

工程爆破实用技术

■ 林从谋 赵锦桥 主 编



煤炭工业出版社

TB41
L-184

工程爆破实用技术

主编 林从谋 赵锦桥

编者 (按姓氏笔划为序)

毕卫国 孙文进 陈士海

李玉民 李廷春 张金泉

逢焕东 高文乐 崔思文

煤炭工业出版社

871411

图书在版编目 (CIP) 数据

工程爆破实用技术/林从谋等编著. —北京: 煤炭工业出版社, 1998. 4

ISBN 7-5020-1577-9

I. 工… II. 林… III. 爆破技术 IV. TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 04242 号

工程爆破实用技术

主编 林从谋 赵锦桥

责任编辑 田克运 陈昌

*

煤炭工业出版社 出版

(北京朝阳区霞光里 8 号 100016)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092 \text{mm}^{1/32}$ 印张 $13^{3/8}$ 插页 1

字数 294 千字 印数 1—3,000

1998 年 6 月第 1 版 1998 年 6 月第 1 次印刷

书号 4346 定价 29.00 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 简 介

本书是作者根据多年的工程爆破实践。科研成果和教学实践经验编写成的。主要介绍了城市与矿山工程爆破中各种实用爆破技术(方案选取、参数设计和施工工艺)和爆破器材安全管理(包括运输、贮存和安全使用)等内容。书中并附有大量工程实例。

本书可作为从事工程爆破作业人员的培训教材,亦可作为大中专院校相关专业师生的参考书。

目 录

第一章 爆破工程地质	1
第一节 岩石的物理性质	1
第二节 岩石的力学性质	7
第三节 岩石的工程分级	22
第四节 地质条件对爆破作用的影响.....	29
第五节 爆破作用引起的工程地质问题	42
第二章 炸药和爆炸的基本理论	43
第一节 爆炸的基本概念	43
第二节 炸药的起爆和敏感度	49
第三节 炸药的传爆过程	54
第四节 炸药的氧平衡和爆生有毒气体	58
第五节 炸药的爆炸性能及其测定	61
第三章 工业炸药	74
第一节 工业炸药的特点及分类	74
第二节 铵梯炸药	76
第三节 铵油炸药与铵松蜡炸药	81
第四节 含水炸药	85
第五节 煤矿许用炸药	91
第四章 起爆器材与起爆方法	96
第一节 雷管	96
第二节 导火索及点火材料	105
第三节 导爆索与继爆管	108

第四节	导爆管与导爆管连通器具	111
第五节	起爆药包	115
第六节	起爆方法	117
第五章	爆破器材的管理、运输与销毁	139
第一节	爆破器材库与爆破器材管理	139
第二节	爆破器材的运输	155
第三节	爆破器材的检验与销毁	161
第六章	岩石爆破作用原理	164
第一节	岩石爆破的内部作用与外部作用	166
第二节	爆破漏斗	169
第三节	装药量计算基本公式	173
第四节	裸露爆破	178
第七章	钻眼爆破法	183
第一节	井巷掘进爆破技术	183
第二节	回采落矿爆破技术	206
第三节	台阶爆破技术	225
第四节	预裂爆破和光面爆破技术	241
第五节	药壶爆破技术	257
第八章	硐室爆破	267
第一节	概述	267
第二节	硐室爆破设计的程序和内容	268
第三节	爆破参数选择和设计计算	275
第四节	施工设计要点	287
第五节	硐室爆破实例	291
第九章	拆除爆破	301
第一节	概述	301
第二节	拆除爆破设计原理	303

第三节	楼房拆除爆破	325
第四节	烟囱与水塔拆除爆破	341
第五节	水压爆破拆除原理	354
第六节	聚能爆破原理	367
第十章	爆破作业与爆破安全	378
第一节	放炮工作的安全操作	378
第二节	放炮事故预防与处理	389
第三节	爆破安全范围计算	397
第四节	爆破安全技术措施	416

