二) 平行直眼掏槽形式161

(三) 混合掏槽形式169

(四) 各种掏槽形式的进尺与隧洞宽度的关系170

五、隧洞钻眼爆破参数172

(一) 隧洞爆破各种炮眼的名称和作用172

(二) 炮眼数量的确定174

(三) 炮眼直径和炮眼深度182

(四) 装药量的计算183

(五) 炮眼布置	183
六、隧洞的各部开挖	185
(一) 导 坑	185
(二) 拱部扩大	190
(三) 上导坑法进行挖底	191
(四) 上下导坑法的中槽开挖	192
(五) 开挖边墙马口	193
(六) 全断面分层开挖	195
(七) 斜井开挖	200
七、隧道钻孔台车全断面掘进	202
(一) 概述	202
(二) 蜜蜂菁隧道施工实例	204
第六章 预裂爆破和光面爆破	209
一、技术发展简况	209
二、预裂爆破的基本原理	212
(一) 应力波波峰干扰理论	213
(二) 爆炸气体高压静力作用理论	214
(三) 应力波和气体压力共同作用理论	216
(四) 我国探讨预裂爆破机理的一些观点	217
(五) 鉴别预裂爆破质量的三点标准	218
三、预裂爆破设计技术要点	219
(一) 露天预裂爆破	219
(二) 地下隧洞的预裂爆破	227
四、预裂爆破工程实例	230
五、光面爆破的作用原理	233
六、光面爆破的技术要点	236
(一) 合理布置周边炮眼, 提高钻眼精确度	236
(二) 严格控制装药量, 采用空气装药结构	240
(三) 合理安排开挖程序和起爆顺序	243
(四) 参数的选择	248

七、光面爆破工程实例	248
(一) 徐州矿务局大黄山煤矿巷道光面爆破	251
(二) 梨树沟隧道全断面开挖光面爆破	257
(三) 引滦入津输水隧洞光面爆破	261
第七章 聚能爆破	268
一、聚能药包	268
(一) 聚能效应原理	268
(二) 聚能药包结构	269
(三) 金属射流的形成和运动	269
(四) 隔板的作用	275
(五) 支架的作用	276
(六) 聚能药包装药成分(品种)的选择	278
(七) 外壳的作用	279
(八) 土质对穿孔深的影响	280
二、聚能药包设计	281
(一) 半球形金属罩聚能药包	281
(二) 圆锥形金属罩聚能药包	283
(三) 支架高的设计	284
三、穿孔效果	284
(一) 装药量90kg聚能药包	284
(二) 装药量10kg以下的聚能药包	287
(三) 玻璃药型罩注装炸药聚能药包	289
四、聚能药包的应用	291

第一章 爆 破 材 料

一、炸药的性能

(一) 炸药的感度

炸药的感度是指炸药在外界一定能量的作用下发生爆炸的难易程度，它是炸药稳定性大小的标志。熟知炸药的感度，对实际使用时的安全有重要的作用。炸药的感度分以下几种。

1. 热感度

炸药的热感度通常以爆燃点、火焰感度和热安定度来表示。

爆燃点是指一定数量的炸药在特定的条件下发生爆炸时加热的温度。常用炸药的爆燃点一般为 $170\sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

