

## 前 言

根据住房和城乡建设部《2005年工程建设标准规范制订、修订计划(第二批)的通知》(建标〔2005〕124号)及《关于调整国家标准〈动力机器基础设计规范〉主编单位的函》(建标标便〔2013〕66号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订本标准。

本标准的主要技术内容是:总则、术语和符号、基本规定、旋转式机器基础、往复式机器基础、冲击式机器基础、压力机基础、破碎机和磨机基础、振动试验台基础、金属切削机床基础等。

本标准修订的主要技术内容是:

1. 扩展了标准的适用范围,增加了相关动力机器基础设计的强制性规定;
2. 对动力机器基础设计的基础资料和地基动力特性参数进行了补充和明确,对不利场地条件动力机器基础的设计提出更严格的要求;
3. 完善了旋转式和往复式机器基础设计的条文,对振动计算和构造规定进行了修订和增补;
4. 扩大了冲击式机器和压力机基础的适用范围,增补了相关的设计方法;
5. 增加了液压和电动振动台基础的设计内容;
6. 修订了部分动力机器的公称压力等表征振动荷载特性的适用范围;
7. 修订了各类动力机器基础相关振动计算、构造要求等规定,删除了部分不适宜的设计规定。

本标准中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本标准由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中国机械工业集团有限公司和中国中元国际工程有限公司负责具体技术内容的解释,并负责日常管理。执行过程中如有意见或建议,请寄送中国机械工业集团有限公司(地址:北京市海淀区丹棱街3号,邮编:100080)、中国中元国际工程有限公司(地址:北京市海淀区西三环北路5号,邮编:100089)。

本标准主编单位:中国机械工业集团有限公司  
中国中元国际工程有限公司

本标准参编单位:中国汽车工业工程有限公司  
隔而固(青岛)振动控制有限公司  
华北电力设计院有限公司  
中国寰球工程有限公司北京分公司  
北方工程设计研究院有限公司  
机械工业勘察设计研究院有限公司  
机械工业第六设计研究院有限公司

本标准主要起草人员:徐建 张同亿 万叶青 尹学军  
周建军 余东航 黎益仁 杨文君  
郑建国 张炜 王建刚 杨俭  
高星亮 胡明祎 邵晓岩 黄伟  
曹雪生 王伟强 刘鑫 许岩  
王建宁

本标准主要审查人员:杨永斌 张建民 张洪波 任书考  
苏经宇 黄世敏 邹宏 王永国  
李兴利

# 目 次

1	总 则	( 1 )
2	术语和符号	( 2 )
2.1	术语	( 2 )
2.2	符号	( 3 )
3	基本规定	( 6 )
3.1	一般规定	( 6 )
3.2	材料及构造规定	( 7 )
3.3	地基和基础计算规定	( 8 )
3.4	地基动力特性参数	( 10 )
4	旋转式机器基础	( 20 )
4.1	汽轮发电机组基础	( 20 )
4.2	旋转式压缩机基础	( 27 )
4.3	电机基础	( 32 )
5	往复式机器基础	( 37 )
5.1	一般规定	( 37 )
5.2	振动计算	( 37 )
5.3	构造要求	( 47 )
6	冲击式机器基础	( 48 )
6.1	锻锤基础	( 48 )
6.2	落锤基础	( 54 )
7	压力机基础	( 58 )
7.1	一般规定	( 58 )
7.2	振动计算	( 58 )
7.3	构造要求	( 61 )

8	破碎机和磨机基础	(63)
8.1	破碎机基础	(63)
8.2	磨机基础	(65)
9	振动试验台基础	(67)
9.1	液压振动台基础	(67)
9.2	电动振动台基础	(71)
10	金属切削机床基础	(73)
附录 A	锚桩(杆)基础设计	(76)
附录 B	框架式基础的动力计算	(77)
附录 C	地面振动衰减的计算	(83)
附录 D	冲击式机器基础有阻尼动力系数 $\eta_{\max}$ 值的计算	(86)
	本标准用词说明	(92)
	引用标准名录	(93)



# Contents

1	General provisions	( 1 )
2	Terms and symbols	( 2 )
2.1	Terms	( 2 )
2.2	Symbols	( 3 )
3	Basic requirements	( 6 )
3.1	General requirements	( 6 )
3.2	Regulations for materials and constructions	( 7 )
3.3	Calculation requirements for foundation and base	( 8 )
3.4	Dynamic characteristic parameters for foundation	( 10 )
4	Foundation of rotary machine	( 20 )
4.1	Foundation for steam turbine generator set	( 20 )
4.2	Foundation for rotary compressor	( 27 )
4.3	Foundation for motor	( 32 )
5	Foundation of reciprocating machine	( 37 )
5.1	General requirements	( 37 )
5.2	Vibration calculations	( 37 )
5.3	Construction requirements	( 47 )
6	Foundation of impact machine	( 48 )
6.1	Foundation for forging hammer	( 48 )
6.2	Foundation for drop hammer	( 54 )
7	Foundation of press machine	( 58 )
7.1	General requirements	( 58 )
7.2	Dynamic calculations	( 58 )
7.3	Construction requirements	( 61 )

8	Foundation of crusher and mill	( 63 )
8.1	Foundation for crusher	( 63 )
8.2	Foundation for mill	( 65 )
9	Foundation of vibration test stand	( 67 )
9.1	Foundation for hydraulic vibration stand	( 67 )
9.2	Electric vibration stand	( 71 )
10	Foundation of metal cutting machine tool	( 73 )
Appendix A	Foundation design using anchor piles (rods)	( 76 )
Appendix B	Dynamic calculations for frame foundation	( 77 )
Appendix C	Calculations for vibration attenuation of ground	( 83 )
Appendix D	Calculations for damped dynamic coefficients $\eta_{\max}$ of foundation of impact machine	( 86 )
	Explanation of wording in this standard	( 92 )
	List of quoted standards	( 93 )

# 1 总 则

**1.0.1** 为了确保动力机器基础设计的技术性能和工程质量,做到技术先进、经济合理、安全适用和满足环境要求,制订本标准。

**1.0.2** 本标准适用于旋转式机器、往复式机器、冲击式机器、压力机、破碎机和磨机、振动试验台、金属切削机床等动力机器基础的非隔振设计。

**1.0.3** 动力机器基础设计除应符合本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

住房和城乡建设部  
浏览专用

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

- 2.1.1 机组** machine-foundation system  
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  
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 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 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** foundation stiffness  
地基抵抗变形的能力,其值为施加于地基上的力(力矩)与其变形(角变形)之比。
- 2.1.6 旋转式机器** rotary machine  
具有转子等旋转部件,通过匀速转动而工作的机械装置。
- 2.1.7 往复式机器** reciprocating machine  
由曲柄(曲轴)与连杆以及做往复运动的活塞组成曲柄连杆机构的一种机械装置。
- 2.1.8 冲击式机器** impact machine  
采用一定质量的冲锤,在一定的高度内周期性地做自由落体运动,产生具有较明显的脉冲函数特征振动荷载的机械装置。
- 2.1.9 振动试验台** vibration test stand  
模拟真实振动环境效应,以检验各种工业产品和工程设施力学性能的标准试验设备。
- 2.1.10 金属切削机床** metal cutting machine tool

用切削、特种加工等方法加工金属工件,使之获得所要求的几何形状、尺寸精度和表面质量的机器。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 作用和作用响应:

- $F_{vz}$ ——机器的竖向振动荷载;
- $F_{vx}、F_{vy}$ ——机器的水平向振动荷载;
- $M_{\phi}$ ——基组沿  $x$  轴水平、绕  $y$  轴回转的  $x-\phi$  向耦合振动中机器的回转扰力矩;
- $M_{\theta}$ ——基组沿  $y$  轴水平、绕  $x$  轴回转的  $y-\theta$  向耦合振动中机器的回转扰力矩;
- $M_{\psi}$ ——机器的扭转振动扰力矩;
- $u_z$ ——基组重心处或基础控制点的竖向振动位移;
- $u_x、u_y$ ——基组重心处或基础控制点的水平向振动位移;
- $u_{\phi}$ ——基组沿  $x$  轴水平、绕  $y$  轴回转的  $x-\phi$  向耦合振动回转振动角位移;
- $u_{\theta}$ ——基组沿  $y$  轴水平、绕  $x$  轴回转的  $y-\theta$  向耦合振动回转振动角位移;
- $u_{\psi}$ ——基组的扭转振动角位移;
- $u_{zz}$ ——基组沿  $z$  轴竖向振动产生的竖向振动位移;
- $u_{z\phi}$ ——基组沿  $x$  轴水平、绕  $y$  轴回转的  $x-\phi$  向耦合振动产生的竖向振动位移;
- $u_{x\phi}$ ——基组沿  $x$  轴水平、绕  $y$  轴回转的  $x-\phi$  向耦合振动产生的水平向振动位移;
- $u_{z\theta}$ ——基组沿  $y$  轴水平、绕  $x$  轴回转的  $y-\theta$  向耦合振动产生的竖向振动位移;
- $u_{y\theta}$ ——基组沿  $y$  轴水平、绕  $x$  轴回转的  $y-\theta$  向耦合振动产生的水平向振动位移;
- $u_{x\psi}、u_{y\psi}$ ——基组扭转振动产生的水平向振动位移;

- $\omega$  —— 机器扰力的圆频率；  
 $\omega_{nz}$  —— 基组竖向固有圆频率；  
 $\omega_{nx}、\omega_{ny}$  —— 基组水平向固有圆频率；  
 $\omega_{n\phi}$  —— 基组绕  $y$  轴回转固有圆频率；  
 $\omega_{n\theta}$  —— 基组绕  $x$  轴回转固有圆频率；  
 $\omega_{n\psi}$  —— 基组扭转固有圆频率；  
 $\omega_{n\phi 1}、\omega_{n\phi 2}$  —— 基组沿  $x$  轴水平、绕  $y$  轴回转的  $x-\phi$  向耦合振动第一、第二振型固有圆频率；  
 $\omega_{n\theta 1}、\omega_{n\theta 2}$  —— 基组沿  $y$  轴水平、绕  $x$  轴回转的  $y-\theta$  向耦合振动第一、第二振型固有圆频率；  
 $a$  —— 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；  
 $C_\phi、C_\theta$  —— 天然地基抗弯刚度系数；  
 $C_x、C_y$  —— 天然地基抗剪刚度系数；  
 $C_\psi$  —— 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；  
 $K_\phi、K_\theta$  —— 天然地基抗弯刚度；  
 $K_x、K_y$  —— 天然地基抗剪刚度；  
 $K_\psi$  —— 天然地基抗扭刚度；  
 $K_{pz}$  —— 桩基抗压刚度；  
 $K_{p\phi}、K_{p\theta}$  —— 桩基抗弯刚度；  
 $K_{px}、K_{py}$  —— 桩基抗剪刚度；  
 $K_{p\psi}$  —— 桩基抗扭刚度；  
 $\zeta_z$  —— 天然地基的竖向阻尼比；  
 $\zeta_{h1}、\zeta_{h2}$  —— 天然地基水平回转耦合振动第一、第二振型阻尼比；

- $\zeta_{\psi}$ ——天然地基扭转向阻尼比；  
 $\zeta_{pz}$ ——桩基的竖向阻尼比；  
 $\zeta_{ph1}$ 、 $\zeta_{ph2}$ ——桩基水平回转耦合振动第一、第二振型阻尼比；  
 $\zeta_{D\psi}$ ——桩基的扭转向阻尼比；  
[ $u$ ]——基础的容许振动位移；  
[ $v$ ]——基础的容许振动速度；  
[ $a$ ]——基础的容许振动加速度；  
 $m$ ——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；  
 $I_x$ 、 $I_y$ ——基础底面通过其形心轴的惯性矩；  
 $J_{\phi}$ 、 $J_{\theta}$ ——基组通过其重心轴的转动惯量；  
 $I_x$ ——基础底面对通过底面形心的极惯性矩；  
 $J_{\psi}$ ——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：

- $\alpha_v$ ——地基承载力动力折减系数；  
 $\alpha_z$ ——基础埋深作用对地基抗压刚度的提高系数；  
 $\alpha$ ——基础埋深作用对地基抗剪、抗弯、抗扭刚度的提高系数；  
 $\beta_v$ ——地基土的动沉陷影响系数；  
 $\beta_z$ ——基础埋深作用对竖向阻尼比的提高系数；  
 $\beta$ ——基础埋深作用对水平回转耦合振动和扭转振动阻尼比的提高系数；  
 $\delta_d$ ——基础埋深比。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

3.1.1 动力机器地基基础的设计应满足下列性能要求：

1 在静力荷载作用下，应满足地基和基础承载能力及变形要求；建造在斜坡上或边坡附近的动力基础，尚应满足稳定性要求；

2 在地震作用下，应满足地基和基础抗震承载能力要求、基础抗震稳定性要求；

3 在振动荷载作用下，应满足地基和基础承载能力的要求、基础容许振动的要求；周边环境对振动控制有要求时，尚应满足环境振动、人员舒适度和设备正常工作的要求。

3.1.2 动力机器基础的形式，应根据动力机器类型和型号、工程地质条件、振动响应控制要求等综合确定。

3.1.3 动力机器基础设计时，应避免基础产生过大或不均匀沉降。

3.1.4 重要或对沉降有严格要求的机器，在基础上应设置永久的沉降观测点；在基础施工、机器安装及运行过程中应定期观测和记录。

3.1.5 动力机器基础不宜采用液化土、软土地基作为天然地基持力层；局部存在液化土、软土地基时，宜进行地基处理；大型和重要动力机器基础应进行地基处理或采用桩基础。

3.1.6 动力机器基础设置在整体性较好的岩石上且采用锚桩（杆）基础时，应按本标准附录 A 的规定设计。

3.1.7 动力机器基础与建筑物的基础、上部结构以及混凝土地面宜分开。

3.1.8 当置于天然地基的动力机器基础与毗邻建筑物基础的埋



深不在同一标高时,基底标高差异部分应回填夯实。

**3.1.9** 当管道与机器连接而产生较大振动时,连接处应采用减振或隔振措施。

**3.1.10** 当动力机器基础的振动不满足人员健康、生产过程、仪器设备正常工作的容许振动标准及影响建筑物的长期使用寿命时,应采用隔振措施。

### 3.2 材料及构造规定

**3.2.1** 动力机器基础宜采用整体式混凝土结构,混凝土强度等级不宜低于 C30,当大块式或墙式基础不直接承受冲击荷载或按构造要求设计时,混凝土的强度等级可采用 C25。

**3.2.2** 动力机器基础的受力钢筋应采用 HRB400、HRB500 钢筋,其他部位可采用 HRBF400、HRBF500 钢筋,钢筋的连接不宜采用焊接接头。

**3.2.3** 基组的总重心与基础底面形心宜位于同一竖直线上。当不在同一竖直线上时,两者之间的偏心距和平行偏心方向基底边长的比值,不应大于 5%;当该比值大于 5%时,应计入附加力矩作用的影响。

**3.2.4** 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 50mm;二次灌浆层应在设备安装初调后,采用高一个等级的材料填充密实。

**3.2.5** 动力机器基础地脚螺栓的设置应符合下列规定:

1 I型和II型地脚螺栓的锚固长度不应小于 25 倍螺栓直径,III型地脚螺栓的锚固长度不应小于 20 倍螺栓直径;

2 地脚螺栓轴线距基础边缘的距离不应小于 5 倍螺栓直径,且不应小于 150mm,预留孔边缘距基础边缘的距离不应小于 100mm;

3 预埋地脚螺栓底面下混凝土的厚度不应小于 50mm,当设

置预留孔时,孔底面下混凝土的厚度不应小于 100mm。

### 3.3 地基和基础计算规定

3.3.1 动力机器基础底面的平均静压力应符合下式要求:

$$p \leq \alpha_v f_a \quad (3.3.1)$$

式中: $p$ ——对应于作用的标准组合时,基础底面的平均静压力值(kPa);

$\alpha_v$ ——地基承载力的动力折减系数;

$f_a$ ——修正后的地基承载力特征值(kPa)。

3.3.2 动力机器基础底面的平均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。

3.3.3 地基承载力的动力折减系数应按下列规定确定:

- 1 旋转式机器基础可取 0.8。
- 2 锻锤基础宜按下式计算:

$$\alpha_v = \frac{1}{1 + \beta_v \frac{a}{g}} \quad (3.3.3)$$

式中: $a$ ——基础的振动加速度( $\text{m/s}^2$ );

$\beta_v$ ——地基土的动沉陷影响系数,按第 3.3.4 条的规定确定;

$g$ ——重力加速度,一般取  $9.8\text{m/s}^2$ 。

- 3 其他机器基础可取 1.0。

3.3.4 地基土的动沉陷影响系数 $\beta_v$ 值应按下列规定确定:

- 1 当为天然地基时,宜按表 3.3.4 的规定确定。

表 3.3.4 地基土动沉陷影响系数 $\beta_v$ 值

地基土类别	$\beta_v$
一类土	1.0
二类土	1.3

续表 3.3.4

地基土类别	$\beta_c$
三类土	2.0
四类土	3.0

2 对桩基础,宜按桩端持力层地基土类别选用。

3.3.5 动力机器基础的地基土类别宜按表 3.3.5 确定。

表 3.3.5 地基土类别

土的名称	地基承载力特征值 $f_{ak}$ (kPa)	地基土类别
碎石土	$f_{ak} > 500$	一类土
黏性土	$f_{ak} > 250$	
碎石土	$300 < f_{ak} \leq 500$	二类土
粉土、砂土	$250 < f_{ak} \leq 400$	
黏性土	$180 < f_{ak} \leq 250$	
碎石土	$180 < f_{ak} \leq 300$	三类土
粉土、砂土	$160 < f_{ak} \leq 250$	
黏性土	$130 < f_{ak} \leq 180$	
粉土、砂土	$120 < f_{ak} \leq 160$	四类土
黏性土	$80 < f_{ak} \leq 130$	

3.3.6 动力机器基础的振动响应,应符合下列规定:

$$u \leq [u] \quad (3.3.6-1)$$

$$v \leq [v] \quad (3.3.6-2)$$

$$a \leq [a] \quad (3.3.6-3)$$

式中: $u$ ——基础上控制点的振动位移;

$v$ ——基础上控制点的振动速度;

$a$ ——基础上控制点的振动加速度;

$[u]$ ——基础的容许振动位移;

$[v]$ ——基础的容许振动速度;

[ $a$ ]——基础的容许振动加速度。

3.3.7 动力机器的振动荷载应符合现行国家标准《建筑振动荷载标准》GB/T 51228 的有关规定。

3.3.8 动力机器的容许振动标准应符合现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868 的有关规定。

### 3.4 地基动力特性参数

#### I 天然地基

3.4.1 天然地基的动力特性参数宜由现场测试确定,测试方法应符合现行国家标准《地基动力特性测试规范》GB/T 50269 的有关规定;当无测试条件时,宜按本标准第 3.4.2 条~第 3.4.11 条的规定确定。

3.4.2 天然地基的抗压刚度系数应按下列规定确定:

1 当基础底面积不小于  $20\text{m}^2$  时,宜按表 3.4.2 采用。

表 3.4.2 天然地基的抗压刚度系数  $C$  值 ( $\text{kN/m}^3$ )

地基承载力特征值 $f_{ak}$ (kPa)	土的名称		
	黏性土	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	—

2 当基础底面积小于  $20\text{m}^2$  时,抗压刚度系数宜采用表 3.4.2 中的数值乘以基础底面积修正系数,基础底面积修正系数可按下列式计算:

$$\beta_r = \sqrt[3]{\frac{20}{A}} \quad (3.4.2)$$

式中： $\beta_c$ ——基础底面积修正系数；

$A$ ——基础底面积( $\text{m}^2$ )。

**3.4.3** 当基础底部的地基土由不同土层组成时,其影响深度应按下列规定确定:

1 方形基础宜按下式计算:

$$h_d = 2b \quad (3.4.3-1)$$

式中： $h_d$ ——影响深度(m)；

$b$ ——方形基础的边长(m)。

2 其他形状的基础宜按下式计算:

$$h_d = 2\sqrt{A} \quad (3.4.3-2)$$

**3.4.4** 当基础对地基土影响深度范围内包含不同土层时(图3.4.4),其抗压刚度系数宜按下式计算:

$$C_z = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{C_{zi}} \left[ \frac{1}{1 + \frac{2h_{i-1}}{h_d}} - \frac{1}{1 + \frac{2h_i}{h_d}} \right]} \quad (3.4.4)$$

