

爆炸动力学及其应用

J·亨利奇 著

科学出版社

爆炸动力学及其应用

J. 亨利奇 著

熊建国 等 译



科学出版社

内 容 简 介

本书叙述爆炸动力学的基本原理及其在土木、采矿、机械等工程中的应用的有关问题。内容包括：应力波理论，爆炸的主要过程及其在空气、水、土等介质中的效应，爆破拆除的基本原理与方法，梁、板、框架等体系的弹性与弹塑性动力反应的分析方法，爆炸的地震效应与爆炸安全问题以及确定爆炸效应的有关经验公式。

J. Henrych

THE DYNAMICS OF EXPLOSION AND ITS USE

Elsevier Scientific Publishing Company, 1979

爆 炸 动 力 学 及 其 应 用

J. 亨利奇 著

康建国 等 译

责任编辑 李成香

中 华 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987 年 6 月 第 一 版 开本：850×1168 1/32

1987 年 6 月 第 一 次 印 刷 印张：19

印数：0001—2,200 字数：475,000

统一书号：13031·3505

本社书号：4708·13—2

定 价：5.35 元

译 者 的 话

本书专门论述爆炸动力学的基本原理以及爆炸能应用中的有关动力学问题,其内容包括爆炸波的形成与传播、爆炸效应估计、抗爆结构分析等几个方面。全书正文共有九章。第一章为应力波理论,叙述了气体、液体与固体中应力波有关的基本方程,典型情形下的解答和应力波特征。第二章介绍爆炸及其在介质中的效应,主要讲述炸药爆轰过程,爆炸气体喷出,接触爆炸与近区爆炸所产生的荷载以及聚能装药爆炸等问题。第三、四、五章分别阐述了空气中、水中和土(岩)中的爆炸理论及其应用,这部分可以说是本书前半部的重点,其中特别着重介绍了土岩爆破的有关问题,除了应用应力波理论进行阐述外,还列举了大量的经验公式用以计算爆破的各种效应参数。第六章论述爆破拆除,介绍用爆破方法拆除砖、钢筋混凝土和钢结构等各类构筑物的基本原理,爆炸参数的估算以及爆炸拆除中的地震效应。第七、八章分别叙述了弹性和弹塑性体系(包括单质点、梁、板和框架)在瞬态载荷作用下的动力分析方法,给出了一些常遇到的情况的解答和计算表格,是本书的第二个重点。第九章论述爆炸地震效应。这一章对爆炸引起的地运动、结构反应分析、爆炸安全距离等作了简要介绍。此外,在每章末分别列有有关文献,最后一章(第十章)还列有大量补充参考文献。这本书的内容比较全面系统,具有理论与实际相结合的鲜明特点,它对于从事土木、水工、石油、矿山等方面爆炸能的利用和工程防护的科研、教学与工程技术人员都有一定的参考价值。

在译、校过程中,对发现的一些印刷错误已予更正;对其中一些差错和不妥之处作了附注。

本书第一、六章由熊建国译,第二、三、四、九章由江近仁译,第

五章第一至三节、第七章由陆顺永译，第五章第四、五节，第八章由曹志远译。其中第一、六至八章由江近仁校，第二至五章、第九章由熊建国校。全书由熊建国负责总校。刘才对第二、六章译稿提出过宝贵意见。由于译校者水平所限，译文中定有不少缺点、错误，恳请读者批评指正。

前 言

当前,科学和技术正处在不断发展的时期,爆炸能正越来越频繁地被用于各种目的。在工业中,它以化学爆炸的形式,近来又以核爆炸的形式出现;它们与宇宙间发生的爆炸现象有类似之处。

在工业中,爆炸能已用在土方工程、改建工程、采石、采煤、采矿、地基加固、拆除构筑物、开挖隧道、筑坝、金属爆炸成型、金属焊接和其他很多工程和生产工艺中。

为了防御爆炸波效应,在很多部门,如矿山、化工、民防和机械工业等等,都需要修建防护结构。构筑物和结构必须设计得能经受爆炸地震波和空气压力波的作用。

在一些工业发达的国家,包括捷克斯洛伐克在内,爆炸能已在各种工业方面得到广泛的应用,但是有关的理论却有点被忽视。这显然是由于问题的复杂性造成的。其中有很多问题至今尚未从定性和定量这两方面充分地加以解释。

