

动力机器基础设计规范 GB50040—96

主编部门：中华人民共和国机械工业部

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：1997年1月1日

关于发布国家标准《动力机器基础设计规范》的通知

建标[1996]428号

根据国家计委计综(1987)2390号文的要求，由机械工业部会同有关部门共同修订的《动力机器基础设计规范》已经有关部门会审，现批准《动力机器基础设计规范》GB50040—96为强制性国家标准，自一九九七年一月一日起施行。原国家标准《动力机器基础设计规范》GBJ40—79同时废止。

本标准由机械工业部负责管理，具体解释等工作由机械工业部设计研究院负责，出版发行由建设部标准定额研究所负责组织。

中华人民共和国建设部

一九九六年七月二十二日

1 总则

1.0.1 为了在动力机器基础设计中贯彻执行国家的技术经济政策，确保工程质量，合理地选择有关动力参数和基础形式，做到技术先进、经济合理、安全适用，制订本规范。

1.0.2 本规范适用于下列各种动力机器的基础设计：

(1)活塞式压缩机；

(2)汽轮机组和电机；

(3)透平压缩机；

(4)破碎机和磨机；

(5)冲击机器（锻锤、落锤）；

(6)热模锻压力机；

(7)金属切削机床。

本规范不适用于楼层上的动力机器基础设计。

1.0.3 动力机器基础设计时，除采用本规范外，尚应符合国家现行有关标准、规范的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 基组 foundation set

动力机器基础和基础上的机器、附属设备、填土的总称。

2.1.2 当量荷载 equivalent load

为便于分析而采用的与作用于原振动系统的动荷载相当的静荷载。

2.1.3 框架式基础 frame type foundation

由顶层梁板、柱和底板连接而构成的基础。

2.1.4 墙式基础 wall type foundation

由顶板、纵横墙和底板连接而构成的基础。

2.1.5 地基刚度 stiffness of subsoil

地基抵抗变形的能力，其值为施加于地基上的力（力矩）与它引起的线变位（角变位）之比。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用响应

P_z ——机器的竖向扰力；

P_x ——机器的水平扰力；

p ——基础底面平均静压力设计值；

M_φ ——机器的回转扰力矩；

M_ψ ——机器的扭转扰力矩；

A_z ——基组（包括基础和基础上的机器附属设备和土等）重心处的竖向振动线位移；

A_x ——基组重心处或基础构件的水平向振动线位移；

A_φ ——基础的回转振动角位移；

A_{ψ} ——基础的扭转振动角位移；

$A_{x\phi}$ ——基础顶面控制点在水平扰力 P_x 、扰力矩 M_{ϕ} 及竖向扰力 P_z 偏心作用下的竖向振动线位移；

$A_{x\phi}$ ——基础顶面控制点在水平扰力 P_x 、扰力矩 M_{ϕ} 及竖向扰力 P_z 偏心作用下的水平向振动线位移；

ω ——机器扰力的圆频率；

ω_{nz} ——基组竖向固有圆频率；

ω_{nx} ——基组水平向固有圆频率；

$\omega_{n\phi}$ ——基组回转固有圆频率；

$\omega_{n\psi}$ ——基组扭转固有圆频率；

ω_{n1} ——基组水平回转耦合振动第一振型固有圆频率；

ω_{n2} ——基组水平回转耦合振动第二振型固有圆频率；

α ——基础振动加速度；

V ——基础振动速度。

2.2.2 计算指标

C_z ——天然地基抗压刚度系数；

C_{ϕ} ——天然地基抗弯刚度系数；

C_x ——天然地基抗剪刚度系数；

C_{ψ} ——天然地基抗扭刚度系数；

C_{pz} ——桩尖土的当量抗压刚度系数；

$C_{p\tau}$ ——桩周各层土的当量抗剪刚度系数；

K_z ——天然地基抗压刚度；

K_{ϕ} ——天然地基抗弯刚度；

K_x ——天然地基抗剪刚度；

K_{ψ} ——天然地基抗扭刚度；

K_{pz} ——桩基抗压刚度；

$K_{p\phi}$ ——桩基抗弯刚度；

K_{px} ——桩基抗剪刚度；

$K_{p\psi}$ ——桩基抗扭刚度；

ζ_z ——天然地基的竖向阻尼比；

$\zeta_{x\phi 1}$ ——天然地基的水平回转耦合振动第一振型阻尼比；

$\zeta_{x\phi 2}$ ——天然地基的水平回转耦合振动第二振型阻尼比；

ζ_{ψ} ——天然地基扭转向阻尼比；

ζ_{pz} ——桩基的竖向阻尼比；

$\zeta_{px\phi 1}$ ——桩基的水平回转耦合振动第一振型阻尼比；

$\zeta_{px\phi 2}$ ——桩基的水平回转耦合振动第二振型阻尼比；

$\zeta_{p\phi}$ ——桩基的扭转向阻尼比；

f_k ——地基承载力标准值；

f ——地基承载力设计值；

$[A]$ ——基础的允许振动线位移；

$[V]$ ——基础的允许振动速度；

$[\alpha]$ ——基础的允许振动加速度；

m ——基组的质量。

2.2.3 几何参数

A ——基础底面积；

A_p ——桩的截面积；

I ——基础底面通过其形心轴的惯性矩；

J ——基组通过其重心轴的转动惯量；

I_z ——基础底面通过其形心轴的极惯性矩；

J ——基组通过其重心轴的极转动惯量；

h_1 ——基组重心至基础顶面的距离；

h_2 ——基组重心至基础底面的距离。

2.2.4 计算系数及其他

α_f ——地基承载力动力折减系数；

α_z ——基础埋深作用对地基抗压刚度的提高系数；

$\alpha_{x\varphi}$ ——基础埋深作用对地基抗剪、抗弯、抗扭刚度的提高系数；

β_z ——基础埋深作用对竖向阻尼比的提高系数；

$\beta_{x\varphi}$ ——基础埋深作用对水平回转耦合振动阻尼比的提高系数；

δ_b ——基础埋深比。

3 基本设计规定

3.1 一般规定

3.1.1 基础设计时，应取得下列资料：

- (1)机器的型号、转速、功率、规格及轮廓尺寸图等；
- (2)机器自重及重心位置；
- (3)机器底座外廓图、辅助设备、管道位置和坑、沟、孔洞尺寸以及灌浆层厚度、地脚螺栓和预埋件的位置等；
- (4)机器的扰力和扰力矩及其方向；
- (5)基础的位置及其邻近建筑物的基础图；
- (6)建筑场地的地质勘察资料及地基动力试验资料。

3.1.2 动力机器基础宜与建筑物的基础、上部结构以及混凝土地面分开。

3.1.3 当管道与机器连接而产生较大振动时，管道与建筑物连接处应采用隔振措施。

3.1.4 当动力机器基础的振动对邻近的人员、精密设备、仪器仪表、工厂生产及建筑物产生有害影响时，应采用隔振措施。低频机器和冲击机器的振动对厂房结构的影响，应符合本规范附录 A 的规定。

3.1.5 动力机器基础设计不得产生有害的不均匀沉降。

3.1.6 动力机器基础及毗邻建筑物基础置于天然地基上，当能满足施工要求时，两者的埋深可不在同一标高上，但基础建成后，基底标高差异部分的回填土必须夯实。

3.1.7 动力机器基础设置在整体性较好的岩石上时，除锻锤、落锤基础以外，可采用锚桩（杆）基础，其基础设计应符合本规范附录 B 的规定。

3.1.8 动力机器底座边缘至基础边缘的距离不宜小于 100mm。除锻锤基础以外，在机器底座下应预留二次灌浆层，其厚度不宜小于 25mm。二次灌浆层应在设备安装就位并初调后，用微膨胀混凝土填充密实，且与混凝土基础面结合。

3.1.9 动力机器基础底脚螺栓的设置应符合下列规定：

(1)带弯钩底脚螺栓的埋置深度不应小于 20 倍螺栓直径，带锚板地脚螺栓的埋置深度不应小于 15 倍螺栓直径；

(2)底脚螺栓轴线距基础边缘不应小于 4 倍螺栓直径，预留孔边距基础边缘不应小于 100mm，当不能满足要求时，应采取加强措施；

(3)预埋底脚螺栓底面下的混凝土净厚度不应小于 50mm，当为预留孔时，则孔底面下的混凝土净厚度不应小于 100mm。

3.1.10 动力机器基础宜采用整体式或装配整体式混凝土结构。

3.1.11 动力机器基础的混凝土强度等级不宜低于 C15，对按构造要求设计的或不直接承受冲击力的大块式或墙式基础，混凝土的强度等级可采用 C10。

3.1.12 动力机器基础的钢筋宜采用 I、II 级钢筋，不宜采用冷轧钢筋。受冲击力较大的部位，宜采用热轧变形钢筋。钢筋连接不宜采用焊接接头。

3.1.13 重要的或对沉降有严格要求的机器，应在其基础上设置永久的沉降观测点，并应在设计图纸中注明要求。在基础施工、机器安装及运行过程中应定期观测，作好记录。

3.1.14 基组的总重心与基础底面形心宜位于同一竖线上，当不在同一竖线上时，两者之间的偏心距和平行偏心方向基底边长的比值不应超过下列限值：

(1)对汽轮机组和电机基础 3%；

(2)对金属切削机床基础以外的一般机器基础：

当地基承载力标准值 $f_k \leq 150\text{kPa}$ 时 3%；

当地基承载力标准值 $f_k > 150\text{kPa}$ 时 5%。

3.1.15 当在软弱地基上建造大型的和重要的机器以及 $1t$ 及 $1t$ 以上的锻锤基础时，宜采用人工地基。

3.1.16 设计动力机器基础的荷载取值应符合下式规定：

(1)当进行静力计算时，荷载应采用设计值；

(2)当进行动力计算时，荷载应采用标准值。

3.2 地基和基础的计算规定

3.2.1 动力机器基础底面地基平均静压力设计值应符合下式要求：

$$p \leq \alpha f_f \quad (3.2.1)$$

式中 p ——基础底面地基的平均静压力设计值(kPa)；

αf ——地基承载力的动力折减系数；

f ——地基承载力设计值(kPa)。

3.2.2 地基承载力的动力折减系数 αf 可按下列规定采用：

(1)旋转式机器基础可采用 0.8。

(2)锻锤基础可按下列式计算：

$$\alpha_f = \frac{1}{1 + \beta \frac{\alpha}{g}} \quad (3.2.2)$$

式中 α ——基础的振动加速度(m/s^2)；

β ——地基土的动沉陷影响系数。

(3)其他机器基础可采用 1.0。

3.2.3 动力机器基础的地基土类别应按表 3.2.3 采用。

地基土类别

表 3.2.3

土地名称	地基土承载力标准值 f_k (kPa)	地基土类别
碎石土 粘性土	$f_k > 500$ $f_k > 250$	一类土
碎石土 粉土、砂土 粘性土	$300 < f_k \leq 500$ $250 < f_k \leq 400$ $180 < f_k \leq 250$	二类土
碎石土	$180 < f_k \leq 300$	三类土

粉土、砂土	160 < f _k ≤ 250	
粘性土	130 < f _k ≤ 180	
粉土、砂土	120 < f _k ≤ 160	四类土
粘性土	80 < f _k ≤ 130	

3.2.4 地基土的动沉陷影响系数 β 值，可按下列规定采用：

(1) 当为天然地基时，可按表 3.2.4 的规定采用：

地基土动沉陷影响系数 β 值

表 3.2.4

地基土类别	β
一类土	1.0
二类土	1.3
三类土	2.0
四类土	3.0

(2) 对桩基可按桩尖土层的类别选用。

3.2.5 基础底面静压力，应按下列荷载计算：

(1) 基础自重和基础上回填土重；

(2) 机器自重和传至基础上的其他荷载。

3.2.6 动力机器基础的最大振动线位移、速度或加速度，应按本规范有关各章对各种型式机器的规定进行计算，其辐值应满足下列公式的要求：

$$A_f \leq [A] \quad (3.2.6-1)$$

$$V_f \leq [V] \quad (3.2.6-2)$$

$$\alpha_f \leq [\alpha] \quad (3.2.6-3)$$

式中 A_f ——计算的基础最大振动线位移(m)；

V_f ——计算的基础最大振动速度(m/s)；

α_f ——计算的基础最大振动加速度(m/s²)；

[A]——基础的允许振动线位移(m)可按本规范的相应各章规定的的数据采用；

[V]——基础的允许振动速度(m/s)可按本规范的相应各章规定的的数据采用；

[a]——基础的允许振动加速度(m/s^2)可按本规范规定的数值采用。

3.3 地基动力特征参数

(1)天然地基

3.3.1 天然地基的基本动力特性参数可由现场试验确定，试验方法应按现行国家标准《地基动力特性测试规范》的规定采用。当无条件进行试验并有经验时，可按本规范第 3.3.2~3.3.11 条规定确定。

3.3.2 天然地基的抗压刚度系数值，可按下列规定确定：

(1)当基础底面积大于或等于 20 m^2 时，可按表 3.3.2 采用；

(2)当基础底面积小于 20 m^2 时，抗压刚度系数值可采用表

3.3.2 中的数值乘以底面积修正系数，修正系数 β_x 值可按下式计算：

$$\beta_r = \sqrt[3]{\frac{20}{A}} \quad (3.3.2)$$

式中 β_r ——底面积修正系数；

A——基础底面积(m^2)。

天然地基的抗压刚度系数 C_z 值(kN/m^3)

表 3.3.2

地基承载力的标准值 $f_k(kPa)$	土的名称		
	粘性土	粉土	砂土
300	66000	59000	52000
250	55000	49000	44000
200	45000	40000	36000
150	35000	31000	28000
100	25000	22000	18000
80	18000	16000	

3.3.3 基础底部由不同土层组成的地基土，其影响深度 h_d 可按下列规定取值。

(1)方形基础可按下列公式计算：

$$h_d = 2d \quad (3.3.3-1)$$

式中 h_d ——影响深度(m)；

d——方形基础的边长(m)。

(2)其他形状的基础可按式计算

$$h_d = 2\sqrt{A} \quad (3.3.3 - 2)$$

3.3.4 基础影响地基土深度范围内，由不同土层组成的地基土（图 3.3.4），其抗压刚度系数可按式计算：

$$C_z = \frac{2/3}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{C_{zi}} \left[\frac{1}{1 + \frac{2h_{i-1}}{h_d}} - \frac{1}{1 + \frac{2h_i}{h_d}} \right]} \quad (3.3.3 - 2)$$

式中 C_{zi} ——第 i 层土的抗压刚度系数(kN/m^2)；

h_i ——从基础底至 i 层土底面的深度(m)；

h_{i-1} ——从基础底至 $i-1$ 层土底面的深度(m)。

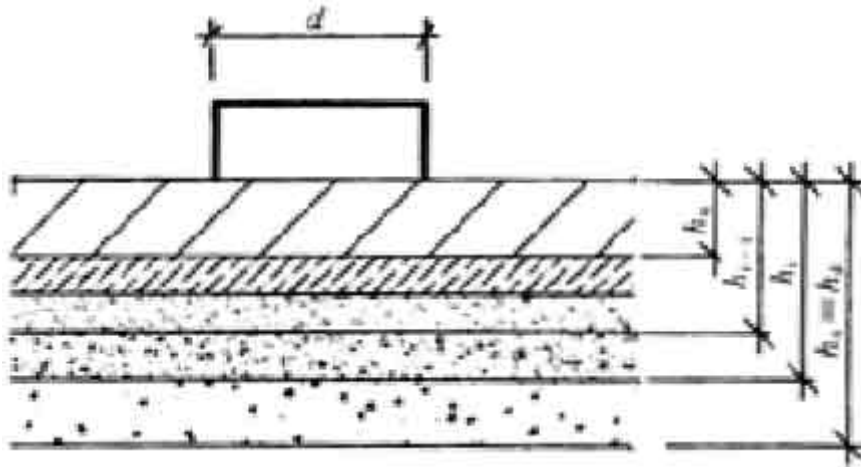


图 3.3.4 分层土地基

3.3.5 天然地基的抗弯、抗剪、抗扭刚度系数可按下列公式计算：

$$C_\varphi = 2.15C_z \quad (3.3.5-1)$$

$$C_x = 0.70V_z \quad (3.3.5-2)$$

$$C_\Psi = 1.05C_z \quad (3.3.5-3)$$

式中 C_φ ——天然地基抗弯刚度系数(kN/m^2)；

C_x ——天然地基抗剪刚度系数(kN/m^2)；

C_Ψ ——天然地基抗扭刚度系数(kN/m^2)。

3.3.6 天然地基的抗压、抗弯、抗剪、抗扭刚度应按下列公式计算:

$$K_z = C_z A \quad (3.3.6-1)$$

$$K_\varphi = C_\varphi I \quad (3.3.6-2)$$

$$K_x = C_x A \quad (3.3.6-3)$$

$$K_\Psi = C_\Psi I_z \quad (3.3.6-4)$$

式中 K_z ——天然地基抗压刚度(kN·m);

K_φ ——天然地基抗弯刚度(kN·m);

K_x ——天然地基抗剪刚度(kN·m);

K_Ψ ——天然地基抗扭刚度(kN·m);

I ——基础底面通过其形心轴的惯性矩(m^4);

I_z ——基础底面通过其形心轴的极惯性矩(m^4)。

3.3.7 当基础采用埋置、地基承载力标准值小于 350kPa, 且基础四周回填土与地基土的密度比不小于 0.85 时, 其抗压刚度可乘以提高系数 α_z , 抗弯、抗剪、抗扭刚度可分别乘以提高系数 $\alpha_{x\varphi}$ 。提高系数 α_z 和 $\alpha_{x\varphi}$ 可按下列公式计算:

$$\alpha_z = (1 + 0.4\delta_b)^2 \quad (3.3.7-1)$$

$$\alpha_{x\varphi} = (1 + 1.2\delta_b)^2 \quad (3.3.7-2)$$

$$\delta_b = \frac{h_t}{\sqrt{A}} \quad (3.3.7-3)$$

式中 α_z ——基础埋深作用对地基抗压刚度的提高系数;

$\alpha_{x\varphi}$ ——基础埋深作用对地基抗剪、抗弯、抗扭刚度的提高系数;

δ_b ——基础埋深比, 当 δ_b 大于 0.6 时, 应取 0.6;

h_t ——基础埋置深度(m)。

3.3.8 基础与刚性地面相连时, 地基抗弯、抗剪、抗扭刚度可分别乘以提高系数 α_1 , 提高系数可取 1.0~1.4, 软弱地基土的提高系数可取 1.4, 其他地基土的提高系数可适当减小。

3.3.9 天然地基阻尼比的计算应符合下列规定。

3.3.9.1 竖向阻尼比可按下列公式计算。

(1)粘性土：

$$\zeta_z = \frac{0.16}{\sqrt{\bar{m}}} \quad (3.3.9-1)$$

$$\bar{m} = \frac{m}{\rho A \sqrt{A}} \quad (3.3.9-2)$$

(2)砂土、粉土：

$$\zeta_z = \frac{0.11}{\sqrt{\bar{m}}} \quad (3.3.9-3)$$

式中 ζ_z ——天然地基竖向阻尼比；

\bar{m} ——基组质量比；

m ——基组的质量(t)；

ρ ——地基土的密度(t/m^3)。

3.3.9.2 水平回转向、扭转向阻尼比可按下列公式计算：

$$\zeta_{x\phi 1} = 0.5\zeta_z \quad (3.3.9-4)$$

$$\zeta_{x\phi 2} = \zeta_{x\phi 1} \quad (3.3.9-5)$$

$$\zeta_\phi = \zeta_{x\phi 1} \quad (3.3.9-6)$$

式中 $\zeta_{x\phi 1}$ ——天然地基水平回转耦合振动第一振型阻尼比；

$\zeta_{x\phi 2}$ ——天然地基水平回转耦合振动第二振型阻尼比；

ζ_ϕ ——天然地基扭转向阻尼比。

3.3.10 埋置基础的天然地基阻尼比，应为明置基础的阻尼比分别乘以基础埋深作用对竖向阻尼比的提高系数 β_z 、地基水平回转向和扭转向阻尼比提高系数 $\beta_{x\phi}$ 。阻尼比提高系数可按下列公式计算：

$$\beta_z = 1 + \delta b \quad (3.3.10-1)$$

$$\beta_{x\varphi} = 1 + 2\delta b \quad (3.3.10-2)$$

式中 β_z ——基础埋深作用对竖向阻尼比的提高系数；

$\beta_{x\varphi}$ ——基础埋深作用对水平回转向或扭转向阻尼比的提高系数。

3.3.11 按本规范第 3.3.2~3.3.10 条确定的地基动力参数，除冲击机器和热模锻压力机基础外，计算天然地基大块式基础的振动线位移时，应将计算所得的竖向振动线位移值乘以折减系数 0.7，水平向振动线位移值乘以折减系数 0.85。

(II) 桩基

3.3.12 桩基的基本动力参数可由现场试验确定，试验方法应按现行国家标准《地基动力特性测试规范》的规定采用。当无条件进行试验并有经验时，可按本规范第 3.3.13~3.3.22 条规定确定。

