



岩石爆破 现代技术

冶金工业出版社

岩石爆破现代技术

U.兰格福斯 B.基尔斯特略 著

《岩石爆破现代技术》翻译组 译

冶金工业出版社

内 容 提 要

《岩石爆破现代技术》一书是根据U.兰格福斯和B.基尔斯特略合写的《The Modern Technique of Rock Blasting》第三版翻译的,全书共分十三章。其内容包括:岩石破碎力学;装药量计算与实际应用;药量分布;装药方法、装药新工具和新设备;微差爆破;隧道爆破;光面爆破和预裂爆破;大地震震动和将其降低到安全程度的措施;水下爆破;非电爆破等。

本书可供采矿、建筑、国防、水电、地质、铁道等部门有关岩石爆破的工程技术人员和大专院校有关专业的师生参考。

岩石爆破现代技术

U.兰格福斯 B.基尔斯特略 著

《岩石爆破现代技术》翻译组 译

*

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 14 字数 367 千字

1983年12月第一版 1983年12月第一次印刷

印数00,001~4,200册

统一书号: 15062·3921 定价1.75元

出版者的话

《岩石爆破现代技术》是美国出版的一本名著，由U.兰格福斯和B.基尔斯特略合作写成。

该书第一版于一九六三年问世后迅速售完，一九六七年再版，一九七八年又发行了第三版，在这一版中增加了一些新颖丰富，技术先进的内容。

我们很早就组织翻译这本书的第一版，但几经变动，为介绍最新内容我们最后按第三版的版本译出。参加该书译校人员依据参加工作的前后顺序有：**程义法**、吴京、高志辅、许宁、**刘有信**、汪占辛、雷化南、牛成俊、丁延祯。全书译出后由冶金工业出版社请雷化南、牛成俊和丁延祯同志负责总校。

译校者的热心工作支持了我们出版此书，对此表示感谢。

一九八一年

第一版 序 言

近年来，岩石爆破技术已从长期经验、个人技艺和感性认识占主导地位的单纯手工作业发展成为其基本概念可以向学生、工程师和工人讲授的一门技术科学。

本书的目的是为学习在战后年代通过科学研究、理论探讨、现场试验和实际应用而在采矿和土木工程方面建立起来的这一门技术提供一个入门。

这些年来整个爆破技术发生了重大变革。采用碳化钨钻头和现代凿岩机大大提高了凿岩效率；创造出计算装药量的合理方法；电起爆技术的发展，提高了爆破作业的准确性和安全性。用微差雷管起爆多排炮眼的方法，为繁重劳动的机械化和更大规模的爆破创造了可能性。炮眼装药的新工具和新设备完全改变了装药程序。采用粉状或浆状的确铵炸药降低了台阶爆破的费用。隧道爆破的主要原则已经确立并指明了进一步的发展方向：提高机械化水平、改善破碎度、加快掘进速度和更广泛地应用光面爆破方法。这种光面爆破，在大多数其它形式的岩石爆破中，也将变得更加重要起来。

关于大地震动和将它降低到安全程度的方法的广泛知识，是安全作业和进行大爆破的一个重要因素。水下爆破的基本问题和实际困难的解决办法已经有人研究过了。同时搞清了岩石面上的覆盖物如何影响对水和较重的、近于流体的覆盖层的计算，结果指明了不揭掉其覆盖层的水下岩石爆破条件。

现代岩石爆破技术中的各种课题，有关钻眼工具和技术除外，都将在本书的相应章节中叙述，第一章也论述了爆破破碎机理，因为这部分知识已在实践中证明是重要的。

本书的部分材料，曾在1959年供给美国科罗拉多矿业学院、明尼苏达大学和宾夕法尼亚州立大学做过讲义。（以下从略）

第二版 序 言

(略)