本书总结了作者的经验和世界各国学者的见解。

参加本书编著工作的还有工程师马可维茨卡 (D. Makovička) (1.4.2—1.4.5 节)、工程师德沃拉克 (A. Dvořák) (6.2 节) 和工程师卢克斯 (J. Lukeš) (6.1 节)。

(以下从略)

亨利奇 (J. Henrych)

主 要 符 号

大写字母

A, A^*	—功
A_{ef}	—有效振幅
A_r	—破坏的应变功密度
$A_i, A'_i, A_{ij}(i, j = 0, 1, 2, \dots)$	—常数
$A_x, A_y, A_z, A_x(\bar{R}), A_y(\bar{R}), A_z(\bar{R}), A_x(\bar{R}_0), A_y(\bar{R}_0), A_z(\bar{R}_0), {}^PA_x,$ ${}^PA_y, {}^NA_x, {}^NA_y, {}^RA_x, {}^RA_y$	—分别为 x, y, z 方向的振幅
A_{rmax}^{dyn}	—扰动单位体积质量所需的功
*A	— A 的标称值
$A_0, A^*, A_*, {}^0A, A^{**}, {}^*A$	—常数
0A	—热功当量
A'	—特征阻抗, 声阻抗
$A(t)$	—力
$A_x(x), A_y(x), A_{str}, A_{max}$	—振幅
B	—温度的函数
$B, B^*, B_*, B', B_0, {}^0B$	—常数
$B_i, \bar{B}_i, B_{(j)}, B_{(j)}^*, B_{(j,k)}(i, j = 0, 1, 2, \dots)$	—常数
C	—复合波, 刚度系数
C, C'	—常数
$C_i, C'_i, C''_i, C_{i(j)}, C_i^I, C_i^{II}, C_i^{III}, C_i^{IV}, C_i^V(i, j = 0, 1, 2, \dots)$	—常数
$C_{k,i}(i, k = 1, 2, \dots)$	—刚度系数
${}^0C, C_x$	—系数
$C_i(t)(i = 0, 1, 2, \dots)$	—函数
C	—刚度矩阵
D	—爆轰波阵面速率, 碎裂准则, 板的刚度

D_x	—反射爆轰波速率
D_w	—药包直径
iD	—爆轰波初速率
$D_*, D_i, D'_i, D''_i (i = 0, 1, 2, \dots)$	—常数
$\bar{D}$	—爆轰速率, 相对密度
E	—可变变形模量
E, E_d	—弹性模量
$E, E_{PE}, E_{KE}, E_W, E_0, E_D, {}^*E_W, E_\phi$	—比内能(每单位质量)
E_{mol}	—一克分子摩尔颗粒的动能
E_0	—常数
E_1	—折合弹性模量
$E_1, E_{1z}, E_{1xz}, E_{1yz}, E_{1xz}, E_{1N*}, E_{1KE},$	—质点动能, 能量
${}^0E, {}^0E_{mat}, {}^0E_{rad}, {}^0E_{tot}, {}^0E_t, {}^*{}^0E_W$	—能量密度
$E^*, E^*_i (i = 0, 1, 2, \dots)$	—振荡能
$\hat{E}$	—理想气体的无量纲内能
$\bar{E}$	—变形比
$E'_i(\lambda_{(i)}, \lambda'), E_{Ni}(\psi_{(i)}, \psi), E_{Ki}(\vartheta_{(i)}, \vartheta'), E'_i(\lambda_{(i)}), E_i(\lambda_{(i)}, \lambda),$ $E_{Ni}(\psi_{(i)}, \psi), E_{Ki}(\vartheta_{(i)}, \vartheta)$	—函数
$F, F', F_A, F_B, F_0, F_1, F_2, F_{0K}$	—面积, 相对面积
$F, F(x, y, z, t), F_i(W), F_0, F_q, F_\mu, \tilde{F}, \tilde{F}_m, F(\sigma), F_i(\lambda), F'_i(\lambda'), F_{Ni}(\psi),$ $F_{Ni}(\psi'), F_{Ki}(\vartheta), F_{Ki}(\vartheta') (i = 1,$ $2, \dots)$	—函数
G	—剪切弹性模量(拉梅常数)
H	—棱柱边
$H, H_x, H_y, H_z, H_{xi}, H_{yi}, H_{zi}$	—动量, 流体波, 长度, 高度, 深度
$H, H_0(t), H(\varphi, t)$	—水平力
H_v, H'_v	—可见弹坑(漏斗)深度
H_0, H_x, H_{max}	—介质高度
H_1	—路径长度
I, I_W, I_1, I_t, I_p	—冲量, 总冲量, 装药总冲量
$I, I'_i (i = 0, 1, 2, \dots)$	—符号
I_{bR}	—侧向冲量的轴向分量
I_q	—修正贝塞尔函数