3.3.13 预制桩或打入式灌注桩的抗压刚度可按下列公式计算：

$$K_{pz} = n_p k_{pz} \quad (3.3.13-1)$$

式中 K_{pz} ——桩基抗压刚度(kN/m)；

k_{pz} ——单桩的抗压刚度(kN/m)；

n_p ——桩数；

$C_{p\tau}$ ——桩周各层土的当量抗剪刚度系数(kN/)；

$A_{p\tau}$ ——各层土中的桩周表面积(m²)；

C_{pz} ——桩尖土的当量抗压刚度系数(kN/)；

A_p ——桩的截面积(m²)。

3.3.14 当桩的间距为 4~5 倍桩截面的直径或边长时，桩周各层土的当量抗剪刚度系数 $C_{p\tau}$ 可按表 3.3.14 采用。

桩周土的当量抗剪刚度系数 $C_{p\tau}$ 值(kN/)

表 3.3.14

土的名称	土的状态	当量抗剪刚度系数 $C_{p\tau}$
淤泥	饱和	6000~7000
淤泥质土	天然含水量 45%~50%	8000
粘性土、粉土	软塑	7000~10000
	可塑	10000~15000
	硬塑	15000~25000

粉砂、细砂	稍密~中密	10000~15000
中砂、粗砂、砾砂	稍密~中密	20000~25000
圆砾、卵石	稍密	15000~20000
	中密	20000~30000

3.3.15 当桩的间距为 4~5 倍桩截面的直径或边长时，桩尖土层的当量抗压刚度系数 C_{pz} 值可按表 3.3.15 采用。

3.3.16 预制桩或打入式灌注桩桩基的抗弯刚度可按下式计算：

$$K_{p\phi} = k_{px} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (3.3.16)$$

式中 $K_{p\phi}$ ——桩基抗弯刚度(kN·m)；

y_i ——第 i 根桩的轴线至基础底面形心回转轴的距离(m)。

桩尖土的当量抗压刚度系数 C_{pz} 值(kN/)

表 3.3.15

土的名称	土的状态	桩尖埋置深度	当量抗压刚度系数 C_{pz}
粘性土、粉土	软塑、可塑	10~20	500000~800000
	软塑、可塑	20~30	800000~1300000
	硬塑	20~30	1300000~1600000
粉砂、细砂	中密、密实	20~30	100000~1300000
中砂、粗砂、砾砂 圆砾、卵石	中密	7~15	100000~1300000
	密实		1300000~2000000
页岩	中等风化		1500000~2000000

3.3.17 预制桩或打入式灌注桩桩基的抗剪和抗扭刚度可按下列规定采用：

(1)抗剪刚度和抗扭刚度可采用相应的天然地基抗剪刚度和抗扭刚度的 1.4 倍。

(2)当计入基础埋深和刚性地面作用时，桩基抗剪刚度可按下式计算：

$$K'_{px} = K_x(0.4 + \alpha\phi\alpha_1) \quad (3.3.17-1)$$

式中 K'_{px} ——基础埋深和刚性地面对桩基刚度提高作用后的桩基抗剪刚度(kN/m)。

(3)计入基础埋深和刚性地面作用后的桩基抗扭刚度可按下式计算：

$$K'_{p\psi} = K_{\psi}(0.4 + \alpha\phi\alpha_1) \quad (3.3.17-2)$$

式中 $K'_{p\psi}$ ——基础埋深和刚性地面对桩基刚度提高作用后的桩基抗扭刚度(kN/m)。

(4)当采用端承桩或桩上部土层的地基承载力标准值 J_k 大于或等于 200kPa 时, 桩基抗剪刚度和抗扭刚度不应大于相应的天然地基抗剪刚度和抗扭刚度。

3.3.18 斜桩的抗剪刚度应按下列规定确定:

(1)当桩的斜度大于 1 : 6, 其间距为 4~5 倍桩截面的直径或边长时, 斜桩的当量抗剪刚度可采用相应的天然地基抗剪刚度的 1.6 倍;

(2)当计入基础埋深和刚性地面作用时, 斜桩桩基的抗剪刚度可按下式计算:

$$K'_{px} = K_x(0.6 + \alpha x \varphi \alpha_1) \quad (3.3.18)$$

3.3.19 计算预制桩或打入式灌注桩桩基的固有频率和振动线位移时, 其竖向、水平向总质量以及基组的总转动惯量应按下列公式计算:

$$m_{sz} = m + m_0 \quad (3.3.19-1)$$

$$m_{sx} = m + 0.4m_0 \quad (3.3.19-2)$$

$$m_0 = ubp \quad (3.3.19-3)$$

$$J' = J \left(1 + \frac{0.4m_0}{m} \right) \quad (3.3.19-4)$$

$$J'_z = J_z \left(1 + \frac{0.4m_0}{m} \right) \quad (3.3.19-5)$$

式中 m_{sz} ——桩基竖向总质量(t);

m_{sx} ——桩基水平回转向总质量(t);

m_0 ——竖向振动时, 桩和桩间土参加振动的当量质量(t);

l_t ——桩的折算长度(m);

b ——基础底面的宽度(m);

d ——基础底面的长度(m);

J' ——基组通过其重心轴的总转动惯量($t \cdot m^2$);

J'_z ——基组通过其重心轴的总极转动惯量($t \cdot m^2$);

J ——基组通过其重心轴的转动惯量($t \cdot m^2$);

J_z ——基组通过其重心轴的极转动惯量($t \cdot m^2$)。

3.3.20 桩的折算长度可按表 3.3.20 采用。

桩的折算长度 l_t

表 3.3.20

桩的入土深度(m)	桩的折算长度(m)
小于或等于 10	1.8
大于或等于 15	2.4

注：当桩的入土深度为 10~15m 之间时，可用插入法求 l_t 。

3.3.21 预制桩和打入式灌注桩桩基的阻尼比可按下列规定计算。

3.3.21.1 桩基竖向阻尼比可按下列公式计算。

(1)桩基承台底下为粘性土：

$$\zeta_{pz} = \frac{0.2}{\sqrt{m}} \quad (3.3.21-1)$$

(2)桩基承台底下为砂土、粉土：

$$\zeta_{pz} = \frac{0.14}{\sqrt{m}} \quad (3.3.21-2)$$

(3)端承桩：

$$\zeta_{pz} = \frac{0.10}{\sqrt{m}} \quad (3.3.21-3)$$

(4)当桩基承台底与地基土脱空时，其竖向阻尼比可取端承桩的竖向阻尼比。

3.3.21.2 桩基水平回转向、扭转向阻尼比可按下列公式计算：

$$\zeta_{px\phi 1} = 0.5\zeta_{pz} \quad (3.3.21-4)$$

$$\zeta_{px\phi 2} = \zeta_{px\phi 1} \quad (3.3.21-5)$$

$$\zeta_{p\psi} = \zeta_{px\phi 1} \quad (3.3.21-6)$$

式中 ζ_{pz} ——桩基竖向阻尼比；

$\zeta_{px\phi 1}$ ——桩基水平回转耦合振动第一振型阻尼比；

$\zeta_{px\phi 2}$ ——桩基水平回转耦合振动第二振型阻尼比；

$\zeta_{p\psi}$ ——桩基扭转向阻尼比。

3.3.22 计算桩基阻尼比时，可计入桩基承台埋深对阻尼比的提高作用，提高后的桩基竖向、水平回转向以及扭转向阻尼比可按下列规定计算。

(1)摩擦桩：

$$\zeta'_{pz} = \zeta_{pz}(1 + 0.8\delta) \quad (3.3.22-1)$$

$$\zeta'_{px\phi 1} = \zeta_{px\phi 1}(1 + 0.6\delta) \quad (3.3.22-2)$$

$$\zeta'_{px\phi 2} = \zeta_{px\phi 1} \quad (3.3.22-3)$$

$$\zeta'_{p\psi} = \zeta_{px\phi 1} \quad (3.3.22-4)$$

(2)支承桩：

$$\zeta'_{pz} = \zeta_{pz}(1 + \delta) \quad (3.3.22-5)$$

$$\zeta'_{px\phi 1} = \zeta_{px\phi 1}(1 + 1.4\delta) \quad (3.3.22-6)；$$

$$\zeta'_{px\phi 2} = \zeta_{px\phi 1} \quad (3.3.22-7)$$

$$\zeta'_{p\psi} = \zeta_{px\phi 1} \quad (3.3.22-8)$$

式中 ζ'_{pz} ——桩基承台埋深对阻尼比的提高作用后的桩基竖向阻尼比；

$\zeta'_{px\phi 1}$ ——桩基承台埋深对阻尼比的提高作用后的桩基水平回转耦合振动第一振型阻尼比；

$\zeta'_{px\phi 2}$ ——桩基承台埋深对阻尼比的提高作用后的桩基水平回转耦合振动第二振型阻尼比；

$\zeta'_{p\psi}$ ——桩基承台埋深对阻尼比的提高作用后的桩基扭转向阻尼比。

4 活塞式压缩机基础

4.1 一般规定

4.1.1 活塞式压缩机基础设计时，除应取得本规范第 3.1.1 条规定的有关资料外，尚应由机器制造厂提供下列资料：

(1)由机器的曲柄连杆机构运动所产生的第一谐、二谐机器竖向扰力 P'_z 、 P''_z 和水平扰力 P'_x 、 P''_x ，第一谐、二谐回转扰力矩 $M'\theta$ 、 $M''\theta$ 和扭转扰力矩 $M'\psi$ 、 $M''\psi$ ；

(2) 扰力作用点位置；

(3) 压缩机曲轴中心线至基础顶面的距离。

4.1.2 基础应采用混凝土结构，其形式可为大块式。当机器设置在厂房的二层标高时，宜采用墙式基础。

4.2 构造要求

4.2.1 由底板、纵横墙和顶板组成的墙式基础，构件之间的构造连接应保证其整体刚度，各构件的尺寸应符合下列规定：

4.2.1.1 基础顶板的厚度应按计算确定，但不宜小于 150mm；

4.2.1.2 顶板悬臂的长度不宜大于 2000mm；

4.2.1.3 机身部分墙的厚度不宜小于 500mm；

4.2.1.4 汽缸部分墙的厚度不宜小于 400mm；

4.2.1.5 底板厚度不宜小于 600mm；

4.2.1.6 底板的悬臂长度可按下列规定采用：

(1) 素混凝土底板不宜大于底板厚度；

(2) 钢筋混凝土底板，在竖向振动时，不宜大于 2.5 倍板厚，水平振动时，不宜大于 3 倍板厚。

4.2.2 基础的配筋应符合下列规定：

4.2.2.1 体积为 20~40 的大块式基础，应在基础顶面配置直径 10mm，间距 200mm 的钢筋网；

4.2.2.2 体积大于 40 的大块式基础，应沿四周和顶、底面配置直径 10~14mm，间距 200~300mm 的钢筋网；

4.2.2.3 墙式基础沿墙面应配置钢筋网，竖向钢筋直径宜为 12~16mm，水平向钢筋直径宜采用 14~16mm，钢筋网格间距 200~300mm。上部梁板的配筋，应按强度计算确定。墙与底板、上部梁板连接处，应适当增加构造配筋；

4.2.2.4 基础底板悬臂部分的钢筋配置，应按强度计算确定，并应上下配筋；

4.2.2.5 当基础上的开孔或切口尺寸大于 600mm 时，应沿孔或切口周围配置直径不小于 12mm，间距不大于 200mm 的钢筋。

4.3 动力计算

4.3.1 进行基础的动力计算时，应确定基础上的扰力和扰力矩的方向和位置（图 4.3.1）。

4.3.2 基础的振动应同时控制顶面的最大振动线位移和最大振动速度。基础顶面控制点的最大振动线位移不应大于 0.20mm，最大振动速度不应大于 6.30mm/s。

对于排气压力大于 100MPa 的超扁压缩机基础的允许振动值，应按专门规定确定。

4.3.3 机组在通过其重心的竖向扰力作用下，其竖向振动线位移和固有圆频率，可按下列公式计算：

$$A_z = \frac{P_z}{K_z} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{nz}^2})^2 + 4\zeta_z^2 \frac{\omega^2}{\omega_{nz}^2}}} \quad (4.3.3-1)$$

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{K_z}{m}} \quad (4.3.3-2)$$

$m = m_f + m_m + m_s$ (4.3.3-3)

式中 A_z ——机组重心处的竖向振动线位移(m)；

P_z ——机器的竖向扰力(kN)；

ω_{nz} ——机组的竖向固有圆频率(rad/s)；

m_f ——基础的质量(t)；

m_m ——基础上压缩机及附属设备的质量(t)；

m_s ——基础上回填土的质量(t)；

ω ——机器的扰力圆频率(rad/s)。

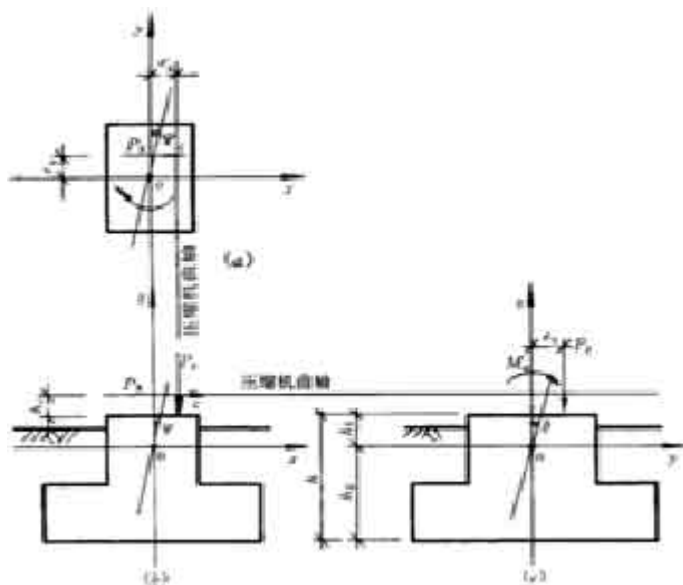


图 4.3.1 扰力、扰力矩

(a)平面图；(b)正立面图；(c)侧立面图

注：o 点为机组重心，即座标原点，c 点为扰力作用点

4.3.4 机组在扭转扰力矩 M_{ψ} 和水平扰力 P_x 沿 y 轴向偏心作用下（图 4.3.4），其水平扭转线位移，可按下列公式计算：

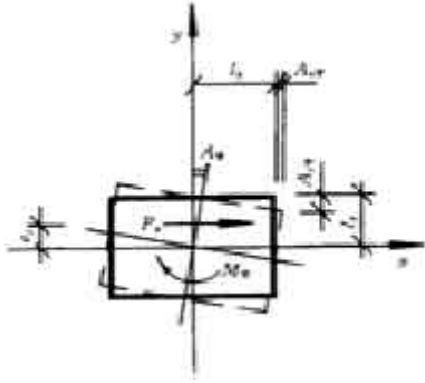


图 4.3.4 机组扭转振动

$$A_{x\psi} = \frac{(M_{\psi} + P_x e_y)_{iy}}{K_{\psi} \sqrt{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{t\psi}^2})^2 + 4\zeta_{\psi}^2 \frac{\omega^2}{\omega_{t\psi}^2}}} \quad (4.3.4-1)$$

$$A_{y\psi} = \frac{(M_{\psi} + P_x e_y)_{ix}}{K_{\psi} \sqrt{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{t\psi}^2})^2 + 4\zeta_{\psi}^2 \frac{\omega^2}{\omega_{t\psi}^2}}} \quad (4.3.4-2)$$

$$\omega_{t\psi} = \sqrt{\frac{K_{\psi}}{J_z}} \quad (4.3.4-3)$$

式中 $A_{x\psi}$ ——基础顶面控制点由于扭转振动产生沿 x 轴向上的水平振动线位移(m)；

$A_{y\psi}$ ——基础顶面控制点由于扭转振动产生沿 y 轴向上的水平振动线位移(m)；

M_{ψ} ——机器的扭转扰力矩(kN·m)；

P_x ——机器的水平扰力(kN)；

e_y ——机器水平扰力沿 y 轴向上的偏心距(m)；

l_y ——基础顶面控制点至扭转轴在 y 轴向上的水平距离(m)；

l_x ——基础顶面控制点至扭转轴在 x 轴向上的水平距离(m)；

J_z ——机组对通过其重心轴的极转动惯量($t \cdot m^2$)；

ω_{ψ} ——基组的扭转振动固有圆频率(rad/s)。

4.3.5 基组在水平扰力 P_k 和竖向扰力 P_z 沿 x 向偏心矩作用下,产生 x 向水平、绕 y 轴回转的耦合振动(图 4.3.5),其基础顶面控制点的竖向和水平向振动线位移可按下列公式计算:

$$A_{z\varphi p} = (A\varphi_1 + A\varphi_2)I_x \quad (4.3.5-1)$$

$$A_{x\varphi p} = A\varphi_1(\rho\varphi_1 + h_1) + A\varphi_2(h_1 - \rho\varphi_2) \quad (4.3.5-2)$$

$$A_{\varphi p} = \frac{M_{\varphi 1}}{J_y + m\rho_{\varphi 1}^2} \omega_{h\varphi 1}^2 \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{h\varphi 1}^2}\right)^2 + 4\zeta_{x\varphi 1}^2 \frac{\omega^2}{\omega_{h\varphi 1}^2}}} \quad (4.3.5-3)$$

$$A_{\varphi \psi} = \frac{M_{\varphi \psi}}{J_y + m\rho_{\varphi \psi}^2} \omega_{h\varphi \psi}^2 \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{h\varphi \psi}^2}\right)^2 + 4\zeta_{x\varphi \psi}^2 \frac{\omega^2}{\omega_{h\varphi \psi}^2}}} \quad (4.3.5-4)$$

$$\omega_{h\varphi 1}^2 = \frac{1}{2} \left[(\omega_{h\varphi x}^2 + \omega_{h\varphi p}^2) - \sqrt{(\omega_{h\varphi x}^2 - \omega_{h\varphi p}^2)^2 + \frac{4mh_2^2}{J_y} \omega_{h\varphi x}^4} \right] \quad (4.3.5-5)$$

$$\omega_{h\varphi \psi}^2 = \frac{1}{2} \left[(\omega_{h\varphi x}^2 + \omega_{h\varphi p}^2) - \sqrt{(\omega_{h\varphi x}^2 - \omega_{h\varphi p}^2)^2 + \frac{4mh_2^2}{J_y} \omega_{h\varphi x}^4} \right] \quad (4.3.5-6)$$

$$\omega_{h\varphi x}^2 = \frac{K_x}{m} \quad (4.3.5-7)$$

$$\omega_{h\varphi p}^2 = \frac{K_p + K_x h_2^2}{J_y} \quad (4.3.5-8)$$

$$M\varphi_1 = P_x(h_1 + h_0 + P\varphi_1) + P_z e_x \quad (4.3.5-9)$$

$$M\varphi_2 = P_x(h_1 + h_0 - P\varphi_2) + P_z e_x \quad (4.3.5-10)$$

$$A_{\varphi 1} = \frac{\omega_{h\varphi x}^2 h_2}{\omega_{h\varphi x}^2 - \omega_{h\varphi 1}^2} \quad (4.3.5-11)$$

$$A_{\varphi 2} = \frac{\omega_{h\varphi x}^2 h_2}{\omega_{h\varphi 2}^2 - \omega_{h\varphi x}^2} \quad (4.3.5-12)$$

$$K\varphi = C\varphi I_y \quad (4.3.5-13)$$

式中 $A_{z\varphi p}$ ——基础顶面控制点,由于 x 向水平绕 y 轴回转耦合振动产生的竖向振动线位移(m);

$A_{x\varphi p}$ ——基础顶面控制点，由于 x 向水平绕 y 轴回转耦合振动产生的 x 向水平振动线位移(m)；

$A_{\varphi 1p}$ ——基组 x— φ 向耦合振动第一振型的回转角位移(rad)；

$A_{\varphi 2p}$ ——基组 x— φ 向耦合振动第二振型的回转角位移(rad)；

$\rho_{\varphi 1}$ ——基组 x— φ 向耦合振动第一振型转动中心至基组重心的距离(m)；

$\rho_{\varphi 2}$ ——基组 x— φ 向耦合振动第二振型转动中心至基组重心的距离(m)；

$M_{\varphi 1}$ ——绕通过 x— φ 向耦合振动第一振型转动中心 $Q_{\varphi 1}$ 并垂直于回转面 ZOx 的轴的总扰力矩(kN·m)；

$M_{\varphi 2}$ ——绕通过 x— φ 向耦合振动第二振型转动中心 $Q_{\varphi 2}$ 并垂直于回转面 ZOx 的轴的总扰力矩(kN·m)；