第三版 序 言

1963年第一次出版《现代岩石爆破技术》一书，目的在于说明处理岩石的古老手艺是怎样转变为一门已建立了基本定律和普遍关系式的技术科学的。

对于那些不得不借助于炸药来“雕琢”我们地球硬壳的人们来说，他们仍旧必须更好地掌握岩石爆破技术。通常一种新的思想和新的方法完全被采纳总是需要时间的，因为人们对它不仅需要有一个认识过程，而且还需要研制出能够充分发挥其优越性的新设备。

在建筑工程和原料开采中，若不使用商业炸药作为工具，我们的现代社会完全是另外一个样子。人们工作和居住的房屋、驾驶的车辆、公用的地下铁道、公路、排水系统、供水设施以及水力发电站的建设都是从使用炸药开始的。

岩石爆破技术为将地下空间更加广泛而良好地用于城市、交通以及各种大型岩石硐库提供了新机会。它给我们设计人员开辟了向地下深处发展的途径。在未来的年代里，人们必将看到岩石爆破的应用领域会有显著发展。

本书在上述所有这些方面都是一本实用的参考书，人们纷纷要求再出新版。对一、二版所做的修改和增补既有象非电起爆系统这样的革命性发展，也有象电雷管、起爆器、装填炮眼的各种设备、监测大地震动的仪器以及研究大地震动对周围建筑物影响

等方面的一般性变革。在初版中给出的资料也能用于新的、对地震破坏能力和烈度分级更加合适的地震学准则公式。人们已经证明，迄今所用的那些准则对于估计损害危险是不合适的。

增补了非电起爆和地下空间利用两章。

我的朋友Duri Prader和Per-Anders Persson以其丰富的经验和才能给本书第三版做出了宝贵的贡献。当然Björn Kihlström的杰出技艺也对本书新版起了很大作用。

U.兰格福斯 (Ulf Langefors)

使用符号

A, A_m	循环进尺, 循环进尺平均值	米 (英尺)
A	大地震动的振幅	毫米 (英寸)
a	加速度 ($1\text{克} = 9.8\text{米/秒}^2$)	克
α	相对进尺, $\alpha = A_m/H$	—
B	隧道或台阶宽度 (长度)	米
c	材料 (岩石) 内的声速	米/秒 (英尺/秒)
$\bar{c}$	岩石系数, c_0 为极限装药量时的岩石系数, $\bar{c}$ 为其近似值	公斤/米 ³ (磅/码 ³)
d	钻头直径	毫米 (英寸)
D	隧道高度 (底板至顶板)	米
E	炮眼间距, 一排中的炮眼之间的距离	米 (英尺)
e	能量	
F	能量损失	
F, F_1, F_2	力	
f	夹制系数, 当台阶炮眼的底部破碎角成平角时 $f = 1$	—
f	大地震动频率	周/秒
f_0	固有频率	周/秒
ϕ	不装药炮眼的直径	毫米 (英寸)
G	一个循环中总钻眼长度	米/循环 (英尺/循环)
g	每立方米钻眼长度	米/米 ³ (英尺/码 ³)
γ	缩减系数, 指数	
H	炮眼深度	米 (英尺)
h	装药高度	米 (英尺)
i	冲量	公斤·米/秒 (磅·英尺/秒)
K	台阶高度 (台阶的顶部水平与底部水平之间的高度差)	米 (英尺)
K'	沿斜坡量出的台阶高度	米 (英尺)
k	常数	—

κ	比率	—
L	长度	米 (英尺)
l	炮眼每米装药量	公斤/米 (磅/英尺)
l_b, l_p	底部装药每米装药量, 柱部装药每米装药量	公斤/米 (磅/英尺)
λ	波长	米 (英尺)
m	质量	公斤 (磅)
N	炮眼组中的炮眼数	—
ν	相对振动速度 ν/c	毫米/米 (%)
p	压力	公斤/厘米 ² (磅/英寸 ²)
P	炸药装填密度, $P = 1.27 \times 10^3 l/d^2$	公斤/分米 ³
Q	一个炮眼内的装药量	公斤 (磅)
Q_b, Q_p	底部装药量, 柱部装药量	公斤 (磅)
Q_0	集中装药时 ($h < 0.3V$) 的底部装药量	公斤 (磅)
q	单位炸药消耗量	公斤/米 ³ (磅/码 ³)
q_0, q_1	极限单位炸药消耗量	公斤/米 ³ (磅/码 ³)
ρ	密度	公斤/分米 ³ (磅/码 ³)
R	距离	米 (英尺)
r_e	每个雷管电阻	欧姆
r	比例距离, $r = R/Q^{1/3}$	
S	隧道断面	米 ² (英尺 ²)
$S(\alpha, \beta, \gamma)$	破坏标准	
s	炸药重量威力 (炸胶 $s = 1.3$)	
σ	平均偏差, $\sigma = R/H$	厘米/米 (%)
T	振动周期	毫秒, 秒
t	时间	毫秒
θ	温度, 度	$^{\circ}\text{C} = 5/9(^{\circ}\text{F} - 32)$
τ	间隔时间	毫秒, 秒
$\Delta\tau$	间隔时间的误差	毫秒, 秒
u	传播速度	米/秒 (英尺/秒)
V	抵抗线 ^① , 最大抵抗线	米 (英尺)

V_i	实际抵抗线（用于钻眼图型中）	米（英尺）
v	振动速度	毫米/秒
ω	角频率 $\omega = 2\pi f$	秒 ⁻¹
$>$	大于	
$<$	小于	
$\approx$	近似于	
$\geq$	大于或等于	

① burden一般译为最小抵抗线，本书中简称为抵抗线。——译者

目 录

使用符号.....	XIII
第一章 破碎力学.....	1
第二章 装药量计算 总论部分	12
第一节 相似定律	12
第二节 早期的药量计算公式	14
第三节 关于岩石松动的基本原理	15
第四节 单个炮眼的药量计算公式	20
一、集中的底部装药量	20
二、柱部装药量	20
三、总装药量	20
四、装药量的分布	22
第五节 直台阶多炮眼的药量计算公式	25
第六节 夹制程度和炮眼斜度	26
第七节 岩石系数 c	27
第八节 炮眼直径与炸药装填密度	28
第九节 炮眼间距	29
第十节 最大抵抗线	29
第十一节 抛掷	31
第十二节 膨胀	36
第十三节 破碎度	40
第十四节 使用核炸药的岩石爆破	42
第十五节 台阶爆破和回采爆破的公式一览	44
第十六节 以图解形式表示的公式	45
一、最大抵抗线	45
二、最小底部装药量和每个炮眼的总装药量	48
三、 $K = V$ 时集中在底部的极限装药量.....	51
四、破碎度	53
第十七节 习题	54
第三章 装药量计算 实际应用部分	56

第一节 一些简化关系	56
第二节 单排台阶爆破的最大装药量与最小装药量	58
一、一般台阶: $K \geq 1.8V$, 表3-1	58
二、低台阶: $K \leq 1.8V$, 表3-2与表3-3	59
三、各种岩石系数	62
第三节 实际应用	63
一、钻眼偏差的校正	63
二、多排炮眼爆破中的膨胀要求	64
三、一些实际应用表格: 表3-4、表3-5、表3-6	65
四、沉积岩中的爆破	66
第四节 装药量的分布	72
第五节 习题	76
第四章 炮眼装药	77
第一节 简单装药法	77
一、炮棍装填	77
二、长硬药卷	78
三、压气吹送药卷	78
四、分段装药	79
五、光面爆破药包	80
第二节 风动药卷装药器	81
一、引言	81
二、风动装药器的设计与性能	83
三、安全问题	88
四、实践经验	91
第三节 压力水装药器	92
第四节 硝铵混合炸药和其他粉状炸药的装填	93
一、粉状炸药装药器的不同类型	94
二、粉状装药器的操作说明	96
三、实践经验	98
第五节 不同装药方法的炸药装填密度	100
一、炮眼的形状与体积	100
二、炮棍装药	102
三、预先捣制的药卷	104

四、风动药卷装药器	105
第六节 习题	107
第五章 使用硝铵炸药的台阶爆破	109
第一节 条件	109
第二节 各种比较方案	111
第三节 费用计算	114
第四节 结果分析	124
第五节 摘要	131
第六节 习题	131
第六章 多排炮眼微差爆破	133
第一节 起爆	133
一、起爆器	133
二、毫秒电雷管	135
三、检测电路系统	137
四、导爆线	142
第二节 迟发间隔与破碎块度	145
第三节 钻眼和起爆图式	146
一、炮眼斜度	147
二、一排炮眼中的起爆顺序	149
三、多排炮眼网	150
四、自由面	155
五、具有开口掏槽的炮眼网	156
六、改善破碎作用	158
第四节 隧道与运河开凿中的底部台阶爆破	159
第五节 低台阶爆破	161
第六节 道路工程	163
第七节 建筑物的地基	165
第八节 挖沟	167
第九节 电起爆的安全措施	172
一、漏电	173
二、静电	173
三、闪电	173
四、电力线	176

五、无线电射频	175
第十节 作业计划	176
第十一节 习题	178
第七章 隧道爆破	180
第一节 无限自由面情况下的岩石爆破	180
第二节 钻眼的准确性	182
第三节 小破裂角条件下的装药量计算	185
第四节 炸药消耗量	189
第五节 掏槽类型	190
一、扇形掏槽	190
二、楔形掏槽	191
三、即发掏槽	194
四、直眼掏槽	196
第六节 每循环进尺	196
第七节 断面的选择	201
第八节 崩落岩石与起爆顺序设计	202
第九节 掘进工作的组织	207
第十节 炮眼布置和起爆顺序	208
第十一节 习题	231
第八章 使用直眼掏槽的隧道爆破	232
第一节 基本关系	234
一、每米炮眼装药量 (装药集中度)	234
二、完全爆破与塑性变形	236
三、殉爆	237
四、炸药的效力	238
五、装药炮眼直径的影响	238
六、岩石的影响	239
七、起爆顺序的影响	240
八、钻眼偏差	240
九、每循环进尺	242
十、抛掷、破碎度	246
第二节 直眼掏槽的各种类型	247
一、筒形掏槽	247

二、平行空炮眼掏槽	252
三、漏斗掏槽	255
第三节 直眼掏槽的掘进效果	256
第四节 结论	261
第五节 习题	261
第九章 大地震动	263
第一节 记录大地震动的仪器	264
第二节 释读波振图	268
第三节 大地震动的特征	274
第四节 损坏	275
一、压缩-拉伸	276
二、剪切	277
三、弯曲	278
四、局部效应	278
五、振动能量	280
六、主观估计	281
七、讨论	281
第五节 大地震动的降低	286
第六节 设计爆破作业	290
第七节 应用指南	294
第八节 习题	300
第十章 光面爆破和预裂爆破	302
第一节 裂缝的形成	303
第二节 震裂的减轻	307
第三节 抵抗线与炮眼间距	308
第四节 起爆	309
第五节 预裂	311
第六节 实际施工指导	314
第七节 光面爆破和预裂爆破的结果	318
第八节 习题	329
第十一章 水下爆破和通过覆盖层的爆破	330
第一节 装药量计算	331