J	——截面惯性矩
J_K	——截面中心惯性矩
J_0	——第一类贝塞尔函数
K	——体积变形模量, 波在介质中的通行系数
K, K_0, K_1, K_2, K_3	——动能
$K, {}^0K, {}^PK_A, {}^PK_T, {}^RK_T, {}^PK_u, {}^NK_u$	——常数
$K_t, K_r^{dyn}, K_p, K_s, K_d, K_{vd}^*, K_{ij}(i, j = 0, 1, 2, \dots)$	——系数
K_0	——修正贝塞尔函数
$\tilde{K}, \tilde{K}(x), \tilde{K}(z)$	——曲率, 符号
$K(x, t), K_{gh}(t), K_{gh0}^*, K_{gh1}^*, K_{gh(j)}^*, K_{gh}^*(t), K_{gh}^*, K^*(0), K^*(l), K_{mi}$	——扭矩
$K_s(t)$	——地震函数
L	——长度, 路径
L_e	——弹性应变功
$L_i(i = 0, 1, 2, \dots)$	——特征线
L_0	——塑性应变功
L_p	——惯性力应变功
L	——聚能装药离障碍物的最佳距离
M	——分子量
$M, M_0, M_p, M_{vp}, M_{(j)}$	——介质质量, 爆炸气体, 装药, 岩石储量
M_{ef}	——有效分子量
$M_i(i = 0, 1, 2, \dots)$	——点, 系数, 常数
$M_{x0}, M_{y0}, M_{x1}, M_{x2}, M_{y1}, M_{y2}, M_x(x, y, t), M_y(x, y, t), M_{xy}(x, y, t), M_{x0}(t^*), M_{y0}(t^*), M_{xi}(t^*), M_{yi}(t^*), M_{xi}, M_{yi}, M_{xiD}, M_{yiD}(i = 0, 1, 2, \dots)$	——板的弯矩
M_0, M_{0i}	——符号
$M_0, M_{0j}, M_{0k}, M_0(t)$	——截面极限弯矩
$\hat{M}$	——冲击波阵面上的网络单元数
$M(t), M_m, M_{mi}, M_{gh}(t), M_g(t), M_t, M_{gh(j)}, M(0), M(l), M_l, M_{gh1}^*, M_{gh0}^*, M_{gh}^*, M_{xm}, M_{ym}, M(\varphi, t), M(x, t), M(z, t)$	——梁的弯矩

$M_r(r, t), M_\varphi(r, t)$	— 圆板的弯矩
M	— 质量矩阵
$N, N(\bar{R}_0)$	— 应力波波阵面传播速度
N_{XW}	— 喷流表面的传播速度
N_m	— 最大压力速度
N_r	— 反射波波阵面速度
N_0	— 阿伏伽德罗常数
N_0^*	— 质点数
N^*	— 电子总数
$\bar{N}$	— 应力比
$N(\varphi, t)$	— 法向力
P	— 纵波
$P, P_m, P_{eq}, P(t), P(u), P_i(t), \bar{P}_s(t), P_s, P_s(t)$	— 力, 荷载
$\bar{P}(t), \bar{P}(0), \bar{P}(t_u), \bar{P}_u$	— 函数, 函数值
Q	— 勒夫波, 重量
$Q, Q_W, Q'_W, Q_{WT}, Q_{WT}$	— (爆炸、梯恩梯炸药等的) 爆热
Q_M^*, Q_{vp}^*	— 能量
Q_W^*	— 爆炸能
$Q_{Wi}^*(i = 1, 2, \dots)$	— 能量, 热量
Q_{int}, Q_{ext}	— 内部热量, 外部热量
$Q_{cwi}^*(i = 1, 2, \dots)$	— 条形(圆柱形)药包的相对能量
Q'	— 表示能量与大气压比值的长度
R	— 瑞利波
$R, R_A, R_B, R_C, R_K, R_S, R_V, R(R_0, t), R_E, R_i(i = 0, 1, 2, \dots)$	— 长 度、距离
R, R^*	— 半径
R_D	— 爆轰波波阵面半径
R_W	— 集中(球形)药包半径
R_c	— 中央区半径
R_s	— 弹性和塑性变形区交界面半径
R_{kr}	— 岩石破裂区半径
$R_n, \bar{R}_n, \bar{R}_n(\nu), R(\nu), R(\nu_s), R_0, R_{0s}$	— 体系反力
R_p	— 聚能腔半径