式中： $C_z$ ——地基土抗压刚度系数( $\text{kN}/\text{m}^3$ )；

$C_{zi}$ ——第 $i$ 层土的抗压刚度系数( $\text{kN}/\text{m}^3$ )，可按本标准第3.4.2条的规定确定；

$h_i$ ——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)。

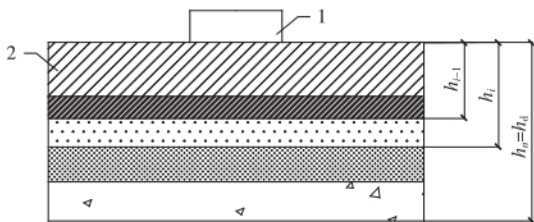


图 3.4.4 分层土地基

1—基础；2—地基

**3.4.5** 天然地基的抗剪、抗弯、抗扭刚度系数宜按下列公式计算:

$$C_x = 0.7C_z \quad (3.4.5-1)$$

$$C_y = 0.7C_z \quad (3.4.5-2)$$

$$C_\theta = 2.15C_z \quad (3.4.5-3)$$

$$C_\phi = 2.15C_z \quad (3.4.5-4)$$

$$C_\psi = 1.05C_z \quad (3.4.5-5)$$

式中： $C_x$ 、 $C_y$ ——天然地基沿  $x$  轴、 $y$  轴的抗剪刚度系数 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )；

$C_\theta$ 、 $C_\phi$ ——天然地基绕  $x$  轴、 $y$  轴的抗弯刚度系数 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )；

$C_\psi$ ——天然地基绕  $z$  轴的抗扭刚度系数 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )。

**3.4.6** 天然地基的抗压、抗剪、抗弯、抗扭刚度应按下列公式计算：

$$K_z = C_z A \quad (3.4.6-1)$$

$$K_x = C_x A \quad (3.4.6-2)$$

$$K_y = C_y A \quad (3.4.6-3)$$

$$K_\theta = C_\theta I_x \quad (3.4.6-4)$$

$$K_\phi = C_\phi I_y \quad (3.4.6-5)$$

$$K_\psi = C_\psi I_z \quad (3.4.6-6)$$

式中： $K_z$ ——天然地基沿  $z$  轴的抗压刚度 ( $\text{kN}/\text{m}$ )；

$K_x$ 、 $K_y$ ——天然地基沿  $x$  轴、 $y$  轴的抗剪刚度 ( $\text{kN}/\text{m}$ )；

$K_\theta$ 、 $K_\phi$ ——天然地基绕  $x$  轴、 $y$  轴的抗弯刚度 ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )；

$K_\psi$ ——天然地基绕  $z$  轴的抗扭刚度 ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )；

$A$ ——基础底面积 ( $\text{m}^2$ )；

$I_x$ 、 $I_y$ ——天然地基基础底面对通过底面形心的  $x$  轴、 $y$  轴的惯性矩 ( $\text{m}^4$ )；

$I_z$ ——天然地基基础底面对通过底面形心的极惯性矩 ( $\text{m}^4$ )。

**3.4.7** 当埋置基础的地基承载力特征值小于  $350\text{kPa}$ ，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、抗剪、抗弯、抗扭刚度宜乘以提高系数，提高系数宜按下列公式计算：

$$\alpha_z = (1 + 0.4\delta_d)^2 \quad (3.4.7-1)$$

$$\alpha = (1 + 1.2\delta_d)^2 \quad (3.4.7-2)$$

$$\delta_d = \frac{h_1}{\sqrt{A}} \quad (3.4.7-3)$$

式中： $\alpha_z$ ——基础埋深作用对地基抗压刚度的提高系数；

$\alpha$ ——基础埋深作用对地基抗剪、抗弯、抗扭刚度的提高系数；

$\delta_d$ ——基础埋深比，当  $\delta_d$  大于 0.6 时，取 0.6；

$h_1$ ——基础埋置深度(m)。

**3.4.8** 当基础与刚性地面相连时，地基抗弯、抗剪、抗扭刚度宜乘以刚性地面提高系数，提高系数可取 1.0~1.4，软弱地基土的提高系数宜取上限值。

**3.4.9** 天然地基的阻尼比应按下列规定计算：

1 竖向阻尼比宜按下列公式计算：

(1) 对于黏性土：

$$\zeta_z = \frac{0.16}{\sqrt{\bar{m}}} \quad (3.4.9-1)$$

$$\bar{m} = \frac{m}{\rho A \sqrt{A}} \quad (3.4.9-2)$$

(2) 对于粉土、砂土：

$$\zeta_z = \frac{0.11}{\sqrt{\bar{m}}} \quad (3.4.9-3)$$

式中： $\zeta_z$ ——天然地基竖向阻尼比；

$\bar{m}$ ——基组质量比；

$m$ ——基组的质量(t)；

$\rho$ ——地基土的密度( $t/m^3$ )。

2 水平回转向、扭转向阻尼比宜按下列公式计算：

$$\zeta_{h1} = 0.5\zeta_z \quad (3.4.9-4)$$

$$\zeta_{h2} = \zeta_{h1} \quad (3.4.9-5)$$

$$\zeta_{\phi} = \zeta_{h1} \quad (3.4.9-6)$$

式中： $\zeta_{h1}$ ——天然地基水平回转耦合振动第一振型阻尼比；

$\zeta_{h2}$ ——天然地基水平回转耦合振动第二振型阻尼比；

$\zeta_{\psi}$ ——天然地基扭转向阻尼比。

**3.4.10** 埋置基础的天然地基阻尼比，宜取明置基础的阻尼比乘以基础埋深作用对阻尼比的提高系数，阻尼比提高系数宜按下列公式计算：

$$\beta_z = 1 + \delta_d \quad (3.4.10-1)$$

$$\beta = 1 + 2\delta_d \quad (3.4.10-2)$$

式中： $\beta_z$ ——基础埋深作用对竖向阻尼比的提高系数；

$\beta$ ——基础埋深作用对水平回转向或扭转向阻尼比的提高系数。

**3.4.11** 采用本标准第 3.4.2 条～第 3.4.10 条确定的天然地基动力特性参数计算天然地基大块式基础的振动位移时，计算的竖向振动位移值应乘以折减系数 0.7，水平向振动位移值应乘以折减系数 0.85，冲击式机器和压力机基础可不折减。

## II 桩 基

**3.4.12** 桩基的动力特性参数取值应符合下列规定：

1 预制桩或沉管灌注桩的动力参数宜由现场测试确定；当无测试条件时，宜按本标准第 3.4.13 条～第 3.4.22 条的规定确定；

2 钻孔灌注桩或其他桩型的动力参数宜由现场测试确定；

3 桩基动力参数的测试方法应按现行国家标准《地基动力特性测试规范》GB/T 50269 的规定确定。

**3.4.13** 桩基的抗压刚度应按下列公式计算：

$$K_{pz} = n_p k_{pz} \quad (3.4.13-1)$$

$$k_{pz} = \sum_{i=1}^n C_{pri} A_{pri} + C_{pz} A_p \quad (3.4.13-2)$$

式中： $K_{pz}$ ——桩基抗压刚度(kN/m)；

$n_p$ ——桩数；

$k_{pz}$ ——单桩的抗压刚度(kN/m)；



$C_{pr_i}$ ——桩周第  $i$  层土的当量抗剪刚度系数 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )；

$A_{pr_i}$ ——第  $i$  层土的桩周表面积 ( $\text{m}^2$ )；

$C_{pz}$ ——桩端土的当量抗压刚度系数 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )；

$A_p$ ——桩的截面积 ( $\text{m}^2$ )。

**3.4.14** 当桩的间距为桩的直径或截面边长的 4 倍~5 倍时, 桩周各土层的当量抗剪刚度系数  $C_{pr}$  值宜按表 3.4.14 采用。

表 3.4.14 桩周土的当量抗剪刚度系数  $C_{pr}$  值

土的名称	土的状态	当量抗剪刚度系数 $C_{pr}$ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
淤泥	饱和	6000~7000
淤泥质土	天然含水量 45%~50%	8000
黏性土	软塑	7000~10000
	可塑	10000~15000
	硬塑	15000~25000
粉土、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

**3.4.15** 当桩的间距为桩的直径或截面边长的 4 倍~5 倍时, 桩端土层的当量抗压刚度系数  $C_{pz}$  值宜按表 3.4.15 采用。

表 3.4.15 桩端土的当量抗压刚度系数  $C_{pz}$  值

土的名称	土的状态	桩尖埋置深度 (m)	当量抗压刚度系数 $C_{pz}$ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
黏性土	软塑、可塑	10~20	500000~800000
	软塑、可塑	20~30	800000~1300000
	硬塑	20~30	1300000~1600000
粉土、粉砂、细砂	中密、密实	20~30	1000000~1300000

续表 3.4.15

土的名称	土的状态	桩尖埋置深度 (m)	当量抗压刚度 系数 $C_{pz}$ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
中砂、粗砂、 砾砂、圆砾、卵石	中密 密实	7~15	1000000~1300000 1300000~2000000
页岩	中等风化	—	1500000~2000000

3.4.16 桩基的抗弯刚度应按下列公式计算:

$$K_{p\theta} = k_{pz} \sum_{i=1}^n r_{yi}^2 \quad (3.4.16-1)$$

$$K_{p\phi} = k_{pz} \sum_{i=1}^n r_{xi}^2 \quad (3.4.16-2)$$

式中:  $K_{p\theta}$ 、 $K_{p\phi}$ ——桩基绕  $x$  轴、 $y$  轴的抗弯刚度 ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ );

$k_{pz}$ ——单桩抗压刚度 ( $\text{kN}/\text{m}$ );

$r_{xi}$ 、 $r_{yi}$ ——第  $i$  根桩的轴线至通过基础底面形心的回转轴  $x$  轴、 $y$  轴的距离 ( $\text{m}$ )。

3.4.17 桩基的抗剪和抗扭刚度应按下列规定确定:

1 桩基的抗剪刚度和抗扭刚度宜按下列公式计算:

$$K_{px} = 1.4K_x \quad (3.4.17-1)$$

$$K_{py} = 1.4K_y \quad (3.4.17-2)$$

$$K_{p\phi} = 1.4K_{\phi} \quad (3.4.17-3)$$

式中:  $K_{px}$ 、 $K_{py}$ ——桩基沿  $x$  轴、 $y$  轴抗剪刚度 ( $\text{kN}/\text{m}$ );

$K_{p\phi}$ ——桩基抗扭刚度 ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )。

2 当计入基础埋深和刚性地面作用时,桩基的抗剪刚度宜按下列公式计算:

$$K_{px} = K_x(0.4 + \alpha\alpha_1) \quad (3.4.17-4)$$

$$K_{py} = K_y(0.4 + \alpha\alpha_1) \quad (3.4.17-5)$$

式中:  $K_{px}$ 、 $K_{py}$ ——基础埋深和刚性地面对桩基刚度提高作用后的桩基沿  $x$  轴、 $y$  轴抗剪刚度 ( $\text{kN}/\text{m}$ );

$\alpha_1$ ——刚性地面提高系数,可按本标准第 3.4.8 条规定确定。

3 当计入基础埋深和刚性地面作用时,桩基的抗扭刚度宜按下式计算:

$$K_{p\phi} = K_{\phi}(0.4 + \alpha\alpha_1) \quad (3.4.17-6)$$

式中: $K_{p\phi}$ ——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( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )。

4 当采用端承桩或桩上部土层的地基承载力特征值不小于 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。

**3.4.18** 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,其间距为桩的直径或截面边长的 4 倍~5 倍时,斜桩的当量抗剪刚度宜取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宜按下列公式计算:

$$K_{px} = K_x(0.6 + \alpha\alpha_1) \quad (3.4.18-1)$$

$$K_{py} = K_y(0.6 + \alpha\alpha_1) \quad (3.4.18-2)$$

**3.4.19** 计算桩基的固有频率和振动位移时,其竖向和水平回转总质量及基组的总转动惯量应按下列公式计算:

$$m_{pz} = m + m_0 \quad (3.4.19-1)$$

$$m_{px} = m + 0.4m_0 \quad (3.4.19-2)$$

$$m_{py} = m_{px} \quad (3.4.19-3)$$

$$m_0 = l_t b d \rho_p \quad (3.4.19-4)$$

$$J_{p\theta} = J_{\theta} \left( 1 + \frac{0.4m_0}{m} \right) \quad (3.4.19-5)$$

$$J_{p\phi} = J_{\phi} \left( 1 + \frac{0.4m_0}{m} \right) \quad (3.4.19-6)$$

$$J_{p\psi} = J_{\psi} \left( 1 + \frac{0.4m_0}{m} \right) \quad (3.4.19-7)$$

式中： $m_{pz}$ 、 $m_{px}$ 、 $m_{py}$ ——桩基上基础沿  $z$  轴竖向、沿  $x$  轴和  $y$  轴水平回转振动质量(t)；

$m$ ——天然地基基组的质量(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)；

$\rho_p$ ——桩和桩间土的混合密度( $t/m^3$ )；

$J_{p\theta}$ 、 $J_{p\psi}$ 、 $J_{p\phi}$ ——桩基上基组对  $x$  轴、 $y$  轴、 $z$  轴的转动惯量( $t \cdot m^2$ )；

$J_\theta$ 、 $J_\psi$ 、 $J_\phi$ ——天然地基上基组对  $x$  轴、 $y$  轴、 $z$  轴的转动惯量( $t \cdot m^2$ )。

**3.4.20** 桩的折算长度宜按表 3.4.20 采用。

表 3.4.20 桩的折算长度  $l_t$

桩的入土深度(m)	桩的折算长度(m)
$\leq 10$	1.8
$\geq 15$	2.4

注：当桩的入土深度为 10m~15m 之间时，可采用插入法计算桩的折算长度。

**3.4.21** 桩基的阻尼比应按下列规定计算：

1 桩基竖向阻尼比宜按下列公式计算：

1) 桩基承台底为黏性土时：

$$\zeta_{pz} = \frac{0.20}{\sqrt{m}} \quad (3.4.21-1)$$

2) 桩基承台底为砂土、粉土时：

$$\zeta_{pz} = \frac{0.14}{\sqrt{m}} \quad (3.4.21-2)$$

3) 采用端承桩时：

$$\zeta_{pz} = \frac{0.10}{\sqrt{m}} \quad (3.4.21-3)$$

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。

2 桩基水平回转向、扭转向阻尼比宜按下列公式计算:

$$\zeta_{ph1} = 0.5\zeta_{pz} \quad (3.4.21-4)$$

$$\zeta_{ph2} = \zeta_{ph1} \quad (3.4.21-5)$$

$$\zeta_{p\psi} = \zeta_{ph1} \quad (3.4.21-6)$$

式中:  $\zeta_{pz}$  —— 桩基竖向阻尼比;

$\zeta_{ph1}$ 、 $\zeta_{ph2}$  —— 桩基水平回转向耦合振动第一、二振型阻尼比;

$\zeta_{p\psi}$  —— 桩基扭转向阻尼比。

3.4.22 计算桩基阻尼比时,宜计入桩基承台埋深对阻尼比的提高作用,桩基竖向、水平回转向以及扭转向阻尼比提高系数,宜按下列规定计算:

1 对于摩擦桩:

$$\beta_z = 1 + 0.8\delta_d \quad (3.4.22-1)$$

$$\beta = 1 + 1.6\delta_d \quad (3.4.22-2)$$

2 对于端承桩:

$$\beta_z = 1 + \delta_d \quad (3.4.22-3)$$

$$\beta = 1 + 1.4\delta_d \quad (3.4.22-4)$$

式中:  $\beta_z$  —— 桩基承台埋深对竖向阻尼比的提高系数;

$\beta$  —— 桩基承台埋深对水平回转向或扭转向阻尼比的提高系数。

## 4 旋转式机器基础

### 4.1 汽轮发电机组基础

#### I 一般规定

4.1.1 汽轮发电机组基础宜采用现浇钢筋混凝土框架结构。

4.1.2 汽轮发电机组的框架式基础宜采用多自由度空间力学模型分析,并应进行多方案优化设计,合理地确定框架的布置和构件尺寸。结构选型应符合下列原则:

1 基础顶板应具有满足基础的振动特性及静变形要求的质量和刚度;顶板各横梁的静位移宜接近,顶板的外形和受力应简单,宜避免产生偏心荷载;

2 在满足强度、稳定性和静位移要求的条件下,宜适当减小柱的刚度,但其长细比不宜大于 14;

3 基础底板刚度应根据地基刚度综合分析确定,避免基础出现不均匀沉降。

4.1.3 对工作转速为 3000r/min 且功率不大于 125MW 的汽轮发电机组,当基础为由横向框架与纵梁构成的空间框架,且同时满足下列条件时,可不进行动力计算:

1 中间框架、纵梁:

$$G_i \geq 6G_{gi} \quad (4.1.3-1)$$

2 边框架:

$$G_i \geq 10G_{gi} \quad (4.1.3-2)$$

式中: $G_i$ ——集中到梁中或柱顶的总重力(kN);

$G_{gi}$ ——作用在基础第  $i$  点的机器转子重力(kN)。

#### II 振动计算

4.1.4 框架式基础的振动位移,可按本标准附录 B 的规定进行

计算,并宜符合下列规定:

1 一般情况下,可只计算扰力作用点的振动响应;

2 工作转速时的计算响应宜取一定范围内的最大响应,其范围值宜根据计算模型确定。

**4.1.5** 当基础为由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,宜按本标准附录 B 中双自由度体系的方法计算。

**4.1.6** 当框架式基础按空间多自由度体系进行振动计算时,对于机器工作转速小于 3000r/min 的基础,地基宜按弹性计算;对于汽轮发电机组工作转速不小于 3000r/min 的基础,地基可按刚性计算。

**4.1.7** 计算振动位移时,任意转速的扰力可按下式计算:

$$F_{0i} = F_{gi} \left( \frac{n_0}{n} \right)^2 \quad (4.1.7)$$

式中:  $F_{0i}$ ——第  $i$  点任意转速的扰力(kN);

$F_{gi}$ ——第  $i$  点工作转速时的扰力(kN);

$n_0$ ——任意转速(r/min);

$n$ ——工作转速(r/min)。

**4.1.8** 当有多个扰力作用时,质点的振动位移可按下式计算:

$$u_i = \sqrt{\sum_{k=1}^m u_{ik}^2} \quad (4.1.8)$$

式中:  $u_i$ ——质点  $i$  的振动位移(m);

$u_{ik}$ ——第  $k$  个扰力对质点  $i$  产生的振动位移(m)。

### III 承载力验算

**4.1.9** 基础承载力计算时,荷载分项系数应按表 4.1.9 的规定取值。

表 4.1.9 荷载分项系数

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	1.3

续表 4.1.9

荷载种类	荷载名称	分项系数
可变荷载	动力荷载、顶板活荷载	1.5
偶然荷载	短路力矩、叶片损失	1.0
地震荷载	地震作用	1.3

注：当永久荷载效应起控制作用时，永久荷载分项系数应取 1.35；当永久荷载效应对结构有利时，永久荷载分项系数应取 1.0。

**4.1.10** 计算基础动内力时的扰力值，可取计算振动位移时所取扰力的 4 倍，并应考虑材料疲劳的影响。

**4.1.11** 当基础为横向框架与纵梁构成的空间框架时，构件动内力可采用当量荷载进行简化计算；竖向当量荷载可简化为集中荷载，水平向当量荷载可简化为作用在纵、横梁轴线上的集中荷载。

**4.1.12** 当动内力采用当量荷载计算时，应按基础的基本振型和高振型分别进行计算，控制值应取较大值。

**4.1.13** 当动内力采用基础的基本振型计算时，当量荷载可按下列规定确定：

1 横向框架上第  $i$  点的竖向当量荷载计算值不应小于转子重力荷载的 4 倍，竖向当量荷载可按下列式计算：

$$F_{zi} = 8F_{gi} \left( \frac{\omega_{n1}}{\omega} \right)^2 \eta_{\max} \quad (4.1.13-1)$$

式中： $F_{zi}$ ——横向框架上第  $i$  点的竖向当量荷载 (kN)；

$F_{gi}$ ——横向框架上第  $i$  点的机器扰力 (kN)；

$\omega_{n1}$ ——横向框架竖向的第一振型固有圆频率 (rad/s)，可按本标准附录 B 的规定计算；

$\eta_{\max}$ ——最大动力系数，可取 8。

2 水平向总当量荷载计算值不应小于转子总重力荷载，总当量荷载应按刚度分配到各框架，水平向总当量荷载可按下列公式计算：



$$F_x = \xi_x \frac{\sum_{i=1}^k G_{gi}}{G_t} \sum_{j=1}^m K_{xj} \quad (4.1.13-2)$$

$$F_y = \xi_y \frac{\sum_{i=1}^k G_{gi}}{G_t} \sum_{j=1}^n K_{yj} \quad (4.1.13-3)$$