一、破裂	331
二、钻眼偏差	333
三、膨胀	334
四、破碎块度	337
五、钻眼不合格的影响	338
第二节 钻眼布置图式	341
第三节 炸药	347
第四节 炮眼装药	350
第五节 电起爆和控制	352
第六节 通过殉爆起爆	354
第七节 大地震动和水冲击波	356
第八节 水冲击波压力和冲量的减小	358
一、通过选择炸药及其装药位置减小压力	359
二、用气泡幕减小压力	361
三、脉冲量的减小	362
第九节 使用情况	363
第十节 实用指导	366
第十一节 工程设计前承包人提出的问题	368
第十二章 非电爆破	375
第一节 非电起爆系统	375
第二节 非电GT雷管	375
第三节 连接件和起爆件	377
第四节 炮眼网的连接	378
一、起爆	378
二、起爆图式	379
三、半段微差迟发	381
四、复式连接	382
五、堑沟爆破	384
六、隧道爆破	384
第十三章 地下空间的应用	385
参考文献	406
附录1 习题解答说明	416
附录2 单位表	429

第一章 破碎力学

在炸药起爆后的千分之几秒内，装药的炮眼内将出现一系列变化，其猛烈程度在民用技术中几乎无与伦比。通过炸药中化学能的释放，密实的炸药转化为具有极大压力的灼热气体，在填塞严密的炮眼中压力可达到甚至超过100000大气压。单位时间内产生的总能量，即使用手持式凿岩机钻凿的小炮眼内也可达到25000兆瓦，这一数字超过了世界上大多数现有最大发电站的功率。这并非由于炸药潜在的能量特别大，而是因其反应速度特别高（2500~6000米/秒）所致。作为岩石爆破材料的炸药之特性，就在于它能对局部岩石提供集中的破坏能量。

当岩石受到很高的压力后，其炮眼附近的区域被粉碎，粉碎

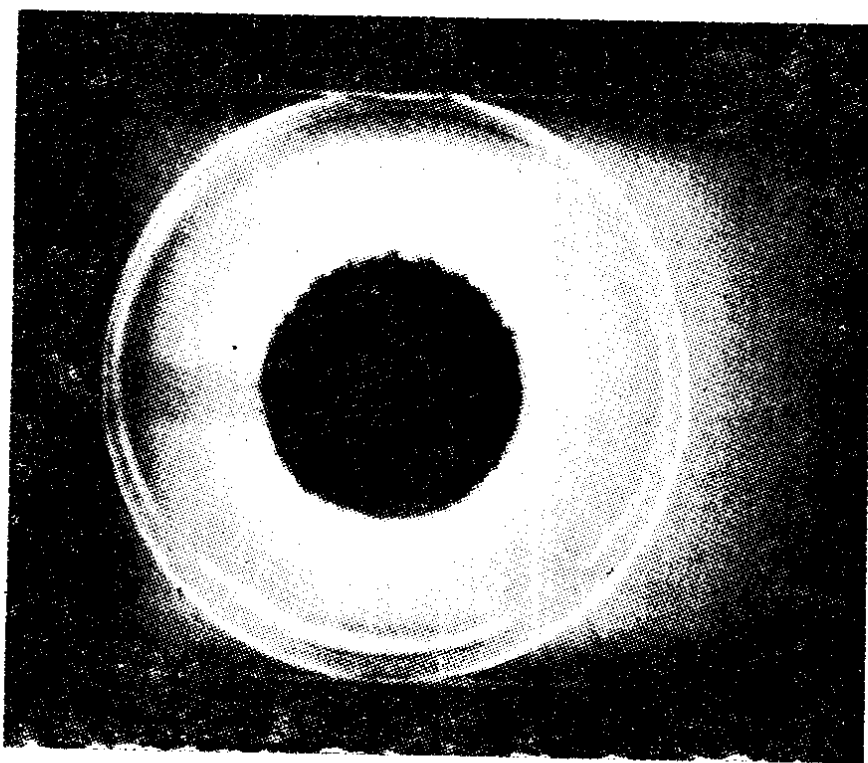


图 1-1 圆柱状药包爆炸产生冲击波波前（发光的圈）以比径向裂缝（中心黑暗的部分）大得多的速度传播。带有中心圆孔的透明丙烯酸树脂板（*lucite*）在起爆后15微秒用从后面来的光源曝光（曝光时间为0.03微秒）