R_{ed}	——爆腔半径
R_{ep}	——爆炸气体半径
R_1	——特征线
$^{\circ}R, ^{\circ}R_0$	——气体常数, 普适气体常数
R_{ϕ}	——爆炸波阵面半径
$\bar{R}, \bar{R}_0$	——折合距离
S	——横波
S, S_0	——熵
$S, S(t), S_i(t), S_{i(j)}(t) (i = 0, 1, 2, \dots)$	——地震力
$T, T_0, T'_0, T_W, *T, *T_W, T(*p_W)$	——温度, 绝对温度
$T, T_0, T(\bar{R}), {}^NT, {}^RT, T_{(j)}, T_{(i,j)}(i, j = 0, 1, 2, \dots)$	——振动周期
T_D	——爆轰波阵面上的绝对温度
$*T_W$	——瞬发爆炸产物的绝对温度
$T_i (i = 0, 1, 2, \dots)$	——系数
$T_m, T_m(\bar{R}), T_m(\bar{R}_0)$	——压力波的最大温度
T_p	——脉动周期
T_{ϕ}	——波阵面上的介质温度
$T_{\phi r}$	——反射波阵面上的温度
$\bar{T}$	——无量纲参数
$T(x, t), *T(x), T_1^*(x), T_0^*(x), T(0), T(x, t), T(l), T_{(j)}(x), T(\varphi, t), T_0(t)$	——剪力
$T_r(r, t)$	——圆板的剪力
$T_x(x, y, t), T_y(x, y, t), \tilde{T}_x(x, y, t), \tilde{T}_y(x, y, t)$	——矩形板的剪力
$U_{\#}$	——波阵面的相对速度
U_1	——聚能流头部的速度
U_{1A}	——点 A 的速度
U_2	——聚能流尾部的速度
U_{1kr}	——临界速度
$U_{gh}(t), U_{gh0}^*, U_{gh1}^*, U_{gh}(t)$	——杆端轴向力
$V, V_0, V_k, V_i, V_{i0} (i = 1, 2, \dots)$	——比容
V_D	——爆轰波中爆炸气体的比容
V_X	——冲击波中介质的比容
V_W^*	——装药体积

$\bar{V}_{wi}^*$	——在 i 方向喷出的爆炸气体的体积
$*V_W, V_W$	——装药(药包)的比容
V_{kp}^*	——可见弹坑体积
V_{vp}	——爆炸气体的比容
V_{vp}^*	——爆炸气体体积
$V^*, V_c^*, V_i^*, V_{00}^*, V_{vd}^*, V_{mol}^*, V_{(j)}^*, V_{vp}^*, V_p^*, V_i^* (i = 0, 1, 2, \dots)$	——体积
$\bar{V}$	——无量纲参数
$V(T, p)$	——函数
$V(\varphi, t)$	——拱的竖向力
$V_{zh}(t), V_{zh1}^*, V_{zh0}^*, V_{zh}^*, V_{zh}(j)$	——杆端力
$W, W_{KIN}, W_{GRAV}, W_{VAZ}, W_{kone}, W_{cont}, W_{opt}, W_{Sw}, W_{Sc}, W_0, W_{Pc}, W_P, W_S, W_M, W_i (i = 1, 2, \dots)$	——药量, 压力波的梯恩梯当量, 装药重量
$-W$	——假想药包
W_{Sc}	——给定炸药装药的相对质量(每单位长度)
0W_V	——含水体积
W_c	——条形装药的相对药量, 单位长条形药包的梯恩梯当量
W_c^*	——条形药包总药量
W_i	——实际装药量(集中药包)
W_i	——杆状装药药量(每单位长度)
0W_v	——含水量
$W_{(j)}$	——核爆炸的能量当量
$\bar{X}$	——无量纲参数
$X_{zh}(t), X_z(t), X_c, X_{zh0}^*, X_{zh1}^*, X_{zh}(j)$	—— X 向端点力
$X_j^*(x), X_{jp}^*(x), X_{(j,k)}(x)$	——函数
Y_0	——第二类贝塞尔函数
$Y_{zh}(t), Y_z(t), Y_c, Y_{zh0}^*, Y_{zh1}^*, Y_{zh}(j)$	—— Y 向端点力
Z_0	——装药
$Z(t), Z_i(t) (i = 0, 1, 2, \dots)$	——函数

