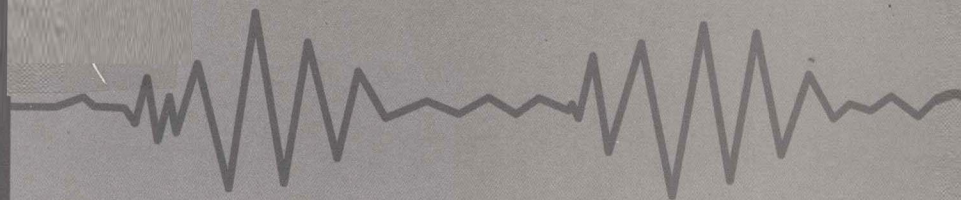


肖正学 张志呈 李朝鼎 编著

爆破地震波动力学基础与地震效应



电子科技大学出版社

爆破地震波动力学基础与地震效应

肖正学 张志呈 李朝鼎 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

爆破地震波动力学基础与地震效应/肖正学,张志呈,
李朝鼎主编.—成都:电子科技大学出版社,2004.4

ISBN 7-81094-446-0

I.爆... II.①肖...②张...③李... III.①爆震波-波动力
学②爆震波-爆破效应 IV.038

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 025228 号

爆破地震波动力学基础与地震效应

肖正学 张志呈 李朝鼎 编著

出版:电子科技大学出版社(成都建设北路二段四号)

责任编辑:谢晓辉

发行:新华书店

印刷:绵阳西南科大三江印务有限公司(电话:0816-2419093)

开本:850×1168 1/32 印张 13.1875 字数 317 千字

版次:2004 年 6 月第一版

印次:2004 年 6 月第一次印刷

书号:ISBN 7-81094-446-0

印数:1-3000 册

定价:26.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 邮购本书请与本社发行科联系。电话:(028)83201635 邮编:610054
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。

内 容 提 要

本书是为从事工程爆破、具有中等文化水平以上的爆破工程技术人员而编写的。书中介绍了振动力学基础及振动特征,波动力学基础及波动效应;装药结构与爆炸波形态;炸药爆炸的波动力学及岩体内爆炸应力波的爆破作用,地质结构演变的力学作用和应力场的波导效应。并重点论述矿岩的弹性性质与地震波传播规律、影响因素、设计原理、振动监测、控制和分析;爆破地震对建(构)筑物和岩土破坏标准;爆破震动安全判据。全书共分四编十九章,包括振动的基础知识;爆破波的性质及作用;爆破地震;爆破震动安全标准及评价方法。

本书始终贯穿着理论和实践相结合的原则,因而既是一本爆破振动理论参考书,又是一本爆破设计和监测的手册。

本书可供矿业类、交通、水利电力、土木工程、农田基建和国防等部门从事工程爆破和地震监测的科研、设计和生产单位的工程技术人员以及大专院校、技术院校有关专业的师生参考。

序 言

爆破震动安全是爆破方案设计的重点问题之一,是决定爆破工程成败的重要因素。深入研究爆破震动的工程特性及其影响因素,可以得到如何提高爆破震动安全性的重要经验,有利于爆破工作者根据工程实际需要灵活采取多种安全技术措施,改进爆破方案设计,提高爆破振动的安全性。

几十年来,国内外许多学者对爆破地震效应及其对建筑结构安全影响问题进行了大量研究。但是大都以某单一地震物理参量为依据结合建筑物宏观反应进行调查而提出相应的安全标准,有失系统性和完整性。近几年来,工程界已逐渐提倡采用反应谱理论进行分析,但尚无一套可供定量计算的方法。大量的工程实践表明,单一地震参量判据法没有充分考虑爆破地震波谱特性和建筑物动力特性以及建材强度性能,因此与工程实际情况相差甚远。

肖正学教授、张志呈教授等同志近年来对爆破地震作了大量的理论和实践探讨,并结合多年的科研和生产实践经验,博采众长,编著了《爆破地震波动力学基础与地震效应》一书,其特点是:

1. 书中主要介绍了振动力学基础及振动特征,波动力学基础及波动效应,炸药爆炸的波动力学及岩体内爆炸应力波的爆破作用,应力场的波导效应,爆破响应谱与结构响应。

2. 重点论述了矿岩弹性性质与地震波传播规律、影响因素、设计原理、振动监测、控制和分析。根据相关的理论,结合实际提出了改进工程技术措施,有助于爆破工程设计的参考使用。

3. 介绍了爆破地震对建筑物和岩土体的破坏标准和爆破震动安全判据,有助于对岩质边坡爆破动力稳定分析以及减震控制技术的研究。

4. 阐述了爆破地震与天然地震作用的基本特征与区别,为建立一套符合爆破工程实际的动力计算方法与安全标准打下基础。

5. 书中还涉及爆破对岩体的破碎效应,岩石运动规律、爆破地震效应引起各类建筑结构的动力反应以及高边坡动力稳定安全影响等问题,解决了工程技术急需的问题,同时为今后工程设计施工提供了方法。