火焰感度是指炸药在火焰或火星作用下的爆炸能力。起爆药遇火爆炸，猛炸药和黑火药在非密封状态下，遇火只燃烧而不爆炸。为确保安全，应使炸药避开火。

热的安定度是指炸药在一定温度下分解的快慢。当温度升高时分解速度迅速增快，容易发生爆炸，所以贮存或运输时要针对实际情况采取降温措施。

2. 机械感度

炸药的机械感度中对工业炸药有实际意义的是撞击和摩擦感度。

撞击感度是指炸药在机械撞击下发生爆炸的能力。我国多采用垂直落锤仪或弧形落锤仪来测定炸药的撞击感度。

摩擦感度是指炸药在机械摩擦作用下发生爆炸的能力。

目前我国主要采用油压系统的摆式摩擦装置来测定炸药的摩擦感度。

3. 炸药的起爆感度

在一定量的起爆炸药爆炸作用下，炸药发生爆炸的能力，称为起爆感度。炸药的起爆感度通常用极限药量来表示，见表 1—1。一般炸药用 8# 雷管即可引起爆炸，而对于一些起爆感度低的炸药，例如铵油炸药和浆状炸药，用 8# 雷管或少量的起爆药则很难使其爆炸，所以不能用极限药量来表示起爆感度，而需要用威力较大的中继传爆药的药量来表示。

某些炸药的极限起爆药量(g) 表 1—1

起 爆 药	受 试 炸 药					
	梯恩梯	特屈儿	黑索金	硝化甘油	苦味酸	硝铵炸药
雷 汞	0.24	0.19	0.19	0.25	0.30	0.25
氮 化 铅	0.16	0.10	0.05		0.025	
二硝基重氮酚	0.163	0.17	0.13			

(二) 炸药的安定性与稳定性

1. 炸药的安定性

炸药在长期贮存中，物理化学性质的变化能力，称为炸药的安定性。对炸药安定性起主要影响的因素是：吸湿、结块，挥发、渗油、老化、冻结和分解等。

硝铵炸药吸湿性很强，也容易结块。遇到这种现象时，使用前必须人工解潮和辗碎，否则不宜使用。

胶质炸药极易老化和冻结。老化的胶质炸药敏感度和爆速低，威力小；冻结的胶质炸药使用时非常危险，必须解冻后才允许使用。

在实际爆破中常遇到地下水。硝铵炸药虽然掺入石蜡、沥清，但防水性能较差，而胶质炸药、浆状炸药和乳化油炸药防水性能好。

常使用的硝铵炸药化学安定性好，但硝酸酯炸药、硝化甘油和无烟火药等，化学安定性较差，在长期保管中容易分解。由于分解反应放出热量，容易导致炸药仓库自燃或爆炸，故这类炸药存放时，避免堆放过高，防止受阳光照射，使仓库通风，以避免发生爆炸。

2. 炸药的稳定性

凡经起爆的炸药，若能以恒定不变的速度自始至终保持完整的爆炸反应，并使爆炸完全，称为炸药的稳定爆炸（叫做爆轰）。爆炸不稳定，会降低爆破效果，或者发生不完全爆炸，甚至拒爆。炸药的物理化学性质的变化、起爆能力的大小、药包直径的大小和装药的密度等影响爆炸的稳定性。

在钻眼爆破中，影响爆炸稳定性的主要是药包直径和装药密度。

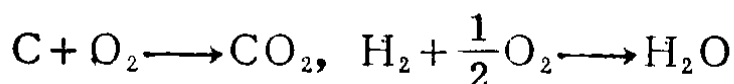
硝铵炸药的标准直径为32mm，低于18~20mm时，爆炸不稳定或断爆。浆状炸药，直径为80~100mm时才能保持稳定爆炸，如加入一定比例的敏感剂，直径为32mm时也能保持稳定爆炸。

随着装药密度的提高，爆速和猛度增大，但当密度增大到某一限度时，爆速和猛度反而下降，故超过这一限度则爆炸不稳定。

（三）炸药的氧平衡

炸药一般由碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)四种元素组成。炸药的爆炸过程，实质上是氧同碳、氢，生成 CO_2 、CO和 H_2O 等新产物的氧化还原过程。设单质炸药或混合炸药的实验式可用通式表示为 $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$ ，式中 a 、 b 、 c 、