小写字母

$a, a', a_{\Delta}, a_{opp}, {}^0a, a_i, a_{(j)}, a_i^*, a_{(j,k)}(i, j, k = 0, 1, 2, \dots)$ —— 常数, 数

$a, a(t), a_i(t)(i = 0, 1, 2, \dots)$ —— 长度, 距离

$\dot{a}(t), \dot{a}[t(x)]$ —— 速度

$b, b_{\min}, b_{\max}, b_s, b_x, b'_x, b'_s$ —— 长度, 宽度, 距离

$b_i^*, b_{(j)}, b_{(j,k)}, {}^1b(i, j, k = 0, 1, 2, \dots)$ —— 常数, 系数

ber, bei —— 开尔文 (Kelvin) 函数

c, c_x, c_u —— 机械扰动的传播速度

$c_P, c'_P, c_{xP}, c_{xPi}, c_{Pr}$ —— 纵波速度

c_S, c_{xS}, c_{xSi} —— 横波速度

c_V —— 定容比热

${}^Ic_i, {}^{II}c_i, {}^{III}c_i, {}^{IV}c_i, {}^Vc_i, {}^0c_i(i = 0, 1, 2, \dots)$ —— 常数, 系数, 指数

c_p —— 定压比热

$c_x, c_{x0}, c_{xW}, c_{xD}, {}^*c_{xW}, c_{x1}, c'_{x0}$ —— 各种介质中的声速

c_{xR} —— 瑞利波波速

$c_{xm}, c_{xm}(\bar{R}), c_{xm}(\bar{R}_0)$ —— 压力波的最大声速

c_{x0} —— 冲击波阵面上的声速

c_{x0r} —— 反射冲击波阵面上的声速

c_{10}, c_{20}, c_{30} —— 分别为在压力 p_0 下矿物颗粒、水和空气中的声速

c_{ϕ} —— 函数

d —— 直径

${}^0d, d_i(i = 0, 1, 2, \dots)$ —— 常数, 函数, 系数

e —— 自然对数的底

$e, {}^0e$ —— 系数, 电荷

$f, {}^0f, f_i,$ —— 系数, 频率

$f(V), f(c_s), f(t), f(n), f^*(n), f(u), f(t/\tau)$ —— 函数

${}^Pf_x(x, \bar{e}), {}^Nf_x(x, \bar{e}), {}^Rf_x(x, \bar{e}), {}^Pf_x(x, \bar{e}), {}^Nf_x(x, \bar{e}), {}^Rf_x(x, \bar{e}),$
 ${}^Pf_x(\bar{e} - x/c_p), {}^Nf_x(\bar{e} - x/c_N),$
 ${}^Rf_x(\bar{e} - x/c_R), {}^Pf_x(\bar{e} - x/c_p),$
 ${}^Nf_x(\bar{e} - x/c_N), {}^Rf_x(\bar{e} - x/c_R)$

—— 函数

g —— 重力加速度

$g^*(c_2), g(\sigma, \varepsilon)$	—函数
h	—拉格朗日坐标
h, h^*, h_{zh}, h_z	—厚度, 长度, 高度
h_h^*	—弹坑唇缘高度
h_p	—渗透路径
h_1, h_2	—变形
1h	—系数
$\hbar$	—普朗克恒量
i	—下标
$i, i(x), i_b, i(\alpha), i(t), i_1, i_{mi} (i = 0, 1, 2, \dots)$	—比冲量
$c, i_c(\alpha)$	—条形药包爆炸的比冲量
i_w	—爆炸的相对冲量(药包单位面积)
$i_m, i_m(\bar{R}_0)$	—冲击波的比冲量
$\bar{i}$	—稀疏波的比冲量
$\bar{i}, \bar{i}(x)$	—相对冲量
l_ϕ	—压力(冲击)波的比冲量
i	— x 方向单位向量
j	—下标
j	— y 方向的单位向量
$k, k_1, k_2, k_3, \bar{k}_2$	—各种介质的等熵指数
$k_w, k_0, ^1k, ^1k_0, k_{obl}, k_{of}, k(j), k_p, k_z, k_H, k_S, k_V, k, k_B, ^*k, k^*, k_\Delta, k_h, k_{opt}, k_{zh}, k_{vd}, k_{vd}^*, \bar{k}_{vd}, \bar{k}_{vd}^*, k_i^*, ^1k_i (i = 0, 1, 2, \dots)$	—系数
k_m, k_{ms}	—延性比
k^*	—玻耳兹曼常数
$\bar{k} = c_p/c_v, k_i (i = 0, 1, 2, \dots)$	—常数
$k(x, t)$	—扭矩
$k_2(S), \bar{k}$	—函数
$\bar{k}$	— x 方向的单位向量
kei, ker	—开尔文函数
$l, l_{cent}, l_{konc}, l_x, l_y, l_j, l'_i, l''_i (i = 0, 1, 2, \dots)$	—长度
l_w	—条形药包长度