$\omega_{\varphi 1}$ ——基组 x— φ 向耦合振动第一振型的固有圆频率(rad/s)；

$\omega_{\varphi 2}$ ——基组 x— φ 向耦合振动第二振型的固有圆频率(rad/s)；

ω_x ——基组 x 向水平固有圆频率(rad/s)；

ω_{φ} ——基组绕 y 轴回转固有圆频率(rad/s)；

h_2 ——基组重心至基础底面的距离(m)；

K_{φ} ——基组绕 y 轴的抗弯刚度(kN·m)；

J_y ——基组对通过其重心的 y 轴的转动惯量($t \cdot m^2$)；

I_y ——基组对通过基础底面形心 y 轴的惯性矩(m^4)；

e_x ——机器竖向扰力 P_z 沿 x 轴向的偏心距(m)；

h_1 ——基组重心至基础顶面的距离(m)；

h_0 ——水平扰力作用线至基础顶面的距离(m)；

$\zeta_{x\varphi 1}$ ——基组 x— φ 向耦合振动第一振型阻尼比；

$\zeta_{x\varphi 2}$ ——基组 x— φ 向耦合振动第二振型阻尼比。

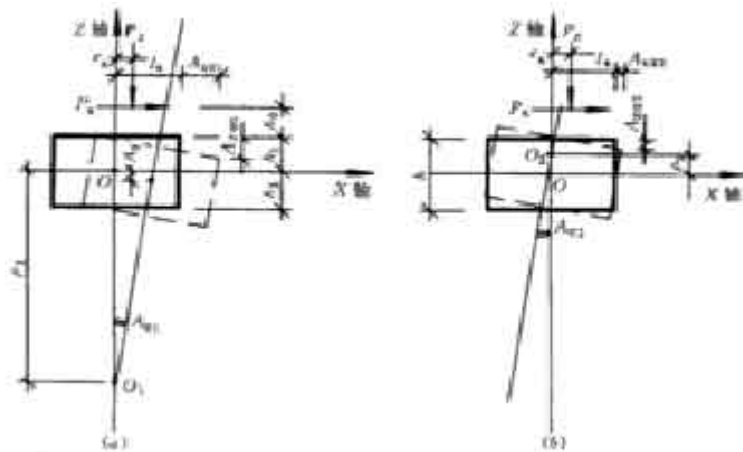


图 4.3.5 基组沿 x 向水平、绕 y 轴回转的耦合振动的振型

(a)第一振型; (b)第二振型

4.3.6 基组在回转力矩 M_0 和竖向扰力 P_z 沿 y 向偏心矩作用下, 产生 y 向水平、绕 x 轴回转的耦合振动 (图 4.3.6), 其竖向和水平向振动线位移可按下列公式计算:

$$A_z\theta = (A_{\theta 1} + A_{\theta 2})l_y \quad (4.3.6-1)$$

$$A_y\theta = A_{\theta 1}(\rho_{\theta 1} + h_1) + A_{\theta 2}(h_1 - \rho_{\theta 2}) \quad (4.3.6-2)$$

$$A_{\theta 1} = \frac{M_{\theta 1}}{(J_x + m\rho_{\theta 1}^2)\omega_{\theta 1}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{\theta 1}^2})^2 + 4\zeta_{y\theta 1} \frac{\omega^2}{\omega_{\theta 1}^2}}} \quad (4.3.6-3)$$

$$A_{\theta 2} = \frac{M_{\theta 2}}{J_x + m\rho_{\theta 2}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{\theta 2}^2})^2 + 4\zeta_{y\theta 2} \frac{\omega^2}{\omega_{\theta 2}^2}}} \quad (4.3.6-4)$$

$$\omega_{\theta 1}^2 = \frac{1}{2} \left[(\omega_{\theta y}^2 + \omega_{\theta z}^2) - \sqrt{(\omega_{\theta y}^2 - \omega_{\theta z}^2)^2 + \frac{4mk_2^2}{J_x} \omega_{\theta y}^4} \right] \quad (4.3.6-5)$$

$$\omega_{\theta 2}^2 = \frac{1}{2} \left[(\omega_{\theta y}^2 + \omega_{\theta z}^2) + \sqrt{(\omega_{\theta y}^2 - \omega_{\theta z}^2)^2 + \frac{4mk_2^2}{J_x} \omega_{\theta y}^4} \right] \quad (4.3.6-6)$$

$$\omega_{\theta y}^2 = \omega_{\theta x}^2 \quad (4.3.6-7)$$

$$\omega_{\theta 0}^2 = \frac{K_{\theta} + K_x h_2^2}{J_x} \quad (4.3.6-8)$$

$$M_{\theta 1} = M_0 + P_z e_y \quad (4.3.6-9)$$

$$M_{\theta 2} = M_0 + P_z e_y \quad (4.3.6-10)$$

$$\rho_{\theta 1} = \frac{\omega_{ny}^2 h_2}{\omega_{ny}^2 - \omega_{n\theta 1}^2} \quad (4.3.6-11)$$

$$\rho_{\theta 2} = \frac{\omega_{ny}^2 h_2}{\omega_{n\theta 2}^2 - \omega_{ny}^2} \quad (4.3.6-12)$$

$$K_{\theta} = C_{\varphi} I_x \quad (4.3.6-13)$$

式中 $A_{z\theta}$ ——基础顶面控制点，由于 y 向水平绕 x 轴回转耦合振动产生的竖向振动线位移(m)；

A_{xz} ——基础顶面控制点，由于 y 向水平绕 x 轴回转耦合振动产生的 y 向水平振动线位移(m)；

$A_{\theta 1}$ ——基组 y— θ 向耦合振动第一振型的回转角位移(rad)；

$A_{\theta 2}$ ——基组 y— θ 向耦合振动第二振型的回转角位移(rad)；

$\rho_{\theta 1}$ ——基组 y— θ 向耦合振动第一振型转动中心至基组重心的距离(m)；

$\rho_{\theta 2}$ ——基组 y— θ 向耦合振动第二振型转动中心至基组重心的距离(m)；

$\omega_{n\theta 1}$ ——基组 y— θ 向耦合振动第一振型的固有圆频率(rad/s)；

$\omega_{n\theta 2}$ ——基组 y— θ 向耦合振动第二振型的固有圆频率(rad/s)；

ω_{ny} ——基组 y 向水平固有圆频率(rad/s)；

$\omega_{n\theta}$ ——基组绕 x 轴回转固有圆频率(rad/s)；

J_x ——基组对通过其重心的 x 轴的转动惯量($t \cdot m^2$)；

$M_{\theta 1}$ ——绕通过 y— θ 向耦合振动第一振型转动中心 $O_{\theta 1}$ 并垂直于回转面 ZOY 的轴的总扰力矩(kN·m)；

$M_{\theta 2}$ ——绕通过 y— θ 向耦合振动第二振型转动中心 $O_{\theta 2}$ 并垂直于回转面 ZOY 的轴的总扰力矩(kN·m)；

K_{θ} ——基组绕 x 轴的抗弯刚度(kN·m)；

I_x ——基组对通过底面形心 x 轴的惯性矩(m^4)；

e_y ——机器竖向扰力 P_z 沿 y 轴向的偏心距(m)；

M_{θ} ——绕 x 轴的机器扰力矩(kN·m)。

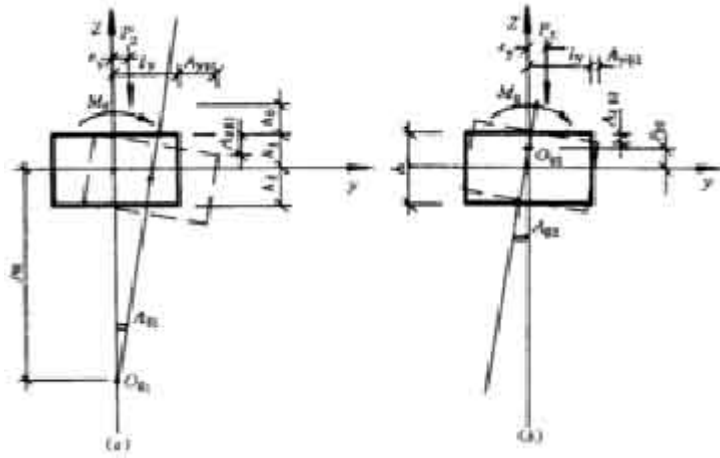


图 4.3.6 基组沿 y 向水平、绕 x 轴回转的耦合振动的振型

(a)第一振型; (b)第二振型

4.3.7 基础顶面控制点沿 x、y、z 轴各向的总振动线位移 A 和总振动速度 V 可按下列公式计算:

$$A = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^m A'_j\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^m A''_k\right)^2} \quad (4.3.7-1)$$

$$V = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^m \omega' A'_j\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^m \omega'' A''_k\right)^2} \quad (4.3.7-2)$$

$$\omega' = 0.105n \quad (4.3.7-3)$$

$$\omega'' = 0.210n \quad (4.3.7-4)$$

式中 A'_j ——在机器第 j 个一谐扰力或扰力矩作用下, 基础顶面控制点的振动线位移(m);

A''_k ——在机器第 k 个二谐扰力或扰力矩作用下, 基础顶面控制点的振动线位移(m);

A——基础顶面控制点的总振动线位移(m);

V——基础顶面控制点的总振动速度(m/s);

ω' ——机器的一谐扰力和扰力矩圆频率(rad/s);

ω'' ——机器的二谐扰力和扰力矩圆频率(rad/s);

n——机器工作转速(r/min)。

4.4 联合基础

4.4.1 当二台或三台同类型压缩机基础置于同一底板上，构成联合基础（图 4.4.1 所示）且符合下列条件时，可将联合基础作为刚性基础进行动力计算：

4.4.1.1 联合基础的底板厚度应满足表 4.4.1 中所列的刚度界限。

4.4.1.2 联合基础的固有圆频率应符合下列规定：

$$\text{竖向型： } \omega \leq 1.3\omega^{\circ}nz \quad (4.4.1-1)$$

$$\text{水平串联型、水平并联型： } \omega \leq 1.3\omega^{\circ}nls \quad (4.4.1-2)$$

式中 $\omega^{\circ}nz$ ——联合基础划分为单台基础的竖向固有圆频率(rad/s)；

$\omega^{\circ}nls$ ——联合基础划分为单台基础的水平回转耦合振动第一振型的固有圆频率(rad/s)。

联合基础的底板在不同地基刚度系数时各种联合型式的刚度界限 $hd/L1$

值表 4.4.1

联合基础的联合型式	地基抗压刚度系数 C_z (kN/m^3)							
	18000	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000
竖向型	0.236	0.242	0.268	0.288	0.303	0.311	0.323	0.330
水平串联型	0.198	0.201	0.222	0.238	0.251	0.262	0.270	0.278
水平并联型	0.175	0.177	0.186	0.192	0.196	0.198	0.199	0.200

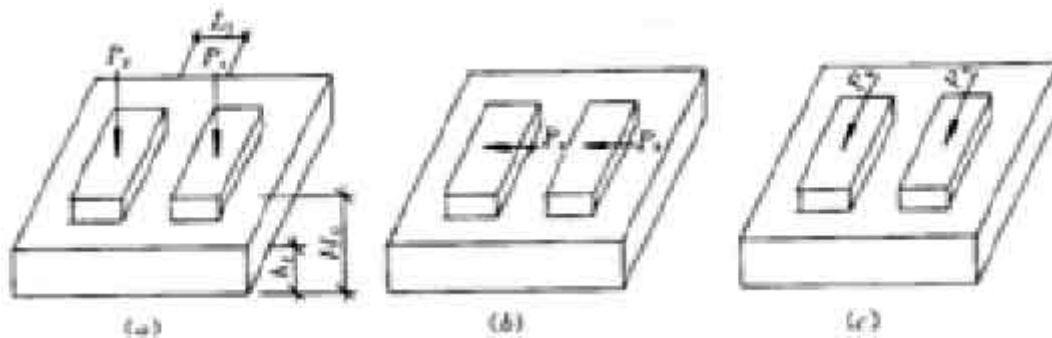


图 4.4.1 联合基础的联合型式

(a)竖向型；(b)水平串联型；(c)水平并联型

4.4.1.3 联合基础的底板厚度不应小于 600mm，且底板厚度与总高度之比应符合下式要求：

$$\frac{hd}{H_0} \geq 0.15 \quad (4.4.1-3)$$

式中 hd ——联合基础的底板厚度(m)；

H_0 ——联合基础的总高度(m)。

4.4.2 当联合基础作为刚性基础进行动力计算时，应符合本规范第 4.3 节的规定并应对基础各台机器的一、二谐波扰力和扰力矩作用下分别计算各向的振动线位移。联合基础顶面控制点的总振动线位移应取各台机器扰力和扰力矩作用下的振动线位移平方之和的开方。

4.5 简化计算

4.5.1 除立式压缩机以外的功率小于 80kW 各类压缩机基础和功率小于 500kW 的对称平衡型压缩机基础，当其质量大于压缩机质量的 5 倍，基础底面的平均静压力设计值小于地基承载力设计值的 1/2 时，可不作动力计算。

4.5.2 对于操作层设在厂房底层的大块式基础，在水平扰力作用下，可采用下列简化计算公式验算基础顶面的水平振动线位移：

$$A_{\text{水平}} = 1.2 \left(\frac{P_x}{K_x} + \frac{P_x H_h}{K_\varphi h} \right) \frac{\omega_{\text{自}}^2}{\omega_{\text{自}}^2 - \omega^2} \quad (4.5.2-1)$$

$$H_h = h_0 + h_1 + h_2$$

$$\omega_{\text{自}} = \lambda \omega_{\text{nx}} \quad (4.5.2-2)$$

式中 $A_{\text{水平}}$ ——在水平扰力作用下，基础顶面的水平向振动线位移(m)；

H_h ——水平扰力作用线至基础底面的距离(m)；

λ ——频率比。

4.5.3 频率比 λ 可按表 4.5.3 采用。

频率比 λ

表 4.5.3

L/h	1.5	2.0	3.0
λ	0.7	0.8	0.9

注：L 为基础在水平扰力作用方向的底板边长。

5 汽轮机组和电机基础

5.1 一般规定

5.2.2 本章适用于工作转速 3000r/min 及以下的汽轮机组（汽轮发电机、汽轮鼓风机）和电机（调相机等）基础设计。

5.1.2 汽轮机组和电机基础设计时，除应取得本规范第 3.1.1 条规定的有关资料外，尚应由机器制造厂提供下列资料：

- (1)机器自重的分布、转子自重；
- (2)机器旋转时产生的扰力分布、额定转矩；
- (3)冷却器、油箱等辅助设备及管道荷载；
- (4)短路力矩、凝汽器真空吸力、汽缸温度膨胀力和安装荷载等；
- (5)机器轴系的临界转速；
- (6)热力管道位置及其隔热层外表面的温度值。

5.1.3 汽轮机和电机基础，宜采用钢筋混凝土框架结构或预应力混凝土结构。

5.1.4 当电机基础采用墙式或大块式基础时，其动力计算和构造可按本规范第4章的规定采用。

5.1.5 框架式基础的顶部四周应留有变形缝与其他结构隔开，中间平台宜与基础主体结构脱开，当不能脱开时，在两者连接处宜采取隔振措施。

5.1.6 汽轮机组的框架式基础宜按多自由度空间力学模型进行多方案分析，合理地确定框架的型式和尺寸。结构选型可按下列原则确定：

- (1)顶板应有足够的质量和刚度。顶板各横梁的静挠度宜接近，顶板的外形和受力应简单，并应避免偏心荷载；
- (2)在满足强度和稳定性要求的前提下宜适当减小柱的刚度，但其长细比不宜大于14；
- (3)底板应有一定的刚度，并结合地基的刚度综合分析确定。

5.1.7 框架式基础的底板、可采用井式、梁板式或平板式。

平板式基础底板的厚度或井式、梁板式基础的梁高，可根据地基条件取基础底板长度的 $\frac{1}{15} \sim \frac{1}{20}$ ，并不应小于柱截面的边长。

5.1.8 当基础建造在岩石地基上并符合本规范附录B中的规定时，可采用锚桩（杆）基础。

5.1.9 对中、高压缩性地基土，应加强地基和基础的刚度及采取其他减少基础不均匀沉降的措施。

5.1.10 基础顶板的挑台应做成实腹式，其悬出长度不宜大于1.5m，悬臂支座处的截面高度，不应小于悬出长度的0.75倍。

5.2 框架式基础的动力计算

（机器工作转速1000~3000r/min）

5.2.1 框架式基础的动力计算，应按振动线位移控制。计算振动线位移时，可按本规范附录C采用空间多自由度

体系的计算方法。一般情况下，只需计算扰力作用点的竖向振动线位移。

5.2.2 计算振动线位移时，应采用机器制造厂提供的扰力值，当缺乏扰力资料时，基础的允许振动线位移可按表 5.2.2 采用。

扰力及允许振动线位移

表 5.2.2

机器工作转速(r/min)		3000	15000
计算振动位移时，第 i 点的扰力 Pgi(kN)	竖向、横向	0.20Wgi	0.16Wgi
	纵向	0.10Wgi	0.08Wgi
允许振动线位移(mm)		0.02	0.04

注：①表中数值为机器正常运转时的扰力和振动线位移。

②Wgi 为作用在基础第 i 点的机器转子重力(kN)，一般为集中到梁中或柱顶的转子重力。

5.2.3 计算振动线位移时，宜取在工作转速±25%范围内的最大振动线位移作为工作转速时的计算振动线位移。

5.2.4 对小于 75%工作转速范围内的计算振动线位移，应小于 1.5 倍的允许振动线位移。

5.2.5 计算振动线位移时，任意转速的扰力，可按下列式计算：

$$P_d = P_{gi} \left(\frac{n_o}{n} \right)^2 \quad (5.2.5)$$

式中 Poi——任意转速的扰力(kN)；

no——任意转速(r/min)。

5.2.6 当框架式基础按空间多自由度体系进行振动计算时，对机组工作转速等于 3000r/min 的基础，地基可按刚性考虑，对机器工作转速小于 3000r/min 的基础，则地基宜按弹性考虑。

5.2.7 当有 m 个扰力作用时，质点 i 的振动线位移，可按下列式计算：

$$A_i = \sqrt{\sum_{k=1}^m (A_{ik})^2} \quad (5.2.7)$$

式中 Ai——质点 i 的振动线位移(m)；

Aik——第 k 个扰力对质点 i 产生的振动线位移(m)。

5.2.8 当基础为横向框架与纵梁构成的空间框架时，可简化为横向平面框架，按本规范附录 C 采用双自由度体系的计算方法。

5.2.9 对工作转速为 3000r/min，功率为 12.5MW 及以下的汽轮发电机，当基础为由横向框架与纵梁构成的空间框架，同时满足下列条件时，可不进行动力计算：

(1)中间框架、纵梁： $W_i \geq 6W_{gi}$ ；

(2)边框架： $W_i \geq 10W_{gi}$ 。

注： W_i 为集中到梁中或柱顶的总重力(kN)。

5.3 框架式基础的承载力计算

(机器工作转速 1000~3000r/min)

5.3.1 基础的承载力计算，荷载分项系数的取值应符合表 5.3.1 的规定。

荷载分项系数

表 3.3.1

荷载种类	荷载名称	分项系数
永久荷载	基础自重、机器自重、安装在基础上的其他设备自重、基础上的填土重、汽缸膨胀力、凝汽器真空吸力、温差产生的作用力	1.2
可变荷载	动力荷载（或当量荷载）、顶板活荷载	1.4
偶然荷载	短路力矩	1.0
地震荷载	地震作用	1.3

5.3.2 计算基础构件动内力时，可按空间多自由度体系直接计算动内力。

5.3.3 计算动内力时的扰力值，可取计算振动线位移时所取扰力的 4 倍，并应考虑材料疲劳的影响，对钢筋混凝土构件的疲劳影响系数可取 2.0。

5.3.4 当基础为横向框架与纵梁构成的空间框架时，可采用当量荷载进行构件动内力简化计算。竖向当量荷载可按集中荷载考虑，水平向当量荷载可按作用在纵、横梁轴线上的集中荷载考虑。

5.3.5 按当量荷载计算动内力时，应分别按基础的基本振型和高振型进行，并取其较大值作为控制值。

5.3.6 按基础的基本振型计算动内力时，其当量荷载可按下列规定计算。

(1)横向框架上第 i 点的竖向当量荷载可按式计算，并不应小于 4 倍转子重：

$$N_{zi} = 8P_{gi} \left(\frac{\omega_{di}}{\omega} \right)^2 \eta_{max} \quad (5.3.6 - 1)$$

(2)水平向的总当量荷载可按下列公式计算，并不应小于转子总重，总当量荷载应按刚度分配给各框架：

$$N_x = \zeta_x \frac{\sum W_{gi}}{W_t} \sum K_{fxj} \quad (5.3.6-2)$$

$$N_y = \zeta_y \frac{\sum W_{gi}}{W_t} \sum K_{fyj} \quad (5.3.6-3)$$

式中 N_{zi} ——横向框架上第 i 点的竖向当量荷载(kN);

ω_{n1} ——横向框架竖向的第一振型固有圆频率(rad/s), 可按附录 C 中公式(C.2.2-1)计算;

η_{max} ——最大动力系数, 可采用 8;

N_x ——横向框架的水平向总当量荷载(kN);

N_y ——纵向框架的水平向总当量荷载(kN);

W_t ——基础顶板全部永久荷载(kN), 包括顶板自重、设备重和柱子重的一半;

K_{fxj} ——基础第 j 榀横向框架的水平刚度(kN/m);

K_{fyj} ——基础第 j 榀纵向框架的水平刚度(kN/m);

ζ_x ——横向计算系数(m);

ζ_y ——纵向计算系数(m)。

(3)对工作转速为 3000t/min 的汽轮机组, 当不作动力计算时, 其竖向当量荷载可按表 5.3.6-1 采用, 水平向总当量荷载可按表 5.3.6-2 采用。