6. 书中还重点叙述了振动的一般概念和波动原理及波动效应。为初次参加爆破地震工作者提供一些基础知识,有利于系统的了解,便于深入的开展工作。

7. 书中从基础理论到设计、施工及监测与评价标准,都进行了归纳和总结,类似手册,便于查阅及使用。

本人受西南科技大学肖正学教授的嘱托,乐于向广大读者推荐,供读者参考。我相信该书的出版,将对广大读者和工程、科研技术人员有所裨益。

经福海

2004年6月12日

前 言

工程爆破是工程建设为目的的爆破技术,它作为工程施工的一种手段,直接为国民经济建设服务。工程爆破与其它形式的爆破不同,它是以爆破的形式达到新的建设目的。众所周知,如铁路、公路的建设中炸掉一座或半座山头,却建成公路或铁路路堑,定向大爆破炸掉原始山坡,却建成为灌溉、发电的水库,城市旧建(构)筑物的拆除爆破,也是为美化环境或在原地面建设新的厂房和居民建筑。在矿山部门用以揭开矿石覆盖层,为露天开采,进行大量爆破;地下巷道的掘进和矿山开采等,都是使用爆破的工艺技术。据中国力学学会爆破专业委员会,20世纪90年代的资料记载:建国以来在我国装药量上万吨级的有两次;千吨级的十余次;百吨级的数百次。用定向爆破技术筑成的水利坝、尾矿坝、拦石坝和交通路堑60座。黄土高原的定向爆破造田。估计每年耗用工业炸药量80万吨左右,可以开采金属矿和非金属矿数十亿吨,开采土石方几十亿立方米,开挖地下巷道几万公里。

然而大规模的爆破或日常生产的频繁爆破,所产生的爆破地震效应给安全带来问题。爆破作业引起大地震动,波及建(构)筑物基础,影响建(构)筑物安全并给人们带来不愉快的感觉,成为被社会广泛关注的“公害”。因此,具有大、中型工程爆破的采掘企业,在今后的设计中规定,首先应当具有爆破地震的预估报告。

在许多情况下,爆破规模的控制,爆破工艺的选择,以及爆破设计方案能否实施,均取决于对爆破振动效应及建筑物安全的论述和控制,因此爆破地震监测及防护被业主和爆破工程技术人员高度重视。

爆破地震效应的测试工作在工程中广泛应用测试系统和测试技术将成为爆破专业队伍的生存手段。按此要求目前普通爆破行业的施工单位、生产现场的工程技术人员一般在测震理论和实际与要求均有差异。

多年来我们在生产、教学、科研中深感缺乏系统的理论知识和实践中的分

辨、分析能力。并意识到要全面掌握爆破地震学这门知识,应当具备振动的基础知识;应当知道炸药爆炸的波动力学及岩体内的爆炸作用;应当了解爆破震动的传播规律、影响因素、振动监测、控制和分析;应当懂得爆破震动安全标准及评价方法。限专业和工作性质,要编写成类似手册性质的论著,实感困难。我们本着:“洋为中用,古为今用”,博采众长,开拓创新,总结提高的原则,把物理学中的振动和波移植到爆破振动的基础知识和波的性质和作用章节中。还移植了[美]W·米恩斯所著《应力与应变》、[美]charlas H·Dowding 所著《爆破振动监测与控制》、[苏]A·H·哈努卡耶夫所著《矿岩爆破物理过程》和瑞典戴维思(D. Davies)1968年6月整理两次10个国家的地震学家讨论地下核爆炸的侦察和识别——“监视地下爆炸的地震方法”等的有关章节的部分内容,以及国内一些爆破专家的有关资料。结合多年的爆破、地震科研项目的试验研究与实践写成了这本书。

本书始终贯穿着理论和实践相结合的原则,因而既是一本爆破振动理论参考书,又是一本爆破设计和地震动监测的手册。书中勾划了爆破设计原理及振动的监测、控制和分析,并收集了大量实践和现场观察的数据。有利于读者深入分析、判断和应用,本书内容十分丰富,几乎包括了爆破震动方方面面的问题,是一般爆破工作者都理解、难得的一本好书,这本书的出版将对我国爆破震动的研究或应用起到一定的促进作用,作者不揣浅陋,以此奉献给读者参考。

本书第1~9章由肖正学编著,第10~14、18、19章由张志呈编著,15~17章由李朝鼎编著。全书由肖正学、张志呈统稿。

中国科学院院士、中国工程物理研究院经福谦研究员为本书作序。由于时间仓促和作者水平的限制,因此,书中错误,不足乃至疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2004年1月15日