l_{ef}	——聚能流的有效长度
l'	——系数
$m, m(v), \bar{m}_n(v), m_n$	——质量, 重量, 系数
m_v	——计算质量
m_0, m_1, m_2	——流动质量
m'	——共同作用质量, 系数
n	——常数, 数, 量, 下标
n, n_A, n_B	——爆破作用指数
n_{opt}	——爆破作用指数最佳值
n_x, n_y, n_z	——波长的倒数
n_v	——自由孔隙率
n_{ob}	——总孔隙率
$n', n^*, n^*(\omega), n_{ij}(i, j = 0, 1, 2, \dots)$	——系数
	——外法线单位向量
$np, p(V), p(\Theta), p(\rho), p', p_0, p_0, p_{pr}, p_k, p_{atm}, p(i), p_a, p_b, p_c, p_d,$ $p_1, p_2, p'_1, p(t_n), p(t_{n-1}),$ $p_A(t_{n-1}), p_A(t_n), p(t_i), p(t_{i-1}),$ $p_A(t_i), p^*, p_{tot}, p_{mat}$	——压力, 介质中的压力
p_D	——爆轰波阵面压力
p_W	——装药未起反应部分的压力, 一个等离 子体中的总压力。
p_X	——冲击波在介质边界上的压力
p_{br}	——反射压力
p_m	——压力(冲击)波中的最大压力
$p_s, {}^*p_W$	——爆炸气体的平均爆轰压力
p_{vp}	——爆炸气体压力
p_{vp}^*	——得自式(2.17)的压力
${}^1p_1, {}^1p$	——系数
p_Φ	——压力(冲击)波阵面压力
p', p_a, p_b, p_c	——力
$\hat{p}$	——无量纲压力
$\bar{p}_{min}$	——稀疏波最小压力

$p(t), p(\varphi), p(\varphi, t), p_x(\varphi, t), p_y(\varphi, t), p(z, t), p_x(t), p_{tot}, p(x, y, t),$ $p_m(x, y), p(x), p_{(j)}(x), p_i, p'_i(t),$ $p_{hi}, p_{hi}(t), p_{hi}(t_i), p_{xi}(t), p_{xi}(t'),$ $p_{id}(i = 0, 1, 2, \dots)$	—— 相对荷载 (单位面积), 压力
$p(V^*), p(V_0^*)$	—— 压力, 力
$p(r, \varphi, t), p(r, t), p_m(r), p(r), p_m(r), p_m$	—— 单位面积荷载, 压力
$p_{(j)}, p_{(j,k)}$	—— 常数
$p_{(j)}(t)$	—— 函数
q	—— 相对自重, 颗粒接触数
q_w	—— 炸药比耗
1q	—— 系数
$\hat{q}$	—— 无量纲粘度
$q(x, t), q_m(x), q_m, q(t), q^*(x), q_0^*(x), q(t + t^*), q(\varphi, t), q_x(\varphi, t),$ $q_y(\varphi, t), q_i(i = 0, 1, 2, \dots)$	—— 相对荷重
$q_{(j)}(t), q_{(j,k)}(t)(j, k = 1, 2, \dots)$	—— 广义坐标
r	—— 距离
r_{ef}	—— 爆炸有效作用半径
r_h	—— 震中到唇缘的距离
r_k	—— 坑底半径
r_m	—— 岩石最大外喷距离
r_{max}	—— 压实层半径
$r_0, r^*, r_0^*, r_p, r_y, r_i, r_i(t)$	—— 半径
r^*	—— 常数
$\bar{r}$	—— 第一黎曼不变量
$\bar{r}_i(i = 1, 2, \dots)$	—— 不变量
$\bar{r} = R/R_w$	—— 相对距离
$r(t), r(x, t)$	—— 阻尼力
$\bar{r}$	—— 阻尼算子
$s, {}^0s, {}^1s$	—— 路径, 长度, 系数
$\bar{s}$	—— 第二黎曼不变量
$s(z, t), s_{(j)}(z, t), s(x', t)$	—— 准静态地震荷载