式中： $F_x$ ——横向框架的水平向总当量荷载(kN)；

$F_y$ ——纵向框架的水平向总当量荷载(kN)；

$G_{gi}$ ——基础顶板上第  $i$  点的机器转子重力(kN)；

$G_t$ ——基础顶板全部永久荷载(kN)，可取顶板自重、设备重和柱子重的一半；

$K_{xj}$ ——基础第  $j$  榀横向框架的水平刚度(kN/m)；

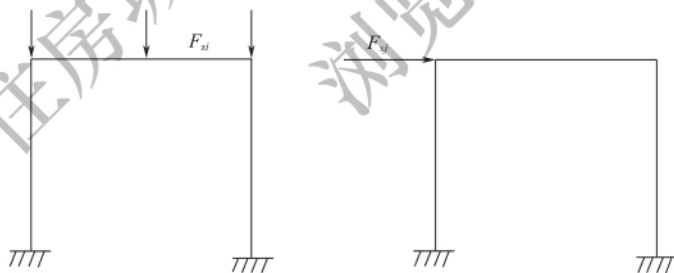
$K_{yj}$ ——基础第  $j$  榀纵向框架的水平刚度(kN/m)；

$\xi_x$ ——横向计算系数(m)；

$\xi_y$ ——纵向计算系数(m)。

### 3 基础的竖向和水平向当量荷载(图 4.1.13-1、图 4.1.13-2)

可按下列公式计算：



(a) 竖向当量荷载作用

(b) 水平向当量荷载作用

图 4.1.13-1 横向框架

$$F_{xj} = F_x \frac{K_{xj}}{\sum_{j=1}^m K_{xj}} \quad (4.1.13-4)$$



图 4.1.13-2 纵向框架

$$F_{yj} = F_y \frac{K_{yj}}{\sum_{j=1}^n K_{yj}} \quad (4.1.13-5)$$

式中： $F_{xj}$ ——横向框架上第  $j$  点的横向  $x$  当量荷载(kN)；

$K_{xj}$ ——第  $j$  点的横向框架刚度(kN/m)；

$F_{yj}$ ——纵向框架上第  $j$  点的纵向  $y$  当量荷载(kN)；

$K_{yj}$ ——第  $j$  点的纵向框架刚度(kN/m)。

4.1.14 横向、纵向计算系数可按表 4.1.14 采用。

表 4.1.14 计算系数

机器工作转速(r/min)	横向计算系数 $\xi_x$ (m)	纵向计算系数 $\xi_y$ (m)
3000	$12.8 \times 10^{-4}$	$6.4 \times 10^{-4}$
1500	$40.0 \times 10^{-4}$	$20.0 \times 10^{-4}$

4.1.15 当基础的动内力采用高阶振型计算时,顶板横梁与纵梁的当量荷载(图 4.1.15-1、图 4.1.15-2)宜按表 4.1.15 采用。

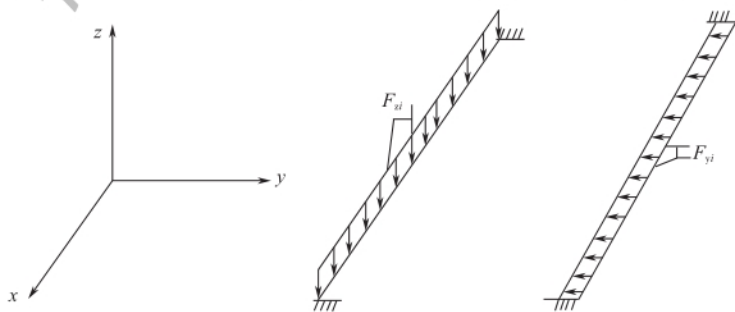


图 4.1.15-1 横梁计算简图

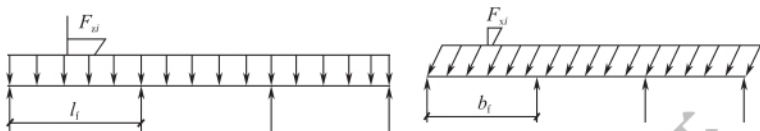


图 4.1.15-2 纵梁计算简图

注:  $l_i$  为柱间距;  $b_i$  为横梁间距。

表 4.1.15 考虑高阶振型影响的当量荷载

方向	竖向	横向	纵向
当量荷载 (kN)	$F_{zi} = 0.8G_{ci}$	$F_{xi} = 0.8G_{ci}$	$F_{yi} = 0.4G_{ci}$

注:  $G_{ci}$  为构件及其支承机器的重力荷载。

**4.1.16** 当动内力按空间多自由度体系计算时, 应取机器工作转速的 0.75 倍~1.25 倍范围内的最大动内力值作为控制计算值。

**4.1.17** 在多个扰力作用下, 质点的动内力可按下式计算:

$$S_i = \sqrt{\sum_{k=1}^m S_{ik}^2} \quad (4.1.17)$$

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)。

**4.1.18** 当工作转速不小于 3000r/min 的汽轮机组不进行动力计算时, 竖向、水平向当量荷载可按表 4.1.18 采用。

表 4.1.18 当量荷载

当量荷载计算类别	机组功率 $W$ (MW)	
	$W \leq 25$	$25 < W \leq 125$
竖向当量荷载 $F_{zi}$	$10G_{gi}$	$6G_{gi}$
水平向当量荷载 $F_x, F_y$	$2\Sigma G_{gi}$	$\Sigma G_{gi}$

**4.1.19** 基础顶板的纵、横梁应计入由于构件内外侧温差产生的应力, 温差可取  $15^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ ; 当基础纵向框架长度不小于 40m 时, 应计算纵向框架的温度应力; 顶板与柱脚的计算温差, 可取  $20^\circ\text{C}$ 。

**4.1.20** 顶板承载力计算时, 应计入设备安装时的活荷载, 活荷载应根据工艺要求确定; 当无资料时, 可按表 4.1.20 采用。

表 4.1.20 基础安装活荷载标准值(kN/m<sup>2</sup>)

安装部位	单机组容量级(MW)		
	12~125	200~300	600~1000
运转层顶板	15~20	25~30	40
中间层平台	4	6	10

注:活荷载可按发电机转子、汽轮机高低压转子等大件堆放布置图进行计算;当堆放活荷载超过表中数值时,计算中应取实际的堆放荷载。

4.1.21 短路力矩的动力系数可取 2.0。

4.1.22 基础承载力验算的荷载组合应符合下列规定:

1 基本组合可取永久荷载与振动荷载或当量荷载组合,其中振动荷载只计入单向作用,组合系数可取 1.0;

2 偶然组合可取永久荷载、振动荷载及短路力矩组合,振动荷载组合系数可取 0.25,短路力矩的组合系数可取 1.0;

3 地震作用组合可取永久荷载、振动荷载及地震作用组合,振动荷载组合系数可取 0.25,地震作用组合系数可取 1.0;

4 设计值应取其荷载组合的较大值。

#### IV 构造要求

4.1.23 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。

4.1.24 框架式基础的底板宜采用井式、梁板式或平板式;平板式基础底板的厚度、井式或梁板式基础的梁高,可根据地基条件取相邻柱最大净距的 1/5~1/3.5,当地基条件较好时宜取小值,反之宜取大值。

4.1.25 对中、高压压缩性地基土,应采取加强地基和基础的刚度、减少基础不均匀沉降等措施。

4.1.26 基础顶板的挑台应为实腹式,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。

4.1.27 基础运转顶板上和柱±0.00m 以上适当位置上,应设置

永久沉降观测点。

**4.1.28** 当底板设置在碎石土及风化基岩地基上时,应计入施工时温度作用的影响或在底板下设置隔离层。

**4.1.29** 基础的配筋应符合下列规定:

1 汽轮发电机组基础底板各侧面均应设置钢筋网;底板板顶和板底钢筋的配筋率不宜小于 0.1%;底板侧面四周钢筋网钢筋的直径不宜小于 16mm,间距不宜大于 250 mm;当底板厚度大于 2m 时,宜在底板板厚中间部位设置直径不小于 12mm、间距不大于 300mm 的双向钢筋网。

2 汽轮发电机组基础的柱配筋应按计算确定,柱全部纵向钢筋的配筋率不宜小于 0.6%,钢筋直径不宜小于 25mm;柱宜采用封闭箍筋,箍筋直径不宜小于 12mm,加密区箍筋间距不宜大于 200mm,非加密区箍筋间距不宜大于 300mm,肢距不宜大于 300mm。

3 汽轮发电机组基础中间平台采用现浇钢筋混凝土结构时,梁和板的构造应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

4 汽轮发电机组基础运转层顶板配筋应按计算确定,顶板顶面、底面钢筋配筋率不宜小于 0.15%;基础顶板应计入构件两侧温差产生的应力,梁两侧应分别配置温度影响的钢筋,高、中压缸侧的纵、横梁侧面配筋率不宜小于 0.15%,其余梁每侧配筋率不宜小于 0.1%。

5 汽轮发电机组基础钢筋的连接应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定,采用机械连接时应满足抗疲劳性能的要求。

## 4.2 旋转式压缩机基础

### I 一般规定

**4.2.1** 旋转式压缩机基础的设计,应根据机器的布置和动力特

性、工程地质条件、生产和工艺对机器基础的技术要求等因素,合理选择基础形式及尺寸。

**4.2.2** 旋转式压缩机基础宜设置在均匀的中、低压缩性的地基层上,当存在软弱下卧层、软土地基或其他不良地质条件时,应采取有效的地基处理措施或采用桩基础。

**4.2.3** 旋转式压缩机基础底面与相邻的建(构)筑物基础底面宜放置在同一标高上且不应相连,压缩机基础与相邻的操作平台应脱开。

**4.2.4** 旋转式压缩机基础宜采用钢筋混凝土空间框架结构;当采用大块式或墙式基础时,动力计算和构造要求可按本标准第5章的规定采用。

**4.2.5** 旋转式压缩机框架式基础的计算,应符合下列规定:

- 1 当进行承载力验算时,应包括框架和地基承载力的验算;
- 2 当进行振动验算时,基础控制点的振动值不应大于容许振动值;
- 3 当进行沉降验算时,基础的沉降和倾斜不应大于容许值;
- 4 当进行偏心验算时,基组的总重心与基础底面形心在横、纵两个方向的偏心距均不应超过对应底板边长的3%。

**4.2.6** 当旋转式压缩机组的总扰力小于20kN、其基础的尺寸符合本标准第4.2.12条的规定且设备及生产对基础振动限值无特殊要求时,基础可不进行动力计算。

## II 振动计算

**4.2.7** 框架式基础的动力计算宜采用空间多自由度分析模型,并应在工作转速的0.75倍~1.25倍对应的频率范围进行扫频计算;计算时可不计入地基的弹性作用,混凝土结构的阻尼比可取0.0625,动弹性模量可取静弹性模量值。

**4.2.8** 当框架式基础同时承受多组扰力作用时,基础控制点的振动速度可按下式计算:

$$v = \sqrt{\sum_{i=1}^m v_i^2} \quad (4.2.8)$$

式中： $v$  ——基础振动控制点的振动速度(mm/s)；

$v_i$  ——第  $i$  组扰力作用下基础振动控制点的振动速度(mm/s)。

### III 承载力验算

**4.2.9** 框架式基础承载力计算时，应包括下列荷载：

1 永久荷载，包括压缩机基础自重、底板上填土自重、支承在顶板上的操作平台自重、安装在基础上的机组、辅助设备及管道自重；

2 可变荷载，包括操作活荷载、安装活荷载、管道推力、温度作用、凝汽器真空吸力等；

3 偶然荷载，包括同步电机的短路力矩；

4 当量静力荷载；

5 地震作用。

**4.2.10** 荷载标准值及分项系数应按下列规定采用：

1 永久荷载应按实际情况计算。安装在基础上的机组、辅助设备及管道自重的荷载分项系数应取 1.5，其他永久荷载的荷载分项系数应取 1.3。

2 运行可变荷载宜取  $4\text{kN/m}^2$ ，荷载分项系数应取 1.5；安装活荷载宜取  $10\text{kN/m}^2$ ，荷载分项系数应取 1.4。

3 凝汽器真空吸力应由机器制造厂提供，荷载分项系数应取 1.5；当凝汽器与汽轮机为刚性连接时，真空吸力应取零；当机器制造厂无法提供时，真空吸力可按下列公式计算：

$$F_a = 100A_t \quad (4.2.10-1)$$

式中： $F_a$  ——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( $\text{m}^2$ )。

4 同步电机的短路力矩及短路力(图 4.2.10)应由机器制造厂提供，荷载分项系数应取 1.0；当机器制造厂无法提供时，可按下列公式计算：

$$M_0 = \frac{70P}{n} \quad (4.2.10-2)$$

$$F_0 = \pm \frac{M_0}{l} \cdot \mu \quad (4.2.10-3)$$

式中： $M_0$ ——同步电机的短路力矩标准值(kN·m)；

$P$ ——电机的功率(kW)；

$n$ ——电机的工作转速(r/min)；

$F_0$ ——作用在基础上的短路力标准值(kN)；

$l$ ——电机短路力作用点之间的距离(m)；

$\mu$ ——动力系数，可取 2.0。

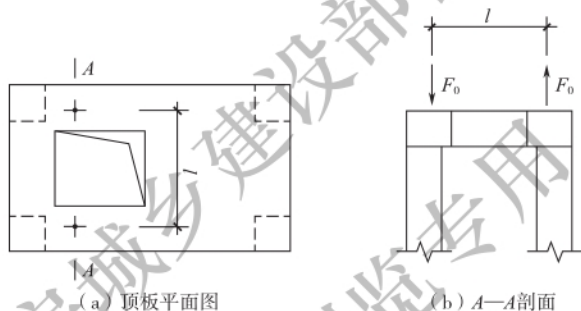


图 4.2.10 短路力矩示意图

5 框架式基础承载力计算时，可将机组振动效应简化为当量静力荷载。当量静力荷载应由机器制造厂提供，荷载分项系数应取 1.5；当机器制造厂无法提供时，应按下列规定确定：

1) 竖向当量静力荷载，应按下式计算：

$$F_z = 5G_g \frac{n}{3000} \quad (4.2.10-4)$$

式中： $F_z$ ——竖向当量静力荷载标准值(kN)；

$G_g$ ——机器转子自重(kN)，当按式(4.2.10-4)计算的竖向当量静力荷载标准值大于机器自重时，应取机器自重。

2) 横向、纵向的水平当量静力荷载标准值  $F_x$ 、 $F_y$  可分别取



竖向当量静力荷载标准值  $F_d$  的  $1/4$ 、 $1/8$ 。

- 3) 当基础构件不承受机器转子自重时,其竖向和横向当量静力荷载标准值可取构件自重的  $1/2$ ,纵向当量静力荷载标准值可取构件自重的  $1/4$ 。
- 4) 当量静力荷载按正、反方向的集中荷载作用在框架式基础的柱、横梁、纵梁轴线上时,在基础上的分布可取与机器转子自重分布成正比。

#### 4.2.11 荷载的组合应符合下列规定:

1 基本组合宜包括永久荷载、安装活荷载、其他可变荷载、当量静力荷载;安装活荷载与其他可变荷载及当量静力荷载不应同时计入;各方向当量静力荷载可只计入单向作用,其组合值系数可取 1.0。

2 偶然组合宜包括永久荷载、可变荷载、当量静力荷载、偶然荷载,当量静力荷载的组合值系数可取 0.25,短路力矩的组合值系数可取 1.0。

3 地震作用组合宜包括永久荷载、可变荷载、当量静力荷载、地震作用,当量静力荷载的组合值系数可取 0.25,地震作用的组合值系数可取 1.0。

### IV 构造要求

#### 4.2.12 框架式基础的尺寸应符合下列规定:

1 基础底板宜设计成矩形平板,底板厚度可取底板长度的  $1/12 \sim 1/10$ ,但不应小于柱截面高度和基础顶板厚度的较大值;

2 柱截面宜设计成方形或矩形,截面最小宽度不宜小于柱净高的  $1/10$ ,并不得小于 450mm;

3 基础顶板厚度不宜小于其净跨度的  $1/5 \sim 1/4$ ,且不应小于 800mm。

#### 4.2.13 框架式基础的配筋应符合下列规定:

1 底板的板顶和板底均应配置钢筋网,钢筋直径不宜小于 16mm,钢筋间距宜为 150mm~200mm。

2 柱纵向钢筋应按计算确定,并应沿截面对称布置,钢筋直径宜为 18mm~25mm,间距不宜大于 200mm,总配筋率宜为 1.0%~1.4%;箍筋应采用复合箍筋,直径宜为 10mm~12mm,间距不宜大于 200mm。

3 顶板的板顶和板底均应配置钢筋网,钢筋直径不宜小于 16mm,间距宜为 150mm~200mm。

4 顶板的梁区域受力钢筋应计算确定,并应在梁截面上、下对称配置,单侧配筋率宜为 0.4%~1.0%;箍筋直径宜为 10mm~12mm,间距不宜大于 200mm。

5 沿底板、顶板侧边应配置构造钢筋,钢筋直径不宜小于 16mm,竖向间距宜为 200mm~250mm。

6 当在顶板上开孔或开沟槽,孔或沟槽的直径或边长大于 300mm 时,应沿孔或沟槽周边配置直径不小于 16mm、竖向间距为 200mm~250mm 的加强钢筋。

7 顶板上螺栓孔或螺栓套管位置应施工准确,顶板及框架梁的纵筋应合理定位,并应避免螺栓孔或螺栓套管。

### 4.3 电机基础

4.3.1 电机基础宜采用现浇钢筋混凝土框架结构,结构选型及力学分析应符合本标准第 4.1.2 条规定。

4.3.2 框架式电机基础顶板振动控制点的横向水平振动位移可按下列公式计算:

$$u_{x\psi} = u_x + u_\psi l_\psi \quad (4.3.2-1)$$

$$u_x = \frac{F_{vx}}{K_{sx}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_x^2}\right)^2 + \frac{\omega^2}{64\omega_x^2}}} \quad (4.3.2-2)$$

$$u_\psi = \frac{M_\psi}{K_{s\psi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_\psi^2}\right)^2 + \frac{\omega^2}{64\omega_\psi^2}}} \quad (4.3.2-3)$$

$$K_{sx} = \frac{1}{\frac{1}{K_x} + \frac{h_4^2}{K_\phi} + \frac{1}{\sum_{j=1}^m K_{xj}}} \quad (4.3.2-4)$$

$$K_{s\phi} = \sum_{j=1}^m \frac{12E_c I_{bj}}{h_j^3} \left( \frac{1+6\delta_j}{2+3\delta_j} \right) l_{oj}^2 \quad (4.3.2-5)$$

$$\omega_x = \sqrt{\frac{K_{sx}}{m_c}} \quad (4.3.2-6)$$

$$\omega_\phi = \sqrt{\frac{K_{s\phi}}{J_w}} \quad (4.3.2-7)$$

$$\delta_j = \frac{h_j I_{bj}}{l_j I_{cj}} \quad (4.3.2-8)$$

$$J_w = 0.1 m_c l_d^2 \quad (4.3.2-9)$$

$$M_\phi = \frac{F_{vx}}{2} l_\phi \quad (4.3.2-10)$$

式中： $u_{x\phi}$ ——框架式电机基础顶板振动控制点的横向水平振动位移(m)；

$u_x$ ——顶板重心的横向水平振动位移(m)；

$u_\phi$ ——顶板的扭转振动角位移(rad)；

$K_{sx}$ ——基础及地基的总横向水平刚度(kN/m)；

$K_{s\phi}$ ——基础及地基的总抗扭刚度(kN/m)；

$\omega_x$ ——顶板的水平横向固有圆频率(r/min)；

$\omega_\phi$ ——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)；

$K_{xj}$ ——第  $j$  榀横向框架的水平刚度(kN/m)；

$\delta_j$ ——无因次系数；

$l_\phi$ ——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)，可取两个柱子中心线距离的 0.9 倍；

$J_w$ ——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，可取全部机器质量、基础顶板及柱子质量的 0.3 倍；