竖向当量荷载

表 5.3.6-1

机组功率 W (MW)	$W \leq 25$	$25 < W \leq 125$
N_{zi}	$10W_{gi}$	$6W_{gi}$

水平向当量荷载

表 5.3.6-2

机组功率 W (MW)	$W \leq 25$	$25 < W \leq 125$
N_x, N_y	$2 \sum W_{gi}$	$\sum W_{gi}$

(4)计算简图应分别按图 5.3.6-1、5.3.6-2 采用。

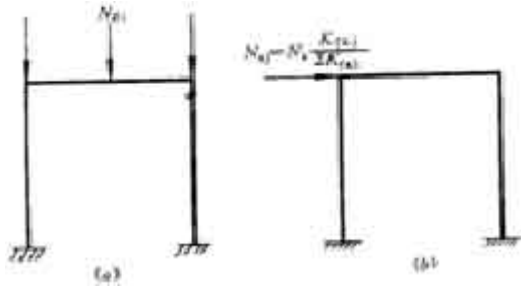


图 5.3.6-1 横向框架

(a)竖向当量荷载作用；(b)水平向当量荷载作用

$$N_{y1} = N_d \frac{K_{G1}}{\sum K_{G1}}$$

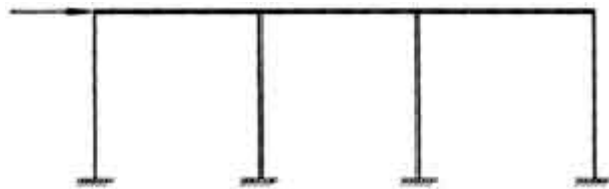


图 5.3.6-2 纵向框架

5.3.7 横向、纵向计算系数可按表 5.3.7 取值。

计算系数

表 5.3.7

机器工作转速 (r/min)	横向计算系数 ξ_x	纵向计算系数 ξ_y
3000	12.8×10^{-4}	6.4×10^{-4}
1500	40.0×10^{-4}	20.0×10^{-4}

5.3.8 考虑基础高振型振动影响时，顶板的横梁、纵梁，应按表 5.3.8 中所列的当量荷载及计算简图 5.3.8-1、5.3.8-2 计算动内力。

考虑高振型影响的当量荷载

表 5.3.8

方向 荷载 (kN)	竖向	横向	纵向
	$N_d = 0.8W_d$	$N_{x1} = 0.8W_d$	$N_{y1} = 0.4W_d$

注： W_{ci} 为构件的自重及其支承的机器重（均布的或集中的）。

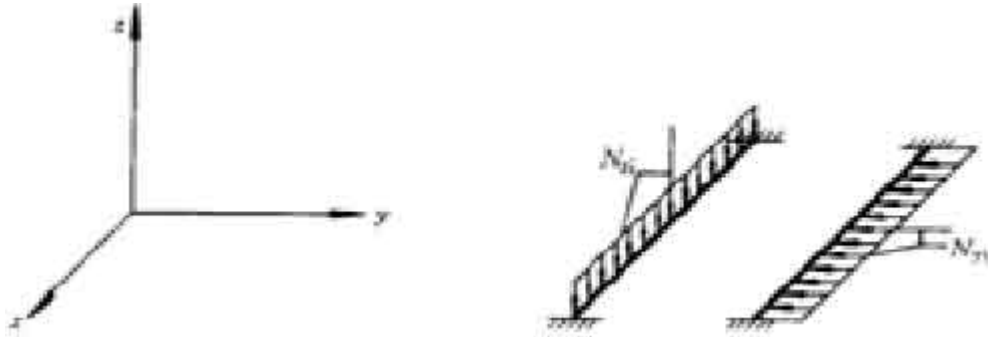


图 5.3.8-1 横梁

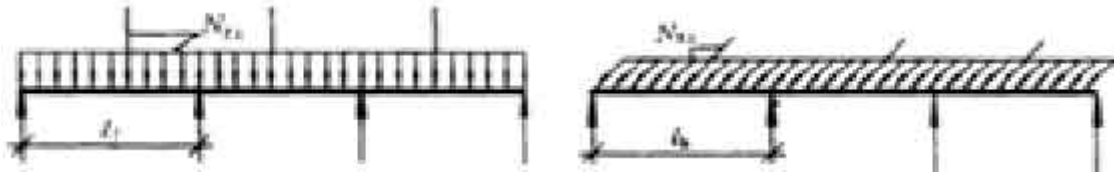


图 5.3.8-2 纵梁

注： l_f 为柱间距； l_b 为横梁间距。

5.3.9 当按空间多自由度体系计算动内力时，应取 1.25 倍机器工作转速范围内的最大动内力值作为控制值。

5.3.10 在 m 个扰力作用时，质点 i 的动内力，可按式计算：

$$S_i = \sqrt{\sum_{k=1}^m (S_{ik})^2} \quad (5.3.10)$$

式中 S_i ——质点 i 的动内力(kN)。

S_{ik} ——第 k 个扰力对 i 点产生的动内力(kN)。

5.3.11 基础顶板的纵、横梁应考虑由于构件两侧温差产生的应力，可在梁两侧分别配置温度钢筋，每侧配筋百分率为 0.1%，但对机组功率在 100MW 及以上的汽轮发电机，其高、中压缸侧的纵梁侧面配筋百分率，应增大至 0.15%。当基础纵向框架长度大于或等于 40m 时，应进行纵向框架的温度应力计算。顶板与柱脚的计算温差，在缺乏资料时，可取 20℃。

5.3.12 顶板承载力计算应考虑设备安装时的活荷载，活荷载值应根据工艺要求确定，宜采用 20~30kPa。

5.3.13 短路力矩的动力系数可采用 2.0。

5.3.14 基础的承载力计算应按下述荷载组合，并取其较大值作为控制值：

(1)基本组合可由永久荷载与动力荷载（或当量荷载）组合，各项动力荷载只考虑单向作用，其组合系数可取 1.0；

(2)偶然组合可由永久荷载、动力荷载及短路力矩组合，动力荷载组合系数可取 0.25，短路力矩的组合系数可取 1.0；

(3)地震作用组合可由永久荷载、动力荷载及地震作用组合，动力荷载组合系数可取 0.25，地震作用组合系数可取 1.0。

5.4 低转速电机基础的设计（机器工作转速 1000r/min 及以下）

5.4.1 当进行低转速电机基础的动力计算时，其扰力，允许振动线位移及当量荷载，可按表 5.4.1 采用。

扰力、允许振动线位移及当量荷载

表 5.4.1

机器工作转速(r/min)		<500	500~750	>750
计算横向振动线位移的扰力 P_x (kN)		0.10 W_g	0.15 W_g	0.20 W_g
允许振动线位移(A)(mm)		0.16	0.12	0.08
当量荷载(kN)	竖向 N_{gd}	4 W_{gd}	8 W_{gd}	
	横向 N_{gd}	2 W_{gd}	2 W_{gd}	

注：表中当量荷载中，已包括材料的疲劳影响系数 2.0。 W_g 为机器转子重(kN)。

5.2.4 框架式电机基础，可只计算顶板振动控制点的横向水平振动线位移，其值可按下列公式计算：

$$A_{x\psi} = A_x + A_\psi \quad (5.4.2-1)$$

$$A_x = \frac{P_x}{K_{bx}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_x^2}\right)^2 + \frac{\omega^2}{64\omega_x^2}}} \quad (5.4.2-2)$$

$$A_\psi = \frac{M_\psi}{K_{b\psi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_\psi^2}\right)^2 + \frac{\omega^2}{64\omega_\psi^2}}} \quad (5.4.2-3)$$

$$K_{bx} = \frac{1}{\frac{1}{K_x} + \frac{h_4^2}{K_\varphi} + \sum K_{bxj}} \quad (5.4.2-4)$$

$$K_{b\psi} = \sum K_{bxj} l_{oj}^2 \quad (5.4.2-5)$$

$$\omega_x = \sqrt{\frac{K_{sx}}{m_e}} \quad (5.4.2-6)$$

$$\omega_\psi = \sqrt{\frac{K_{s\psi}}{J_w}} \quad (5.4.2-7)$$

$$\sum K_{xj} = \sum_{j=1}^m \frac{12E_c I_{bj}}{h_j^3} \left(\frac{1+6\delta_j}{2+3\delta_j} \right) \quad (5.4.2-8)$$

$$\delta_j = \frac{h_j I_{bj}}{l_j I_{cj}} \quad (5.4.2-9)$$

$$J_w = 0.1 m_e l_d^2 \quad (5.4.2-10)$$

$$M_\psi = \frac{P_x l_\psi}{2} \quad (5.4.2-11)$$

式中 $A_{x\psi}$ ——框架式电机基础顶板振动控制点的横向水平振动线位移(m);

A_x ——顶板重心的横向水平振动线位移(m);

A_ψ ——顶板的扭转振动角位移(rad);

K_{sx} ——基础及地基总的横向水平刚度(kN/m);

$K_{s\psi}$ ——基础及地基总的抗扭刚度(kN/m);

ω_x ——顶板的水平横向固有圆频率(r/min);

ω_ψ ——顶板的扭转向固有圆频率(r/min);

l_{oj} ——第 j 榀横向框架平面到顶板重心的距离(m);

h_4 ——基础底板底面至顶板顶面的距离(m);

K_{fxj} ——第 j 榀横向框架的水平刚度(kN/m);

δ_j ——无因次系数;

l_ψ ——基础顶板重心到振动控制点的水平距离(m);

I_{bj} ——第 j 榀横向框架横梁的截面惯性矩(m^4);

I_{cj} ——第 j 榀横向框架柱的截面惯性矩(m^4);

h_j ——第 j 榀横向框架柱的计算高度(m);

l_j ——第 j 榀横向框架横梁的计算跨度(m), 可取 0.9 倍的两柱子中心线间的距离;

J_w ——折算质量 m_s 对通过顶板重心竖向轴的惯性矩($t \cdot m^2$);

l_d ——顶板的长度(m);

m_e ——基组折算质量包括全部机器、基础顶板及柱子质量的 30%(t);

E_e ——混凝土的弹性模量(kPa)。

5.4.3 当采用大块式和墙式基础时, 其动力计算与构造要求, 可按本规范第 4 章有关规定采用。

5.4.4 15MV·A 及以下的调相机基础, 当采用将运转层设置在室内地坪标高的墙式基础时, 可不作振动计算。

5.4.5 电机基础的顶板结构构造配筋, 可按下列规定采用:

(1)在顶板梁侧面配置构造钢筋如图 5.4.5, 此时, 可不验算由动力荷载和温度差产生的平面弯曲应力;

(2)上部构造钢筋 A_{g2} 的截面, 不应小于 $0.1\%bh_h$;

(3)下部构造钢筋 A_{g1} 的截面, 不应小于 $0.1\%bh$;

(4)钢筋直径不应小于 16mm, 其间距宜取 150~250mm。

5.4.6 基础构件的承载力计算, 可按本规范第 5.3 节有关规定采用。

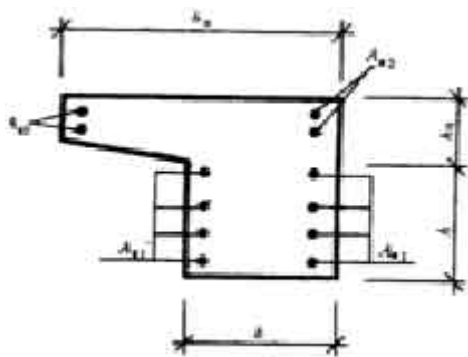


图 5.4.5 梁侧面构造钢筋

6 透平压缩机基础

6.1 一般规定

6.1.1 本章适用于工作转速大于 3000r/min 的离心式透平压缩机基础的设计。

6.1.2 透平压缩机基础设计时，应取得本规范第 5.1.2 条规定的资料。

6.1.3 透平压缩机基础宜采用钢筋混凝土框架结构。当采用大块式或墙式基础时，其动力计算和构造可按本规范第 4 章的规定采用。

6.1.4 建造在设防烈度 8 度及以下地震区的框架式基础，可不进行抗震验算。

6.2 构造要求

6.2.1 框架式基础的尺寸应符合下列规定：

6.2.1.1 基础底板宜采用矩形板，其厚度可取底板长度的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{12}$ ，并不宜小于 800mm；

6.2.1.2 柱子截面宜采用矩形，其最小宽度宜为柱子净高度的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{12}$ ，并不得小于 450mm；

6.2.1.3 基础顶板厚度不宜小于其净跨度的 1/4，并不得小于 800mm。

6.2.2 框架式基础的配筋应符合下列规定：

6.2.2.1 底板应沿周边及板顶、板底配置钢筋网，钢筋直径宜为 14~16mm，间距宜为 200~250mm。当采用桩基础时，钢筋直径宜为 16~20mm。

6.2.2.2 柱子配筋应按计算确定。竖向钢筋可沿柱截面周边对称配置，直径不宜小于 18mm；

6.2.2.3 顶板应沿周边及板顶、板底配置钢筋网，钢筋直径宜为 14~16mm，间距宜为 200~250mm。在柱宽范围内，应按纵、横向框架梁计算配筋；

6.2.2.4 底板及顶板上的开孔或缺口，当其直径或边长大于 300mm 时，应沿周边配置加强钢筋，钢筋直径宜为 14~18mm，间距宜为 200mm。

6.3 动力计算

6.3.1 当透平压缩机转子产生的扰力小于 15kN、其基础的尺寸符合本规范 6.2.1 条的规定，且设备和生产对基础振动无特殊要求时，可不作动力计算。

6.3.2 透平压缩机基础的扰力值和作用位置由机器制造厂提供，当缺乏资料时，可按下列规定采用：

6.3.2.1 机器的扰力可按下列公式计算：

$$P_z = 0.25W_g \left(\frac{n}{3000} \right)^{3/2} \quad (6.3.2-1)$$

$$P_x = P_z \quad (6.3.2-2)$$

$$P_y = 0.5P_x \quad (6.3.2-3)$$

式中 P_x ——沿基础横向的机器水平扰力(kN);

P_y ——沿基础纵向的机器水平扰力(kN);

W_g ——机器转子自重(kN)。

6.3.2.2 扰力的作用位置, 应按机器转子自重分布的实际情况确定;

6.3.2.3 当透平压缩机由电机驱动时, 由电机产生的竖向和水平向扰力可按本规范第 5.2.2 条规定采用;

6.3.2.4 当透平压缩机与驱动机之间有变速器时, 计算转子重 W_g 应计入变速器相同转速的齿轮自重。

6.3.3 透平压缩机框架式基础宜按多自由度空间力学模型进行动力计算并应取工作转速正负 20% 范围进行扫频计算。混凝土结构的阻尼比可取 0.0625, 弹性模量可取静弹性模量值。

6.3.4 当基础承受 m 个不同频率的扰力作用时, 应分别计算各扰力对验算点 i 所产生的振动速度 V_{ik} , 其最大振动速度 V 可按下式计算:

$$V = \sqrt{\sum_{k=1}^m V_{ik}^2} \quad (6.3.4)$$

式中 V_{ik} ——机器扰力对验算点 i 所产生的振动速度(m/s)。

6.3.5 透平压缩机基础顶面控制点的最大振动速度应小于 5.0mm/s。

6.4 框架式基础的承载力计算

6.4.1 当框架式基础符合下列条件时, 可不进行承载力计算:

(1) 顶板的净跨度不大于 4.0m;

(2) 作用于每榀框架上的机器自重不大于 150kN;

(3) 基础的构造应满足本规范第 6.2 节的有关规定, 且框架柱截面不应小于 600mm×600mm 柱中竖向钢筋总配筋率不得小于 1%, 框架梁上、下主筋配筋率宜取 0.5%~1.0%, 但不宜少于 5 根直径为 25mm 的 II 级钢筋;

(4) 混凝土强度等级宜采用 C25。

6.4.2 透平压缩机基础承载力计算时，应采用本规范第 5.3.1 条中除地震作用以外的各项荷载分项系数。荷载的组合可按本规范第 5.3.14 条规定采用。

6.4.3 与机器设备有关的荷载资料，应由机器制造厂提供，当无资料时，可按下列规定采用：

(1)顶板上的检修荷载标准值可取 10kPa，使用荷载可取 2kPa；

(2)凝汽器真空吸力标准值，可按下列式计算：

$$P_a = 100A_t \quad (6.4.3)$$

式中 P_a ——凝汽器真空吸力标准值(kN)；

A_t ——凝汽器与汽轮机接口处的横截面面积(m^2)。

6.4.4 透平压缩机的扰力当量荷载，按正负方向的集中荷载作用在基础上，其数值可按下列规定采用：

(1)竖向当量荷载：

$$N_z = 5W_s \frac{n}{3000} \quad (6.4.4)$$

(2)横向、纵向当量荷载可分别取竖向当量荷载的 1/4、1/8，分别集中作用在横梁、纵梁轴线上；

(3)对不承受机器转子自重的基础构件，其当量荷载在竖向和横向均可取构件自重的 1/2，在纵向可取构件自重的 1/4。

7 破碎机和磨机基础

7.1 破碎机基础

7.1.1 本节适用于旋回式、颚式、圆锥式、锤式和反击式破碎机基础的设计。

7.1.2 破碎机基础设计时，除应取得本规范第 3.1.1 条规定的有关资料外，尚应由机器制造厂提供下列资料：

(1)破碎机、电机的相互位置及传动方式；

(2)破碎机扰力作用位置。

7.1.3 基础宜采用钢筋混凝土结构，其形式可为大块式、墙式或框架式。

7.1.4 墙式基础各构件尺寸应符合下列规定：

7.1.4.1 基础顶板的厚度不宜小于 600mm，且不小于顶板跨度的 1/6；

7.1.4.2 顶板的悬臂长度不宜大于 1500mm；

7.1.4.3 纵墙的厚度不宜小于 400mm，高厚比不宜大于 6；

7.1.4.4 横墙的厚度不宜小于 500mm+，高厚比不宜大于 4；

7.1.4.5 基础底板厚度不宜小于 600mm，且不宜小于墙厚；

7.1.4.6 基础底板悬臂长度不宜大于 2.5 倍底板厚度。

注：纵墙系指与破碎机扰力方向平行的墙，横墙为与破碎机扰力垂直的墙。

7.1.5 框架式基础的底板宜采用平板，其厚不应小于 600mm。

7.1.6 两台至三台破碎机可设置在同一基础上，构成联合基础，其底板厚度不应小于 800mm。

7.1.7 当基础建造在岩石地基上并符合本规范附录 B 中第 B.0.1 条规定时，基础可采用锚桩（杆）基础。

7.1.8 基础的动力计算，可只计算水平扰力作用下所产生的振动线位移，并应符合下列规定：

(1)大块式和墙式基础的动力计算应按本规范第 4.3.3、4.3.5 和 4.3.7 条的规定采用；

(2)框架式基础的动力计算应按本规范第 5.4.2 条规定采用，但可不计算扭转振动；

(3)大块式锚杆基础可不作动力计算；

(4)联合基础的动力计算，其扰力应取两台机器扰力的绝对值之和，并按本规范第 4.3.3、4.3.5 和 4.3.7 条规定的公式计算，计算所得的振动线位移可乘以折减系数 0.75。

7.1.9 破碎机基础顶面的水平向允许振动线位移可按表 7.1.9 采用。

破碎机基础顶面的水平向允许振动线位移

表 7.1.9

机器转速 $n(r/min)$	允振动线位移(mm)
$n \leq 300$	0.25
$300 < n \leq 750$	0.20
$n > 750$	0.15

7.1.10 破碎机基础的承载力计算，其荷载应包括构件、机器自重和 4 倍的锤式及反击式破碎机的扰力或 3 倍的其他型式的破碎机扰力。

7.1.11 破碎机基础的配筋，应符合下列规定：

(1)对于大块式和墙式基础的配筋，可按本规范第 4.2.2 条规定采用；

(2)框架式基础的配筋，应按计算确定。

7.2 磨机基础

7.2.1 本节适用于被碾物料温度为常温状态的管磨机、球（棒）磨机及自磨机基础的设计。

7.2.2 磨机基础设计时，除应取得本规范第 3.1.1 条规定的有关资料外，尚应由机器制造厂提供下列资料：

(1)磨机、电机和减速器的相互位置及传动方式；

(2)磨机内碾磨体的总重；

(3)磨机筒体中心线距基础面的距离。

7.2.3 磨机基础宜采用钢筋混凝土结构，其形式可为大块式、墙式或箱式。

7.2.4 管磨机的磨头和磨尾可分别采用独立基础。球（棒）磨机及自磨机基础，当建造在土质均匀，地基承载力的标准值大于 250kPa 时，其磨头和磨尾亦可分别采用独立基础。