第一章 爆破工程地质

在爆破工程中，凿岩爆破直接影响后续的其它工序和整个爆破施工的速度、质量、安全和成本。凿岩爆破与工程地质有着密切的关系，爆破效果在很大程度上取决于爆破工点的条件和爆破设计是否充分考虑到地质条件与爆破作用的关系，所以对于选择炸药类型、爆破参数、钻眼方法、钻机类型、钻眼工具、钻机工作参数以及优化爆破设计方案，工程地质是十分重要的考虑因素。国内外的爆破工作者已越来越认识到爆破技术与工程地质相结合的必要性和重要性以及研究爆破工程地质的重大意义，并正在逐步研究探索其结合的方法。近年来，地质力学、爆炸力学、岩石力学及岩体动力学的发展，为爆破工程地质的研究和岩石的分级提供了条件，为设计、施工和成本核算提供了依据，并促进了这一学科的形成和发展。

第一节 岩石的物理性质

一、岩石的矿物成分及其组织特征

岩石是由多种矿物组成的集合体，每种矿物都有各自的物理力学性质、晶体结构和破裂特点。因此，岩石的性质同它的矿物成分及其组织特征有关。

在十来种主要造岩矿物中，硅酸铝，铁镁硅酸盐和氧化物等硬度较高，约在莫氏硬度 5~6.5 之间，个别的如石英，莫氏硬度可达到 7。碳酸盐类、硫酸盐类、氧化物类、泥质矿

物和云母等类的硬度都较低，莫氏硬度一般在 2~3.5 之间。

岩石的组织特征是指岩石的结构和构造。岩石的结构是指组成岩石的矿物晶粒的大小、形状、分布排列和矿物晶粒之间胶结方式。岩石的结构不同，它的坚固程度也不同。组成岩石的矿物颗粒愈细，愈致密或粗中有细、粗细结合，这种岩石就愈坚固。沉积岩的破碎的难易程度除了与矿物成分、颗粒大小等有关外，还与胶结物成分和矿物晶体颗粒之间胶结的强弱有关。从胶结物成分来看，硅质强度大，铁质次之，钙质和泥质强度最差；从晶粒之间胶结强弱来看，胶结牢固、致密而孔隙少的岩石坚固性好。对于变质岩而言，一般变质程度愈高，组织愈致密，愈难于破碎。

岩石的构造是指大范围岩体内的组织特征。它表示矿物晶粒之间的相互关系、空间排列状况。构造的主要形式有层理、节理和裂隙。

层理面、节理面、裂隙面都是岩石的弱面，它们赋予岩石具有各向异性的特点，在外载荷作用下，岩石容易首先沿着这些弱面碎破。因此，在层理、节理比较发育的岩石中进行凿石爆破时，为了避免卡钎、爆炸气体泄漏和改善凿岩爆破效果，炮眼必须垂直或斜交于层理面或节理面。

二、岩石的物理性质

岩石的物理性质主要包括容重、密度、孔隙度、碎胀性、耐风化侵蚀性等，它们与组成岩石的各种矿物成分性质及其结构、构造和风化程度等方面有关。

1. 岩石的容重

岩石的容重是指单位体积的岩石重量，用下式计算：

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-1)$$

式中 G ——原岩重量, kg;

V ——原岩体积, m^3 ;

γ ——容重, kg/m^3 ;

岩石容重对于工程爆破实践有重要意义, 爆破时炸药的单耗要考虑岩石的容重。应力波在岩石中的传播速度与岩石的容重有关, 因此在研究岩石性质对工程爆破的影响时应考虑其容重。

2. 岩石的密度

岩石密度是指构成岩石的物质集合相(固体的矿物和岩屑以及气体或液体)的质量对该物质集合相所具有的体积之比。用下式计算:

$$\rho = \frac{M}{V - V_0} \quad (1-2)$$

式中 M ——岩石的物质集合相的质量, kg;

V ——岩石的体积, m^3 ;

V_0 ——岩石中各种孔隙的总体积, m^3 ;

ρ ——岩石的密度, kg/m^3 。

可见, 岩石的密度与容重是不同的。一般地说, 岩石的密度和容重越大, 就越难以破碎, 在抛掷爆破时需消耗较多的能量去克服重力的影响。原岩中或多或少都含有孔隙, 所以在爆破工程中多应用容重指标而少用密度。表1-1中列出部分岩石的孔隙度、密度、容重。