$E_c$ ——混凝土的弹性模量(kPa)；

$F_{vx}$ ——作用在基础顶板的水平横向扰力(kN)。

**4.3.3 框架式电机基础顶板振动控制点的纵向水平振动位移可按下列公式计算：**

$$u_{y\psi} = u_y + u_\psi l_\psi \quad (4.3.3-1)$$

$$u_y = \frac{F_{vy}}{K_{sy}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_y^2}\right)^2 + \frac{\omega^2}{64\omega_y^2}}} \quad (4.3.3-2)$$

$$u_\psi = \frac{M_\psi}{K_{s\psi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_\psi^2}\right)^2 + \frac{\omega^2}{64\omega_\psi^2}}} \quad (4.3.3-3)$$

$$K_{sy} = \frac{1}{\frac{1}{K_y} + \frac{h_i^2}{K_\phi} + \frac{1}{\sum_{i=1}^n K_{yi}}} \quad (4.3.3-4)$$

$$K_{s\psi} = \sum_{i=1}^n \frac{12E_c I_{bi}}{h_i^3} \left( \frac{1 + 6\delta_i}{2 + 3\delta_i} \right) l_{oi}^2 \quad (4.3.3-5)$$

$$\omega_y = \sqrt{\frac{K_{sy}}{m_e}} \quad (4.3.3-6)$$

$$\omega_\psi = \sqrt{\frac{K_{s\psi}}{J_w}} \quad (4.3.3-7)$$

$$\delta_i = \frac{h_i I_{bi}}{l_i I_{ci}} \quad (4.3.3-8)$$

$$J_w = 0.1 m_e l_b^2 \quad (4.3.3-9)$$

$$M_{\psi} = \frac{F_{vy}}{2} l_{\psi} \quad (4.3.3-10)$$

式中： $u_{y\psi}$ ——框架式电机基础顶板振动控制点的纵向水平振动位移(m)；

$u_y$ ——顶板重心的纵向水平振动位移(m)；

$K_{sy}$ ——基础及地基的总纵向水平刚度(kN/m)；

$\omega_y$ ——顶板的水平纵向固有圆频率(r/min)；

$l_{oi}$ ——第*i*榀纵向框架平面到顶板重心的距离(m)；

$K_{yi}$ ——第*i*榀纵向框架的水平刚度(kN/m)；

$\delta_i$ ——无因次系数；

$I_{bi}$ ——第*i*榀纵向框架横梁的截面惯性矩(m<sup>4</sup>)；

$I_{ci}$ ——第*i*榀纵向框架柱的截面惯性矩(m<sup>4</sup>)；

$H_i$ ——第*i*榀纵向框架柱的计算高度(m)；

$l_i$ ——第*i*榀纵向框架横梁的计算跨度(m)，可取两个柱子中心线距离的0.9倍；

$l_b$ ——顶板的宽度(m)。

**4.3.4** 当电机基础不验算由动力荷载和温度差产生的平面弯曲应力时，顶板梁侧面配置的构造配筋(图4.3.4)应符合下列规定：

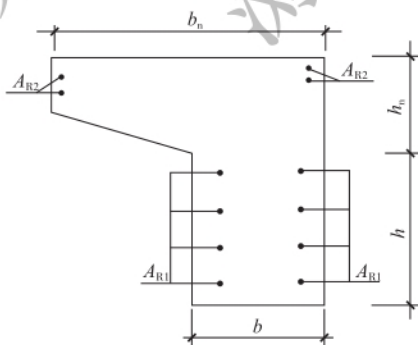


图 4.3.4 梁侧面构造钢筋

$A_{R1}$ —梁侧面下部构造钢筋的截面面积； $A_{R2}$ —梁侧面上部构造钢筋的截面面积；

$b_n$ —梁悬壁板宽度； $b$ —梁宽度； $h_n$ —梁悬壁板高度； $h$ —梁下部高度

- 1 上部构造钢筋的截面  $A_{R2}$  不应小于  $0.1\%b_n h_n$ ;
  - 2 下部构造钢筋的截面  $A_{R1}$  不应小于  $0.1\%bh$ ;
  - 3 钢筋直径不应小于 16mm, 间距宜取 150mm~250mm。
- 4.3.5 基础构件的承载力计算, 可按本标准第 4.1 节的规定确定。
- 4.3.6 电机基础采用大块式和墙式基础时, 动力计算与构造要求可按本标准第 5 章的规定确定。

## 5 往复式机器基础

### 5.1 一般规定

5.1.1 往复式机器基础设计原则、地基要求、与相邻结构的要求，应符合本标准第 4.2.1 条～第 4.2.3 条的规定。

5.1.2 往复式机器基础外形尺寸应按制造厂的机器图纸、辅助设备布置和配管条件等资料确定。基础形式应简单规整，宜对称布置，质量分布宜均匀，一般情况下可采用大块式基础；当机器操作平台位于二层楼面标高时，可采用墙式基础，墙式基础构件之间应采取加强措施整体连接。

5.1.3 往复式机器基础的计算，应包括下列内容：

- 1 地基承载力的验算；
- 2 振动验算时，基础控制点的振动值不大于容许振动值；
- 3 沉降验算时，基础的沉降和倾斜不大于容许值；
- 4 偏心验算时，基组的总重心与基础底面形心在横、纵两个

方向的偏心距均不超过对应底板边长的 3%。

5.1.4 除立式压缩机基础外，对于功率小于 80kW 的往复式机器基础和功率小于 500kW 的对称平衡型往复式机器基础，当基础质量大于机器质量的 5 倍且基础底面的平均静压力标准值小于地基承载力特征值的 1/2 时，可不进行动力计算。

### 5.2 振动计算

5.2.1 竖向扰力作用在基组坐标系(图 5.2.1)的重心时，基础顶面控制点沿  $z$  轴的竖向振动位移，可按下列公式计算：

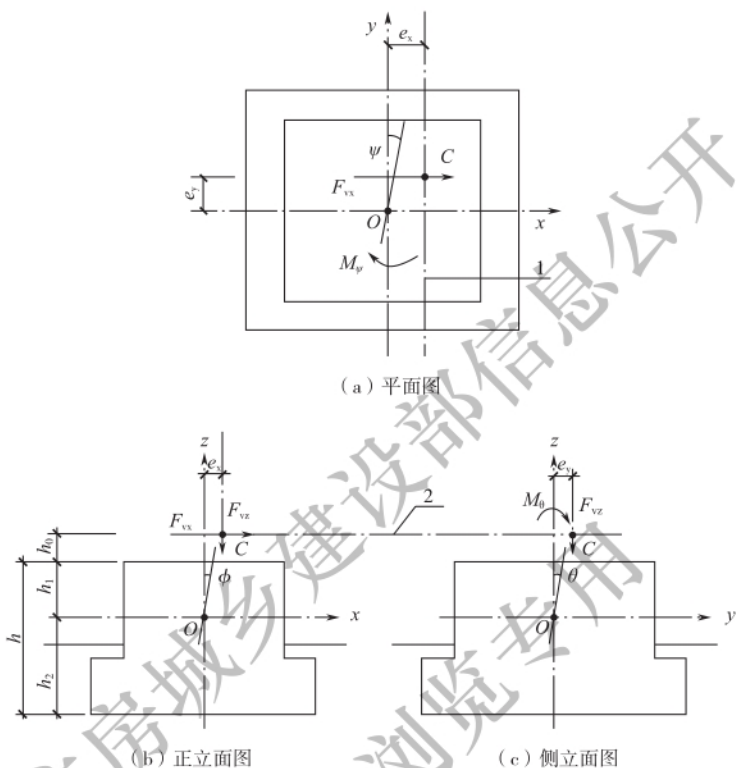


图 5.2.1 机组坐标系

1—机器曲轴中心线；2—机器曲轴所在平面；  
O—坐标原点、机组重心；C—振动荷载作用点

$$u_{zz} = \frac{F_{vz}}{K_z} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{nz}^2}\right)^2 + 4\zeta_z^2 \frac{\omega^2}{\omega_{nz}^2}}} \quad (5.2.1-1)$$

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{K_z}{m}} \quad (5.2.1-2)$$

$$m = m_f + m_m + m_s \quad (5.2.1-3)$$

式中： $u_{zz}$ ——基础顶面控制点由于竖向振动产生的沿  $z$  轴竖向振动位移(m)；



$F_{vz}$ ——机器的竖向扰力(kN)；

$K_z$ ——天然地基的抗压刚度(kN/m)，当为桩基时应采用  $K_{pz}$ ；

$\omega$ ——机器的扰力圆频率(rad/s)；

$\omega_{nz}$ ——基组的竖向振动固有圆频率(rad/s)；

$\zeta_z$ ——天然地基的竖向阻尼比，当为桩基时应采用  $\zeta_{pz}$ ；

$m$ ——天然地基上基组的质量(t)，当为桩基时采用  $m_{pz}$ ，可按公式(3.4.19-1)计算；

$m_f$ ——基础的质量(t)；

$m_m$ ——基础上机器及附属设备的质量(t)；

$m_s$ ——基础底板上回填土的质量(t)。

**5.2.2** 基组在绕  $z$  轴的扭转力矩  $M_\psi$  和沿  $y$  轴向偏心的水平扰力  $F_{vx}$  作用下(图 5.2.2)，基础顶面控制点  $B$  处沿  $x$  轴、 $y$  轴的水平向扭转振动位移，可按下列公式计算：

$$u_{x\psi} = u_\psi l_y \quad (5.2.2-1)$$

$$u_{y\psi} = u_\psi l_x \quad (5.2.2-2)$$

$$u_\psi = \frac{M_\psi + F_{vx} e_y}{K_\psi \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{n\psi}^2}\right)^2 + 4\zeta_\psi^2 \frac{\omega^2}{\omega_{n\psi}^2}}} \quad (5.2.2-3)$$

$$\omega_{n\psi} = \sqrt{\frac{K_\psi}{J_\psi}} \quad (5.2.2-4)$$

式中： $u_{x\psi}$ ——基础顶面控制点由于扭转振动产生的沿  $x$  轴的水平振动位移(m)；

$u_{y\psi}$ ——基础顶面控制点由于扭转振动产生的沿  $y$  轴的水平振动位移(m)；

$u_\psi$ ——基组绕  $z$  轴的扭转振动角位移(rad)；

$l_x$ 、 $l_y$ ——基础顶面控制点至  $z$  轴的距离分别在  $x$  轴、 $y$  轴的投影长度(m)；

$M_\psi$ ——机器的扭转扰力矩(kN·m)；

- $F_{vx}$ ——机器沿  $x$  轴的水平扰力(kN)；  
 $e_y$ ——机器水平扰力  $F_{vx}$  沿  $y$  轴方向的偏心距(m)；  
 $K_\phi$ ——天然地基的抗扭刚度(kN·m)，当为桩基时应采用  $K_{p\phi}$ ；  
 $\omega_{n\phi}$ ——基组的扭转振动固有圆频率(rad/s)；  
 $\zeta_\phi$ ——天然地基的扭转振动阻尼比，当为桩基时应采用  $\zeta_{p\phi}$ ；  
 $J_\phi$ ——基组(天然地基)对扭转轴  $z$  轴的转动惯量( $t \cdot m^2$ )，当为桩基时应取  $J_{p\phi}$ 。

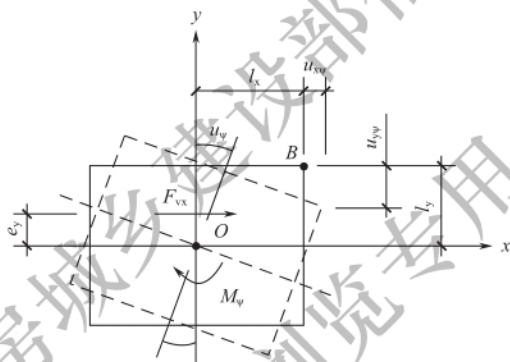


图 5.2.2 基组扭转振动

5.2.3 基组在水平扰力  $F_{vx}$  和沿  $x$  轴向偏心的竖向扰力  $F_{vz}$  作用下(图 5.2.3)，基础顶面控制点沿  $z$  轴竖向和沿  $x$  轴水平的振动位移，可按下列公式计算：

$$u_{z\phi} = (u_{\phi 1} + u_{\phi 2})l_x \quad (5.2.3-1)$$

$$u_{x\phi} = u_{\phi 1}(\rho_{\phi 1} + h_1) + u_{\phi 2}(h_1 - \rho_{\phi 2}) \quad (5.2.3-2)$$

$$u_{\phi 1} = \frac{M_{\phi 1}}{(J_\phi + m\rho_{\phi 1}^2)\omega_{n\phi 1}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{n\phi 1}^2}\right)^2 + 4\zeta_{h1}^2 \frac{\omega^2}{\omega_{n\phi 1}^2}}} \quad (5.2.3-3)$$

$$u_{\phi 2} = \frac{M_{\phi 2}}{(J_{\phi} + m\rho_{\phi 2}^2)\omega_{n\phi 2}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{n\phi 2}^2}\right)^2 + 4\zeta_{h2}^2 \frac{\omega^2}{\omega_{n\phi 2}^2}}} \quad (5.2.3-4)$$

$$\omega_{n\phi 1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (\omega_{nx}^2 + \omega_{n\phi}^2) - \sqrt{(\omega_{nx}^2 - \omega_{n\phi}^2)^2 + \frac{4mh_2^2}{J_{\phi}} \omega_{nx}^4} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.2.3-5)$$

$$\omega_{n\phi 2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (\omega_{nx}^2 + \omega_{n\phi}^2) + \sqrt{(\omega_{nx}^2 - \omega_{n\phi}^2)^2 + \frac{4mh_2^2}{J_{\phi}} \omega_{nx}^4} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.2.3-6)$$

$$\omega_{nx} = \sqrt{\frac{K_x}{m}} \quad (5.2.3-7)$$

$$\omega_{n\phi} = \sqrt{\frac{K_{\phi} + K_x h_2^2}{J_{\phi}}} \quad (5.2.3-8)$$

$$M_{\phi 1} = F_{vx}(h_1 + h_0 + \rho_{\phi 1}) + F_{vz}e_x \quad (5.2.3-9)$$

$$M_{\phi 2} = F_{vx}(h_1 + h_0 - \rho_{\phi 2}) + F_{vz}e_x \quad (5.2.3-10)$$

$$\rho_{\phi 1} = \frac{\omega_{nx}^2 h_2}{\omega_{nx}^2 - \omega_{n\phi 1}^2} \quad (5.2.3-11)$$

$$\rho_{\phi 2} = \frac{\omega_{nx}^2 h_2}{\omega_{n\phi 2}^2 - \omega_{nx}^2} \quad (5.2.3-12)$$

式中： $u_{z\phi}$ 、 $u_{x\phi}$ ——基础顶面控制点由于  $x-\phi$  向耦合振动产生的沿  $z$  轴竖向、沿  $x$  轴水平向的振动位移(m)；

$u_{\phi 1}$ 、 $u_{\phi 2}$ ——基组绕  $y$  轴耦合振动第一、第二振型的回转角位移(rad)；

$\rho_{\phi 1}$ 、 $\rho_{\phi 2}$ ——基组绕  $y$  轴耦合振动第一、第二振型转动中心至基组重心的距离(m)；

$\omega_{n\phi 1}$ 、 $\omega_{n\phi 2}$ ——基组绕  $y$  轴耦合振动第一、第二振型的固有圆频率(rad/s)；

$\omega_{nx}$ 、 $\omega_{n\phi}$ ——基组沿  $x$  轴水平、绕  $y$  轴回转振动的固有圆频率

(rad/s);

$h_0$ ——水平扰力  $F_{vx}$  作用线至基础顶面的距离(m);

$h_1$ ——机组重心至基础顶面的距离(m);

$h_2$ ——机组重心至基础底面的距离(m);

$e_x$ ——机器竖向扰力  $F_{vz}$  沿  $x$  轴方向的偏心距(m);

$J_{\phi}$ ——机组(天然地基)对机组坐标系  $y$  轴的转动惯量 ( $t \cdot m^2$ ), 当为桩基时应采用  $J_{\phi\phi}$ ;

$M_{\phi 1}$ 、 $M_{\phi 2}$ ——机组  $x-\phi$  向耦合振动中机器扰力绕通过第一、第二振型转动中心  $O_{\phi 1}$ 、 $O_{\phi 2}$  并垂直于回转面  $zOx$  的轴的总扰力矩( $kN \cdot m$ );

$K_x$ ——天然地基沿  $x$  轴的抗剪刚度( $kN/m$ ), 当为桩基时应采用  $K_{px}$ ;

$K_{\phi}$ ——天然地基绕  $y$  轴的抗弯刚度( $kN \cdot m$ ), 当为桩基时应采用  $K_{\phi\phi}$ ;

$\zeta_{h1}$ 、 $\zeta_{h2}$ ——天然地基  $x-\phi$  向耦合振动第一、第二振型阻尼比, 当为桩基时应采用  $\zeta_{ph1}$ 、 $\zeta_{ph2}$ , 当采用桩基时, 公式(5.2.3-3)~公式(5.2.3-7)中的  $m$  应取  $m_{px}$ , 可按本标准公式(3.4.19-2)计算。

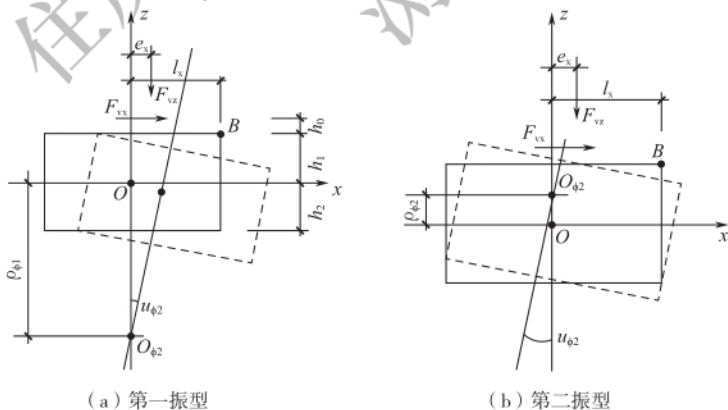


图 5.2.3 基础沿  $x$  轴水平、绕  $y$  轴回转的  $x-\phi$  向耦合振动

5.2.4 基组在绕  $x$  轴的回转力矩  $M_\theta$  和沿  $y$  轴向偏心的竖向扰力  $F_{vz}$  作用下(图 5.2.4),基础顶面控制点沿  $z$  轴竖向和沿  $y$  轴水平方向的振动位移,可按下列公式计算:

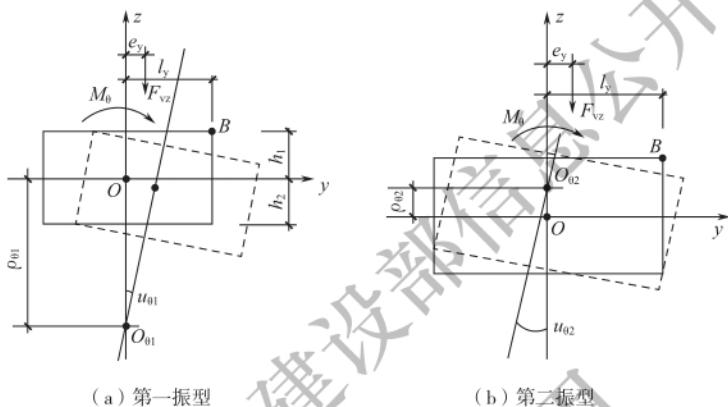


图 5.2.4 基础沿  $y$  轴水平、绕  $x$  轴回转的  $y$ - $\theta$  向耦合振动

$$u_{z\theta} = (u_{\theta 1} + u_{\theta 2})l_y \quad (5.2.4-1)$$

$$u_{y\theta} = u_{\theta 1}(\rho_{\theta 1} + h_1) + u_{\theta 2}(h_1 - \rho_{\theta 2}) \quad (5.2.4-2)$$

$$u_{\theta 1} = \frac{M_{\theta 1}}{(J_\theta + m\rho_{\theta 1}^2)\omega_{n\theta 1}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{n\theta 1}^2}\right)^2 + 4\xi_{h1}^2 \frac{\omega^2}{\omega_{n\theta 1}^2}}} \quad (5.2.4-3)$$

$$u_{\theta 2} = \frac{M_{\theta 2}}{(J_\theta + m\rho_{\theta 2}^2)\omega_{n\theta 2}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{n\theta 2}^2}\right)^2 + 4\xi_{h2}^2 \frac{\omega^2}{\omega_{n\theta 2}^2}}} \quad (5.2.4-4)$$

$$\omega_{n\theta 1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (\omega_{ny}^2 + \omega_{n\theta}^2) - \sqrt{(\omega_{ny}^2 - \omega_{n\theta}^2)^2 + \frac{4mh_1^2}{J_\theta} \omega_{ny}^4} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.2.4-5)$$

$$\omega_{n\theta 2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (\omega_{ny}^2 + \omega_{n\theta}^2) + \sqrt{(\omega_{ny}^2 - \omega_{n\theta}^2)^2 + \frac{4mh_2^2}{J_\theta} \omega_{ny}^4} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.2.4-6)$$

$$\omega_{ny} = \sqrt{\frac{K_y}{m}} \quad (5.2.4-7)$$

$$\omega_{n\theta} = \sqrt{\frac{K_\theta + K_y h_2^2}{J_\theta}} \quad (5.2.4-8)$$

$$M_{\theta 1} = M_0 + F_{vz} e_y \quad (5.2.4-9)$$

$$M_{\theta 2} = M_{\theta 1} \quad (5.2.4-10)$$

$$\rho_{\theta 1} = \frac{\omega_{ny}^2 h_2}{\omega_{ny}^2 - \omega_{n\theta 1}^2} \quad (5.2.4-11)$$

$$\rho_{\theta 2} = \frac{\omega_{ny}^2 h_2}{\omega_{n\theta 2}^2 - \omega_{ny}^2} \quad (5.2.4-12)$$

式中： $u_{z0}$ 、 $u_{y0}$ ——基础顶面控制点由于  $y$ - $\theta$  向耦合振动产生的沿  $z$  轴竖向、沿  $y$  轴水平向的振动位移(m)；

$u_{\theta 1}$ 、 $u_{\theta 2}$ ——基组  $y$ - $\theta$  向耦合振动第一、第二振型的回转角位移(rad)；

$\rho_{\theta 1}$ 、 $\rho_{\theta 2}$ ——基组  $y$ - $\theta$  向耦合振动第一、第二振型转动中心至基组重心的距离(m)；

$\omega_{n\theta 1}$ 、 $\omega_{n\theta 2}$ ——基组  $y$ - $\theta$  向耦合振动第一、第二振型的固有圆频率(rad/s)；

$\omega_{ny}$ 、 $\omega_{n\theta}$ ——基组沿  $y$  轴水平、绕  $x$  轴回转振动的固有圆频率(rad/s)；

$e_y$ ——机器竖向扰力  $F_{vz}$  沿  $y$  轴向的偏心距(m)；

$J_\theta$ ——基组(天然地基)对基组坐标系  $x$  轴的转动惯量( $t \cdot m^2$ )，当为桩基时应采用  $J_{p\theta}$ ；

$M_{\theta 1}$ 、 $M_{\theta 2}$ ——基组  $y$ - $\theta$  向耦合振动中机器扰力(矩)绕通过第一、第二振型转动中心  $O_{\theta 1}$ 、 $O_{\theta 2}$  并垂直于回转面  $zOy$  的轴的总扰力矩( $kN \cdot m$ )；

$M_0$ ——绕  $x$  轴的机器扰力矩 ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )；

$K_y$ ——天然地基沿  $y$  轴的抗剪刚度 ( $\text{kN/m}$ )，当为桩基时应采用  $K_{py}$ ；

$K_0$ ——天然地基绕  $x$  轴的抗弯刚度 ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )，当为桩基时应采用  $K_{p0}$ ；

$\xi_{h1}$ 、 $\xi_{h2}$ ——天然地基  $y$ - $\theta$  向耦合振动第一、第二振型阻尼比，当为桩基时应采用  $\xi_{ph1}$ 、 $\xi_{ph2}$ 。当采用桩基时，公式 (5.2.4-3)~公式 (5.2.4-7) 中的  $m$  应取  $m_{py}$ ，可按本标准公式 (3.4.19-3) 计算。

**5.2.5** 基础顶面控制点沿各轴向的振动位移和振动速度，可按下列公式计算：

$$u = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^n u'_j\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^m u''_k\right)^2} \quad (5.2.5-1)$$

$$v = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^n \omega' u'_j\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^m \omega'' u''_k\right)^2} \quad (5.2.5-2)$$

$$\omega' = 0.105n \quad (5.2.5-3)$$

$$\omega'' = 0.210n \quad (5.2.5-4)$$

式中： $u$ ——基础顶面控制点的振动位移 ( $\text{m}$ )；

$v$ ——基础顶面控制点的振动速度 ( $\text{m/s}$ )；

$u'_j$ ——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位移 ( $\text{m}$ )；

$u''_k$ ——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位移 ( $\text{m}$ )；

$\omega'$ ——机器的一谐扰力和扰力矩的圆频率 ( $\text{rad/s}$ )；

$\omega''$ ——机器的二谐扰力和扰力矩的圆频率 ( $\text{rad/s}$ )；

$n$ ——机器工作转速 ( $\text{r/min}$ )。

**5.2.6** 2 台或 3 台相同类型往复式机器基础，应置于同一底板上构成联合基础 (图 5.2.6)，当符合下列条件时，可将联合基础视为刚性基础，并按下列规定进行动力计算：

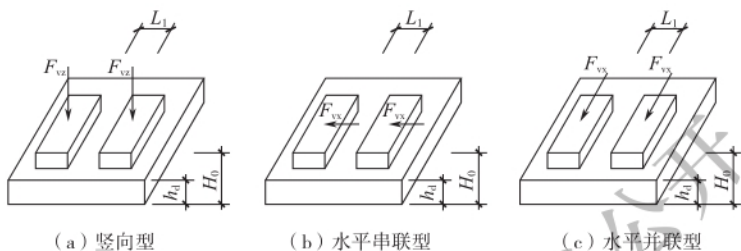


图 5.2.6 联合基础的型式

1 联合基础不同联合型式的刚度界限值,应符合表 5.2.6 的规定。

表 5.2.6 联合基础不同联合型式的刚度界限值  $h_d/L_1$

联合基础的 联合型式	地基抗压刚度系数 $C_2$ (kN/m <sup>3</sup> )							
	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

2 联合基础的固有圆频率应符合下列规定:

竖向型联合基础:

$$\omega \leq 1.3\omega'_{nz} \quad (5.2.6-1)$$

水平串联型、水平并联型联合基础:

$$\omega \leq 1.3\omega'_{n\phi 1} \quad (5.2.6-2)$$

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

$\omega'_{n\phi 1}$  ——联合基础划分为单台基础绕 y 轴水平回转耦合振动第一振型的固有圆频率(rad/s)。

3 联合基础的底板厚度不应小于 600mm;底板厚度与总高度比值,应符合下式要求:

$$\frac{h_d}{H_0} \geq 0.15 \quad (5.2.6-3)$$

式中:  $h_d$  ——联合基础的底板厚度(m);



$H_0$ ——联合基础的总高度(m)。

**5.2.7** 当联合基础作为刚性基础进行动力计算时,应符合本标准第 5.2.1 条~第 5.2.5 条的规定,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位移和联合基础顶面控制点的总振动位移,应取各台机器在扰力和扰力矩作用下的振动位移平方和的平方根。

### 5.3 构造要求

**5.3.1** 墙式基础的底板、纵横墙和顶板尺寸应符合下列规定:

- 1 顶板的厚度应按计算确定,但不宜小于 150mm;
- 2 顶板的悬臂长度,不宜大于 2000mm;
- 3 机身部分墙的厚度,不宜小于 500mm;
- 4 气缸部分墙的厚度,不宜小于 400mm;
- 5 底板的厚度,不宜小于 600mm;
- 6 底板的悬臂长度,当以竖向振动为主时,不宜大于板厚的 2.5 倍;当以水平振动为主时,不宜大于板厚的 3 倍。

**5.3.2** 基础的配筋应符合下列规定:

1 大块式基础应沿四周和顶面、底面配置钢筋网,钢筋直径宜为 10mm~14mm,双向间距宜为 200mm~300mm。

2 墙式基础的墙面应配置钢筋网,竖向钢筋直径宜为 12mm~16mm,水平钢筋直径宜为 10mm~14mm,双向间距宜为 200mm~300mm。上部梁板的配筋应按承载力计算确定,墙与底板、上部梁板连接处应增加构造配筋。

3 大块式基础底板的悬臂部分以及墙式基础底板的配筋,应按承载力计算确定,上下两侧均应配置钢筋。

4 当基础上的开孔或切口尺寸大于 500mm 时,应沿开孔或切口周围配置钢筋,其直径不应小于 12mm、间距不应大于 200mm。

## 6 冲击式机器基础

### 6.1 锻锤基础

#### I 一般规定

6.1.1 锻锤基础的设计宜符合下列规定：

- 1 锻锤基础可采用梯形或台阶形的整体大块式基础；
- 2 当地基土为软弱土或锻锤基础外形尺寸受限制时，宜采用砧座隔振基础或人工地基。

6.1.2 砧座垫层的材料应符合下列规定：

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，并应经干燥及防腐处理，其树种以及力学性能参数应按现行国家标准《木结构设计标准》GB 50005 的规定采用。

2 本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 的锻锤亦可采用 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) 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%。

3 对于不大于 5t 的锻锤可采用橡胶垫，橡胶垫可由普通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；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现行行业标准《耐热输送带》

HG 2297 的有关规定,普通橡胶板的力学性能宜符合现行国家标准《工业用橡胶板》GB/T 5574 的有关规定。

## II 振动计算

**6.1.3** 锻锤基础顶面竖向振动位移、振动加速度和固有圆频率,可按下列公式计算:

$$u_z = \eta_\mu \frac{\psi_e v_o G_o}{\sqrt{K_z G}} \quad (6.1.3-1)$$

$$a_z = u_z \omega_{nz}^2 \quad (6.1.3-2)$$

$$\omega_{nz} = \eta_\lambda \sqrt{\frac{K_z g}{G}} \quad (6.1.3-3)$$

式中: $u_z$ ——锻锤基础的竖向振动位移(m);

$a_z$ ——锻锤基础的竖向振动加速度( $m/s^2$ );

$\eta_\mu$ ——振动位移调整系数;

$\eta_\lambda$ ——频率调整系数;

$\omega_{nz}$ ——锻锤基础的竖向振动固有频率(rad/s);

$K_z$ ——天然地基抗压刚度(kN/m),当为桩基时采用  $K_{pz}$ ;

$G$ ——基础、砧座、锤架及基础上回填土的总重量(kN);当为桩基时,应包括桩和桩间土参加振动的当量重量,其值可按本标准第 3.4.19 条的规定进行换算;

$G_o$ ——落下部分的实际重量(kN);

$\psi_e$ ——冲击回弹影响系数;

$v_o$ ——落下部分的最大速度(m/s)。

**6.1.4** 振动位移调整系数和频率调整系数可按下列规定取值:

1 除岩石外的天然地基,振动位移调整系数可取 0.6,频率调整系数可取 1.6;

2 桩基的振动位移调整系数和频率调整系数可取 1.0。

**6.1.5** 冲击回弹影响系数可按下列规定取值:

1 模锻锤模锻钢制品时,可取  $0.5s/m^{1/2}$ ;模锻有色金属制品时,可取  $0.35s/m^{1/2}$ ;

2 自由锻锤可取  $0.4 \text{ s/m}^{1/2}$ 。

### 6.1.6 锻锤落下部分的最大速度应符合下列规定：

1 对于单作用的自由下落锤，可按下式计算：

$$v_o = 0.9 \sqrt{2gH} \quad (6.1.6-1)$$

2 对于双作用锤，可按下式计算：

$$v_o = 0.65 \sqrt{2gH \frac{P_o A_o + G_o}{G_o}} \quad (6.1.6-2)$$

3 当给出锻锤最大打击能量时，应按下式计算：

$$v_o = \sqrt{\frac{2 \cdot 2g E_1}{G_o}} \quad (6.1.6-3)$$

式中： $H$ ——落下部分最大行程(m)；

$P_o$ ——气缸最大进气压力(kPa)；

$A_o$ ——气缸活塞面积( $\text{m}^2$ )；

$E_1$ ——锤头最大打击能量(kJ)。

6.1.7 单臂锻锤基础的锤击中心、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，锤击中心与基础底面形心应对准，且锤击中心与基组重心的偏心距不应大于基础偏心方向边长的5%；锻锤基础边缘的竖向振动位移可按下式计算：

$$u_{ez} = u_z \left( 1 + 3.0 \frac{e_h}{b_h} \right) \quad (6.1.7)$$

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

$e_h$ ——锤击中心与基组重心的偏心距(m)；

$b_h$ ——锻锤基础偏心方向的边长(m)。

6.1.8 垫层上砧座的竖向振动位移可按下式计算：

$$u_{z1} = \psi_c G_o v_o \sqrt{\frac{d_o}{EG_h A_1}} \quad (6.1.8)$$

式中： $u_{z1}$ ——垫层上砧座的竖向振动位移(m)；

$d_o$ ——砧座下垫层的总厚度(m)，可按第6.1.9条的规定

取值；

$G_h$ ——对模锻锤为砧座和锤架的总重量，对自由锻锤为砧座重量(kN)；

$A_1$ ——砧座底面积(m<sup>2</sup>)。

**6.1.9** 砧座下垫层的总厚度不应小于表 6.1.9 的规定值，总厚度可按下式计算：

$$d_o = \frac{\psi_c^2 G_o v_o^2 E}{f_c^2 G_h A_1} \quad (6.1.9)$$

式中： $f_c$ ——垫层承压强度设计值(kN/m<sup>2</sup>)；

$E$ ——垫层的弹性模量(kN/m<sup>2</sup>)。

**表 6.1.9 垫层最小总厚度**

落下部分公称质量(t)	木垫(mm)	橡胶垫胶带(mm)
0.25	150	20
0.40	200	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	—
20.00	1400	—
25.00	1600	—

### III 构造要求

**6.1.10** 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 0.5m~1.0m 用螺栓将方木拧紧,螺栓直径可按表 6.1.10 采用。

**表 6.1.10 多层横放木垫连接螺栓直径**

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

**2** 木垫竖放时,宜在砧座凹坑底面先横放一层厚 100mm~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。

**6.1.11** 砧座垫层下基础部分的最小厚度应符合表 6.1.11 的规定。

**表 6.1.11 砧座垫层下基础部分的最小厚度**

落下部分公称质量(t)	最小厚度(mm)
≤0.75	800
1.00	1000
2.00	1200
3.00	1750
5.00	2000
10.00	2750
16.00	3500
20.00	4000
25.00	4500

**6.1.12** 锻锤基础在砧座垫层下 1.5m 高度范围内,不得设置施工缝;砧座垫层下的基础上表面应一次抹平,不得做找平层;木垫下基础的水平向倾斜度不应大于 1‰,橡胶垫下的水平向倾斜度不应大于 0.5‰。

**6.1.13** 基础的配筋应符合下列规定:

1 砧座垫层下基础上部应配置水平钢筋网,钢筋直径宜为 12mm~20mm,钢筋间距宜为 100mm~150mm,伸过砧座凹坑内壁的长度,不宜小于 50 倍钢筋直径;钢筋网宜伸至基础外缘,钢筋网的层数可按表 6.1.13 采用,各层钢筋网的竖向间距宜为 100mm~200mm,并宜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 30mm~50mm。

表 6.1.13 钢筋网层数

落下部分公称质量(t)	≤1	2~3	5~10	16	20~25
钢筋网层数	2	3	4	5	6

2 砧座凹坑的四周应配置竖向钢筋网,钢筋间距宜采用 100mm~250mm;当锻锤小于 5t 时,钢筋直径宜采用 12mm~20mm;当锻锤不小于 5t 时,钢筋直径宜采用 20mm~25mm;竖向钢筋宜伸至基础底面。

3 基础的底面应配置水平钢筋网,钢筋间距宜为 100mm~250mm;当锻锤小于 5t 时,钢筋直径宜采用 12mm~20mm;当锻锤不小于 5t 时,钢筋直径宜采用 18mm~25mm。

4 基础及基础台阶顶面,砧座凹坑外侧面及不小于 2t 的锻锤基础侧面,应配置钢筋网,钢筋直径宜采用 12mm~20mm、间距宜为 150mm~250mm。

5 不小于 5t 锻锤砧座垫层下的基础,应沿竖向配置水平钢筋网,钢筋直径宜采用 12mm~20mm,水平间距不宜大于 400mm,竖向间距不宜大于 800mm。

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

**6.1.15** 锻锤基础与厂房基础的净距不宜小于 500mm；当同一厂房内有多台 10t 及以上的锻锤时，各锻锤基础中心线的距离不宜小于 30m 或采用隔振基础。

## 6.2 落锤基础

### I 一般规定

**6.2.1** 落锤破碎坑基础的结构形式，应根据生产工艺、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。

**6.2.2** 简易破碎坑基础的设计应符合下列规定：

1 当地基土为一、二类土时，破碎坑基础的底部在深度不小于 2m 的土坑内宜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，其上应铺砌砧块；

2 当地基土为三、四类土时，破碎坑中的废钢锭、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 1m~2m；

3 简易破碎坑基础可不进行动力计算。

**6.2.3** 落锤车间的破碎坑基础应符合下列要求：

1 落锤车间的破碎坑基础，应采用带圆筒形或矩形钢筋混凝土坑壁的基础，埋置深度应根据地质情况及构造要求确定，宜取 3m~6m。

2 对一、二、三类地基土，可不设刚性底板[图 6.2.3(a)]，当为四类土时，宜采用带刚性底板的槽形基础[图 6.2.3(b)]。

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

1) 对冲击能量不大于 1200kJ 的落锤，铺砌厚度不应小于 1.0m；

2) 对冲击能量大于 1200kJ 的落锤，铺砌厚度不应小



于 1.5m。

#### 4 破碎坑的最上层应铺设砧块。

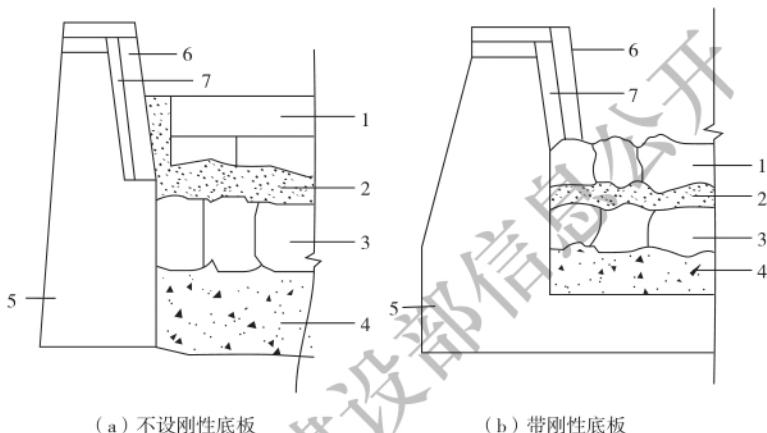


图 6.2.3 钢筋混凝土破碎坑基础

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

**6.2.4** 当落锤破碎坑基础建造在饱和的粉土、细砂或淤泥质土层上时，地基应进行人工加固处理。

## II 振动计算

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

$$u_z = 1.4G_0 \sqrt{\frac{H}{GK_z}} \quad (6.2.5-1)$$

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{K_z g}{G}} \quad (6.2.5-2)$$

$$a = u_z \omega_{nz}^2 \quad (6.2.5-3)$$

式中： $G$ ——基础、砧块和填充料等总重(kN)。

**6.2.6** 落锤破碎坑基础的容许振动位移和容许振动加速度，可按表 6.2.6 采用。

表 6.2.6 破碎坑基础的容许振动位移和容许振动加速度

地基石类别	一类土	二类土	三类土	四类土
容许振动位移(mm)	2.5			
容许振动加速度(m/s <sup>2</sup> )	8.8~11.8	6.9~8.8	4.9~6.9	4.0~4.9

注：表中容许振动加速度，当为黏性土时可取较大值，砂土时可取较小值。

### Ⅲ 构造要求

**6.2.7** 根据落锤的冲击能量，圆筒形坑壁的厚度宜为 300mm~600mm，坑壁内、外应各配一层钢筋网，环向总配筋率不宜小于 1.2%，竖向总配筋率不宜小于 0.5%。

**6.2.8** 矩形破碎坑的设计，应符合下列规定：

1 矩形坑壁顶部厚度不宜小于 500mm，底部厚度不宜小于 1500mm；

2 坑壁四周、顶部和底面应配筋，水平向钢筋直径宜采用 18mm~25mm，竖向钢筋直径宜采用 16mm~25mm，钢筋间距宜为 150mm~200mm；沿坑壁内转角应增设直径为 12mm~20mm、间距为 200mm 的水平钢筋；

3 坑壁外露部分的内侧和顶部，根据可能碰撞的情况，宜增设 1 层~2 层钢筋网，钢筋直径宜采用 12mm~20mm，间距宜为 200mm；

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。

**6.2.9** 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：

1 槽形破碎坑基础的构造，应符合表 6.2.9 的规定；

2 基础底板上部 and 下部应配置钢筋网，上部钢筋直径宜为 12mm~20mm，间距宜为 250mm~300mm，下部钢筋直径宜为 16mm~25mm，间距宜为 300mm~400mm，钢筋网层数应符合表 6.2.9 的规定，各层钢筋网的竖向距离宜为 100mm~150mm。

表 6.2.9 槽形基础的底板最小厚度及钢筋网层数

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	5	3
≥1800	2.50	3.00	6	3

6.2.10 破碎坑的砧块应符合下列规定：

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

$$G_b \geq G_o H \quad (6.2.10)$$

式中： $G_b$ ——砧块自重(kN)；

$G_o$ ——落锤锤头重(kN)。

2 破碎坑的砧块采用数块钢板或钢锭拼成时，每块钢板或钢锭应互相紧密接触，间隙可采用碎钢粒填实；钢锭的截面应符合下列规定：

- 1) 当落锤冲击能量小于 1200kJ 时，钢锭的厚度不宜小于 600mm；
- 2) 当落锤冲击能量不小于 1200kJ，仅采用一层钢锭时，钢锭的厚度不应小于 1000mm，采用二层钢锭时，钢锭的厚度不宜小于 600mm。

3 砧块与废钢锭、废铁块之间，可采用 150mm~200mm 厚的碎铁块和钢颗粒填充，并应使其表面平整、接触严密。

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

1 坑内侧与顶面应采用钢锭或钢坯保护，内侧处钢锭厚度不宜小于 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 的低碳钢钢板进行保护；

2 钢锭、钢坯或钢板与混凝土壁表面间应衬以厚度不小于 150mm 的方木或厚度不小于 20mm 的橡胶垫。

## 7 压力机基础

### 7.1 一般规定

7.1.1 热模锻压力机和通用机械压力机基础宜采用地坑式钢筋混凝土结构；当生产和工艺不要求设地坑时，亦可采用大块式钢筋混凝土基础；螺旋压力机宜采用大块式钢筋混凝土基础。

7.1.2 压力机基础的自重，不宜小于压力机自重的 1.1 倍~1.5 倍，对软弱地基可取压力机自重的 1.5 倍。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。

7.1.3 当采用天然地基时，公称压力为 10000kN 及以上的热模锻压力机和通用机械压力机基础以及公称压力为 6300kN 及以上的螺旋压力机基础不宜设置在四类土层上；当必须设置在四类土地基上时，压力机基础宜采用人工地基。

7.1.4 公称压力小于 12500kN 的热模锻压力机和通用机械压力机基础以及公称压力小于 6300kN 的螺旋压力机基础，当对振动无特殊要求时可不进行动力计算。

### 7.2 振动计算

7.2.1 热模锻压力机和通用机械压力机基础的动力计算，应按启动阶段和锻压阶段两种情况进行；启动阶段应计算基础的竖向和水平向振动位移，锻压阶段可仅计算基础的竖向振动位移。

7.2.2 热模锻压力机和通用机械压力机启动阶段，机组在通过其重心的竖向扰力作用下，竖向振动位移、固有圆频率和固有周期可按下列公式计算：

$$u_z = \frac{0.6 F_{vz(0)}}{K_z} \eta_{\max} \quad (7.2.2-1)$$

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{K_z}{m}} \quad (7.2.2-2)$$

$$T_{nz} = \frac{2\pi}{\omega_{nz}} \quad (7.2.2-3)$$

式中： $u_z$ ——基础竖向振动位移；

$F_{vz0}$ ——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)；

$\eta_{\max}$ ——动力系数，可按本标准附录D的规定确定；

$K_z$ ——天然地基抗压刚度，当为桩基时采用  $K_{pz}$ ；

$m$ ——天然地基上机组的质量(t)，当为桩基时采用  $m_{pz}$ ；

$\omega_{nz}$ ——基础竖向固有圆频率。

**7.2.3 热模锻压力机和通用机械压力机的启动阶段，机组在水平扰力、扰力矩和竖向扰力的偏心作用下(图 7.2.3)，竖向振动位移、水平向振动位移和固有圆频率可按下列公式计算：**

$$u_{\phi} = u_z + (u_{\phi 1} + u_{\phi 2}) l_x \quad (7.2.3-1)$$

$$u_{x\phi} = u_{\phi 1} (h_1 + \rho_{\phi 1}) + u_{\phi 2} (h_1 - \rho_{\phi 2}) \quad (7.2.3-2)$$

$$u_{\phi 1} = \frac{0.9 M_{\phi 1}}{(J_{\phi} + m \rho_{\phi 1}^2) \omega_{n\phi 1}^2} \cdot \eta_{1\max} \quad (7.2.3-3)$$

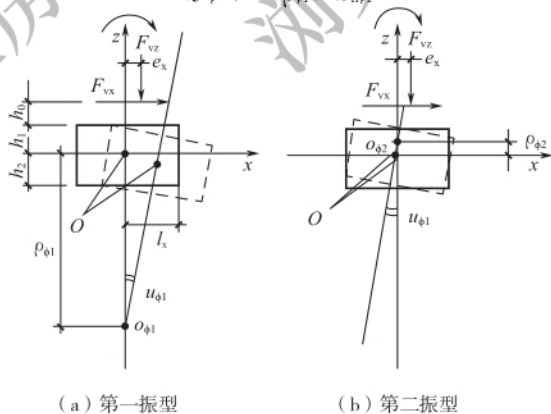


图 7.2.3 机组振型

$$u_{\phi 2} = \frac{0.9 M_{\phi 2}}{(J_{\phi} + m \rho_{\phi 2}^2) \omega_{n\phi 2}^2} \cdot \eta_{2\max} \quad (7.2.3-4)$$

$$\omega_{n\phi 1}^2 = \frac{1}{2} \left[ (\omega_{nx}^2 + \omega_{n\phi}^2) - \sqrt{(\omega_{nx}^2 - \omega_{n\phi}^2)^2 + \frac{4m h_2^2}{J_{\phi}} \omega_{nx}^4} \right] \quad (7.2.3-5)$$

$$\omega_{n\phi 2}^2 = \frac{1}{2} \left[ (\omega_{nx}^2 + \omega_{n\phi}^2) + \sqrt{(\omega_{nx}^2 - \omega_{n\phi}^2)^2 + \frac{4m h_2^2}{J_{\phi}} \omega_{nx}^4} \right] \quad (7.2.3-6)$$

$$\omega_{nx}^2 = \frac{K_x}{m} \quad (7.2.3-7)$$

$$\omega_{n\phi}^2 = \frac{K_{\phi} + K_x h_2^2}{J_{\phi}} \quad (7.2.3-8)$$

$$M_{\phi 1} = M_{\phi} + F_{vx}(h_1 + h_0 + \rho_{\phi 1}) + F_{vz} e_x \quad (7.2.3-9)$$

$$M_{\phi 2} = M_{\phi} + F_{vx}(h_1 + h_0 - \rho_{\phi 2}) + F_{vz} e_x \quad (7.2.3-10)$$

$$\rho_{\phi 1} = \frac{\omega_{nx}^2 h_2}{\omega_{nx}^2 - \omega_{n\phi 1}^2} \quad (7.2.3-11)$$

$$\rho_{\phi 2} = \frac{\omega_{nx}^2 h_2}{\omega_{n\phi 2}^2 - \omega_{nx}^2} \quad (7.2.3-12)$$

式中： $u_{z\phi}$ ——基础顶面控制点在水平扰力  $F_{vx}$ 、扰力矩  $M_{\phi}$  及竖向扰力  $F_{vz}$  偏心作用下的竖向振动位移(m)；

$u_{x\phi}$ ——基础顶面控制点在水平扰力  $F_{vx}$ 、扰力矩  $M_{\phi}$  及竖向扰力  $F_{vz}$  偏心作用下的水平向振动位移(m)；

$\omega_{n\phi 1}$ ——基组水平回转耦合振动第一振型的固有频率(rad/s)；

$\omega_{n\phi 2}$ ——基组水平回转耦合振动第二振型的固有频率(rad/s)；

$M_{\phi 1}$ ——绕通过第一振型转动中心  $O_{\phi 1}$  并垂直于回转面的轴的总扰力矩(kN·m)；

$M_{\phi 2}$ ——绕通过第二振型转动中心  $O_{\phi 2}$  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，可按本标准附录 D 的规定确定；

$\eta_{2\max}$ ——第二振型有阻尼动力系数,可按本标准附录 D 的规定确定。

**7.2.4** 热模锻压力机的锻压阶段,基组的竖向振动位移应按下列公式计算:

$$u_z = 1.2 \frac{F_H}{K_z} \cdot \frac{\omega_{nz}^2}{\omega_{nm}^2 - \omega_{nz}^2} \quad (7.2.4-1)$$

$$\omega_{nm}^2 = \frac{K_1}{m_1} \quad (7.2.4-2)$$

$$m_1 = m_u + m_m + 0.5m_c \quad (7.2.4-3)$$

式中: $F_H$ ——压力机公称压力(kN);

$\omega_{nm}$ ——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),当为装配型压力机时,应包括拉杆螺栓的质量。

**7.2.5** 螺旋压力机的锻压阶段,基组的扭转振动角位移可按下列公式计算:

$$u_\psi = 0.6 \frac{M_\psi}{K_\psi} \eta_{\psi\max} \quad (7.2.5)$$

式中: $M_\psi$ ——螺旋压力机的扭转抗力矩(kN·m),可按现行国家标准《建筑振动荷载标准》GB/T 51228 的规定确定;

$k_\psi$ ——基组的抗扭刚度(kN·m);

$\eta_{\psi\max}$ ——动力系数,可按本标准附录 D 的规定确定。

### 7.3 构造要求

**7.3.1** 压力机基础的混凝土强度等级不应低于 C30;对于地坑式基础,当有地下水时应采用防水混凝土。

7.3.2 热模锻压力机和通用机械压力机基础侧壁和底板的厚度应按计算确定,侧壁厚度不应小于 200mm,底板厚度不应小于 300mm;对公称压力为 20000kN 及以上的压力机基础,侧壁和底板的厚度应适当增加。

7.3.3 压力机基础的配筋应按计算确定,构造应符合下列规定:

1 压力机基础的钢筋应采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500、HRB335、RRB400 钢筋;

2 热模锻压力机和通用机械压力机基础侧壁内外侧、底板上下部以及台阶顶面和侧面,应配置间距为 150mm 的钢筋网,对公称压力 20000kN 及以下的压力机基础,钢筋直径可采用 12mm;公称压力大于 20000kN 的压力机基础,钢筋直径不宜小于 14mm;

3 螺旋压力机大块式基础钢筋直径不宜小于 12mm;

4 在地脚螺栓套筒下端应加设一层钢筋网(图 7.3.3)。

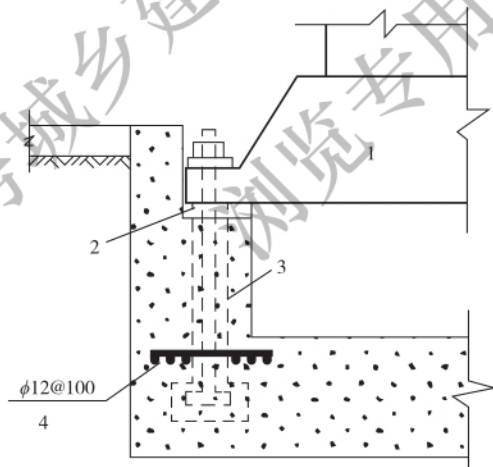


图 7.3.3 压力机底座支承示意图

1—底座;2—二次浇灌层;3—地脚螺栓套筒;4—钢筋网



## 8 破碎机和磨机基础

### 8.1 破碎机基础

#### I 一般规定

8.1.1 破碎机基础型式应符合下列规定:

- 1 一般情况下,宜采用大块式基础;
- 2 当机器底座位置较高时,宜采用墙式基础或框架式基础;
- 3 当多台破碎机设置在一起时,宜采用联合基础;
- 4 当采用天然地基不能满足承载力或沉降要求时,应进行地基处理或采用桩基础;

5 当设置在稳定基岩上,且符合本标准附录 A 中第 A.0.1 条规定时,可采用锚杆基础,锚杆基础设计应符合本标准附录 A 的规定;

6 当设置在楼层上或需减小振动影响时,宜采用隔振基础或采取隔振措施。

8.1.2 除岩石地基外,破碎机基础基组的平衡设计应符合本标准第 3.2.3 条的规定;扰力作用方向的基组固有频率应避免与干扰主频率产生共振。

#### II 振动计算

8.1.3 破碎机基础的振动计算应符合下列规定:

- 1 墙式基础可按大块式基础计算;
- 2 大块式基础的振动位移应按本标准第 5.2 节的规定计算;
- 3 框架式基础顶板的竖向振动位移可不计算;水平扰力作用方向的横向水平振动位移,可按本标准公式(4.3.2-1)~公式(4.3.2-10)计算;水平扰力作用方向的纵向水平振动位移,可按本标准公式(4.3.3-1)~公式(4.3.3-10)计算;

4 联合基础振动控制点的振动位移,宜取各台机器在该点产生的振动位移计算值的平方和开方;

5 锚杆基础可不进行振动计算。

8.1.4 墙式基础和框架式基础的振动控制点,应取振动最大的顶板角点。

8.1.5 破碎机基底平均静压力计算时,除满足本标准第 3.3.1 条规定外,尚应计入破碎机基础作用于基底的振动荷载,振动荷载可取破碎机扰力的 3 倍~4 倍,锤式及反击式宜取较大值。

### III 构造要求

8.1.6 墙式基础的设置应符合下列规定:

1 墙设置宜符合下列规定:

- 1) 墙宜双向设置;
- 2) 当不能双向设置时,宜平行于水平主扰力方向设置,墙厚不应小于 400mm,高厚比不宜大于 6;
- 3) 当墙不能平行于水平主扰力方向设置,或平行于水平主扰力方向设置的墙同时承受垂直于墙的较大扰力时,墙厚不应小于 500mm,高厚比不宜大于 4;
- 4) 单向设置的墙高度大于 3m 时,设备支座下及墙端宜设扶壁柱或暗柱,设备以下空间宜连成整体。

2 墙顶应设顶板,顶板应符合下列规定:

- 1) 顶板厚度不宜小于 500mm 和板跨的 1/6,当需安装地脚螺栓时,应满足螺栓锚固长度要求;
- 2) 顶板悬臂长度不宜大于 1500mm,厚度不宜小于 200mm,当支承辅机时,悬臂部分厚度不宜小于 500mm,且应满足螺栓锚固长度要求;
- 3) 顶板洞口边无墙时,应设边梁或暗梁。

3 墙底应设筏板基础,基础厚度不应小于 600mm 和墙厚,联合基础的厚度不应小于 800mm;悬臂长度不应大于筏板厚度的 2.5 倍。

**8.1.7** 框架式基础的设置,应符合下列规定:

- 1 框架宜双向设置;
- 2 破碎机应支承在框架柱顶和框架梁上;
- 3 框架顶节点宜加掖,当水平刚度不足时,宜双向设置柱间支撑。

**8.1.8** 破碎机基础与相邻建筑物基础的基底应持平并完全脱离,当局部重叠时,应设凹槽垫干砂或柔性材料隔离,基础四周宜设隔振沟。

## 8.2 磨机基础

### I 一般规定

**8.2.1** 磨机应采用混凝土基础,基础型式应符合下列规定:

- 1 一般情况下,宜采用大块式基础或墙式基础;
- 2 当工艺需要且地基承载力满足要求时,管磨机的磨头和磨尾可分别采用独立基础;
- 3 当多台磨机设置在一起时,可采用联合基础;
- 4 当天然地基的承载力或沉降不满足要求时,应进行地基处理或采用桩基础;
- 5 当振动控制不满足要求时,宜采用隔振基础或采取隔振措施。

**8.2.2** 当磨机与辅助机械采用同一基础时,磨机宜设置于基础中部区域;当必须偏置时,磨机下对应的基底压应力不应超过基底压应力平均值。

**8.2.3** 除岩石地基外,磨机基础基组的平衡设计应符合本标准第3.2.3条的规定;磨机主要扰力作用方向的基组固有频率,宜避免与干扰频率产生共振。

### II 振动计算

**8.2.4** 当周边环境对磨机基础振动无控制要求时,中、低转速磨机的大块式基础和墙式基础可不进行振动位移验算。

8.2.5 高转速磨机及工程需要控制振动的磨机基础,振动位移可按本标准第 5.2 节的规定计算。

8.2.6 磨机墙式基础振动位移控制点,宜取基础顶板的角点。

### III 内力计算

8.2.7 卧式磨机基底静压力计算时,除应符合本标准第 3.3.1 条规定外,尚应包括碾磨体的定向水平荷载产生的基底倾覆力矩,倾覆力矩值可按磨机内碾磨体总重力的 15% 作用于端轴承中心处计算(图 8.2.7)。

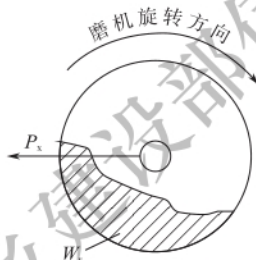


图 8.2.7 卧式磨机定向水平当量荷载

注:  $P_s$  为碾磨体的定向水平当量荷载;  $W_t$  为磨机内碾磨体总量。

### IV 构造要求

8.2.8 磨机基础与相邻建筑物基础的基底应持平并完全脱离;当局部重叠时,应设凹槽垫干砂或柔性材料隔离;当周围环境对振动控制要求较高时,基础四周宜设隔振沟。

8.2.9 磨机基础的构造和配筋,当大型磨机的深基础厚度超过 3 m 时,宜在基础内沿高度方向按间距 1500mm~2000mm 配置双向钢筋网片,钢筋直径不宜小于 12mm,间距不宜小于 300mm。

8.2.10 球(棒)磨机小齿轮支座处的水平配筋,直径不宜小于 12mm,间距不宜大于 100mm。

## 9 振动试验台基础

### 9.1 液压振动台基础

#### I 动力计算

9.1.1 液压振动台振动荷载的确定应符合下列规定：

1 液压振动台基础设计时的振动荷载，应取作动器或激振器作用在基础上的激振力；振动荷载应满足包络条件并应覆盖试验频率范围。

2 振动荷载计算时应按被试对象的动力特性计入动力放大系数，放大系数应符合下列规定：

- 1) 轮胎耦合道路模拟试验机，动力放大系数可取 1.25；
- 2) 对于质量较大且动力特性复杂的被试对象，振动荷载应根据试验过程中试件共振响应大小计入相应的动力放大系数；
- 3) 当被试对象重心较高，且水平激振作用时，应计入试件水平运动过程中产生的倾覆力矩。

9.1.2 液压振动台基础设计时，应验算下列情况下基础的振动：

1 竖向激振力作用在基础重心上，基础产生的竖向振动[图 9.1.2(a)]；

2 扭转力矩绕基础竖向  $z$  轴作用时，基础产生的横摆振动[图 9.1.2(b)]；

3 竖向偏心激振力和水平激振力同时作用在基础上，基础产生俯仰或侧倾和平动的耦合振动[图 9.1.2(c)、图 9.1.2(d)]。

9.1.3 竖向扰力沿基础重心作用时[图 9.1.2(a)]，液压振动台基础的竖向振动位移可按本标准第 5.2.1 条计算。

9.1.4 在水平扭转力矩绕基础竖向  $z$  轴作用时[图 9.1.2(b)]，

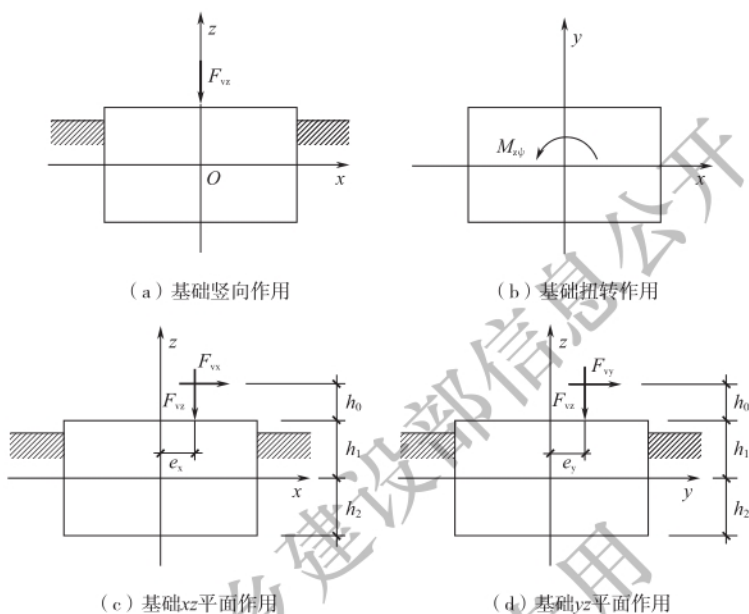


图 9.1.2 液压振动台基础振动作用

液压振动台基础产生横摆振动,基础顶面控制点处沿  $x$ 、 $y$  轴的水平振动位移,可按本标准第 5.2.2 条计算;基础绕  $z$  轴的水平摆动角位移可按下式计算:

$$u_{\phi} = \frac{M_{z\phi}}{K_{\phi} \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{n\phi}^2}\right)^2 + 4\zeta_{\phi}^2 \frac{\omega^2}{\omega_{n\phi}^2}}} \quad (9.1.4)$$

式中:  $u_{\phi}$  ——基础绕  $z$  轴水平摆动的振动角位移(rad);

$M_{z\phi}$  ——基础扭转力矩(kN·m);

$\omega_{n\phi}$  ——基础横摆振动固有圆频率(rad/s)。

**9.1.5** 在沿  $x$  向偏心的竖向扰力  $F_{vz}$  和水平扰力  $F_{vx}$  作用下[图 9.1.2(c)],液压振动台基础产生俯仰和平动耦合振动时,基础顶面控制点  $x$  向水平和竖向的振动位移,可按本标准第 5.2.3 条的规定计算。

**9.1.6** 在沿  $y$  向偏心的竖向扰力  $F_{vz}$  和水平扰力  $F_{vy}$  作用下[图 9.1.2(d)], 液压振动台基础产生侧倾和平动耦合振动时, 基础顶面控制点  $y$  向水平和竖向的振动位移, 可按本标准第 5.2.4 条的规定计算, 其中  $M_{\theta 1}$  和  $M_{\theta 2}$  可按下列公式计算:

$$M_{\theta 1} = F_{vy}(h_1 + h_0 + \rho_{\theta 1}) + F_{vz}e_y \quad (9.1.6-1)$$

$$M_{\theta 2} = F_{vy}(h_1 + h_0 - \rho_{\theta 2}) + F_{vz}e_y \quad (9.1.6-2)$$

式中:  $M_{\theta 1}$ 、 $M_{\theta 2}$ ——基组  $y$ - $\theta$  向耦合振动中机器扰力(矩)绕通过第一、第二振型转动中心  $O_{\theta 1}$ 、 $O_{\theta 2}$  并垂直于回转面  $zOy$  轴的总扰力矩( $\text{kN} \cdot \text{m}$ );

$h_0$ ——水平扰力  $F_{vy}$  作用线至基础顶面的距离(m);

$h_1$ ——基组重心至基础顶面的距离(m);

$\rho_{\theta 1}$ 、 $\rho_{\theta 2}$ ——基组  $y$ - $\theta$  向耦合振动第一、第二振型转动中心至基组重心的距离(m);

$e_y$ ——机器竖向扰力  $F_{vz}$  沿  $y$  轴向上的偏心距(m);

$F_{vy}$ ——机器沿  $y$  轴的水平扰力(kN);

$F_{vz}$ ——机器的竖向扰力(kN)。

**9.1.7** 当液压振动台基础同时具有俯仰和侧倾振动时, 应按本标准第 9.1.5 条和第 9.1.6 条的规定分别计算俯仰和侧倾两个竖向位移分量, 基础顶面控制点的竖向振动位移, 宜按下式进行叠加:

$$u_z = \sqrt{u_{z\phi}^2 + u_{z\theta}^2} \quad (9.1.7)$$

式中:  $u_z$ ——基础顶面控制点的竖向振动位移(m);

$u_{z\phi}$ —— $x$ - $\phi$  向耦合振动产生的基础顶面控制点沿  $z$  轴竖向的振动位移(m);

$u_{z\theta}$ —— $y$ - $\theta$  向耦合振动产生的基础顶面控制点沿  $z$  轴竖向的振动位移(m)。

## II 构造要求

**9.1.8** 液压振动台基础的材料和连接应符合下列规定:

- 1 振动试验台基础宜采用整体块式混凝土结构;
- 2 振动台基础混凝土强度等级不应低于 C30, 受力钢筋应采

用 HRB400、HRB500、HRBF400 和 HRBF500 钢筋；二次灌注应采用比基础混凝土高一个等级的微膨胀混凝土或者专用灌浆料；

3 混凝土块状基础内应设置三向分布钢筋，钢筋直径不宜小于 14mm，间距不宜大于 500mm；振动试验台基础侧面、顶面及底面应设置双向分布钢筋，钢筋直径不宜小于 14mm，间距不宜大于 200mm；

4 垫层厚度不宜小于 100mm，垫层混凝土强度等级不宜低于 C15；

5 混凝土保护层厚度不宜小于 40mm，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定；

6 振动台基础周边应设置宽度不小于 50mm 的防振缝，防振缝可采用聚苯板、沥青麻丝等软性材料填充；

7 振动台基础宜与设备管沟分开，设置不小于 50mm 的防振缝，防振缝可采用橡胶板、挤型板、聚苯板、沥青麻丝等软性材料填充，并应做相应的防水处理；

8 振动台基础宜与建筑物基础、上部结构以及混凝土地面分开；

9 当管道与振动台连接产生较大振动时，管道与振动台连接宜采用柔性连接。

#### 9.1.9 液压振动台基础的构造应符合下列规定：

1 振动台基础底面边长不应小于基础厚度，立柱式振动试验台基础底面长边与短边之比、厚度与短边之比均不宜大于 2.0，多轴向振动试验台基础底面长边与短边之比、厚度与短边之比均不应小于 1.5，基础厚度不宜小于 2.0m；

2 对于道路模拟试验机等仅有竖向激振力作用的振动试验台基础，其基础重量不应小于最大激振力的 10 倍；地震试验台和 MAST 振动台等多方向、多自由度激振振动试验台，基础重量不应小于最大总激振力的 15 倍；

3 液压振动台基础不应直接设置在四类土上，当地基为四类



土地基时,应采用人工地基。

## 9.2 电动振动台基础

### I 动力计算

9.2.1 电动振动台基础动力设计时,应验算下列情况下基础的振动:

1 竖向激振力作用在基础重心上,基础产生的竖向振动[图 9.2.1(a)];

2 竖向激振力作用点偏离基础重心,作用在通过平行于基础长边的对称轴上,基础产生俯仰和平动耦合振动[图 9.2.1(b)];

3 水平激振力作用在基础上方,且平行于基础长边的对称轴,基础产生侧倾和平动耦合振动[图 9.2.1(c)]。

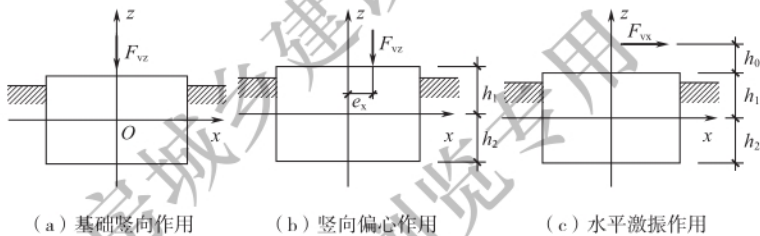


图 9.2.1 电动振动台基础振动作用

9.2.2 竖向扰力沿基础重心作用时[图 9.2.1(a)],基础的竖向振动位移可按本标准第 5.2.1 条规定计算。

9.2.3 在沿  $x$  向偏心的竖向扰力  $F_{vz}$  作用下[图 9.2.1(b)],电动振动台基础产生回转和平动耦合振动时,基础顶面控制点  $x$  向水平和竖向振动位移可按本标准第 5.2.3 条的规定计算,其中  $M_{\phi 1}$  和  $M_{\phi 2}$  可按下列公式计算:

$$M_{\phi 1} = F_{vz} e_x \quad (9.2.3-1)$$

$$M_{\phi 2} = F_{vz} e_x \quad (9.2.3-2)$$

式中: $M_{\phi 1}$ 、 $M_{\phi 2}$ ——基组  $x-\phi$  向耦合振动中机器扰力(矩)绕通过第一、第二振型转动中心  $O_{\phi 1}$ 、 $O_{\phi 2}$  并垂直于回转

面  $zOx$  轴的总扰力矩 ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ ) ;

$e_x$  —— 机器竖向扰力  $F_{vz}$  沿  $x$  轴向的偏心距 ( $\text{m}$ ) ;

$F_{vz}$  —— 机器的竖向扰力 ( $\text{kN}$ ) 。

**9.2.4** 在沿  $x$  方向水平扰力  $F_{vx}$  作用下 [图 9.2.1(c)], 电动振动台基础产生回转和平动的耦合振动时, 基础顶面控制点  $x$  向水平和竖向振动位移可按本标准第 5.2.3 条的规定计算, 其中  $M_{\phi 1}$  和  $M_{\phi 2}$  可按下列公式计算:

$$M_{\phi 1} = F_{vx}(h_1 + h_0 + \rho_{\phi 1}) \quad (9.2.4-1)$$

$$M_{\phi 2} = F_{vx}(h_1 + h_0 - \rho_{\phi 2}) \quad (9.2.4-2)$$

式中:  $M_{\phi 1}$ 、 $M_{\phi 2}$  —— 基组  $x-\phi$  向耦合振动中机器扰力 (矩) 绕通过第一、第二振型转动中心  $O_{\phi 1}$ 、 $O_{\phi 2}$  并垂直于回转面  $zOx$  轴的总扰力矩 ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ ) ;

$h_0$  —— 水平扰力  $F_{vx}$  作用线至基础顶面的距离 ( $\text{m}$ ) ;

$h_1$  —— 基组重心至基础顶面的距离 ( $\text{m}$ ) ;

$\rho_{\phi 1}$ 、 $\rho_{\phi 2}$  —— 基组  $x-\phi$  向耦合振动第一、第二振型转动中心至基组重心的距离 ( $\text{m}$ ) ;

$F_{vx}$  —— 机器沿  $x$  轴的水平扰力 ( $\text{kN}$ ) 。

## II 构造要求

**9.2.5** 电动振动台基础的材料和连接, 应符合本标准第 9.1.8 条的规定。

**9.2.6** 电动振动台基础的构造应符合下列规定:

1 振动台基础底面边长均不应小于基础厚度, 竖向激振的电动振动台基础底面长边与短边之比不宜大于 2.0, 水平向激振的振动台基础底面沿激振方向的边长和厚度之比不应小于 1.5, 基础厚度不宜小于 1.0m;

2 带有隔振装置的电动振动台, 基础重量不应小于激振力的 3.5 倍;

3 电动振动台基础不宜直接设置在四类土上, 当地基为四类土时, 应采用人工地基。

## 10 金属切削机床基础

10.0.1 机床的类型宜按表 10.0.1 进行划分。

表 10.0.1 机床类型划分表

单机重 $G$ (kN)	$G \leq 100$	$100 < G \leq 300$	$300 < G \leq 1000$
机床分类	中小型机床	大型机床	重型机床

10.0.2 机床基础的形式应符合下列规定：

1 中小型机床可采用混凝土地面作为基础，混凝土地面应符合现行国家标准《建筑地面设计规范》GB 50037 的有关规定；

2 大型机床宜采用单独基础或将混凝土地面局部加厚；

3 重型机床和精密机床应采用单独基础或桩筏基础；

4 机床与基础或机床与地面之间宜设置可调整机床水平度的弹性垫、楔形调整垫或楔形隔振调整垫。

10.0.3 当机床安装在单独基础上时，应符合下列规定：

1 基础平面尺寸不应小于机床支承面的外廓尺寸，并应满足安装、调整和维修要求；

2 金属切削机床基础的混凝土厚度宜按表 10.0.3 确定。

表 10.0.3 金属切削机床基础的混凝土厚度

机床名称	基础的混凝土厚度(m)
卧式车床	$0.3 + 0.070L$
立式车床	$0.5 + 0.150h$
铣床	$0.2 + 0.150L$
龙门铣床	$0.3 + 0.075L$
插床	$0.3 + 0.150h$
龙门刨床	$0.3 + 0.070L$

续表 10.0.3

机床名称	基础的混凝土厚度(m)
内圆磨床、无心磨床、平面磨床	$0.3+0.080L$
导轨磨床	$0.4+0.080L$
螺纹磨床、精密外圆磨床、齿轮磨床	$0.4+0.100L$
摇臂钻床	$0.2+0.130h$
深孔钻床	$0.3+0.050L$
坐标镗床	$0.5+0.150L$
卧式镗床、落地镗床	$0.3+0.120L$
卧式拉床	$0.3+0.050L$
齿轮加工机床	$0.3+0.150L$
立式钻床	$0.3\sim 0.6$
牛头刨床	$0.6\sim 1.0$

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(指垫板或调整垫以下)承重部分的混凝土厚度;

3 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本表中同类型机床采用。

#### 10.0.4 机床基础可不进行动力计算。

#### 10.0.5 基础的配筋应符合下列规定:

1 在机床基础中配置钢筋网时,钢筋直径宜采用 8mm~14mm,间距宜采用 150mm~250mm,钢筋网宜配置在下列位置:

- 1) 软弱地基土上或地质不均匀处的基础顶面和底面;
- 2) 基础受力不均匀或局部受冲击作用的部位;
- 3) 长度大于 6m 且小于 11m 的基础顶面和底面;
- 4) 基础内坑、槽、洞口的边缘或基础断面变化较大部位;
- 5) 支承点较少,集中力较大的部位。

2 当基础长度不小于 11m 或机床移动部件的重力较大时,宜按弹性地基梁、板计算配筋。

**10.0.6** 加工精度要求较高且重量大于 300kN 的重型机床,当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 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确定。

**10.0.7** 大型、重型机床及精密机床的基础应与厂房柱基础脱离,精密机床尚应远离振动荷载较大的机床或设备。

**10.0.8** 精密机床基础应采取下列措施:

1 在基础四周设置防振缝与混凝土地面脱离,防振缝宜采用沥青麻丝等弹性材料填充;

2 当精密机床的加工精度要求较高时,应根据环境振动条件,在基础或机床底部采取隔振措施,并应符合现行国家标准《工程隔振设计标准》GB 50463 的有关规定。

**10.0.9** 由地面传给坐落于地面的车床振动值,可按本标准附录 C 的规定确定。

## 附录 A 锚桩(杆)基础设计

**A.0.1** 当岩石地基采用锚桩(杆)基础时,宜符合下列条件:

**1** 岩石的饱和单轴极限抗压强度大于  $30\text{MPa}$ ,且岩石受地质构造影响轻微,节理、裂隙不发育,无黏土质层理夹层,整体性较好;

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

**A.0.2** 锚桩的钢筋应扎成笼形,主筋宜为 4 根~6 根,直径宜采用  $12\text{mm}$ ~ $16\text{mm}$ ,锚桩的孔径可取  $100\text{mm}$ ~ $200\text{mm}$ 。

**A.0.3** 锚杆的主筋宜为单根,锚杆的孔径可取主筋直径的 3 倍,且应大于主筋直径加  $50\text{mm}$ 。

**A.0.4** 主筋宜采用热轧带肋钢筋,不应采用光圆钢筋和冷加工钢筋。

**A.0.5** 锚桩(杆)孔宜采用细石混凝土灌注,混凝土强度等级不应低于 C30,浇筑前应将钻孔清理干净。

**A.0.6** 锚桩(杆)之间的中距,不应小于锚桩(杆)孔直径的 6 倍,且不得小于  $400\text{mm}$ 、不得大于  $1200\text{mm}$ ,距基础边缘的净距不宜小于  $150\text{mm}$ 。当采用锚杆时,锚入岩层的深度不应小于锚杆孔直径的 20 倍;当采用锚桩时,锚入岩层的深度不应小于锚桩孔直径的 15 倍。锚桩(杆)锚入基础深度,不应小于钢筋直径的 25 倍。

**A.0.7** 大块式基础的锚桩(杆)主筋应均匀布置,总截面面积可取基础底面积的  $0.05\%$ ~ $0.12\%$ ,总承载能力不应小于机器地脚螺栓的总承载能力。

**A.0.8** 墙式或框架式基础的锚桩(杆)总承载能力,不应小于墙内或柱内主筋总承载能力。

## 附录 B 框架式基础的动力计算

### B.1 空间多自由度体系计算

**B.1.1** 框架式基础采用空间多自由度体系进行有限元计算时,宜采用梁单元与实体单元模型,梁单元模型根据单元质量矩阵的不同,可采用集中质量模型和协调质量模型。

**B.1.2** 集中质量梁单元建模,应采用下列方法:

1 在集中质量梁单元模型中,宜将单元的总质量向其各节点进行集中;

2 集中质量梁单元建模可按本标准附录 B 第 B.1.3 条的规定进行简化计算(图 B.1.2)。

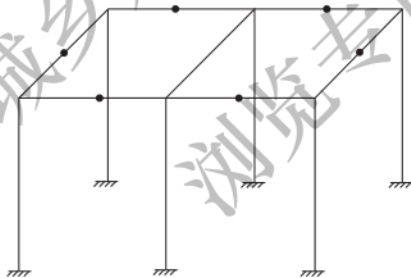


图 B.1.2 集中质量梁单元力学模型

**B.1.3** 集中质量梁单元力学模型的简化,应采用下列方法:

1 杆件的计算尺寸,可按下列规定确定:

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 B.1.3),梁刚性区长度

可取  $\frac{1}{4}(b+b_1)$ , 且不应大于柱宽度  $b$  的一半, 柱刚性区长度可取  $\frac{1}{4}(h+h_1)$ , 且不应大于梁高度  $h$  的一半。

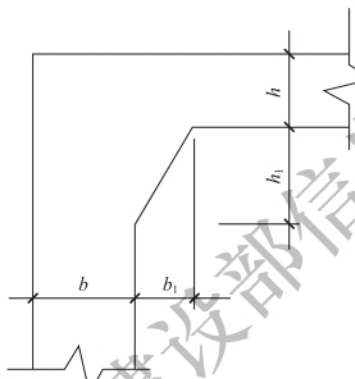


图 B.1.3 框架梁加腋示意图

2 质点应按下列规定选取:

- 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; 当无扰力作用时, 亦可在中点设质点, 但当纵梁跨度很小时, 可不设质点;
- 4) 应设置满足每一杆单元的基频都不低于工作转速 1.4 倍的质点, 并应保证该转速范围内基础的所有振型都能参与叠加; 其中纵横梁交点、梁柱交点以及振动荷载作用点应设置质点。

3 板式结构可划分为纵横梁计算。

**B.1.4** 在协调质量梁单元模型中, 协调质量梁单元节点应包括 3 个线位移和 3 个角位移。

**B.1.5** 实体单元可采用 8 节点或 20 节点固体单元, 每个节点应有 3 个沿着  $xyz$  方向平移的自由度, 可具有任意的空间各向异性。



**B. 1. 6** 自由振动计算时,可按下式求解广义特征值:

$$[\mathbf{K}]\{X\} = \omega^2 [\mathbf{M}]\{X\} \quad (\text{B. 1. 6})$$

式中:  $[\mathbf{K}]$ ——静刚度矩阵;

$[\mathbf{M}]$ ——质量矩阵;

$\omega$ ——特征值;

$\{X\}$ ——特征向量,应计算 1.4 倍工作转速内的全部特征对,每一特征对应包括一个特征值  $\omega_j^2$  及相应的特征向量  $\{X\}_j$ 。

**B. 1. 7** 强迫振动计算时,应采用下列方法:

1 当采用振型分解法计算振动位移或振动速度时,应取 1.4 倍工作转速内的全部振型进行叠加;

2 结构阻尼比可根据振动扰力值取 0.02~0.0625,当振动扰力值小于转子动平衡等级 G6.3 对应荷载时,阻尼比宜取小值。

## B. 2 双自由度体系的简化计算

**B. 2. 1** 横向框架的竖向振动(图 B. 2. 1)位移计算应符合下列规定:

1 当  $\omega_{n2}$  小于或等于  $0.131n$  ( $n$  为转速)时,应按下列情况分别计算扰力频率与第一、第二振型固有频率相同时的振动位移,并应符合下列规定:

1) 当扰力频率与第一振型固有频率相同时,横梁中点和柱顶的竖向振动位移可按下列公式计算:

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

$$u_{21} = u_{11} X_{21} \quad (\text{B. 2. 1-2})$$

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

$$u_{12} = \alpha_p \beta_2 \eta_{\max} \frac{\sqrt{m_{g1}^2 + (m_{g2} X_{22})^2}}{m_1 + m_2 X_{22}^2} \quad (\text{B. 2. 1-3})$$

$$u_{22} = u_{12} u_{22} \quad (\text{B. 2. 1-4})$$

式中： $u_{11}$ ——当扰频与第一振型固有频率相等时，横梁中点的竖向振动位移(m)；

$u_{12}$ ——当扰频与第二振型固有频率相等时，横梁中点的竖向振动位移(m)；

$u_{21}$ ——当扰频与第一振型固有频率相等时，柱顶的竖向振动位移(m)；

$u_{22}$ ——当扰频与第二振型固有频率相等时，柱顶的竖向振动位移(m)；

$\beta_1$ ——第一振型的空间影响系数；

$\beta_2$ ——第二振型的空间影响系数；

$\eta_{\max}$ ——最大动力系数，可取 8；

$\alpha_p$ ——系数(mm)。

2 当 $\omega_{n2}$ 大于 $0.131n$ 时，应按公式(B. 2. 1-1)和公式(B. 2. 1-2)计算横梁中点和柱顶的竖向振动位移。

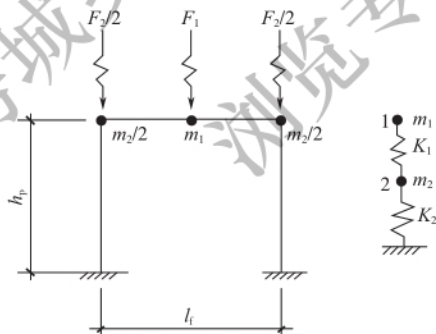


图 B. 2. 1 横向框架的竖向振动

**B. 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：

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

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

$$m_1 = m_m + 0.5m_b \quad (\text{B. 2. 2-3})$$

$$m_2 = m_N + 0.5(m_c + m_b) \quad (\text{B. 2. 2-4})$$

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

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

$$\delta = \frac{h_p I_b}{l_f I_c} \quad (\text{B. 2. 2-7})$$

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

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

式中： $\omega_{n1}$ ——框架的竖向第一振型固有圆频率(rad/s)；

$\omega_{n2}$ ——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)；

$m_b$ ——横梁的质量(t)；

$m_N$ ——相邻纵梁传给框架两个柱的总质量(t)，应包括结构和机器的质量；

$m_c$ ——两个柱的质量(t)；

$l_f$ ——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)；

$K_1$ ——框架梁的竖向刚度(kN/m)；

$K_2$ ——框架柱的竖向刚度(kN/m)；

$\delta$ ——无因次系数；

$A_b$ ——横梁的截面积(m<sup>2</sup>)；

$A_c$ ——柱的截面积( $m^2$ )；

$I_b$ ——横梁的截面惯性矩( $m^4$ )；

$I_c$ ——柱的截面惯性矩( $m^4$ )；

$X_{21}$ ——第一振型时 2 点与 1 点的位移比率；

$X_{22}$ ——第二振型时 2 点与 1 点的位移比率。

**B. 2. 3** 空间影响系数可按表 B. 2. 3 采用。

表 B. 2. 3 空间影响系数

框架位置	$\beta_1$	$\beta_2$
边框架	1. 30	1. 30
中间框架	1. 00	0. 70

**B. 2. 4** 系数 $\alpha_p$ 根据汽轮发电机的转速可按表 B. 2. 4 确定。

表 B. 2. 4 系数 $\alpha_p$

机器工作转速(r/min)	3000	1500
$\alpha_p$ (mm)	$2 \times 10^{-2}$	$6.4 \times 10^{-2}$

## 附录 C 地面振动衰减的计算

**C.0.1** 当动力机器基础为竖向或水平向振动时,距该基础中心点  $r(\text{m})$  处地面土的竖向或水平向的振动位移,宜由现场测试确定;当无条件测试时,可按下列公式计算:

$$u_r = u_0 \left[ \frac{r_0}{r} \xi_0 + \sqrt{\frac{r_0}{r}} (1 - \xi_0) \right] e^{-f_0 \alpha_0 (r - r_0)} \quad (\text{C.0.1-1})$$

$$r_0 = \mu_1 \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (\text{C.0.1-2})$$

式中:  $u_r$ ——距基础中心  $r$  处地面上的振动位移(m);

$u_0$ ——基础的振动位移(m);

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

$r_0$ ——圆形基础的半径或矩形及方形基础的当量半径(m);

$\xi_0$ ——无量纲系数,可按本附录第 C.0.2 条规定采用;

$\alpha_0$ ——地基土能量吸收系数(s/m),可按本附录第 C.0.3 条规定采用;

$\mu_1$ ——方形及矩形基础动力影响系数,可按本附录第 C.0.4 条规定采用;

$A$ ——基础底面积( $\text{m}^2$ )。

**C.0.2** 无量纲系数  $\xi_0$ ,根据地基土的性质和动力机器基础的底面积,可按表 C.0.2 采用。

表 C.0.2 系数  $\xi_0$ 

土的名称	基础的半径或当量半径 $r_0$ (m)							
	$\leq 0.5$	1.9	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	$\geq 7.0$
一般黏性土、 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	0.55~ 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,  $\xi_0$  取较小值, 1m~2.5m 时取较大值, 大于 2.5m 时取一般黏性土的  $\xi_0$  值;

2 当岩石覆盖层在 2.5m 以内时,  $\xi_0$  取较大值, 2.5m~6m 时取较小值, 超过 6m 时, 取一般黏性土的  $\xi_0$  值。

**C.0.3** 地基土能量吸收系数  $\alpha_0$  值, 根据地基土的性质, 可按表 C.0.3 采用。

表 C.0.3 地基土能量吸收系数  $\alpha_0$ 

地基土名称及状态		$\alpha_0$ (s/m)
岩石 (覆盖层 1.5m~2m)	页岩、石灰岩	$(0.385 \sim 0.485) \times 10^{-3}$
	砂岩	$(0.580 \sim 0.775) \times 10^{-3}$
硬塑的黏土		$(0.385 \sim 0.525) \times 10^{-3}$
中密的块石、卵石		$(0.850 \sim 1.100) \times 10^{-3}$
可塑的黏土和中密的粗砂		$(0.965 \sim 1.200) \times 10^{-3}$
软塑的黏土、粉土和稍密的中砂、粗砂		$(1.255 \sim 1.450) \times 10^{-3}$
淤泥质黏土、粉土和饱和细砂		$(1.200 \sim 1.300) \times 10^{-3}$
新近沉积的黏土和非饱和松散砂		$(1.800 \sim 2.050) \times 10^{-3}$

注:1 同一类地基土上, 振动设备大者,  $\alpha_0$  取小值; 振动设备小者,  $\alpha_0$  取较大值;

2 同等情况下, 土壤孔隙比大者,  $\alpha_0$  取偏大值; 孔隙比小者,  $\alpha_0$  取偏小值。

**C.0.4** 方形及矩形基础动力影响系数  $\mu_1$  可按表 C.0.4 采用。

表 C.0.4 动力影响系数  $\mu_1$ 

基础底面积 $A(\text{m}^2)$	$\mu_1$
$A \leq 10$	1.00
12	0.96
14	0.92
16	0.88
$A \geq 20$	0.80

住房和城乡建设部信息公开  
浏览专用

## 附录 D 冲击式机器基础有阻尼动力 系数 $\eta_{\max}$ 值的计算

**D.0.1** 压力机、锻锤等冲击式机器的振动荷载在动力分析时可采用脉冲函数来描述冲击作用,脉冲函数可采用后峰齿形、对称三角形、矩形脉冲、正弦半波、正矢脉冲等,当振动能量较小时可采用后峰齿形脉冲,当振动能量较大时可采用矩形脉冲,冲击机器冲击作用所对应的脉冲函数形式可按照现行国家标准《建筑振动荷载标准》GB/T 51228 执行;五种脉冲作用下的动力系数 $\eta_{\max}$ 值,可按本标准附录第 D.0.2 条的规定采用。

**D.0.2** 当扰力为后峰齿形脉冲或对称三角形冲击脉冲时,基组的有阻尼动力系数 $\eta_{\max}$ (表 D.0.2-1~表 D.0.2-5)应按下列规定确定:

1 对于竖向有阻尼动力系数 $\eta_{2\max}$ ,阻尼比 $\zeta$ 和固有周期 $T_n$ 可取基组的竖向阻尼比 $\zeta_v$ 、固有周期 $T_{nv}$ ;

2 对于水平回转耦合振动第一、第二振型有阻尼动力系数 $\eta_{1\max}$ 、 $\eta_{2\max}$ 确定时,阻尼比 $\zeta$ 和固有周期 $T_n$ 可分别取基组的水平回转耦合振动第一、第二振型阻尼比 $\zeta_{x\neq 1}$ 、 $\zeta_{x\neq 2}$ 、 $\zeta_{y01}$ 、 $\zeta_{y02}$ 和第一、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 $t_0$ 宜取相同值。



表 D. 0. 2-1 后峰齿形脉冲的 $\eta_{\max}$ 值

$t_0/T_n$	$\zeta$										
	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.05	0.1568	0.1452	0.1352	0.1263	0.1184	0.1115	0.1052	0.0996	0.0944	0.0898	0.0856
0.10	0.3107	0.2881	0.2681	0.2505	0.2350	0.2212	0.2087	0.1975	0.1874	0.1783	0.1698
0.15	0.4598	0.4261	0.3966	0.3708	0.3477	0.3273	0.3090	0.2924	0.2774	0.2639	0.2514
0.20	0.6012	0.5574	0.5189	0.4851	0.4551	0.4283	0.4045	0.3829	0.3633	0.3455	0.3294
0.25	0.7331	0.6796	0.6329	0.5919	0.5555	0.5229	0.4938	0.4676	0.4438	0.4223	0.4027
0.30	0.8530	0.7913	0.7373	0.6896	0.6474	0.6099	0.5761	0.5457	0.5183	0.4933	0.4705
0.35	0.9595	0.8907	0.8303	0.7771	0.7301	0.6881	0.6504	0.6165	0.5859	0.5580	0.5325
0.40	1.0512	0.9765	0.9111	0.8535	0.8024	0.7570	0.7162	0.6794	0.6461	0.6158	0.5882
0.45	1.1267	1.0477	0.9787	0.9180	0.8641	0.8160	0.7729	0.7341	0.6989	0.6669	0.6377
0.50	1.1854	1.1040	1.0328	0.9702	0.9146	0.8651	0.8206	0.7804	0.7441	0.7110	0.6807
0.55	1.2271	1.1450	1.0734	1.0103	0.9543	0.9043	0.8594	0.8189	0.7820	0.7485	0.7177
0.60	1.2516	1.1709	1.1005	1.0385	0.9834	0.9341	0.8898	0.8496	0.8131	0.7797	0.7490
0.65	1.2596	1.1825	1.1151	1.0556	1.0026	0.9552	0.9123	0.8734	0.8378	0.8052	0.7751
0.70	1.2521	1.1805	1.1179	1.0625	1.0129	0.9683	0.9279	0.8909	0.8569	0.8256	0.7965
0.75	1.2306	1.1667	1.1105	1.0605	1.0156	0.9748	0.9374	0.9030	0.8712	0.8415	0.8139
0.80	1.1971	1.1428	1.0946	1.0514	1.0120	0.9757	0.9421	0.9108	0.8814	0.8539	0.8279
0.85	1.1541	1.1111	1.0724	1.0368	1.0036	0.9725	0.9430	0.9150	0.8885	0.8632	0.8391
0.90	1.1045	1.0744	1.0460	1.0187	0.9923	0.9664	0.9413	0.9168	0.8931	0.8702	0.8481
0.95	1.0518	1.0355	1.0179	0.9991	0.9793	0.9589	0.9380	0.9170	0.8961	0.8755	0.8553
1.00	1.0000	0.9966	0.9878	0.9751	0.9597	0.9426	0.9243	0.9055	0.8864	0.8673	0.8484

表 D. 0. 2-2 对称三角形脉冲的 $\eta_{\max}$ 值

$t_0/T_n$	$\zeta$										
	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.05	0.1568	0.1453	0.1352	0.1264	0.1185	0.1115	0.1053	0.0996	0.0945	0.0899	0.0856
0.10	0.3116	0.2887	0.2688	0.2512	0.2356	0.2217	0.2092	0.1980	0.1879	0.1786	0.1702
0.15	0.4626	0.4287	0.3990	0.3729	0.3498	0.3291	0.3106	0.2940	0.2789	0.2652	0.2527
0.20	0.6079	0.5634	0.5244	0.4901	0.4597	0.4326	0.4083	0.3864	0.3666	0.3486	0.3321
0.25	0.7458	0.6912	0.6434	0.6013	0.5640	0.5307	0.5009	0.4741	0.4498	0.4277	0.4076
0.30	0.8747	0.8106	0.7546	0.7052	0.6615	0.6225	0.5876	0.5561	0.5276	0.5017	0.4781
0.35	0.9931	0.9203	0.8567	0.8007	0.7511	0.7068	0.6672	0.6315	0.5992	0.5699	0.5431
0.40	1.0997	1.0191	0.9487	0.8867	0.8318	0.7829	0.7390	0.6995	0.6638	0.6314	0.6019
0.45	1.1934	1.1059	1.0295	0.9623	0.9028	0.8498	0.8023	0.7596	0.7209	0.6858	0.6539
0.50	1.2732	1.1800	1.0985	1.0269	0.9635	0.9071	0.8567	0.8113	0.7703	0.7331	0.6992
0.55	1.3390	1.2411	1.1558	1.0808	1.0146	0.9556	0.9029	0.8555	0.8127	0.7739	0.7386
0.60	1.3919	1.2908	1.2071	1.1254	1.0570	0.9963	0.9420	0.8931	0.8491	0.8091	0.7727
0.65	1.4337	1.3305	1.2406	1.1617	1.0921	1.0301	0.9748	0.9251	0.8802	0.8395	0.8024
0.70	1.4657	1.3614	1.2706	1.1909	1.1206	1.0581	1.0022	0.9520	0.9067	0.8656	0.8281
0.75	1.4891	1.3845	1.2936	1.2138	1.1434	1.0808	1.0249	0.9746	0.9292	0.8880	0.8504
0.80	1.5049	1.4009	1.3105	1.2312	1.1612	1.0990	1.0434	0.9933	0.9481	0.9071	0.8696
0.85	1.5140	1.4113	1.3220	1.2437	1.1746	1.1131	1.0582	1.0087	0.9640	0.9233	0.8862
0.90	1.5171	1.4164	1.3288	1.2520	1.1841	1.1238	1.0698	1.0212	0.9771	0.9371	0.9005
0.95	1.5151	1.4168	1.3313	1.2564	1.1903	1.1314	1.0786	1.0310	0.9879	0.9486	0.9127
1.00	1.5085	1.4131	1.3302	1.2576	1.1934	1.1362	1.0849	1.0386	0.9966	0.9583	0.9231

表 D.0.2-3 矩形脉冲的 $\eta_{\max}$ 值

$t_0/T_n$	$\zeta$										
	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.05	0.3129	0.2900	0.2699	0.2522	0.2366	0.2226	0.2101	0.1988	0.1886	0.1794	0.1710
0.10	0.6181	0.5727	0.5332	0.4982	0.4673	0.4398	0.4151	0.3928	0.3726	0.3544	0.3376
0.15	0.9080	0.8414	0.7833	0.7320	0.6866	0.6461	0.6098	0.5772	0.5476	0.5207	0.4962
0.20	1.1755	1.0895	1.0141	0.9478	0.8890	0.8367	0.7898	0.7475	0.7092	0.6745	0.6428
0.25	1.4142	1.3106	1.2200	1.1403	1.0697	1.0068	0.9505	0.8998	0.8540	0.8123	0.7743
0.30	1.6181	1.4995	1.3960	1.3051	1.2245	1.1528	1.0886	1.0309	0.9787	0.9314	0.8882
0.35	1.7820	1.6516	1.5378	1.4379	1.3497	1.2712	1.2010	1.1380	1.0812	1.0296	0.9827
0.40	1.9021	1.7630	1.6420	1.5360	1.4426	1.3597	1.2858	1.2196	1.1599	1.1059	1.0569
0.45	1.9754	1.8312	1.7063	1.5973	1.5016	1.4170	1.3419	1.2747	1.2144	1.1600	1.1106
0.50	2.0000	1.8545	1.7292	1.6209	1.5259	1.4427	1.3692	1.3037	1.2452	1.1925	1.1447
0.55	2.0000	1.8545	1.7292	1.6209	1.5266	1.4443	1.3723	1.3092	1.2538	1.2050	1.1609
0.60	2.0000	1.8545	1.7292	1.6209	1.5266	1.4443	1.3723	1.3092	1.2538	1.2053	1.1630
0.65	2.0000	1.8545	1.7292	1.6209	1.5266	1.4443	1.3723	1.3092	1.2538	1.2053	1.1630
0.70	2.0000	1.8545	1.7292	1.6209	1.5266	1.4443	1.3723	1.3092	1.2538	1.2053	1.1630
0.75	2.0000	1.8545	1.7292	1.6209	1.5266	1.4443	1.3723	1.3092	1.2538	1.2053	1.1630
0.80	2.0000	1.8545	1.7292	1.6209	1.5266	1.4443	1.3723	1.3092	1.2538	1.2053	1.1630
0.85	2.0000	1.8545	1.7292	1.6209	1.5266	1.4443	1.3723	1.3092	1.2538	1.2053	1.1630
0.90	2.0000	1.8545	1.7292	1.6209	1.5266	1.4443	1.3723	1.3092	1.2538	1.2053	1.1630
0.95	2.0000	1.8545	1.7292	1.6209	1.5266	1.4443	1.3723	1.3092	1.2538	1.2053	1.1630
1.00	2.0000	1.8545	1.7292	1.6209	1.5266	1.4443	1.3723	1.3092	1.2538	1.2053	1.1630

表 D. 0. 2-4 正弦半波脉冲的 $\eta_{\max}$ 值

$t_0/T_n$	$\xi$										
	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.05	0.1995	0.1849	0.1721	0.1609	0.1509	0.1420	0.1340	0.1268	0.1203	0.1144	0.1090
0.10	0.3963	0.3672	0.3418	0.3195	0.2996	0.2820	0.2661	0.2518	0.2389	0.2272	0.2165
0.15	0.5875	0.5444	0.5068	0.4736	0.4442	0.4180	0.3945	0.3734	0.3542	0.3368	0.3210
0.20	0.7705	0.7140	0.6646	0.6211	0.5826	0.5483	0.5175	0.4897	0.4646	0.4418	0.4210
0.25	0.9428	0.8737	0.8133	0.7601	0.7129	0.6709	0.6332	0.5993	0.5686	0.5407	0.5153
0.30	1.1021	1.0213	0.9507	0.8885	0.8335	0.7844	0.7404	0.7008	0.6649	0.6324	0.6027
0.35	1.2462	1.1549	1.0751	1.0048	0.9426	0.8872	0.8375	0.7928	0.7523	0.7156	0.6821
0.40	1.3734	1.2728	1.1849	1.1075	1.0390	0.9780	0.9234	0.8743	0.8298	0.7895	0.7527
0.45	1.4820	1.3734	1.2787	1.1953	1.1216	1.0560	0.9972	0.9444	0.8967	0.8534	0.8140
0.50	1.5708	1.4558	1.3555	1.2674	1.1895	1.1203	1.0584	1.0028	0.9526	0.9071	0.8657
0.55	1.6395	1.5198	1.4156	1.3242	1.2435	1.1718	1.1078	1.0504	0.9986	0.9516	0.9089
0.60	1.6904	1.5678	1.4612	1.3679	1.2855	1.2124	1.1472	1.0888	1.0360	0.9883	0.9449
0.65	1.7264	1.6024	1.4947	1.4004	1.3174	1.2438	1.1781	1.1193	1.0663	1.0183	0.9746
0.70	1.7500	1.6257	1.5179	1.4237	1.3408	1.2673	1.2018	1.1432	1.0903	1.0425	0.9990
0.75	1.7634	1.6398	1.5327	1.4392	1.3570	1.2842	1.2194	1.1614	1.1091	1.0619	1.0189
0.80	1.7683	1.6462	1.5405	1.4483	1.3673	1.2957	1.2319	1.1749	1.1236	1.0771	1.0349
0.85	1.7665	1.6464	1.5425	1.4520	1.3726	1.3025	1.2402	1.1844	1.1343	1.0889	1.0477
0.90	1.7591	1.6414	1.5398	1.4514	1.3739	1.3056	1.2449	1.1906	1.1418	1.0977	1.0576
0.95	1.7473	1.6324	1.5333	1.4472	1.3719	1.3055	1.2466	1.1940	1.1468	1.1041	1.0652
1.00	1.7320	1.6201	1.5237	1.4401	1.3671	1.3028	1.2459	1.1951	1.1495	1.1083	1.0709

表 D. 0. 2-5 正矢脉冲的 $\eta_{\max}$ 值

$t_0/T_n$	$\zeta$										
	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.05	0.1568	0.1453	0.1353	0.1264	0.1186	0.1116	0.1053	0.0997	0.0946	0.0899	0.0857
0.10	0.3121	0.2893	0.2692	0.2516	0.2360	0.2221	0.2096	0.1984	0.1882	0.1790	0.1705
0.15	0.4644	0.4304	0.4006	0.3744	0.3512	0.3305	0.3119	0.2952	0.2800	0.2663	0.2537
0.20	0.6123	0.5674	0.5282	0.4936	0.4630	0.4357	0.4112	0.3891	0.3692	0.3510	0.3345
0.25	0.7542	0.6990	0.6506	0.6080	0.5703	0.5367	0.5065	0.4794	0.4548	0.4325	0.4121
0.30	0.8890	0.8239	0.7669	0.7167	0.6723	0.6326	0.5971	0.5651	0.5361	0.5098	0.4858
0.35	1.0154	0.9410	0.8759	0.8186	0.7679	0.7226	0.6820	0.6455	0.6125	0.5824	0.5551
0.40	1.1322	1.0492	0.9767	0.9128	0.8563	0.8058	0.7606	0.7199	0.6831	0.6497	0.6192
0.45	1.2385	1.1477	1.0684	0.9986	0.9367	0.8816	0.8322	0.7878	0.7476	0.7111	0.6778
0.50	1.3333	1.2356	1.1503	1.0752	1.0086	0.9494	0.8963	0.8486	0.8054	0.7662	0.7305
0.55	1.4161	1.3124	1.2218	1.1422	1.0717	1.0090	0.9528	0.9023	0.8567	0.8153	0.7776
0.60	1.4866	1.3780	1.2832	1.1999	1.1262	1.0607	1.0020	0.9493	0.9017	0.8585	0.8192
0.65	1.5454	1.4329	1.3348	1.2487	1.1726	1.1049	1.0444	0.9900	0.9409	0.8964	0.8559
0.70	1.5932	1.4780	1.3776	1.2894	1.2116	1.1424	1.0806	1.0250	0.9749	0.9294	0.8881
0.75	1.6311	1.5141	1.4122	1.3228	1.2439	1.1738	1.1111	1.0548	1.0041	0.9580	0.9161
0.80	1.6601	1.5421	1.4395	1.3495	1.2701	1.1996	1.1366	1.0800	1.0289	0.9826	0.9405
0.85	1.6810	1.5630	1.4603	1.3703	1.2910	1.2205	1.1576	1.1010	1.0500	1.0037	0.9616
0.90	1.6949	1.5775	1.4754	1.3860	1.3071	1.2371	1.1745	1.1184	1.0677	1.0217	0.9798
0.95	1.7027	1.5864	1.4854	1.3970	1.3190	1.2498	1.1880	1.1325	1.0823	1.0368	0.9953
1.00	1.7051	1.5906	1.4911	1.4041	1.3273	1.2592	1.1984	1.1437	1.0943	1.0495	1.0086

## 本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,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”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 《木结构设计标准》GB 50005  
《混凝土结构设计规范》GB 50010  
《建筑地面设计规范》GB 50037  
《地基动力特性测试规范》GB/T 50269  
《工程隔振设计标准》GB 50463  
《建筑工程容许振动标准》GB 50868  
《建筑振动荷载标准》GB/T 51228  
《工业用橡胶板》GB/T 5574  
《耐热输送带》HG 2297