7.2.5 墙式和大块式基础可不进行动力计算。

7.2.6 在计算基础底面静压力时，其荷载计算除应符合本规范第

3.2.5 条的规定外，尚应考虑作用在磨机每端轴承中心线处的定向水平当量荷载（图 7.2.6），其值可按下式计算：

$$P_x = 0.15W_r \quad (7.2.6)$$

式中 P_x ——磨机每端轴承中心线处的定向水平当量荷载(kN)；

W_r ——磨机内碾磨体总重(kN)。

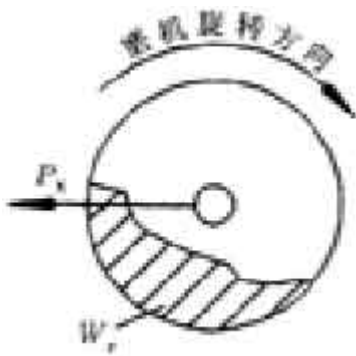


图 7.2.6 定向水平当量荷载

7.2.7 基础的配筋应按本规范第 4.2.2 条规定采用。

8 冲击机器基础

8.1 锻锤基础

8.1.1 本节适用于落下部分公称质量小于或等于 16t 的锻锤基础设计。

8.1.2 锻锤基础设计时，除应取得本规范第 3.1.1 条规定的资料外，尚应由机器制造厂提供下列资料：

(1)落下部分公称质量及实际重；

(2)砧座及锤架重；

(3)砧座高度、底面尺寸及砧座顶面对本车间地面的相对标高；

(4)锤架底面尺寸及地脚螺栓的形式、直径、长度和位置；

(5)落下部分的最大速度或最大行程、汽缸内径、最大进气压力或最大打击能量；

(6)单臂锤锤架的重心位置。

8.1.3 锻锤基础的形式应符合下列规定：

8.1.3.1 不隔振锻锤基础可采用梯形或台阶式的整体大块式基础。5t 及以下的锻锤，亦可采用正圆锥壳基础，其壳体部分的强度计算及构造要求应符合本规范附录 D 的规定；

8.1.3.2 隔振锻锤基础有隔振器置于砧座下的砧座隔振锻锤基础和隔振器置于基础下的基础隔振锻锤基础两种形式；

8.1.3.3 当地基土为四类土或锻锤基础外形尺寸受限制时，宜采用砧座隔振锻锤基础或人工地基。

8.1.4 锻锤基础宜采用钢筋混凝土结构。大块式基础的混凝土强度等级不宜低于 C15，正圆锥壳基础的混凝土强度等级不宜低于 C20。

8.1.5 砧座垫层的材料应符合下列规定：

8.1.5.1 由方木或胶合方木组成的木垫，宜选用材质均匀、耐腐蚀性较强的一等材，并经干燥及防腐处理。其树种应按现行国家标准《木结构设计规范》的规定采用；

8.1.5.2 木垫的材质应符合下列规定：

(1)横放木垫可采用 TB20、TB17，对于不大于 1t 的锻锤，亦可用 TB15、TC17、TC15；

(2)竖放木垫可采用 TB15、TC17、TC15；

(3)竖放木垫下的横放木垫可采用 TB20、TB17；

(4)对于木材表层绝对含水率：当采用方木时不宜大于 25%；

当采用胶合方木时不宜大于 15%；

1.5.3 对于不大于 5t 的锻锤可采用橡胶垫，橡胶垫可由普通型运输胶带或普通橡胶板组成，含胶量不宜低于 40%，肖氏硬度宜为 65Hs。其胶种和材质的选择应符合下列规定：

- (1)胶种宜采用氯丁胶、天然胶或顺丁胶；
- (2)当锻锤使用时间每天超过 16h 时，宜选用耐热橡胶带（板）；
- (3)运输胶带的力学性能应符合国家标准《运输胶带》的规定。

普通橡胶板的力学性能宜符合现行国家标准《工业用硫化橡胶板的性能》的规定。

8.1.6 砧座下垫层的铺设方式，应符合下列规定：

(1)木垫横放并由多层组成时，上下各层应交迭成十字形。最上层沿砧座底面的短边铺设，每层木垫厚度不宜小于 150mm，并应每隔 0.5~1.0m 用螺栓将方木拧紧，螺栓直径可按表 8.1.6 选用。

(2)木垫竖放时，宜在砧座凹坑底面先横放一层厚 100~150mm 的木垫，然后再沿凹坑用方木立砌，并将顶面刨平。对小于 0.5t 锻锤可不放横向垫木；

(3)橡胶垫由一层或数层运输胶带或橡胶板组成，上下各层应顺条通缝迭放，并应在砧座凹坑内满铺；

横放木垫连接螺栓直径

表 8.1.6

每层木垫厚度(mm)	螺栓直径(mm)
150	20
200	24
250	30
300	35

(4)对砧座隔振锻锤基础可用高阻尼的弹性隔振器替代垫层。

8.1.7 砧座垫层下基础部分的最小厚度，应符合表 8.1.7 的规定。

砧座垫层下基础部分的最小厚度

表 8.1.7

落下部分公称质量(t)		最小厚度(mm)
≤0.25		600
≤0.75		800
1		1000
2		1200
3	模锻锤	1500
	自由锻锤	1750

5	2000
10	2750
16	3500

8.1.8 锻锤基础，在砧座垫层下 1.5m 高度范围内，不得设施工缝。砧座垫层下的基础上表面应一次抹平，严禁做找平层，其水平度要求，木垫下，不应大于 1‰，橡胶垫下，不应大于 0.5‰。

8.1.9 基础的配筋应符合下列规定：

8.1.9.1 砧座垫层下基础上部，应配置水平钢筋网，钢筋直径宜为 10~16mm，钢筋间距宜为 100~150mm。钢筋应采用 II 级钢，伸过凹坑内壁的长度，不宜小于 50 倍钢筋直径，一般伸至基础外缘，其层数可按表 8.1.9 采用，各层钢筋网的竖向间距，宜为 100~200mm，并按上密下疏的原则布置，最上层钢筋网的混凝土保护层厚度宜为 30~35mm；

钢筋网层数

表 8.1.9

落下部分公称质量(t)	≤1	2~3	5~10	16
钢筋网层数	2	3	4	5

8.1.9.2 砧座凹坑的四周，应配置竖向钢筋网，钢筋间距宜为 100~250mm，钢筋直径：当锻锤小于 5t 时，宜采用 12~16mm；当锻锤大于或等于 5t 时宜采用 16~20mm，其竖向钢筋，宜伸至基础底面；

8.1.9.3 基础的底面应配置水平钢筋网，钢筋间距宜为 100~250mm，钢筋直径：当锻锤小于 5t 时，宜采用 12~18mm；当锻锤大于或等于 5t 时，宜采用 18~22mm；

8.1.9.4 基础及基础台阶顶面，砧座凹坑外侧面及大于或等于 2t 的锻锤基础侧面，应配置直径 12~16mm、间距 150~250mm 的钢筋网；

8.1.9.5 大于或等于 5t 的锻锤砧座垫层下的基础部分，尚应沿竖向每隔 800mm 左右配置一层直径 12~16mm、间距 400mm 左右的水平钢筋网。

8.1.10 砧座凹坑与砧座、垫层的四周间隙中，应采用沥青麻丝填实，并应在间隙顶面 50~100mm 范围内用沥青浇灌。

8.1.11 锻锤基础与厂房基础的净距不宜小于 500。在同一厂房内有多台 10t 及以上的锻锤时，各台锻锤基础中心线的距离不宜小于 30m。

8.1.12 锻锤基础的允许振动线位移及允许振动加速度应同时满足，并按下列规定采用：

(1)对于 2~5t 的锻锤基础，应按表 8.1.12 采用；

(2)小于 2t 的锻锤基础可按表 8.1.12 数值乘以 1.15；

(3)大于 5t 的锻锤基础可按表 8.1.12 中数值乘以 0.80。

土的类别	允许振动线位移 (mm)	允许振动加速度 (m/s ²)
一类土	0.8~1.20	0.85g~1.3g
二类土	0.65~0.80	0.65g~0.85g
三类土	0.40~0.65	0.45g~0.65g
四类土	<0.40	<0.45g

8.1.13 确定锻锤基础允许振动线位移和允许振动加速度时，尚应遵守下列规定：

8.1.13.1 对孔隙比较大的粘性土、松散的碎石土、稍密或很湿到饱和的砂土，尤其是细、粉砂以及软塑到可塑的粘性土，允许振动线位移和允许振动加速度应取表 8.1.12 中相应土类的较小值；

8.1.13.2 对湿陷性黄土及膨胀土应采取有关措施后，可按表 8.1.12 内相应的地基土类别选用允许振动值；

8.1.13.3 当锻锤基础与厂房柱基处在不同土质上时，应按较差的土质选用允许振动值；

8.1.13.4 当锻锤基础和厂房柱基均为桩基时，可按桩尖处的土质选用允许振动值。

8.1.14 不隔振锻锤基础顶面竖向振动线位移、固有圆频率和振

动加速度可下列公式计算：

$$A_z = k_A \frac{\psi_v V_0 W_0}{\sqrt{K_z W}} \quad (8.1.14 - 1)$$

$$\omega_{hz}^2 = k_\lambda^2 \frac{K_z g}{W} \quad (8.1.14 - 2)$$

$$\alpha = A_z \omega_{hz}^2 \quad (8.1.14 - 3)$$

式中 α ——基础的振动加速度(m/s)；

k_A ——振动线位移调整系数；

k_λ ——频率调整系数；

W ——基础、砧座、锤架及基础上回填土等的总重(kN)，正圆锥壳基础还应包括壳体内的全部土重。当为桩基时，应包括桩和桩间土参加振动的当量重，可按本规范第 3.3.19 条的规定换算；

W_0 ——落下部分的实际重(kN)；

ψ_e ——冲击回弹影响系数；

V_0 ——落下部分的最大速度(m/s)。

8.1.15 振动线位移调整系和频率调整系数可按下列规定取值：

(1)对除岩石外的天然地基，振动线位移调整系数 k_A 可取 0.6，频率调整系数 k_f 可取 1.6；

(2)对桩基，振动线位移调整系数 k_A 和频率调整系数可取 1.0。

8.1.16 冲击回弹影响系数 ψ_e 可按下列规定取值：

(1)对模锻锤，当模锻钢制品时，可取 $0.5\text{m}^{1/2}$ ，模锻有色金属制品时，可取 $0.35\text{m}^{1/2}$ ；

(2)对自由锻锤可取 $0.4\text{m}^{1/2}$ 。

8.1.17 锻锤落下部分的最大速度 V_0 可按下列规定确定：

8.1.17.1 对单作用的自由下落锤可按下式计算：

$$V_0 = 0.9 \sqrt{2gH} \quad (8.1.17 - 1)$$

8.1.17.2 对双作用锤可按下式计算：

$$V_0 = 0.65 \sqrt{2gH \frac{P_0 A_0 + W_0}{W_0}} \quad (8.1.17 - 2)$$

8.1.17.3 对用锤击能量可按下式计算：

$$V_0 = \sqrt{\frac{2.2g\mu}{W_0}} \quad (8.1.17 - 3)$$

式中 H ——落下部分最大行程(m)；

P_0 ——汽缸最大进气压力(kPa)；

A_0 ——汽缸活塞面积(m^2)；

u ——锤头最大打击能量(kJ)。

8.1.18 建造在软弱粘性土地基上的正圆锥壳基础，当其天然地基抗压刚度系数小于 28000kN/ 时，应取 28000kN/ 。

8.1.19 设计单臂锻锤基础，其锤击中心、基础底面形心和基组重心宜位于同一铅垂线上，当不在同一铅垂线上时，不应采用正圆锥壳基础，可采用大块式基础，但必须使锤击中心对准基础底面形心，且锤击中心对基组重心的偏心距不应大于基础偏心方向边长的 5%。此时，锻锤基础边缘的竖向振动线位移可按下式计算：

$$A_{\text{vz}} = A_z \left(1 + 3.0 \frac{eh}{bh} \right) \quad (8.1.19)$$

式中 A_{vz} ——锤击中心、基础底面形心与基组重心不在同一铅垂线上时，锤基础边缘的竖向振动线位移(m)；

eh ——锤击中心对基组重心的偏心距(m)；

bh ——锻锤基础偏心方向的边长(m)。

8.1.20 砧座下垫层的总厚度可按下式计算，并不应小于表 8.1.20 的规定：

$$d_o = \frac{\psi_c^2 W_o V_o^2 E_1}{f_c^2 W_h A_1} \quad (8.1.20)$$

式中 d_o ——砧座下垫层的总厚度(m)；

f_c ——垫层承压强度设计值(kPa)，可按本规范第 8.1.21 条规定采用；

E_1 ——垫层的弹性模量(kPa)，可按本规范第 8.1.21 条规定采用；

W_h ——对模锻锤为砧座和锤架的总重，对自由锻锤为砧座重(kN)。

垫层最小总厚度

表 8.1.20

落下部分公称质量(t)	木垫(mm)	胶带(mm)
≤0.25	150	20
0.50	250	20
0.75	300	30
1.00	400	30
2.00	500	40
3.00	600	60
5.00	700	80
10.00	1000	—
16.00	1200	—

8.1.21 垫层的承压强度设计值 f_c 和弹性模量 E_1 ，可按表 8.1.21 采用。

垫层的承压强度设计值和弹性模量

表 8.1.21

垫层名称	木材强度等级	承压强度计算值 f_c		弹性模量 E_1 (kPa)
横放木垫	TB-20、TB-17	3000		50×10^4
	TC-17	1800		30×10^4
	TC-15、TB-15	1700		
竖放木垫	TC-17、TC-15、TB-15	1000		10×10^6
运输胶带	—	小于1t的 锻锤	3000	3.8×10^4
		1~5t的 锻锤	2500	

8.1.22 垫层上砧座的竖向振动线位移，可按下列式计算：

$$A_{zi} = \psi_0 W_0 V \sqrt{\frac{d_0}{E_1 W_k A_1}} \quad (8.1.22)$$

式中 A_{zi} ——垫层上砧座的竖向振动线位移。

8.1.23 砧座的竖向允许振动线位移，应符合下列规定：

8.1.23.1 不隔振锻锤基础的砧座竖向允许振动线位移，可按表 8.1.23 采用；

砧座的竖向允许振动线位移

表 8.1.23

落下部分公称质量(t)	竖向允许振动线位移(mm)
≤1.0	1.7
2.0	2.0
3.0	3.0
5.0	4.0
10.0	4.5
16.0	5.0

8.1.23.2 当砧座下采取隔振装置时，砧座竖向允许振动线位移不宜大于 20mm。

8.2 落锤基础

8.2.1 本节适用于落锤车间或碎铁场地落锤破碎坑基础的设计。

8.2.2 落锤破碎坑基础设计时，除应取得本规范第 3.1.1 条规定的有关资料外，尚应具备下列资料：

(1)落锤锤头重及其最大落程；

(2)破碎坑及砧块的平面尺寸。

8.2.3 落锤破碎坑基础的结构形式，应根据生产工艺的需要、破碎坑及砧块的平面尺寸、地基土的类别和落锤的冲击能量综合分析后确定。

8.2.4 简易破碎坑基础的设计可按下列规定采用：

(1)当地基土为一、二类土时，可在深度不小于 2m 的土坑内分层铺砌厚度不小于 1m 的废钢锭、废铁块，孔隙处应以碎铁块和碎钢颗粒填实，其上铺砌砧块，作为碎铁坑基础；

(2)当地基土为三、四类土时，坑中的废钢锭、废铁块应铺砌在夯实的砂石类垫层上，垫层的厚度可根据落锤冲击能量与地基土的承载力确定，宜取 1~2m；

(3)简易破碎坑基础可不作动力计算。

8.2.5 落锤车间的破碎坑基础应符合下列规定：

8.2.5.1 落锤车间的破碎坑基础，应采用带钢筋混凝土圆筒形或矩形坑壁的基础，其埋置深度，应根据地质情况及构造要求确定，宜取 3~6m；

8.2.5.2 对一、二、三类地基土，可不设刚性底板 [图 8.2.5(a)]，当为四类土时，宜采用带刚性底板的槽形基础 [图 8.2.5(b)]；

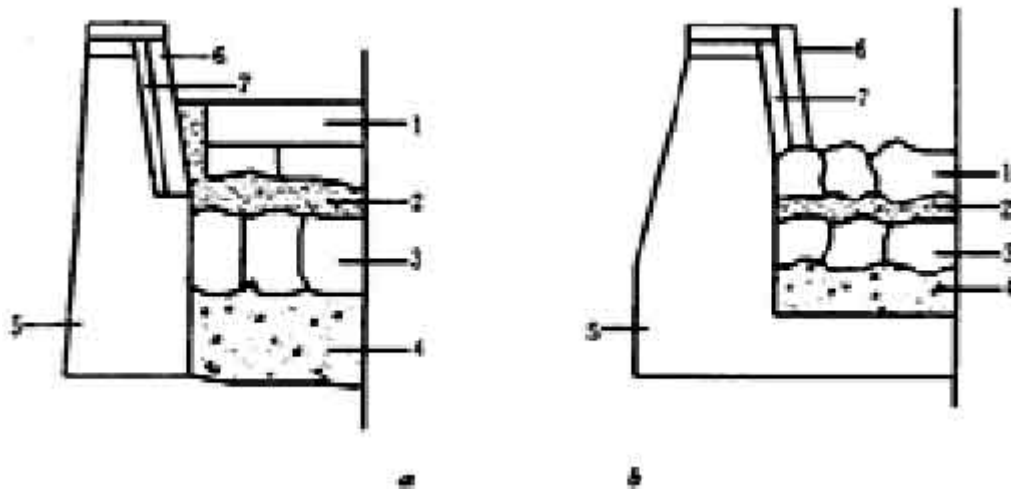


图 8.2.5 钢筋混凝土破碎坑基础

(a)不设刚性底板；(b)带刚性底板

1——砧块；2——碎铁块及碎钢颗粒；3——废钢锭及废铁块；4——夯实的砂石类垫层；5——钢筋混凝土基础；

6——保护坑壁的钢锭或钢坯；7——橡胶带或方木垫

8.2.5.3 基础坑底应铺设厚度不小于 1m 的砂石类垫层，其上可铺砌废钢锭、废铁块，孔隙处应以碎铁块和碎钢颗粒填实，其厚度可按下列规定确定：

(1)对冲击能量小于或等于 1200kJ 的落锤，废钢锭、废铁块的铺砌厚度不应小于 1.0m；

(2)对冲击能量大于 1200kJ 的落锤，其厚度不应小于 1.5m；

8.2.5.4 破碎坑的最上层铺设砧块。

8.2.6 当落锤破碎坑基础建造在饱和的粉、细砂或淤泥质土层上时，地基应作人工加固处理。

8.2.7 圆筒形坑壁的厚度可根据落锤的冲击能量采用 300~600mm，坑壁的内外面应各配一层钢筋网，环向总配筋率不宜小于 1.2%，竖向总配筋率不宜小于 0.5%。

8.2.8 矩形破碎坑的设计应符合下列规定：

8.2.8.1 矩形坑壁顶部厚度不宜小于 500mm，底部厚度不宜小于 1500mm；

8.2.8.2 坑壁四周、顶和底面应配筋，其直径为：水平向宜为 18~25mm，竖向宜为 16~22mm，钢筋间距宜为 150~200mm。沿坑壁内转角应增设直径为 12~16mm，间距为 200mm 的水平钢筋；

8.2.8.3 坑壁外露部分的内侧和顶部，根据可能碰撞的情况，可增设 1~2 层直径为 12~16mm，间距为 200mm 的钢筋网；

8.2.8.4 当矩形破碎坑的长边大于 18m，且落锤冲击能量大于 1200kJ 时，可在坑壁中配置劲性钢筋。

8.2.9 对内径或内短边小于 5m 的槽形破碎坑基础的设计应符合下列规定：

8.2.9.1 槽形破碎坑基础的底板厚度不应小于表 8.2.9 中的规定；

8.2.9.2 基础底板上部应配置直径为 12~16mm，间距为 250~300mm 的钢筋网，底板下部应配置直径为 16~20mm，间距为 300~400mm 的钢筋网，其层数应按表 8.2.9 的规定采用，各层钢筋网的竖向距离宜为 100~150mm。

槽形基础的底板最小厚度及钢筋网层数

表 8.2.9

落锤冲击能量 (kJ)	基础底板最小厚度(m)		底板钢筋网层数	
	圆筒形	矩 形	上 部	下 部
≤400	1.00	1.50	3	2
1200	1.75	2.25	4~5	3
≥1800	2.50	3.00	6	3

8.2.10 破碎坑基础的钢筋宜采用 II 级钢。

8.2.11 破碎坑的砧块应符合下列规定：

8.2.11.1 破碎坑的砧块宜采用整块钢板，其厚度不宜小于 500mm，砧块的自重应符合下式要求：

$$W_b \geq 0.5W_oH \quad (8.2.11)$$

式中 W_b ——砧块自重(kN);

W_o ——落锤锤头重(kN)。

8.2.11.2 破碎坑的砧块,采用整块钢板有困难时,亦可用数块钢板或钢锭拼成,必须使钢板或钢锭互相紧密接触,其间隙用碎钢粒填实,并宜采用较大截面与质量的钢锭,其截面的选用应符合下列规定:

(1)当落锤冲击能量小于 1200kJ 时,钢锭的最小截面为 600mm×600mm;

(2)当落锤冲击能量大于或等于 1200kJ 时,仅采用一层钢锭时,其厚度不应小于 1000mm,采用二层钢锭时,其最小截面为 600mm×600mm;

8.2.11.3 砧块与废钢锭、废铁块之间,可填 150~200mm 厚的碎铁块和钢颗粒,并使其表面平整,接触严密。

8.2.12 砧块顶面宜低于钢筋混凝土坑壁的顶面 1.0~2.5m,坑壁外露的内侧与顶面的保护,应符合下列要求:

8.2.12.1 坑内侧与顶面应采用钢锭或钢坯保护,内侧处钢锭截面不宜小于 500mm×500mm,顶面处的钢锭或钢坯厚度不宜小于 200mm,亦可采用厚度不小于 50mm 的低碳钢钢板予以保护;

8.2.12.2 钢锭、钢坯或钢板与混凝土壁表面间应衬以截面不小于 150mm×150mm 的方木或厚度不小于 20mm 的橡胶带。

8.2.13 落锤车间内破碎坑基础的竖向振动线位移、固有圆频率和振动加速度,可按下列公式计算:

$$A_z = 1.4W_o \sqrt{\frac{H}{WK_z}} \quad (8.2.13-1)$$

$$\omega_{xz}^2 = \frac{K_z g}{W} \quad (8.2.13-2)$$

$$\alpha = A_z \omega_{xz}^2 \quad (8.2.13-3)$$

式中 W ——基础、砧块和填充料等总重(kN)。

8.2.14 落锤破碎坑基础的允许振动线位移和允许振动加速度可按表 8.2.14 采用。

破碎坑基础的允许振动线位移和允许振动加速度

表 8.2.14

地基土类别	一类土	二类土	三类土	四类土
允许振动线位移 (mm)	2.5			
允许振动加速度 (m/s ²)	(0.9~1.2)g	(0.7~0.9)g	(0.5~0.7)g	(0.4~0.5)g

注：表中允许振动加速度较大值适用于粘性土，较小值适用于砂土。

9 热模锻压力机基础

9.1 一般规定

9.1.1 本章适用于公称压力不大于 120000kN 的热模锻压力机（以下简称压力机）基础的设计。

9.1.2 压力机基础设计时，除应取得本规范第 3.1.1 条规定的资料外，尚应由机器制造厂提供下列资料：

(1)压力机立柱以上各部件和立柱以下各部件的重力、立柱的重力及最重一套模具的上模和下模的重力；

(2)压力机的重心位置、压力机绕通过其重心平行于主轴的轴的转动惯量、主轴的高度；

(3)压力机起动时，作用于主轴上的竖向扰力、水平向扰力和扰力矩的峰值、脉冲时间及其形式；

(4)压力机立柱的截面、长度及其钢号。当立柱为变截面时，应分别给出各部分的截面和长度。当为装配型压力机时，尚应包括螺栓拉杆的截面、长度及其钢号。

9.1.3 压力机基础宜采用地坑式钢筋混凝土结构。当在生产和工艺上不要求有地坑时，小型压力机亦可采用大块式基础。

9.1.4 压力机基础的自重，不宜小于 1.1~1.5 倍压力机重力，对地基软弱可取 1.5 倍压力机重力。在基础自重相同的条件下，宜增大基础的底面积，减小埋置深度。

9.1.5 当采用天然地基时，公称压力 10000kN 及以上的压力机基础不宜设置于四类土上（表 3.2.3）。

9.2 构造要求

9.2.1 压力机基础的混凝土强度等级，不应低于 C15，对公称压力 80000kN 及以上的压力机基础，宜采用 C20，对于地坑式基础，当有地下水时，应采用 C20 防水混凝土。

9.2.2 压力机基础侧壁和底板的厚度应按计算确定，但侧壁厚度不应小于 200mm，底板厚度不应小于 300mm。对公称压力 20000kN 及以上的压力机基础，侧壁和底板的厚度应相应增加。

9.2.3 压力机基础的配筋应按计算确定，但尚应符合下列规定：

9.2.3.1 侧壁内外侧、底板上、下部以及台阶顶面和侧面，应配置间距 200mm 的钢筋网，其钢筋直径：对公称压力 20000kN 及以下的压力机基础，可采用 12mm；公称压力大于 20000kN 的压力机基础，可采用 14~16mm；

9.2.3.2 在底脚螺栓套筒下端，应加配一层钢筋网，如图 9.2.3 所示。

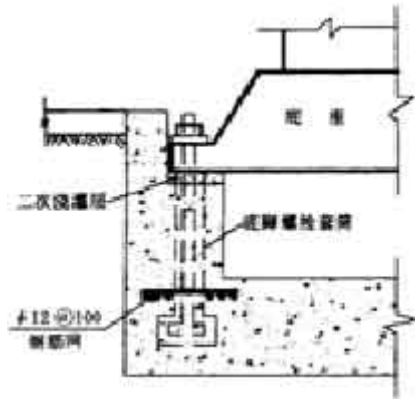


图 9.2.3 压力机底座支承

9.3 动力计算

9.3.1 公称压力小于 12500kN 的压力机基础，当无特殊要求时可不作动力计算。

9.3.2 压力机基础的动力计算，应根据压力机起动阶段和锻压阶段两种情况进行。起动阶段应计算基础的竖向和水平向振动线位移，锻压阶段只需计算基础的竖向振动线位移。

9.3.3 压力机起动阶段，机组在通过其重心的竖向扰力作用下，其竖向振动线位移、固有圆频率和固有周期可按下列公式计算：

$$A_z = \frac{0.6P_{z0}}{K_z} \eta_{\max} \quad (9.3.3-1)$$

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{K_z}{m}} \quad (9.3.3-2)$$

$$T_{nz} = \frac{2\pi}{\omega_{nz}} \quad (9.3.3-3)$$

式中 P_{z0} ——压力机起动阶段通过机组重心的竖向扰力峰值(kN)；

T_{nz} ——机组竖向固有周期(s)；

η_{\max} ——有阻尼动力系数，可按本规范附录 F 的规定采用。

9.3.4 压力机起动阶段，机组在水平扰力、扰力矩和竖向扰力的偏心作用下产生水平回转耦合振动（图 9.3.4），其竖向振动线位移、水平向振动线位移、固有圆频率和固有周期，可按下列公式计算：

$$A_{z\varphi} = A_z + (A_{\varphi 1} + A_{\varphi 2})l \quad (9.3.4-1)$$

$$A_{x\varphi} = A_{\varphi 1}(h_1 + \rho_1) + A_{\varphi 2}(h_1 - \rho_2) \quad (9.3.4-2)$$

$$A_{\varphi 1} = \frac{0.9M_1}{(J_y + m\rho_1^2)\omega_{x1}^2} \cdot \eta_{1\max} \quad (9.3.4-3)$$

$$A_{\varphi 2} = \frac{0.9M_2}{(J_y + m\rho_2^2)\omega_{x2}^2} \cdot \eta_{2\max} \quad (9.3.4-4)$$

$$\omega_{n1}^2 = \frac{1}{2} \left[(\omega_{tx}^2 + \omega_{t\varphi}^2) - \sqrt{(\omega_{tx}^2 - \omega_{t\varphi}^2)^2 + \frac{4mk_2}{J_y} \omega_{tx}^4} \right] \quad (9.3.4-5)$$

$$\omega_{n2}^2 = \frac{1}{2} \left[(\omega_{tx}^2 + \omega_{t\varphi}^2) + \sqrt{(\omega_{tx}^2 - \omega_{t\varphi}^2)^2 + \frac{4mk_2}{J_y} \omega_{tx}^4} \right] \quad (9.3.4-6)$$

$$\omega_{tx}^2 = \frac{K_x}{m} \quad (9.3.4-7)$$

$$\omega_{t\varphi}^2 = \frac{K_{\varphi} + K_x h_2^2}{J_y} \quad (9.3.4-8)$$

$$M_1 = M + P_x(h_1 + h_0 + \rho_1) + P_z e_x \quad (9.3.4-9)$$

$$M_2 = M + P_x(h_1 + h_0 + \rho_2) + P_z e_x \quad (9.3.4-10)$$

$$\rho_1 = \frac{\omega_{tx}^2 h_2}{\omega_{tx}^2 - \omega_{n1}^2} \quad (9.3.4-11)$$

$$\rho_2 = \frac{\omega_{tx}^2 h_2}{\omega_{n2}^2 - \omega_{tx}^2} \quad (9.3.4-12)$$

式中 $A_{z\varphi}$ ——基础顶面控制点在水平扰力 P_x 、扰力矩 M_{φ} 及竖向扰力 P_z 偏心作用下的竖向振动线位移(m)；

$A_{x\varphi}$ ——基础顶面控制点在水平扰力 P_x 、扰力矩 M_{φ} 及竖向扰力偏心作用下的水平向振动线位移(m)；

ω_{n1} ——基组水平回转耦合振动第一振型的固有频率(rad/s);

ω_{n2} ——基组水平回转耦合振动第二振型的固有频率(rad/s);

M_1 ——绕通过第一振型转动中心 O_1 并垂直于回转面的轴的总扰力矩(kN·m);

M_2 ——绕通过第二振型转动中心 O_2 并垂直于回转面的轴的总扰力矩(kN·m);

$\eta_{1\max}$ ——第一振型有阻尼动力系数, 可按本规范附录 F 的规定采用;

$\eta_{2\max}$ ——第二振型有阻尼动力系数, 可按本规范附录 F 的规定采用。

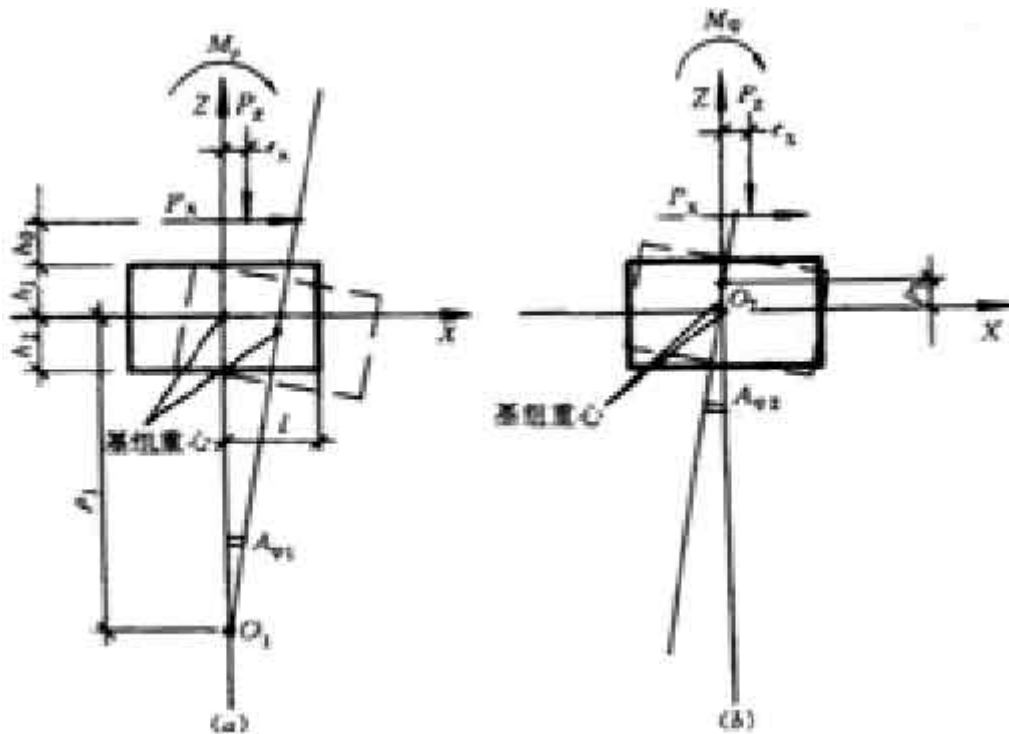


图 9.3.4 基组振型

(a)第一振型; (b)第二振型

9.3.5 压力机锻压阶段, 基组的竖向振动线位移应按下列公式计算:

$$A_z = 1.2 \frac{P_H}{K_z} \cdot \frac{\omega_{nz}^2}{\omega_{tm}^2 - \omega_{nz}^2} \quad (9.3.5-1)$$

$$\omega_{tm}^2 = \frac{K_1}{m_1} \quad (9.3.5-2)$$

$$m_1 = m_u + m_m + 0.5m_c \quad (9.3.5-3)$$

式中 P_H ——压力机公称压力(kN);

ω_{nm} ——压力机上部质量 m_1 与立柱组成体系的固有圆频率(rad/s);

K_1 ——压力机各立柱竖向刚度之和(kN/m);

m_1 ——压力机上部质量(t);

m_u ——压力机立柱以上各部件的质量(t);

m_m ——最重一套模具的上模质量(t);

m_c ——各立柱质量之和(t), 当为装配型压力机, 立柱的质量应包括拉杆螺栓的质量在内。

9.3.6 压力机基础控制点的允许振动线位移, 应按表 9.3.6 采用。

压力机基础的允许振动线位移

表 9.3.6

基组固有频率 f_n (Hz)	允许振动线位移(mm)
$f_n \leq 3.6$	0.5
$3.6 < f_n \leq 6.0$	$1.8/f_n$
$6.0 < f_n \leq 15.0$	0.3
$f_n > 15.0$	$0.1 + 3/f_n$

注: 当计算竖向允许振动线位移时, 基组固有频率 f_n 可取 $\omega_{nz}/2\pi$; 当计算水平向允许振动线位移时, 基组固有频率 f_n 可取 $\omega_{n1}/2\pi$ 。

10 金属切削机床基础

10.0.1 本章适用于普通或精密的重型及重型以下的金属切削机床和加工中心系列机床基础的设计。

10.0.2 机床类型的划分可按下列规定采用:

- (1)单机重 100kN 以下者为中、小型机床;
- (2)单机重 100~300kN 者为大型机床;
- (3)单机重 300~1000kN 者为重型机床。

10.0.3 金属切削机床基础设计时, 除应取得本规范第 3.1.1 条规定的有关资料外, 尚应由机器制造厂提供下列资料:

- (1)机床外形尺寸;
- (2)当基础倾斜和变形对机床加工精度有影响或计算基础配筋时, 尚需要机床及加工件重力的分布情况、机床移

动部件或移动加工件的重力及其移动范围。

10.0.4 机床基础的形式应符合下列规定：

10.0.4.1 凡符合现行国家标准《工业建筑地面设计规范》有关中小型机床安装在混凝土地面上的界限及地面厚度规定的中小型机床可直接采用混凝土地面作为基础；

10.0.4.2 大型机床和混凝土地面厚度不符合现行国家标准《工业建筑地面设计规范》规定的中、小型机床宜采用单独基础或局部加厚的混凝土地面；

10.0.4.3 重型机床和精密机床应采用单独基础。

10.0.5 当机床安装在单独基础上时，其尺寸应符合下列要求：

10.0.5.1 基础平面尺寸不应小于机床支承面积的外廓尺寸，并应满足安装、调整和维修时所需的尺寸；

10.0.5.2 基础的混凝土厚度应符合表 10.0.5 的规定；

金属切削机床基础的混凝土厚度(m)

表 10.0.5

机床名称	基础的混凝土厚度
卧式车床	0.3+0.070Z
立式车床	0.5+0.150Z
铣床	0.2+0.150Z
龙门铣床	0.3+0.075Z
插床	0.3+0.150Z
龙门刨床	0.3+0.070Z
内圆磨床、无心磨床、平面磨床	0.3+0.080Z
导轨磨床	0.4+0.080Z
螺纹磨床、精密外圆磨床、齿轮磨床	0.4+0.100Z
摇臂钻床	0.2+0.130Z
深孔钻床	0.3+0.050Z
坐标镗床	0.5+0.150Z
卧式镗床、落地镗床	0.3+0.120Z
卧式拉床	0.3+0.050Z
齿轮加工机床	0.3+0.150Z
立式钻床	0.3~0.6
牛头刨床	0.6~1.0

注：①表中 L 为机床外形的长度(m)，h 为其高度(m)，均系机床样本和说明书上提供的外形尺寸。

②表中基础厚度指机床底座下（如垫铁时，指垫铁下）承重部分的混凝土厚度。

10.0.5.3 有提高加工精度要求的普通机床，可按表 10.0.5 中基础混凝土厚度增加 5%~10%；

10.0.5.4 加工中心系列机床，其基础混凝土厚度可按组合机床的类型，取其精度较高或外形较长者按表 10.0.5 中同类型机床采用。

10.0.6 除隔振基础外，其他机床基础可不进行动力计算。

10.0.7 基础的配筋应符合下列规定：

10.0.7.1 在机床基础的下列部位宜配置直径 8~14mm，间距 150~250mm 的钢筋网：

(1)置于软弱地基土上或地质不均匀处的基础顶、底面；

(2)基础受力不均匀或局部受冲击力的部位；

(3)长度大于 6m 小于 11m 的基础顶、底面；

(4)基础内坑、槽、洞口的边缘或基础断面变化悬殊部位；

(5)支承点较少，集中力较大的部位；

10.0.7.2 当基础长度大于 11m 或机床的移动部件的重力较大时，宜按弹性地基梁、板计算配筋。

10.0.8 当基础倾斜与变形对机床加工精度有影响时，应进行变形验算。当变形不能满足要求时，应采取人工加固地基或增加基础刚度等措施。

10.0.9 加工精度要求较高且重力在 500kN 以上的机床，其基础建造在软弱地基上时，宜对地基采取预压加固措施。预压的重力可采用机床重力及加工件最大重力之和的 1.4~2.0 倍，并按实际荷载情况分布，分阶段达到预压重力，预压时间可根据地基固结情况决定。

10.0.10 精密机床应远离动荷载较大的机床。大型、重型机床或精密机床的基础应与厂房柱基础脱开。

10.0.11 精密机床基础的设计可分别采取下列措施之一：

10.0.11.1 在基础四周设置隔振沟，隔振沟的深度应与基础深度相同，宽度宜为 100mm，隔振沟内宜空或垫海棉、乳胶等材料；

10.0.11.2 在基础四周粘贴泡沫塑料、聚苯乙烯等隔振材料；

10.0.11.3 在基础四周设缝与混凝土地面脱开，缝中宜填沥青麻丝等弹性材料；

10.0.11.4 精密机床的加工精度要求较高时，根据环境振动条件，可在基础或机床底部另行采取隔振措施。

10.0.12 计算由地面传来的振动值，可按本规范附录 E 的规定采用。

附录 A 低频机器和冲击机器振动对厂房结构的影响

A.0.1 厂房内设有小于或等于 10Hz 的低频机器，厂房设计宜避开机器的共振区。

A.0.2 不隔振锻锤基础的振动影响宜符合下列规定：

A.0.2.1 锻锤振动对单层厂房的影响，可按表 A.0.2 采用，并应采取相应的构造措施。

锻锤振动对单层厂房的影响

表 A.0.2

落下部分公称质量(t)	附加动荷载影响半径(m)	层盖结构附加竖向动荷载为静荷载的百分数(%)
≤1.0	15~25	3~5
2~5	30~40	5~10
10~16	45~55	10~15

A.0.2.2 附加动荷载应按振动影响最大的一台锻锤计入，柱及吊车梁可不考虑附加动荷载。

A.0.2.3 锻锤基础邻近柱基的地基土承载力折减系数，可按下式计算：

$$\alpha_j = \frac{1}{1 + 0.3 \frac{\alpha}{g}} \quad (\text{A.0.2})$$

式中 α_j ——锻锤基础邻近的柱基的地基土承载力折减系数。

A.0.2.4 对厂房尚应采取相应的抗振构造措施。

A.0.3 落锤振动影响可按下列规定采用：

A.0.3.1 落锤碎破设备，宜设置在远离建筑物的地方，其对邻近建筑物的影响半径宜按表 A.0.3 采用。

碎铁设备振动对邻近建筑物的影响半径(m)

A.0.3

地基土类别及状态	落锤冲击能量(kJ)		
	≤600	1200	≥1800
一、二、三类土	30	40	60
四类土（饱和粉、细砂及淤泥质土除外）	40	50	70

饱和粉、细砂及淤泥质土	50	80	100
-------------	----	----	-----

A.0.3.2 当建筑物与碎铁设备的距离小于表 A.0.3 的规定时，应计入碎铁设备的振动影响；

A.0.3.3 落锤破碎坑基础邻近的柱基础的地基承载力折减系数可按本规范第 A.0.2.3 款的公式计算；

A.0.3.4 设计落锤车间时，除应采取相应的抗振构造措施外，尚应根据地基土质情况，在厂房结构净空及节点设计中预留调整的余地并应设置沉降观测点等。

附录 B 锚桩（杆）基础设计

B.0.1 当岩石地基符合下列条件时，可采用锚桩（杆）基础：

(1)岩石的饱和单轴极限抗压强度大于 $3 \times 104 \text{kPa}$ ，且地质构造影响轻微，节理、裂隙不发育，无粘土质层理夹层，整体性较好的岩石；

(2)岩石的节理、裂隙虽较发育，但无溶洞、无裂隙水，在采用压力灌浆处理后，尚能构成基本完整状态。

B.0.2 锚桩的钢筋应扎成笼形，可采用 4~6 根主筋，其直径宜为 12~16mm，锚桩的孔径可取 100~200mm。

B.0.3 锚杆的钢筋为单根主筋，锚杆的孔径可取 3 倍主筋直径，但不宜小于主筋直径加 50mm。

B.0.4 主筋可采用螺纹或月牙纹钢筋，不宜采用冷加工钢筋。

B.0.5 锚桩（杆）孔，宜采用不低于 C30 的细石混凝土或水泥砂浆浇灌。

B.0.6 浇灌前应将钻孔清理干净。

B.0.7 锚桩（杆）之间的中距，不应小于锚桩（杆）孔直径的 5 倍，且不得小于 400mm，并不得大于 1200mm。距基础边缘的净距不宜小于 150mm。锚入岩层深度：当采用锚杆时不应小于锚杆孔直径的 20 倍；当采用锚桩时不应小于锚桩孔直径的 15 倍，锚入基础深度，不应小于钢筋直径的 25 倍。