3. 岩石的孔隙度

岩石的孔隙度是指岩石中各种孔隙的总体积与岩石体积的比值, 一般用百分率表示, 用下式计算:

$$\eta = \frac{V_0}{V} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 V ——岩石的体积, m^3 ;

V_0 ——岩石中各种孔隙的总体积, m^3 ;

η ——岩石的孔隙度。

表 1-1 几种岩石的孔隙度、密度和容重

岩石名称	孔隙度 (%)	密度 (g/cm^3)	容重 (t/m^3)
花岗岩	0.5~1.5	2.6~2.7	2.56~2.67
玄武岩	0.1~0.2	2.8~3.0	2.75~2.9
辉绿岩	0.6~1.2	2.85~3.0	2.8~2.9
石灰岩	5.0~20	2.71~2.85	2.46~2.65
白云岩	1.0~5.0	2.5~2.6	2.3~2.4
砂岩	5.0~25	2.58~2.69	2.47~2.58
页岩	10~30	2.2~2.4	2.0~2.3
板岩		2.3~2.7	2.1~2.57
片麻岩	0.5~1.5	2.9~3.0	2.65~2.85
大理岩	0.5~2.0	2.6~2.7	2.5
石英岩	0.1~0.8	2.65~2.9	2.54~2.85
粘土	45	1.6~2.1	1.6~2.0
砂子	30~50	1.5~1.7	1.4~1.6

岩石的孔隙度,是影响岩石力学性质的一个重要的物理性质。孔隙的存在能削弱岩石颗粒之间的联结力而使岩石强度降低。

三、岩石的碎胀性

岩石破碎后因碎片间孔隙增多,总体积增大的性质称为碎胀性。碎胀性可用碎胀系数来表示。

$$K = \frac{V_1}{V} \quad (1-4)$$

式中 V_1 ——岩石破碎后的总体积； m^3 ；

V ——岩石破碎前的体积， m^3 ；

K ——碎胀系数。

在爆破工程中选用装载、运输等设备时，必须考虑岩石的碎胀系数。岩石爆破所容许的膨胀空间大小也同样与该岩石的碎胀系数有关。几种岩石的碎胀系数见表 1-2。

表 1-2 几种岩石的碎胀系数

岩石名称	砂砾石	砂质粘土	中硬岩石	坚硬岩石
碎胀系数 K	1.05~1.20	1.20~1.25	1.30~1.50	1.50~2.50

四、岩石的波阻抗

岩石的密度与纵波在岩石中传播的速度的乘积，称为该岩石的波阻抗。它表征岩石对应力波传播的阻尼作用。实验表明，波阻抗值的大小除与岩石性质有关外，还与作用于岩石界石的介质有关，如钎杆的材料种类和粗细以及炸药的种类和性能等。岩石的波阻抗值同凿岩爆破能量在岩体中的传递效率有直接关系。当钎杆或炸药的波阻抗值同岩石波阻抗值匹配愈好时，向岩石传递能量的情况就愈好，在岩石中所引起的应变值也愈大。部分材料岩石的波阻抗值列入表 1-3 中。

五、岩石的风化程度

岩石的风化程度是指岩石在地质内应力和外应力的作用下发生破坏疏松的程度。风化程度对岩石性质（物理性质与

表 1-3 几种材料的波阻抗值

材料名称	密度 (g/cm^3)	纵波速度 (m/s)	波阻抗 ($\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)
钢	7.8	5130	4000
铜	8.4~8.9	3670	3170
铝	2.5~2.9	5090	1370
玻 璃	2.4	5300	1270
橡 胶	1.3	46	6
花岗岩	2.6~3.0	4000~6800	800~1900
玄武岩	2.7~2.86	4500~7000	1400~2000
辉绿岩	2.85~3.05	4700~7500	1800~2300
辉长岩	2.9~3.1	5600~6300	1600~1950
石灰岩	2.3~2.8	3200~5500	700~1900
白云岩	2.3~2.8	5200~6700	1200~1900
砂 岩	2.1~2.9	3000~4600	600~1300
板 岩	2.3~2.7	2500~6000	575~1620
岩 盐	2.0~2.2	4200~5700	900~1200
片麻岩	2.5~2.8	5500~6000	1400~1700
大理岩	2.6~2.8	4400~5900	1200~1700
石英岩	2.65~2.9	5000~6500	1100~1900