常用符号

F	力
x	物体的位移 x_m 最大位移
K	弹性系数
ω	角频率或圆频率
φ	初相角 初周相
a	加速度
v	简谐振动的速度
V_m	速度的最大值
A	幅值或振幅 离开基准位置的最大位移
T	周期
f	频率 拍频 结构响应频率 普氏硬度系数
$(\omega t + \varphi)$	位相
m	物体的质量 体波震级 米
W_k	物体的动能
W_p	势能
W	能量 深孔、硐室爆破参数抵抗线
W_{yn}	能量密度
I	力的冲量
ρ	介质密度;岩石密度
C_p	纵波速度
τ	热力学温度
P	压强 压力

B	媒质的容变弹性模量
M_{mol}	气体的摩尔质量
C_s	横波速度
C_T	介质的切变弹性模量
Y	杨氏弹性模量
λ	波长
V_1	波在第一媒质中的速度
V_2	波在第二媒质中的速度
r	距离 离爆点的距离 (R)
r_0	半径 药包半径
$\bar{r}$	相对距离
Q	药包重量
Q_i	炸药的爆热
t	作用时间 时间
Δp	超压
γ	比重
σ_r	径向应力
σ_t	切向应力
C_0	岩石中的声速
$I_{\gamma n}$	冲量密度
W_η	波的总能量
r_b	炮孔半径
$E_{\text{соср}}$	能流密度
$E_{\gamma n \Pi}$	能量密度
$V_{\text{пар}}$	质点移动速度
σ_T	屈服极限
σ_γ	弹性极限
σ_f	附加应力

α	衰减指数
ε	应变
σ_0	孔壁压力
K_j	修正系数
g	重力加速度
H, h	高度
μ	泊松比 泊松系数
G	剪切模量
K_v	体积压缩模量
E	弹性模量
C_R	表面瑞利波速
ξ	系数
μ_g	刚性模量
M	约束模量 面波震级
γ	剪切应变
τ	剪切应力
C_L	拉夫波速
m_w	西方的仪器所定的体波震级
m_E	前苏联式仪器所定的体波震级
Y	地震量级
C_1	阻尼系数
ω_p	质量系统的固有圆频率 与 ω 同
ω_d	阻尼系统的固有圆频率
f_w	激励频率
f_m	自振频率 建(构)筑物自振频率
σ_B	岩体动力抗拉强度
σ_P	岩体静力抗拉强度
L	比例距离 $L = R/Q^{1/4}$; 长度
B_f	频率效应影响系数

K_B	频率比例系数
K_f	频率系数
f_b	爆破地震引起的地面质点振动频率
K_0	不偶合系数
σ_1	爆轰压力
τ	间隔时间
$>$	大于
$<$	小于
$\approx$	近似于
$\geq$	大于或等于
σ_n	法向分量
σ_s	剪切分量
Q_d	段药量
f_s	支配频率

目 录

常用符号

第一编 振动的基础知识

第一章 振动的一般概念	(3)
第一节 振动的基本知识	(3)
第二节 简谐振动的振幅、周期和频率	(8)
第三节 位相	(10)
第四节 简谐振动的图线	(12)
第五节 简谐振动的能量	(16)
第二章 振动力学基础及振动特性	(19)
第一节 阻尼振动	(19)
第二节 受迫振动	(21)
第三节 共振	(23)
第四节 简谐振动的合成·拍	(25)
第三章 波动力学基础及波动效应	(30)
第一节 机械波的产生和传播	(30)
第二节 波的能量、能量密度、波的吸收	(31)
第三节 惠更斯原理及应用	(35)
第四节 横波和纵波、波阵面和波射线	(37)
第五节 波动方程	(43)
第六节 波的反射、折射	(48)
第七节 波的绕射和散射	(50)
第八节 驻波	(51)