B.0.8 大块式基础的锚桩（杆）主筋总截面面积，可按基础底面积的 0.05%~0.12%选取且应均匀配置，但不应小于机器地脚栓的总截面面积。

B.0.9 墙式或框架式基础的锚桩（杆），其主筋的总截面面积不应小于墙内或柱内主筋截面面积的总和。

附录 C 框架式基础的动力计算

C.1 空间多自由度体系计算

C.1.1 空间力学模型的建立

假设基础为空间多自由度体系，按本附录第 C.1.4 条的规定，选定质点，每段杆件（质点间的杆件）的质量向两端各集中 1/2，可不考虑转动惯量的影响。每一质点考虑 6 个自由度，即 3 个线位移和 3 个角位移。每一段杆件应考虑弯曲、剪切、扭转及伸缩等变形，其力学模型见

图 C.1.1。

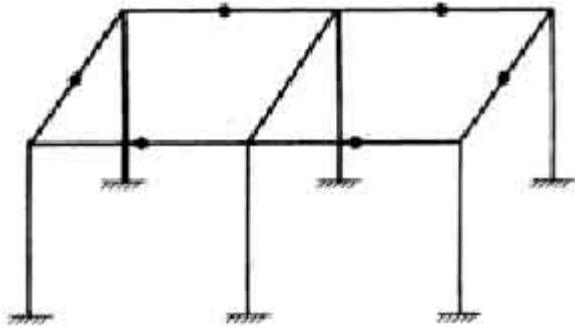


图 C.1.1 框架式基础的空间力学模型

C.1.2 自由振动计算按上述力学模型，建立静刚度矩阵 $[K]$ 与质量矩阵 $[M]$ ，求解下列广义特征值问题：

$$[K]\{X\} = \omega^2[M]\{X\} \quad (C.1.2)$$

应算出 1.4 倍工作转速内的全部特征对，每一特征对包括一个特征值 ω_j 及相应的特征向量 $\{X\}_j$ 。

C.1.3 强迫振动计算当采用振型分解法计算振动线位移时，应取 1.4 倍工作转速内的全部振型进行叠加。结构阻尼比可采用 0.0625。

C.1.4 力学模型的简化。

C.1.4.1 杆件计算尺寸的确定：

(1)柱的计算长度，可取底板顶到横梁中心的距离；

(2)纵横梁的计算跨度，可取支座中心线间的距离。当各框架横梁的跨度之差小于 30%时，可取其平均值；

(3)当梁、柱截面较大或有加腋时（图 C.1.4），梁刚性区长度可取 $\frac{1}{4}(b+b_1)$ ，且不应大于横梁的宽度 b 的一半，

柱刚性区长度可取 $\frac{1}{4}(h+h_1)$ ，且不应大于纵梁宽度 h 的一半。

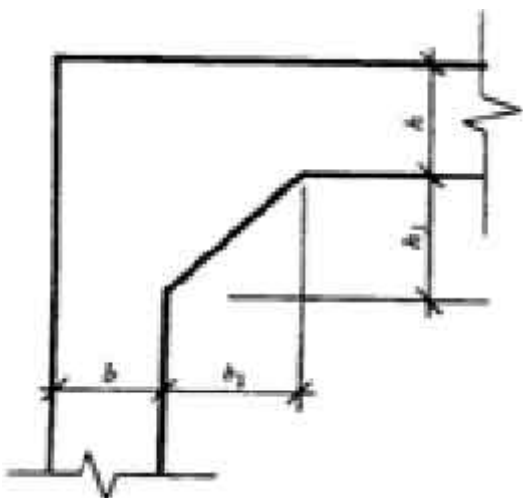


图 C.1.4 框架梁加腋示意图

C.1.4.2 质点的选取:

- (1)柱子与横梁、纵梁交点均可设质点;
- (2)横梁中点可设一个质点;
- (3)纵梁在有扰力作用处可设质点。若无扰力作用时,亦可在中点设质点,但纵梁跨度很小时,可不设质点;
- (4)等截面柱中段,一般不设质点,变截面柱可酌设质点。

C.1.4.3 板式结构可划分为纵横梁来计算。

C.2 两自由度体系的简化计算

C.2.1 横向平面框架的竖向振动计算简图见图 C.2.1。

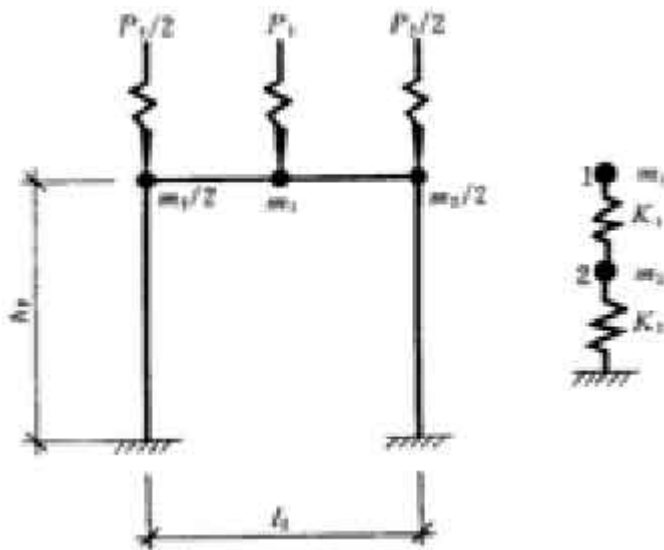


图 C.2.1 横向框架计算

C.2.2 横向框架的固有圆频率、振型 (位移比率), 可按下列公式计算:

$$\omega_{n1}^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{K_1}{m_1} + \frac{K_1 + K_2}{m_2} \right) - \frac{1}{2} \left[\left(\frac{K_1}{m_1} + \frac{K_1 + K_2}{m_2} \right)^2 - 4 \frac{K_1 K_2}{m_1 m_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{C. 2. 2-1})$$

$$\omega_{n2}^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{K_1}{m_1} + \frac{K_1 + K_2}{m_2} \right) + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{K_1}{m_1} + \frac{K_1 + K_2}{m_2} \right)^2 - 4 \frac{K_1 K_2}{m_1 m_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{C. 2. 2-2})$$

$$m_1 = m_m + 0.5m_b \quad (\text{C.2.2-3})$$

$$m_2 = m_N + 0.5(m_c + m_b) \quad (\text{C.2.2-4})$$

$$K_1 = \frac{1}{\frac{t_f^3}{96E_c I_b} \cdot \frac{1+2\delta}{2+\delta} + \frac{3}{5} \cdot \frac{t_f}{E_c A_b}} \quad (\text{C.2.2-5})$$

$$K_2 = \frac{2E_c A_c}{h_p} \quad (\text{C.2.2-6})$$

$$\delta = \frac{h_p I_b}{t_f I_c} \quad (\text{C.2.2-7})$$

$$X_{21} = \frac{K_1 - m_1 \omega_{n1}^2}{K_1} \quad (\text{C.2.2-8})$$

$$X_{22} = \frac{K_1 - m_1 \omega_{n2}^2}{K_1} \quad (\text{C.2.2-9})$$

式中 ω_{n1} ——框架的竖向第一振型固有圆频率(rad/s);

ω_{n2} ——框架的竖向第二振型固有圆频率(rad/s);

m_1 ——集中于横梁中点的质量(t);

m_2 ——集中于两个柱顶的质量(t);

m_m ——集中于横梁中点的机器质量(t);

m_b ——横梁的本身质量(t);

m_N ——相邻纵梁传给框架两个柱的总质量(t), 包括结构和机器的质量;

m_c ——两个柱的质量(t);

t_f ——横向框架平面内两柱中心线间的距离(m);

h_p ——底板顶至横梁中心线的距离(m);

K₁——框架梁的竖向刚度(kN/m);

K₂——框架柱的竖向刚度(kN/m);

δ——无因次系数;

A_b——横梁的截面积(m²);

A_c——柱的截面积(m²);

I_b——横梁的截面惯性矩(m⁴);

I_c——柱的截面惯性矩(m⁴);

X₂₁——第一振型时 2 点与 1 点的位移比率;

X₂₂——第二振型时 2 点与 1 点的位移比率。

C.2.3 横向框架的竖向振动线位移的计算,应符合下列规定:

C.2.3.1 当 ωn₂ 小于或等于 0.131n 时,应分别按下列情况计算扰频与第一、第二振型固有频率相等时的振动线位移:

(1)当扰频与第一振型固有频率相等时,横梁中点和柱顶的竖向振动线位移可按下列公式计算:

$$A_{11} = \alpha_p \beta_1 \eta_{\max} \frac{\sqrt{m_{g1}^2 + (m_{g2} X_{21})^2}}{m_1 + m_2 X_{21}^2} \quad (C.2.3-1)$$

$$A_{21} = A_{11} X_{21} \quad (C.2.3-2)$$

(2)当扰频与第二振型固有频率相等时,横梁中点和柱顶的竖向振动线位移可按下列公式计算:

$$A_{12} = \alpha_p \beta_2 \eta_{\max} \frac{\sqrt{m_{g1}^2 + (m_{g2} X_{22})^2}}{m_1 + m_2 X_{22}^2} \quad (C.2.3-3)$$

$$A_{22} = A_{12} X_{22} \quad (C.2.3-4)$$

式中 A₁₁——当扰频与第一振型固有频率相等时,横梁中点的竖向振动线位移(mm);

A₁₂——当扰频与第二振型固有频率相等时,横梁中点的竖向振动线位移(mm);

A₂₁——当扰频与第一振型固有频率相等时,柱顶的竖向振动线位移(mm);

A₂₂——当扰频与第二振型固有频率相等时,柱顶的竖向振动线位移(mm);

β_1 ——第一振型的空间影响系数;

β_2 ——第二振型的空间影响系数;

η_{\max} ——最大动力系数, 可取 8;

α_p ——系数(mm)。

C2.3.2 当 ωn_2 大于 0.13ln 时, 应按公式(C.2.3-1)和(C.2.3-2)计算横梁中点和柱顶的竖向振动线位移;

C2.3.3 按上述公式计算的振动线位移应符合本规范第

5.2.2 条和 5.2.3 条的规定。

C.2.4 空间影响系数可按表 C.2.4 采用。

空间影响系数

表 C.2.4

框架位置	β_1	β_2
边框架	1.30	1.30
中间框架	1.00	0.70

C.2.5 系数 α_p 可根据汽轮发电机的转速由表 C.2.5 确定。

系数 α_p (mm)

表 C.2.5

机器工作转速 (r/min)	3000	1500
α_p	2×10^{-2}	6.4×10^{-2}

附录 D 正圆锥壳锻锤基础的强度计算及构造

D.0.1 壳体尺寸的确定(图 D.0.1) 应符合下列规定:

(1)根据锻锤吨位及地基土类别, 确定壳体斜度 lg ;

(2)壳体厚度 $h_q = 0.125t_q$ (D.0.1-1)

(3)环梁宽度 $b_q = 0.250t_q$ (D.0.1-2)

(4)环梁高度 $d_q = 0.200t_q$ (D.0.1-3)

$$R_q = 1.83 t_q \cos \alpha_q - \frac{h_q}{2 \sin \alpha_q} + b_q \quad (D.0.1-4)$$

(5) 环梁外径

(6) 壳体倾角 α_q 可取 35° 。

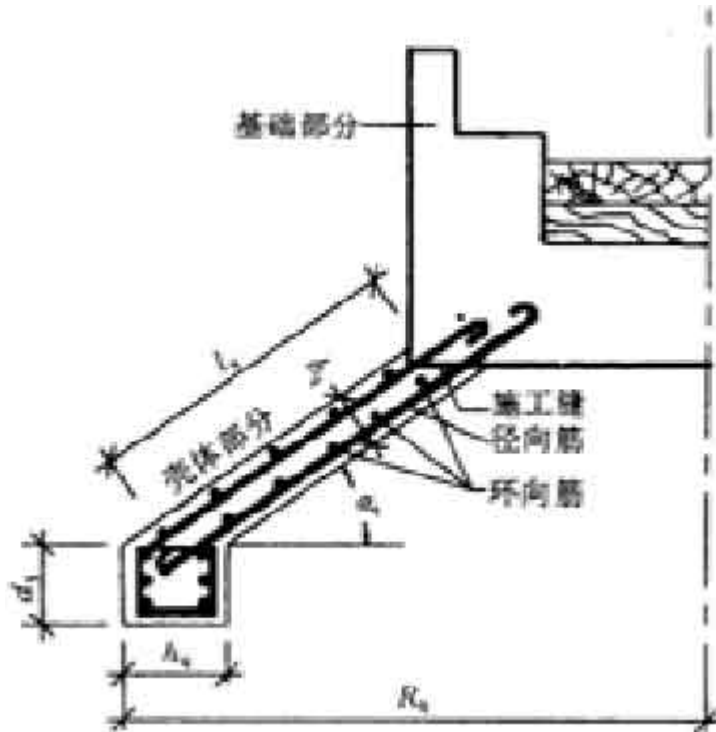


图 D.0.1 壳体示意

D.0.2 当计算壳体截面强度时，在壳体顶上的总荷载包括基础自重、锤架和砧座重以及当量荷载的分项系数可取 1.2。当计算当量荷载时，材料疲劳等因素的分项系数 μ 可取 2.0，回弹系数 e 可取 0.5。

D.0.3 壳体顶部的当量荷载可按下列式计算：

$$P = (1 + e) \frac{W \cdot V_0}{g T_q} \cdot \mu \quad (D.0.3)$$

式中 P ——壳体顶部的当量荷载(kN)；

T_q ——冲击响应时间(S)，可按本附录 D.0.4 条规定确定；

μ ——考虑材料疲劳等因素；

e ——回弹系数。

D.0.4 冲击响应时间可按下列规定取值：

(1)对 1t 及以下的锻锤,其砧座下垫层为木垫时,可取 1/200s,垫层为运输胶带时,可取 1/280s;

(2)对大于 1t 的锻锤,其砧座下垫层为木垫时,可取 1/150s,垫层为运输胶带时,可取 1/200s。

D.0.5 壳体截面强度可按下列公式计算:

(1)径向应力:

$$\sigma_s = 1.2P_q \left(\frac{K_q N_{ss}}{h_q} \pm \frac{K_{qq} M_{ss} h_q}{2I_q} \right) \quad (D.0.5-1)$$

(2)环向应力:

$$\sigma_\theta = 1.2P_q \left(\frac{K_q N_{\theta\theta}}{h_q} \pm \frac{K_{qq} M_{\theta\theta} h_q}{2I_q} \right) \quad (D.0.5-2)$$

(3)环梁内力:

$$T = 1.2P_q (-K_q N_{ss} \cos \alpha_q + K_{qq} Q_{ss} \sin \alpha_q) (1.83t_q \cos \alpha_q) \quad (D.0.5-3)$$

(4)壳体抗拉、抗压刚度:

$$K_q = \frac{E_c h_q}{1-\nu^2} \quad (D.0.5-4)$$

(5)壳体抗弯刚度:

$$K_{qq} = \frac{E_c h_q^3}{12(1-\nu^2)} \quad (D.0.5-5)$$

(6)壳体单位宽度的截面惯性矩:

$$I_q = \frac{h_q^3}{12} \quad (D.0.5-6)$$

式中 σ_s —— 壳体径向应力(kPa);

σ_θ —— 壳体环向应力(kPa);

T —— 环梁内力(kN);

P_q ——作用在壳体顶部的总荷载，包括基础自重、锤架和砧座重以及当量荷载(kN)；

K_q ——壳体抗拉、抗压刚度(kN/m)；

$K_{\varphi q}$ ——壳体抗弯刚度(kN/m)；

I_q ——壳体单位宽度的截面惯性矩()；

ν ——钢筋混凝土的泊桑比，可取 0.2；

N_{ss} ——当壳体顶部荷载为 1kN 时，壳体单位宽度上的径向力参数值(1/kN)，可按本附录第 D.0.6 条规定采用；

$N_{\theta\theta}$ ——当壳体顶部荷载为 1kN 时，壳体单位宽度上的环向力参数值(1/kN)，可按本附录第 D.0.6 条规定采用；

Q_{ss} ——当壳体顶部荷载为 1kN 时，壳体单位宽度上的径向剪力参数值[kN·m²]可按本附录第 D.0.6 条规定采用；

M_{ss} ——当壳体顶部荷载为 1kN 时，壳体单位宽度上的环向弯矩参数值[1/(kN·m)]可按本附录第 D.0.6 条规定采用；

$M_{\theta\theta}$ ——当壳顶部荷载为 1kN 时，壳体单位宽度上的环向弯矩参数值[1/(kN·m)]，可按本附录第 D.0.6 条规定采用。

D.0.6 壳体的径向、环向力、剪力和弯矩参数值可按下列规定确定：

D.0.6.1 当壳体的倾角 α_q 为 35°，地基抗压刚度系数 C_z 值为 28000kN/)及以上，壳体顶部荷载为 1kN 时，壳体单位宽度上的径向力参数值、径向弯矩参数值、径向剪力参数值、环向力参数值和环向弯矩参数值可按表 D.0.6 采用。

D.0.6.2 当壳体倾角 α_q 为 30°时，表 D.0.6 中各值应乘以 1.2，当壳体倾角 α_q 为 40°时，应乘以 0.8，中间值用插入法计算。

D.0.6.3 当壳体基础建造在抗压刚度系数小于 28000kN/ ，的地基上时，表 D.0.6 中各值应乘以 1.2。

正圆锥壳基础内力参数值

表 D.0.6

η (m)	N_{ss} (1/kN)	M_{ss} [1/(kN·m)]	Q_{ss} [1/(kN·m ²)]	N_{∞} [1/kN]	M_{∞} [1/(kN·m)]
0.80	-0.317×10^{-7}	-0.164×10^{-6}	0.109×10^{-4}	0.499×10^{-7}	-0.228×10^{-6}
1.00	-0.203×10^{-7}	-0.837×10^{-6}	0.444×10^{-5}	0.318×10^{-7}	-0.116×10^{-6}
1.20	-0.141×10^{-7}	-0.483×10^{-6}	0.214×10^{-5}	0.220×10^{-7}	-0.671×10^{-7}
1.40	-0.103×10^{-7}	-0.303×10^{-6}	0.115×10^{-5}	0.161×10^{-7}	-0.421×10^{-7}
1.60	-0.789×10^{-8}	-0.202×10^{-6}	0.672×10^{-6}	0.123×10^{-7}	-0.281×10^{-7}
1.80	-0.623×10^{-8}	-0.142×10^{-6}	0.419×10^{-6}	0.968×10^{-8}	-0.197×10^{-7}
2.00	-0.504×10^{-8}	-0.103×10^{-6}	0.274×10^{-6}	0.781×10^{-8}	-0.143×10^{-7}
2.20	-0.416×10^{-8}	-0.771×10^{-7}	0.178×10^{-6}	0.643×10^{-8}	-0.107×10^{-8}
2.40	-0.349×10^{-8}	-0.592×10^{-7}	0.131×10^{-6}	0.539×10^{-8}	-0.822×10^{-8}
2.60	-0.297×10^{-8}	-0.464×10^{-7}	0.952×10^{-7}	0.457×10^{-8}	-0.644×10^{-8}
2.80	-0.256×10^{-8}	-0.370×10^{-7}	0.706×10^{-7}	0.393×10^{-8}	-0.514×10^{-8}
3.00	-0.223×10^{-8}	-0.300×10^{-7}	0.534×10^{-7}	0.341×10^{-8}	-0.416×10^{-8}
3.20	-0.195×10^{-8}	-0.246×10^{-7}	0.412×10^{-7}	0.289×10^{-8}	-0.342×10^{-8}
3.40	-0.173×10^{-8}	-0.205×10^{-7}	0.322×10^{-7}	0.264×10^{-8}	-0.284×10^{-8}
3.60	-0.154×10^{-8}	-0.172×10^{-7}	0.256×10^{-7}	0.243×10^{-8}	-0.239×10^{-8}

续表 D.0.6

η (m)	N_{ss} (1/kN)	M_{ss} [1/(kN·m)]	Q_{ss} [1/(kN·m ²)]	N_{∞} [1/kN]	M_{∞} [1/(kN·m)]
3.80	-0.138×10^{-8}	-0.146×10^{-7}	0.206×10^{-7}	0.210×10^{-8}	-0.202×10^{-8}
4.00	-0.125×10^{-8}	-0.125×10^{-7}	0.167×10^{-7}	0.189×10^{-8}	-0.173×10^{-8}
4.20	-0.113×10^{-8}	-0.107×10^{-7}	0.137×10^{-7}	0.170×10^{-8}	-149×10^{-8}
4.40	-0.103×10^{-8}	-0.930×10^{-8}	0.115×10^{-7}	0.155×10^{-8}	-0.129×10^{-8}
4.80	-0.860×10^{-9}	-0.712×10^{-8}	0.797×10^{-8}	0.129×10^{-8}	-0.986×10^{-9}
5.20	-0.731×10^{-9}	-0.557×10^{-8}	0.576×10^{-8}	0.109×10^{-8}	-0.771×10^{-9}
5.60	-0.629×10^{-9}	-0.443×10^{-8}	0.426×10^{-8}	0.936×10^{-9}	-0.613×10^{-9}
6.00	-0.546×10^{-9}	-0.358×10^{-8}	0.322×10^{-8}	0.810×10^{-9}	-0.495×10^{-9}
6.40	-0.479×10^{-9}	-0.293×10^{-8}	0.247×10^{-8}	0.707×10^{-9}	-0.405×10^{-9}