力学性质)的影响极大。同一种岩石由于风化程度的不同而使其性质差异很大、风化程度越大,则其强度和坚固性越差,所以在工程爆破设计和施工中不可忽视对岩石风化程度的分析研究。

对岩石风化程度定量指标的研究在工程设计和施工中都非常重要。伦布研究了风化花岗岩石性质,提出了矿物风化指标的计算公式:

$$I_m = \frac{N_q - N_{q_0}}{1 - N_{q_0}} \quad (1-5)$$

式中 N_q ——风化岩石中石英与石英加长石的重量比；

N_{q_0} ——新鲜岩石中石英与石英加长石的重量比。

后来埃格按 I_m 值提出了如表 1-4 的岩石风化程度划分表。此外，还有伊利尹夫提出的风化波速指标的公式：

表 1-4 岩石风化程度划分表

I_m (%)	0~10	10~25	25~75	75~100
风化程度	未风化	轻微风化	中等风化	严重风化

$$I_v = \frac{V_o - V_w}{V_o} \quad (1-6)$$

式中 V_o ——新鲜岩石的纵波速度，m/s；

V_w ——风化岩石的纵波速度，m/s；

I_v ——风化程度指标。

一般来说，随着风化程度的增大，岩石的孔隙度和变形性增大，强度和弹性性能降低。

第二节 岩石的力学性质

一、岩石的一般力学性质

岩石的力学性质是指岩石抵抗外力作用的性能。岩石在外力作用下将产生变形，当外力增大到某一值时，岩石开始破坏。岩石开始破坏时的强度称为极限强度。极限强度分为抗拉极限强度、抗剪极限强度、抗压极限强度。此外，岩石的力学性质还包括弹性、塑性、脆性、韧性、流度、松弛、弹性后效和强化等变形性质。由于岩石的组织成分和结构构造

的复杂性，而与一般材料具有不同的特殊性，如脆性、各向异性、不均匀性、非线性变形等。

1. 岩石的变形特征

岩石是各向异性体，其变形特征相当复杂，它除了与岩石的种类、矿物成分、结构构造、温度等有关外，还与外载荷作用性质（加载方式、大小、方向、时间）和破坏面的性质等有关。一般材料的变形可分为弹性变形和塑性变形，但由于岩石力学性质的特殊性，普遍地表现为弹塑性全有。它不象一般固体材料有明显的屈服点，它在弹性范围内呈现弹性和塑性，甚至在弹性开始变形就可能出现塑性变形。大多数固体岩石除了具有弹性和塑性以外，还具有脆性。脆性岩石在破坏时变形很小，其极限强度与弹性限度相近，因而其破坏时的能量损失较少。

2. 岩石的应力—应变曲线

(1) 连续加载时岩石的变形特征。实验表明，岩石抗压强度较高，而抗拉强度和抗剪强度较小（表 1—5），一般抗拉强度比抗压强度小 90%~98%，抗剪强度比抗压强度小 87.5%~91.7%。另外，岩石的力学强度与岩石的密度有很大关系，密度大、其力学强度高。岩石在载荷条件下的变形特征可用压缩试验获得应力—应变曲线。图 1—1 是岩石在单轴压力下的各种应力—应变曲线。

表 1—5 某些岩石的力学强度值

岩石名称	抗压强度 ($\times 98\text{kPa}$)	抗拉强度 ($\times 98\text{kPa}$)	弹性模量 ($\times 98 \times 10^5$ kPa)	泊松比	内摩擦角 ($^\circ$)	内摩力 ($\times 98\text{kPa}$)
花岗岩	1000~2500	70~250	5~10	0.2~0.3	45~60	140~500