第九节 波的迭加原理、波的干涉	(54)
-----------------------	------

第二编 爆破波的性质及作用

第四章 炸药爆炸的波动力学	(61)
---------------------	------

第一节 冲击载荷和波	(61)
------------------	------

第二节 爆炸波	(62)
---------------	------

第三节 冲击波	(64)
---------------	------

第五章 装药结构与爆炸波形态	(78)
----------------------	------

第一节 概述	(78)
--------------	------

第二节 装药结构与爆炸波形态	(79)
----------------------	------

第三节 装药结构与弹性波性质	(79)
----------------------	------

第四节 岩石类型与爆炸波	(87)
--------------------	------

第六章 岩体内炸药的爆炸作用原理	(96)
------------------------	------

第一节 爆炸应力波的内部破坏作用	(96)
------------------------	------

第二节 爆炸应力波的外部破坏作用	(99)
------------------------	------

第三节 爆破漏斗	(104)
----------------	-------

第四节 岩体爆破时应力波和气体的破坏作用	(110)
----------------------------	-------

第五节 动、静强度在岩体爆破中的作用	(114)
--------------------------	-------

第七章 岩体内的爆炸应力波	(118)
---------------------	-------

第一节 基本概念	(118)
----------------	-------

第二节 应力波特征	(119)
-----------------	-------

第三节 应力波在岩石中传播规律	(123)
-----------------------	-------

第四节 应力波的衰减	(131)
------------------	-------

第五节 应力波能量变化规律	(133)
---------------------	-------

第六节 爆破应力波模型试验	(137)
---------------------	-------

第七节 台阶深孔药柱前方爆区岩石中心的应力波传播	(142)
--------------------------------	-------

第三编 爆破地震

第八章 地质构造的力学作用	(147)
---------------------	-------

第一节	概述	(147)
第二节	岩石中的力	(149)
第三节	作用在平面上的应力	(152)
第四节	应力场	(159)
第五节	应力场的波导效应	(166)
第六节	爆破地震波传播时岩体中应力场的波导效应实例	(171)
第九章	矿岩的弹性性质与地震波	(178)
第一节	矿岩的弹性因素	(178)
第二节	矿岩的弹性性质	(180)
第三节	弹性波波动方程	(182)
第四节	爆轰压力的传递	(184)
第五节	地震波传播的基本理论	(185)
第六节	爆破振动近似为正弦波	(187)
第十章	自然地震与爆破地震	(191)
第一节	自然地震	(191)
第二节	爆破地震	(193)
第三节	自然地震与爆破地震的关系	(195)
第十一章	爆破地震波	(206)
第一节	概述	(206)
第二节	爆炸地震波的类型	(208)
第三节	体波	(212)
第四节	表面波	(213)
第五节	地面质点振动参量	(216)
第六节	爆破地震波速度	(218)
第七节	爆破地震波主频率的特性	(224)
第八节	爆破地震波距爆源不同距离的脉冲效应	(229)
第十二章	爆破震动强度的影响因素	(231)
第一节	地形条件与爆破地震强度的关系	(232)

(77) 第二节	地质条件与爆破震动	(244)
(77) 第三节	爆破条件与爆破震动强度	(247)
(77) 第四节	爆破方法	(255)
(82) 第五节	起爆顺序与振动强度的关系	(257)
(80) 第六节	炸药类型与装药结构的影响	(260)
第七节	爆破方向对震动强度的影响	(261)
(71) 第八节	爆破近区裂缝与振动强度的关系	(268)
(85) 第九节	延时间隔时间对震动强度的影响	(269)
(87) 第十节	微差爆破起爆方式对地震持续时间的影响	
(08)		(278)
第十三章	响应谱与结构响应	(288)
(48) 第一节	响应谱与结构响应	(288)
(22) 第二节	<i>SDF</i> 数学模型	(290)
(77) 第三节	响应谱和三用图纸	(294)
(10) 第四节	结构的变形与破坏	(297)
(11) 第五节	质点速度与 <i>SDF</i> 和 <i>TDF</i> 系统计算的比较 ...	(299)
第十四章	结构固有频率和阻尼	(302)
(7) 第一节	结构固有频率和阻尼	(302)
第二节	住宅房屋响应特性	(305)
第三节	结构频率与激励频率	(307)
第四节	自振周期的经验公式	(309)
第五节	建筑物自振频率	(310)
第十五章	降低爆破地震效应	(313)
第一节	限制最大一段用药量	(313)
第二节	采用微差爆破技术减震	(314)
第三节	减震沟和预裂缝减震	(315)
第四节	断层、节理的隔震效应	(316)
第五节	提高爆破震动频率	(319)

第四编 爆破震动安全标准及评价方法

第十六章	爆破振动测试	(329)
第一节	爆破震动测试目的及内容	(329)
第二节	爆破振动测试系统	(330)
第三节	爆破测震仪简界	(337)
第四节	爆破震动测试方案及注意事项	(343)
第十七章	工程爆破振动的安全判据	(347)
第一节	概述	(347)
第二节	质点振速是地震效应评判的重要参数	(348)
第三节	爆破震动安全判据参数	(349)
第四节	爆破振动强度计算	(355)
第五节	振速、频率作为震动强度指标	(359)
第十八章	爆破地震的特点与安全距离	(366)
第一节	爆破地震的震级和烈度	(366)
第二节	爆破地震的特点	(367)
第三节	爆破地震的安全距离	(372)
第四节	爆破振动速度与建筑物的作用关系	(372)
第十九章	爆破地震对建(构)筑物和岩土破坏标准	(379)
第一节	爆破地震对建(构)筑物的破坏标准	(379)
第二节	爆破地震效应对边坡的影响	(384)
第三节	爆破振动对巷道围岩的影响	(389)
附录		(393)