附录 E 地面振动衰减的计算

E.0.1 当动力机器基础为竖向或水平向振动时,距该基础中心 r (m)处地面土的竖向或水平向的振动线位移,应由现场试验确定。

当无条件时,可按下列近似公式计算:

$$A_r = A_0 \left[\frac{r_0}{\gamma} \xi_0 + \sqrt{\frac{r_0}{r}} (1 - \xi_0) \right] e^{-\alpha_0 r_0 (r+r_0)} \quad (\text{E. 0. 1-1})$$

对于方形及矩形基础:

$$r_0 = \mu_1 \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (\text{E. 0. 1-2})$$

对于圆形基础:

$$r_0 = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (\text{E. 0. 1-3})$$

式中 A_r ——距振动基础中心 r 处地面上的振动线位移(m);

A_0 ——振动基础的振动线位移(m);

f_0 ——基础上机器的扰力频率(Hz),一般为 50Hz 以下。对于冲击机器基础,可采用基础的固有频率;

e_0 ——圆形基础的半径(m)或矩形及方形基础的当量半径;

ξ_0 ——无量纲系数,可按本附录 E.0.2 条规定采用;

α_0 ——地基土能量吸收系数(s/m),可按本附录第 E.0.3 条规定采用;

μ_f ——动力影响系数,可按本附录第 E.0.4 条规定采用;

E.0.2 无量纲系数 ξ_0 与地基土的性质和振动基础的底面积大小有关,其值可按表 E.0.2 采用。

E.0.3 地基上的能量吸收系数 α_0 值,根据地基土的性质,可按表 E.0.3 采用。

系数 ξ_0

表 E.0.2

土的名称	振动基础的半径或当量半径 r_0 (m)							
	0.5及以下	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7及以上
一般粘性土、粉土、砂土	0.70~0.95	0.55	0.45	0.40	0.35	0.25~0.30	0.23~0.30	0.15~0.20
饱和软土	0.70~0.95	0.50~0.55	0.40	0.35~0.40	0.23~0.30	0.22~0.30	0.20~0.25	0.10~0.20
岩石	0.80~0.95	0.70~0.80	0.65~0.70	0.60~0.65	0.55~0.60	0.50~0.55	0.45~0.50	0.25~0.35

注①对于饱和软土，当地下水深 1m 及以下时， ζ_0 取较小值，1~2.5m 时取较大值，大于 2.5m 时取一般粘性土的 ζ_0 值；

②对于岩石覆盖层在 2.5m 以内时， ζ_0 取较大值，2.5~6m 时取较小值，超过 6m 时，取一般粘性土的 ζ_0 值。

地基土能量吸收系数 α_0

值表 E.0.3

地基土名称及状态		α_0 (s/m)
岩石(覆盖层1.5~2.0m)	页岩、石灰岩	$(0.385 \sim 0.485) \times 10^{-3}$
	砂岩	$(0.580 \sim 0.775) \times 10^{-3}$
硬塑的粘土		$(0.385 \sim 0.525) \times 10^{-3}$
中密的块石、卵石		$(0.850 \sim 1.100) \times 10^{-3}$
可塑的粘土和中密的粗砂		$(0.965 \sim 1.200) \times 10^{-3}$
软塑的粘土、粉土和稍密的中砂、粗砂		$(1.255 \sim 1.450) \times 10^{-3}$
淤泥质粘土、粉土和饱和细砂		$(1.200 \sim 1.300) \times 10^{-3}$
新近沉积的粘土和非饱和松散砂		$(1.800 \sim 2.050) \times 10^{-3}$

注：①同一类地基土上，振动设备大者(如 10t、16t 锻锤)， α_0 取小值，振动设备小者取较大值；

②同等情况下，土壤孔隙比大者， α_0 取偏大值，孔隙比小者， α_0 取偏小值。

E.0.4 动力影响系数 μ_1 ，可按表 E.0.4 采用。

动力影响系数 μ_1

表 E.0.4

基础底面积 $A(m^2)$	μ_1
$A \leq 10$	1.00
12	0.96
14	0.92
16	0.88
$A \geq 20$	0.80

附录 F 压力机基础有阻尼动力系数 η_{max} 值的计算

F.0.1 压力机在起动阶段所产生的扰力脉冲，包括竖向扰力、水平扰力及扰力矩，其形式一般介于后峰锯齿冲击脉冲和对称三角形冲击脉冲之间，而更接近于后峰锯齿冲击脉冲。因此，分别列出后峰锯齿冲击脉冲和对称三角形冲击脉冲两种情况的动力系数 η_{max} ，其值可按本附录 F.0.2 条规定采用。

F.0.2 当扰力为后峰锯齿冲击脉冲或对称三角形冲击脉冲时，基组的有阻尼动力系数 η_{max} ，可按下列规定由表 F.0.2-1、F.0.2-2 查得：

(1)对于竖向有阻尼动力系数 η_{Zmax} ，阻尼比 ζ 和固有周期 T_n 可取基组的竖向阻尼比 ζ_z 、固有周期 T_{nz} ；

(2)对于水平回转耦合振动第一、第二振型有阻尼动力系数 η_{1max} 、 η_{2max} ，阻尼比 ζ 、固有周期 T_n 可分别取基组的水平回转耦合振动第一、第二振型阻尼比 $\zeta_{x\phi 1}$ 、 $\zeta_{x\phi 2}$ 、第一、第二振型固有周期 T_{n1} 、 T_{n2} ；

(3)基组竖向、水平向和回转向扰力或扰力矩脉冲时间 t_0 均相同。

扰力为后峰锯齿冲击脉冲的 η_{max} 值

表 F.0.2-1

$\frac{t_0}{T_n} \xi$	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14
0.1	0.3107	0.3012	0.2923	0.2838	0.2757	0.2681	0.2608	0.2539
0.2	0.6012	0.5829	0.5656	0.5492	0.5337	0.5189	0.5049	0.4915
0.3	0.8531	0.8273	0.8030	0.7799	0.7580	0.7372	0.7175	0.6987
0.4	1.0512	1.0200	0.9906	0.9626	0.9362	0.9110	0.8871	0.8644
0.5	1.1854	1.1515	1.1194	1.0890	1.0602	1.0328	1.0068	0.8821
0.6	1.2516	1.2180	1.1862	1.1561	1.1276	1.1005	1.0748	1.0503
0.7	1.2521	1.2223	1.1941	1.1673	1.1420	1.1179	1.0949	1.0730
0.8	1.1971	1.1745	1.1531	1.1327	1.1133	1.0947	1.0768	1.0597
0.9	1.1045	1.0921	1.0802	1.0686	1.0572	1.0460	1.0350	1.0241
1.0	1.0000	0.9996	0.9984	0.9965	0.9938	0.9906	0.9867	0.9823
1.1	0.9154	0.9253	0.9332	0.9392	0.9436	0.9465	0.9482	0.9488
1.2	0.8787	0.8928	0.9043	0.9134	0.9206	0.9260	0.9299	0.9326
1.3	0.8980	0.9078	0.9157	0.9220	0.9269	0.9305	0.9331	0.9347
1.4	0.9556	0.9551	0.9546	0.9540	0.9532	0.9522	0.9510	0.9495
1.5	1.0223	1.0108	1.0011	0.9929	0.9857	0.9795	0.9739	0.9689
1.6	1.0737	1.0542	1.0379	1.0241	1.0123	1.0022	0.9934	0.9856
1.7	1.0959	1.0737	1.0550	1.0392	1.0258	1.0142	1.0042	0.9954
1.8	1.0858	1.0666	1.0504	1.0366	1.0247	1.0144	1.0053	0.9973
1.9	1.0494	1.0381	1.0284	1.0198	1.0122	1.0052	0.9988	0.9929
2.0	1.0000	0.9996	0.9985	0.9967	0.9944	0.9916	0.9886	0.9854
2.1	0.9556	0.9652	0.9718	0.9760	0.9784	0.9793	0.9792	0.9783
2.2	0.9325	0.9472	0.9577	0.9648	0.9695	0.9724	0.9738	0.9741
2.3	0.9386	0.9510	0.9598	0.9659	0.9700	0.9724	0.9736	0.9739
2.4	0.9685	0.9725	0.9753	0.9770	0.9779	0.9781	0.9777	0.9769
2.5	1.0081	1.0015	0.9965	0.9926	0.9894	0.9866	0.9840	0.9817
2.6	1.0419	1.0266	1.0152	1.0065	0.9998	0.9944	0.9900	0.9863
2.7	1.0589	1.0395	1.0251	1.0142	1.0058	0.9992	0.9939	0.9894
2.8	1.0548	1.0373	1.0241	1.0141	1.0063	1.0000	0.9949	0.9905
2.9	1.0323	1.0218	1.0137	1.0072	1.0019	0.9973	0.9934	0.9898
3.0	1.0000	0.9996	0.9985	0.9969	0.9949	0.9928	0.9905	0.9881

扰力为后峰锯齿冲击脉冲的 η_{\max} 值

表 F.0.2-1

0. 16	0. 18	0. 20	0. 22	0. 24	0. 26	0. 28	0. 30
0. 2473	0. 2410	0. 2350	0. 2293	0. 2238	0. 2185	0. 2135	0. 2087
0. 4788	0. 4667	0. 4551	0. 4440	0. 4335	0. 4234	0. 4137	0. 4044
0. 6808	0. 6637	0. 6475	0. 6319	0. 6170	0. 6028	0. 5892	0. 5761
0. 8428	0. 8221	0. 8024	0. 7836	0. 7656	0. 7484	0. 7320	0. 7162
0. 9585	0. 9361	0. 9146	0. 8941	0. 8746	0. 8558	0. 8378	0. 8206
1. 0269	1. 0047	0. 9834	0. 9630	0. 9436	0. 9249	0. 9070	0. 8898
1. 0521	1. 0321	1. 0130	0. 9946	0. 9769	0. 9599	0. 9436	0. 9279
1. 0432	1. 0273	1. 0120	0. 9971	0. 9827	0. 9688	0. 9553	0. 9421
1. 0134	1. 0028	0. 9922	0. 9818	0. 9715	0. 9614	0. 9513	0. 9413
0. 9774	0. 9721	0. 9664	0. 9604	0. 9541	0. 9476	0. 9409	0. 9340
0. 9483	0. 9471	0. 9451	0. 9424	0. 9392	0. 9355	0. 9314	0. 9269
0. 9341	0. 9347	0. 9344	0. 9334	0. 9317	0. 9295	0. 9268	0. 9237
0. 9355	0. 9356	0. 9350	0. 9339	0. 9323	0. 9303	0. 9279	0. 9251
0. 9478	0. 9459	0. 9438	0. 9414	0. 9389	0. 9362	0. 9333	0. 9302
0. 9643	0. 9599	0. 9558	0. 9519	0. 9481	0. 9443	0. 9406	0. 9369
0. 9787	0. 9726	0. 9669	0. 9617	0. 9568	0. 9523	0. 9479	0. 9437
0. 9876	0. 9807	0. 9744	0. 9686	0. 9633	0. 9584	0. 9537	0. 9492
0. 9901	0. 9835	0. 9776	0. 9721	0. 9669	0. 9621	0. 9575	0. 9532
0. 9873	0. 9821	0. 9772	0. 9725	0. 9681	0. 9638	0. 9597	0. 9557
0. 9820	0. 9785	0. 9749	0. 9713	0. 9678	0. 9642	0. 9607	0. 9571
0. 9767	0. 9747	0. 9724	0. 9698	0. 9671	0. 9642	0. 9612	0. 9582
0. 9736	0. 9725	0. 9709	0. 9690	0. 9668	0. 9644	0. 9618	0. 9592
0. 9735	0. 9725	0. 9711	0. 9693	0. 9673	0. 9651	0. 9628	0. 9603
0. 9758	0. 9743	0. 9728	0. 9707	0. 9686	0. 9664	0. 9641	0. 9617
0. 9794	0. 9771	0. 9749	0. 9726	0. 9703	0. 9680	0. 9657	0. 9633
0. 9830	0. 9800	0. 9773	0. 9747	0. 9722	0. 9697	0. 9673	0. 9649
0. 9856	0. 9823	0. 9792	0. 9764	0. 9738	0. 9713	0. 9688	0. 9664
0. 9868	0. 9835	0. 9805	0. 9777	0. 9750	0. 9725	0. 9701	0. 9677
0. 9867	0. 9837	0. 9810	0. 9784	0. 9759	0. 9735	0. 9711	0. 9688
0. 9857	0. 9834	0. 9810	0. 9787	0. 9764	0. 9742	0. 9720	0. 9698

扰力为对称三角形冲击脉冲的 η_{\max} 值

表 F.0.2-2

$\frac{t_0}{T_n} \backslash \xi$	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14
0.1	0.3116	0.3021	0.2931	0.2845	0.2764	0.2688	0.2615	0.2545
0.2	0.6079	0.5893	0.5718	0.5551	0.5394	0.5244	0.5102	0.4966
0.3	0.8747	0.8480	0.8228	0.7988	0.7761	0.7546	0.7341	0.7146
0.4	1.0997	1.0661	1.0344	1.0043	0.9758	0.9487	0.9230	0.8985
0.5	1.2732	1.2344	1.1976	1.1628	1.1298	1.0985	1.0688	1.0405
0.6	1.3919	1.3497	1.3099	1.2722	1.2366	1.2027	1.1706	1.1401
0.7	1.4657	1.4222	1.3811	1.3422	1.3054	1.2706	1.2375	1.2060
0.8	1.5049	1.4615	1.4205	1.3818	1.3452	1.3105	1.2775	1.2463
0.9	1.5172	1.4751	1.4354	1.3979	1.3624	1.3288	1.2969	1.2666
1.0	1.5085	1.4687	1.4311	1.3956	1.3620	1.3302	1.3001	1.2114
1.1	1.4835	1.4467	1.4119	1.3791	1.3481	1.3187	1.2908	1.2643
1.2	1.4460	1.4127	1.3813	1.3517	1.3237	1.2972	1.2721	1.2481
1.3	1.3991	1.3698	1.3422	1.3162	1.2916	1.2684	1.2463	1.2253
1.4	1.3456	1.3205	1.2970	1.2749	1.2541	1.2344	1.2156	1.1978
1.5	1.2879	1.2672	1.2480	1.2300	1.2131	1.1972	1.1820	1.1675
1.6	1.2279	1.2118	1.1970	1.1834	1.1706	1.1586	1.1472	1.1362
1.7	1.1676	1.1561	1.1459	1.1367	1.1283	1.1204	1.1128	1.1054
1.8	1.1086	1.1017	1.0964	1.0920	1.0881	1.0844	1.0807	1.0768
1.9	1.0523	1.0504	1.0505	1.0514	1.0523	1.0528	1.0528	1.0521
2.0	1.0000	1.0052	1.0121	1.0186	1.0240	1.0282	1.0312	1.0331
2.1	0.9605	0.9755	0.9881	0.9983	1.0065	1.0129	1.0176	1.0210
2.2	0.9562	0.9712	0.9836	0.9937	1.0017	1.0079	1.0126	1.0159
2.3	0.9799	0.9884	0.9959	1.0023	1.0076	1.0117	1.0148	1.0169
2.4	1.0160	1.0165	1.0178	1.0192	1.0205	1.0215	1.0221	1.0222
2.5	1.0546	1.0479	1.0430	1.0394	1.0366	1.0342	1.0321	1.0300
2.6	1.0904	1.0777	1.0676	1.0596	1.0531	1.0476	1.0429	1.0387
2.7	1.1207	1.1033	1.0892	1.0776	1.0680	1.0599	1.0530	1.0470
2.8	1.1442	1.1235	1.1063	1.0922	1.0803	1.0702	1.0615	1.0540
2.9	1.1605	1.1376	1.1185	1.1026	1.0892	1.0777	1.0679	1.0594
3.0	1.1695	1.1455	1.1255	1.1087	1.0945	1.0823	1.0718	1.0627

扰力为对称三角形冲击脉冲的 η_{\max} 值

表 F.0.2-2

0. 16	0. 18	0. 20	0. 22	0. 24	0. 26	0. 28	0. 30
0. 2479	0. 2416	0. 2356	0. 2299	0. 2244	0. 2191	0. 2141	0. 2092
0. 4837	0. 4714	0. 4597	0. 4485	0. 4377	0. 4275	0. 4177	0. 4083
0. 6961	0. 6784	0. 6615	0. 6454	0. 6300	0. 6152	0. 6011	0. 5876
0. 8752	0. 8530	0. 8318	0. 8116	0. 7922	0. 7737	0. 7560	0. 7390
1. 0136	0. 9880	0. 9635	0. 9402	0. 9179	0. 8966	0. 8762	0. 8567
1. 1110	1. 0834	1. 0570	1. 0319	1. 0079	0. 9849	0. 9630	0. 9420
1. 1762	1. 1477	1. 1206	1. 0947	1. 0700	1. 0464	1. 0238	1. 0022
1. 2165	1. 1882	1. 1612	1. 1355	1. 1109	1. 0874	1. 0649	1. 0434
1. 2377	1. 2103	1. 1841	1. 1592	1. 1353	1. 1125	1. 0907	1. 0698
1. 2441	1. 2182	1. 1934	1. 1697	1. 1471	1. 1255	1. 1048	1. 0849
1. 2391	1. 2151	1. 1921	1. 1702	1. 1492	1. 1291	1. 1099	1. 0914
1. 2254	1. 2036	1. 1829	1. 1630	1. 1440	1. 1257	1. 1082	1. 0913
1. 2053	1. 1861	1. 1678	1. 1503	1. 1334	1. 1172	1. 1015	1. 0864
1. 1808	1. 1645	1. 1488	1. 1337	1. 1192	1. 1051	1. 0915	1. 0782
1. 1537	1. 1403	1. 1274	1. 1149	1. 1027	1. 0909	1. 0794	1. 0681
1. 1256	1. 1152	1. 1051	1. 0922	1. 0855	1. 0759	1. 0664	1. 0570
1. 0980	1. 0907	1. 0834	1. 0760	1. 0686	1. 0611	1. 0536	1. 0460
1. 0726	1. 0682	1. 0634	1. 0584	1. 0531	1. 0475	1. 0417	1. 0358
1. 0508	1. 0489	1. 0464	1. 0433	1. 0398	1. 0359	1. 0316	1. 0269
1. 0340	1. 0340	1. 0332	1. 0316	1. 0294	1. 0267	1. 0235	1. 0199
1. 0231	1. 0241	1. 0242	1. 0235	1. 0222	1. 0202	1. 0177	1. 0147
1. 0181	1. 0192	1. 0195	1. 0191	1. 0179	1. 0162	1. 0140	1. 0114
1. 0182	1. 0187	1. 0185	1. 0177	1. 0163	1. 0145	1. 0123	1. 0097
1. 0220	1. 0213	1. 0201	1. 0186	1. 0168	1. 0146	1. 0121	1. 0094
1. 0280	1. 0258	1. 0236	1. 0212	1. 0186	1. 0159	1. 0130	1. 0099
1. 0349	1. 0313	1. 0278	1. 0245	1. 0211	1. 0178	1. 0144	1. 0110
1. 0416	1. 0367	1. 0322	1. 0279	1. 0239	1. 0200	1. 0162	1. 0124
1. 0474	1. 0414	1. 0361	1. 0311	1. 0265	1. 0221	1. 0179	1. 0138
1. 0518	1. 0452	1. 0391	1. 0336	1. 0286	1. 0238	1. 0193	1. 0150
1. 0547	1. 0476	1. 0412	1. 0354	1. 0300	1. 0251	1. 0204	1. 0160

附录 G 本规范用词说明

G.0.1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

(1)表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

(2)表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

(3)表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

G0.2 条文中指定按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

附加说明

本规范主编单位、参加单位和主要起草人名单

主编单位：机械工业部设计研究院

参加单位：中国寰球化学工程公司

电力部华北电力设计院

东风汽车公司工厂设计研究院

中国船舶总公司第九设计研究院

冶金工业部长沙黑色冶金矿山设计研究院

冶金工业部建筑研究总院

机械工业部第四设计研究院

机械工业部第一设计研究院

中国石油化工总公司北京设计院

化工部第二设计院

中国兵器工业第五设计研究院

福建省石油化工设计院

湖南大学

化工部第四设计院

吉林化学工业公司设计院

化工部第八设计院

河北省电力勘测设计院

电力部西南电力设计院

电力部电力建设研究所

主要起草人：刘纯康 杨文君 汤来苏 翟荣民 张大德 严竹平 李席珍 吴霞媛 王锡康 叶鹤秀 姜术 杨先健 王振坤 陈加叶 王瑞兰 刘传声 潘复兰 李静波 王貽荪 谢福辑 戴文斌 贺步学 张芳芭 罗国树 高象波 马士法