续表

岩石名称	抗压强度 ($\times 98\text{kPa}$)	抗拉强度 ($\times 98\text{kPa}$)	弹性模量 ($\times 98 \times 10^5$ kPa)	泊松比	内摩擦角 ($^\circ$)	内摩力 ($\times 98\text{kPa}$)
流纹岩	1800~3000	150~300	5~10	0.1~0.25	45~60	100~500
安山岩	1000~2500	100~200	5~12	0.2~0.3	45~50	100~400
辉长岩	1800~3000	150~350	7~15	0.1~0.2	50~55	100~500
玄武岩	1500~3000	100~300	6~12	0.1~0.35	48~55	200~600
砂岩	200~2000	40~250	1~10	0.2~0.3	35~50	80~400
页岩	100~1000	20~100	2~8	0.2~0.4	15~30	30~200
石灰岩	500~2000	50~200	5~10	0.2~0.35	35~50	100~500
白云岩	800~2500	150~250	4~8	0.2~0.35	35~50	200~500
片麻岩	500~2000	50~200	1~10	0.2~0.35	35~50	30~50
大理岩	1000~2500	70~200	1~9	0.2~0.35	35~50	150~300
石英岩	1500~3500	100~300	6~20	0.1~0.25	50~60	200~600
板岩	600~2000	70~150	2~8	0.2~0.3	45~60	20~200

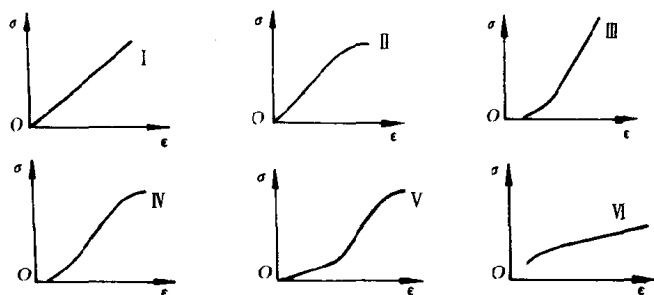


图 1-1 单轴压力下岩石的不同应力—应变曲线

(据 K. P. 米勒 1965 年)

I—弹性的；II—弹—塑性的；III—塑—弹性的；IV—塑—弹—塑性的；

V—弹—塑—弹—塑性的；VI—弹—塑—蠕变性的

图 1-2 为岩石的全过程变形曲线。图上的 A 点为压密极限，它表征着裂隙压密封闭的完结和线弹性变形的开始；B 点为弹性极限，是线弹性变形的终点和弹塑性变形的起点；C 点为屈服极限，应变明显增加，开始破裂；D 点为强度极限，应力达到峰值，随之应力下降或保持常数；E 点是试样破坏且经过较大变形应力下降到一定值开始保持常数的转折点，称之为剩余强度。

(2) 循环载荷时的岩石变形特征。图 1-3a 为在弹性极限内加载与卸载时的应力—应变曲线。卸载点 P 在弹性极限 A 点以下，则应力—应变沿原来曲线回到原点，表示岩石具有

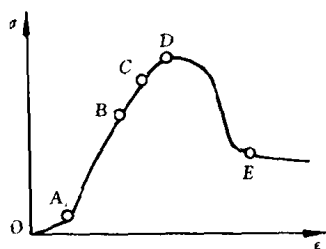


图 1-2 岩石全过程变形曲线

弹性恢复的能力。应该指出，大部分弹性变形在卸载以后是以声波速度恢复的，同时还有约占总弹性变形量的 10%~20% 的变形，虽然最终也能恢复，但是距卸载时刻有一定的时间，该时的变形称为弹性后效应。图 1-3b 为在超过弹性

极限时的加载卸载应力—应变曲线。卸载点 P 在 A 点以上，呈现卸载曲线与原曲线偏离现象，其中能恢复的弹性变形为 ϵ_y ， ϵ_0 是不能恢复的残余变形。若反复多次加载和卸载，所得应力—应变曲线如图 1-3c，图中每一对卸载和加载曲线都不重合，其间围成的一定面积，称为塑性滞环。当滞环的面积经过多次卸载加载的变化，其面积扩大，卸载曲线的斜率（弹性模量）也逐渐有所增加。还可看出，不论卸载点离开弹性极限多么远，卸载后总会有能恢复的弹性变形状态。