d 分别代表一个炸药分子中碳、氢、氧、氮的原子个数，或者1g分子炸药中的碳、氢、氧、氮的克原子数。则炸药发生爆炸反应时，碳、氢完全氧化，按下式进行：



即 a 克原子的碳变成 CO_2 ，需要 $2a$ 克原子的氧； b 克原子的氢变成 H_2O ，需要 $\frac{b}{2}$ 克原子的氧。炸药具有的氧的克原子数为 c ，因此 c 与 $\left(2a + \frac{b}{2}\right)$ 的差值代表氧平衡三种情况：

$$c - \left(2a + \frac{b}{2}\right) > 0 \quad \text{正氧平衡,}$$

$$c - \left(2a + \frac{b}{2}\right) = 0 \quad \text{零氧平衡,}$$

$$c - \left(2a + \frac{b}{2}\right) < 0 \quad \text{负氧平衡。}$$

化合物氧平衡计算式为：

$$\text{O}_p = \frac{\left[c - \left(2a + \frac{b}{2}\right) \right] \times 16}{M} \quad (\text{g/g})$$

(1—1)

式中 M 为炸药的克分子量，16 为氧的克原子数。

如果炸药中含有钠、钾、铝、氯、硫等元素，可按 $\text{Na} \rightarrow \text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K} \rightarrow \text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$ 计算所需要的氧原子数，把公式 (1—1) 推广即可。氯按助燃元素考虑，与可燃元素生成 HCl 、 NaCl 、 AlCl_3 等，硫按生成 SO_2 计算氧平衡。

正氧平衡太大的炸药，氧没有充分利用，热效应小，而且生成有毒的氮氧化合物；同样，负氧平衡，热效应也小，生成有毒气体一氧化碳 (CO)；零氧平衡不生成有毒气体，而且热效应大。按照公式 (1—1) 计算出一些炸药和物质

的氧平衡列于表 1 — 2。

物质和炸药的氧平衡 表 1 — 2

名 称	氧平衡 (g/g)	名 称	氧平衡 (g/g)
硝 酸 铵	+ 0.200	铝 粉	- 0.888
硝 酸 钾	+ 0.396	硝 基 胍	- 0.308
硝 酸 钠	+ 0.470	木 炭	- 2.667
氯 酸 钾	+ 0.392	纸	- 1.300
抗水硝酸铵	+ 0.185	硫 磺	- 1.000
过氯酸钾	+ 0.462	纤 维 素	- 1.185
硝化甘油	+ 0.035	煤 (含炭86%)	- 2.559
四烷基甲烷	+ 0.490	泥 炭	- 1.532
硝化乙二醇	0	硝化纤维素(含氮12%)	- 0.387
食 盐	0	萘	- 3.000
梯 恩 梯	- 0.740	豆 饼 粉	- 1.52
泰 安	- 0.101	棉籽饼粉	- 1.32
黑 索 金	- 0.216	硅	- 1.140
二硝基萘	- 1.394	硅铁 (含Si75%)	- 0.963
硝化二乙二醇	- 0.408	二硝基重氮酚	- 0.580
二硝基甲苯	- 1.144	苦 味 酸	- 0.454
三硝基苯	- 0.563	重 柴 油	- 3.500
特 屈 儿	- 0.474	重铬酸钾	+ 0.082
硝棉 (含氮12.2%)	- 0.372	褐 煤	- 1.910
木粉(C _{38.7} H _{10.0} O _{28.8})	- 1.379	硝 酸 钡	+ 0.306
轻柴油(C ₁₃ H ₂₆)	- 3.428	植 物 油	- 2.150
石 蜡	- 3.460	淀 粉	- 1.185
沥 青	- 2.760	木粉(C ₆₀ H _{7.2} O ₃₃)	- 1.373
松 香	- 2.810	硅铁(含Si90%)	- 1.070
硬脂酸钙	- 2.750	柴油(C ₁₆ H ₃₂)	- 3.428

氧平衡计算实例:

1. 硝酸铵 (NH₄NO₃)

硝酸铵 (NH₄NO₃) 通式为H₄O₃N₂, M=80g, 由公式 (1 — 1) 可求得: