

第 38 篇 机器基础

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会



机械工业出版社

62
3

74-62
3
5138

机械工程手册

第38篇 机器基础

(试用本)

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会



机械工业出版社



A727088

的科技交流部门，为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中，广泛征求意见，发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面，广泛征求意见，先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验，试用本在内容和形式方面，一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证，提出批评和建议，以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本篇是《机械工程手册》第38篇，由第一机械工业部第一设计院主编，参加编写的有第一机械工业部第二汽车厂工厂设计处、水利电力工业部规划设计院、北京电力设计院、化学工业部山西化工设计院、石油工业部北京炼油设计院、冶金工业部包头钢铁设计院、陕西省水泥工业设计所、第六机械工业部第九设计院、湖南大学、河南省电力设计院。此外冶金工业部冶金建筑研究院、西安冶金建筑工程学院等许多单位对编审工作给予大力支持和帮助，在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会 编辑组

编辑说明

(一) 我国自建国以来，机械工业在毛主席的革命路线指引下，贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针，取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验，同时采用国外先进技术加强机械工业科学技术的基础建设，适应实现“四个现代化”的需要，我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用，也可供教学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书，着重介绍各专业的理论基础，常用计算公式，数据、资料，关键问题以及发展趋势。在编写中，力求做到立足全局，勾划概貌，反映共性，突出重点。在内容和表达方式上，力求做到深入浅出，简明扼要，直观易懂，归类便查。读者在综合研究和处理技术问题，《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成，构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分，共七十九篇；《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分，共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的，在全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员，更为广泛。许多地区

目 录

编辑说明
常用符号表

第1章 概 述

1 机器基础设计	38-1
1.1 设计步骤	38-1
1.2 设计资料	38-1
1.3 设计要点	38-2
1.4 基础计算	38-3
2 地基的主要动力参数	38-5
2.1 天然地基的刚度系数、刚度及阻尼比	38-5
2.2 打入式灌注桩和预制桩桩基(以下简称打入式桩基)的刚度系数、刚度及阻尼比	38-6
3 基础的构造与施工	38-8
3.1 构造与材料	38-8
3.2 基础施工与允许偏差	38-8
4 机器基础振动对周围建(构)筑物、其他机器、仪器和设备的影响以及应采取的措施	38-8
4.1 对厂房结构的影响和采取的措施	38-8
4.2 地面振动衰减估算	38-9
4.3 补救措施	38-10

第2章 机器基础的动力计算方法

1 大块式机器基础的动力计算	38-10
1.1 基组的垂直动力计算	38-11
1.2 基组的水平回转耦合振动计算	38-12
1.3 基组的扭转动力计算	38-14
1.4 锻锤基础的动力计算	38-14
1.5 闭式压力机基础的动力计算	38-15
2 框架式机器基础的动力计算	38-16
2.1 汽轮机组和电机框架式基础的动力计算	38-16
2.2 破碎机框架式基础的近似动力计	

算.....38-19

第3章 金属切削机床基础

1 设计要求	38-19
1.1 设计资料	38-19
1.2 基础重量及刚度	38-19
1.3 地基要求	38-20
1.4 平面布置	38-21
1.5 部分机床基础的允许振动值	38-21
2 基础形式与构造	38-21
2.1 基础形式	38-21
2.2 基础尺寸及构造	38-22
2.3 基础配筋	38-22
2.4 安装	38-23
3 机床上楼	38-23
3.1 楼面荷载	38-23
3.2 部分机床扰力	38-23
3.3 上楼机床的界限与楼板刚度	38-24
3.4 机床安装与楼面防护	38-24
4 计算实例	38-24

第4章 压力机基础

1 机械压力机基础	38-25
1.1 设计要求	38-25
1.2 构造与施工	38-26
1.3 基础计算	38-26
1.4 计算实例	38-29
2 锻造水压机基础	38-33
2.1 设计要求	38-33
2.2 基础计算	38-33
2.3 构造与施工	38-34

第5章 曲柄连杆式机器基础

1 设计要求	38-36
1.1 设计资料	38-36
1.2 曲柄连杆式机器扰力(矩)计算	38-36

2 基础形式、构造和配筋	38-46
3 基础计算	38-47
3.1 静力计算	38-47
3.2 动力计算	38-47
4 计算实例	38-49
4.1 4L-20/8空压机扰力计算	38-49
4.2 L5.5-40/8空压机基础计算	38-51

第6章 旋转机器基础

1 设计要求	38-55
1.1 设计资料	38-55
1.2 选型	38-55
1.3 扰力与允许振动值	38-56
2 构造与配筋	38-57
3 基础计算	38-59
3.1 框架式基础的静力计算	38-59
3.2 框架式基础的动力计算	38-61
4 计算实例	38-62

第7章 破碎机和磨机基础

1 破碎机基础	38-67
1.1 设计要求	38-67
1.2 基础构造与配筋	38-72
1.3 基础计算	38-72
1.4 计算实例	38-74
2 磨机基础	38-78

第8章 冲击机器基础

1 锻锤基础	38-79
1.1 设计要求	38-79
1.2 构造与施工	38-81
1.3 基础计算	38-84
1.4 计算实例	38-87
2 落锤基础	38-91
2.1 设计资料	38-91
2.2 选型与构造	38-92
2.3 基础计算	38-93
2.4 计算实例	38-94
3 水爆清砂池基础	38-95
3.1 设计要求	38-96
3.2 构造及材料	38-96
3.3 隔振水爆池的弹簧计算	38-97
3.4 计算实例	38-98

第9章 机器基础的弹性半空间体系简介

1 动态计算法	38-99
1.1 垂直振动	38-99
1.2 水平、回转及扭转振动	38-99
2 静态计算法	38-100
2.1 集总参数法	38-100
2.2 方程对等法	38-102
参考文献	38-102

常用符号表

A_z ——基础垂直振幅 m	D_z ——天然地基或桩基垂直振动阻尼比
A_x ——基组总质心处的水平振幅 m	$D_{x\varphi_1}$ ——天然地基或桩基水平回转耦合振动第1振型 阻尼比
$A_{x\varphi}$ ——基础顶面由于水平回转耦合振动产生的水平 振幅 m	$D_{x\varphi_2}$ ——天然地基或桩基水平回转耦合振动第2振型 阻尼比
$A_{x\psi}$ ——基础顶面扭转振动产生的控制点水平振 幅 m	D_ψ ——天然地基或桩基扭转振动阻尼比
A_ψ ——基础扭转振幅 rad	F ——基础底面积 m^2
A_φ ——基础回转振幅 rad	g ——重力加速度 m/s^2
a ——基础振动加速度 m/s^2	h_1 ——基组总质心至基础顶面距离 m
C_s ——天然地基抗压刚度系数 tf/m^3	h_2 ——基组总质心至基础底面距离 m
C_x ——天然地基抗剪刚度系数 tf/m^3	h_3 ——基组总质心至水平扰力的距离 m
C_φ ——天然地基抗弯刚度系数 tf/m^3	I ——基础底面通过其形心的抗弯惯性矩 m^4
C_ψ ——天然地基抗扭刚度系数 tf/m^3	I_m ——基组对通过其质心并垂直于回转面的水平轴

38-VI 常用符号表

的质量惯性矩 $\text{tf}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^2$	P_x ——水平扰力 tf
J ——基础底面通过其形心的抗扭惯性矩 m^4	$[R]$ ——地基土允许承载力 tf/m^2
J_m ——基组对通过其总质心并垂直于底面的轴的质量惯性矩 $\text{tf}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^2$	R ——地基土按基础宽度、深度修正后的允许承载力 tf/m^2
K_z ——天然地基抗压刚度 tf/m	W ——基组总重 tf
K_x ——天然地基抗剪刚度 tf/m	W_1 ——机器重 tf
K_φ ——天然地基抗弯刚度 $\text{tf}\cdot\text{m}$	W_2 ——基础重 tf
K_ψ ——天然地基抗扭刚度 $\text{tf}\cdot\text{m}$	W_s ——基础上填土重 tf
M_φ ——回转扰力矩 $\text{tf}\cdot\text{m}$	n ——机器工作转速 r/min
M_ψ ——扭转扰力矩 $\text{tf}\cdot\text{m}$	ω ——扰力圆频率 rad/s
m ——基组质量(包括机器、基础和基础上填土等质量) $\text{tf}\cdot\text{s}^2/\text{m}$	λ ——基组自振圆频率 rad/s
P_z ——垂直扰力 tf	η ——动力系数

第1章 概述

机器基础必须保证机器的良好运转, 保证周围人员的正常活动和邻近建(构)筑物及其他机器、仪器和设备的正常使用。因此, 机器基础必须具有足够的强度、刚度和稳定性, 并能满足振动控制的要求。

机器基础设计时, 应根据机器的动力特性, 建筑场地的地基情况和周围环境对限制振动的要求等因素, 确定安全可靠、适用、经济合理和技术先进的基础方案。

机器基础的形式, 主要有大块式、墙式和框架式三种。如图 38·1-1 所示。

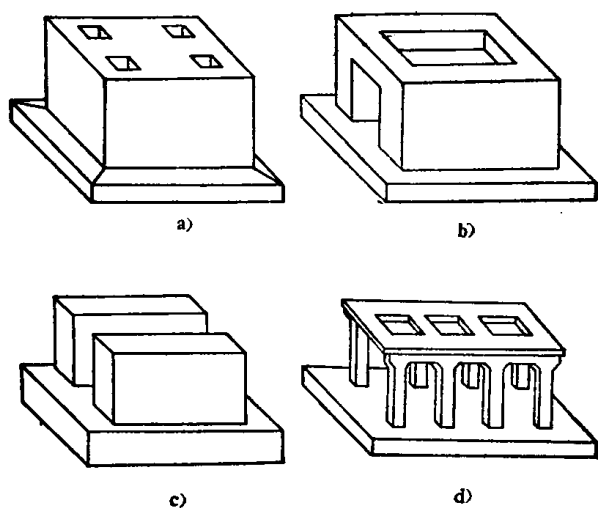


图38·1-1 基础形式

- a) 大块式 b) 有顶板的墙式 c) 无顶板的墙式
d) 框架式

机器基础的设计, 按机器的动力特性, 分别采取: 1) 不作动力计算, 只需进行静力计算(包括验算地基强度和基础本身的强度、抗裂性等); 2) 虽不作动力计算, 但需将动载荷化为当量静载荷后进行静力计算; 3) 需要进行动力和静力计算。具体规定见有关各章。

1 机器基础设计

1.1 设计步骤

- 1) 了解设计任务内容, 收集 1.2 中有关设计

资料。

2) 根据机器特性、工艺要求及地质条件, 确定基础设计方案。

3) 根据机器底座尺寸、孔洞、地脚螺栓等, 初步确定基础顶面尺寸, 结合地质条件及冻结深度、机器动力特性和生产工艺流程等要求, 初步确定基础高度。

4) 根据地基强度和基组(基础、基础上机器、附属设备和基础上填土的总称)重量估算基底尺寸。

5) 复核地基强度时应满足 1.4.1 a 要求。

6) 根据初步确定的基础尺寸, 计算其底面形心和质心的位置, 并复核其偏心值是否超过 1.4.1 b 规定的限制, 如超过时应调整基底尺寸再次进行计算, 直至满足要求为止。

7) 在偏心垂直扰力、水平扰力(矩)或扭矩作用下, 需计算基础抗弯(绕通过基组总质心并垂直于振动面的水平轴的), 抗扭(绕通过机组总质心并垂直于底面的轴的)质量惯性矩。

8) 按机器扰力的性质分别采用第 2 章有关公式, 计算基础的振幅、振动速度或振动加速度值, 使之不超过规定的允许值。

9) 根据机器基础形式, 分别计算基础构件强度(包括配筋量)。

10) 根据机器类型采取相应的基础构造配筋。

11) 绘制基础施工详图。

对于不作动力计算的机器基础, 上述 7)~8) 步骤可省略。

1.2 设计资料

1) 机器的型号、规格、重量、重心位置、转速及轮廓尺寸等;

2) 机器的功率及传动方式;

3) 机器底座的轮廓、辅助设备及管道位置和坑、沟、孔、洞的尺寸、灌浆层厚度、地脚螺栓和预埋件的位置等;

4) 与机器基础连接的有关管道图;

5) 基础的平面位置;

6) 建筑场地的工程地质勘察及水文地质资料;

7) 当基础需要进行动力计算时, 尚应取得机器动力载荷(扰力)值和作用点的位置以及机器绕其质心的质量惯性矩。

1.3 设计要点

(1) 机器基础的设计应力求避免与机器发生共振, 因此必须准确地选择地基动力参数。对于重要的或特大型的机器, 在基础设计时宜由现场试验取得地基动力参数。

(2) 根据机器的转速和动力特性, 选择基础形式和几何尺寸。

低转速机器, 如活塞式压缩机、破碎机等, 在采用大块式或墙式基础时, 应尽量降低基础高度减少扰力矩, 放大基底面积增加地基刚度, 从而提高基组自振频率, 降低振幅。

当机器转速较高, 提高基组自振频率效果不大时, 可采用增加基础埋深、减小基底面积、增加质量, 从而降低基组自振频率。

中高转速的旋转机器, 在采用框架式基础时, 顶板应有足够的质量和刚度, 并力求顶板各纵横梁的静挠度相等; 柱子在满足强度、稳定性要求的前提下, 宜适当减小刚度; 底板应有一定的刚度, 并结合地基刚度、强度综合考虑。

冲击机器基础, 如锻锤, 为降低其振幅, 对软弱地基, 基底面积宜大, 埋置要浅; 对于坚硬地基, 基底面积宜小, 埋置要深。

机器基础的振动大小与机器本身的扰力值大小及其作用点的高低密切相关, 因此在机器设计时应尽量使扰力减小(不平衡惯性力与不平衡离心力), 并使作用点尽量降低。同时, 扰力作用位置应尽量与机组轴线重合或对称。

在工艺流程设计时应合理布置机器的辅助设备, 尽量降低基础高度, 减小扰力矩。

(3) 地脚螺栓的合理设计: 机器基础的地脚螺栓, 一般由机器制造厂提供, 有时由于过粗过长, 直接影响基础的合理设计, 使预留孔尺寸相应增大, 致使基础高度增加, 构件断面削弱较多, 为防止预留孔处基础开裂, 势必加厚基础的尺寸, 造成材料的浪费。因混凝土对地脚螺栓的握裹力, 只

有距混凝土表面约 15 倍螺栓直径的长度范围内有作用。为了安全, 有一倍安全储备已足够, 故地脚螺栓长一般为 30~40 倍直径即可。

为了缩短螺栓长度, 可采用预埋锚板或爪式螺栓, 见图 38·1-2, 其长度为 15~20 倍直径即可, 也可采用预埋套管地脚螺栓两端加螺帽的办法。

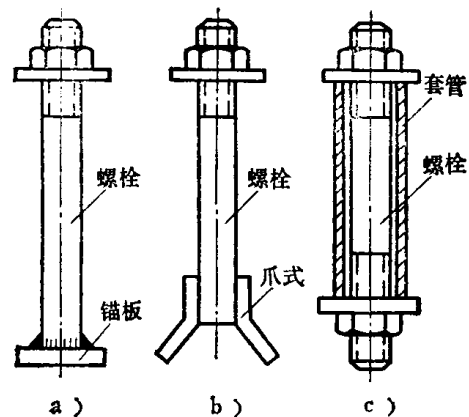


图38·1-2 地脚螺栓简图

a) 预埋锚板螺栓 b) 爪式螺栓 c) 预埋套管螺栓

由于缩短地脚螺栓长度, 降低了基础高度, 因此, 由水平扰力而引起的力矩相应减小, 基础上的振幅值也随之降低。

(4) 机器基础不宜与建筑物连接, 受有振动的管道, 不宜直接搁置在建筑物上。

(5) 机器基础下的地基土应具有均匀的压缩性, 以保证沉降均匀, 防止基础偏沉。

(6) 当有振动的机器基础周围设置对振动敏感的机器、仪器及设备时, 在总图布置上, 应结合情况, 留有恰当的距离, 以满足机器、仪器及设备对振动的要求。

(7) 在设计锻锤、落锤、水爆池等基础时, 可按本章第 4 节处理振动对周围的影响。

(8) 机器基础的埋深, 一般由下列因素决定:

1) 基础必须埋置在有足够承载能力的地基上, 在严寒地区还应注意地基土的冻胀问题;

2) 为保证基础具有足够的刚度和强度而应有必要的厚度, 并应考虑到基础顶面标高的要求;

3) 邻近的设备基础和厂房柱基的埋深;

4) 由机器的动力特性(包括机器转速和扰力方向等)确定基础的埋深, 见上述(2)条;

5) 由于生产上需要, 在基础本身或四周设置的机械化运输地沟或地坑等对基础埋深的影响。

1.4 基础计算

1.4.1 静力计算

a. 地基承载力验算

中心受压时

$$p = \frac{W}{F} \leq \alpha_R R \text{ (天然地基)} \quad (38.1-1)$$

$$P = \frac{W}{n_h} \leq \alpha_R Q \text{ (桩基)} \quad (38.1-2)$$

偏心受压时

$$p_{max} = \frac{W}{F} + \frac{M x_{max}}{I} \leq 1.2 \alpha_R R \text{ (天然地基)} \quad (38.1-3)$$

$$P_{max} = \frac{W}{n_i} + \frac{M x_{max}}{\sum x_i^2} \leq 1.2 \alpha_R Q \text{ (桩基)} \quad (38.1-4)$$

式中 W ——机器、基础和基础上的填土总重 tf

F ——基础底面积 m^2

p ——基础中心受压时的地基压应力 tf/ m^2

p_{max} ——基础偏心受压时的地基最大压应力 tf/ m^2

P ——桩基础中心受压时，作用于单桩上的载荷 tf

P_{max} ——桩基础偏心受压时，作用于单桩上的最大载荷 tf

R ——经宽度和深度修正后的地基土的允许承载力 tf/ m^2

I ——基础底面，通过其形心的抗弯惯性矩 m^4

n_h ——桩根数

Q ——单桩允许承载力 tf

M ——作用于基础底的力矩总和 tf·m

x_{max} ——由基底形心至基底边缘的距离（平行于力矩方向）；或至桩台底最外侧桩的中心的距离 m

x_i ——第 i 根桩中心至桩台底形心间的距离（平行于力矩方向） m

α_R ——地基承载力的动力折减系数，其值如下：

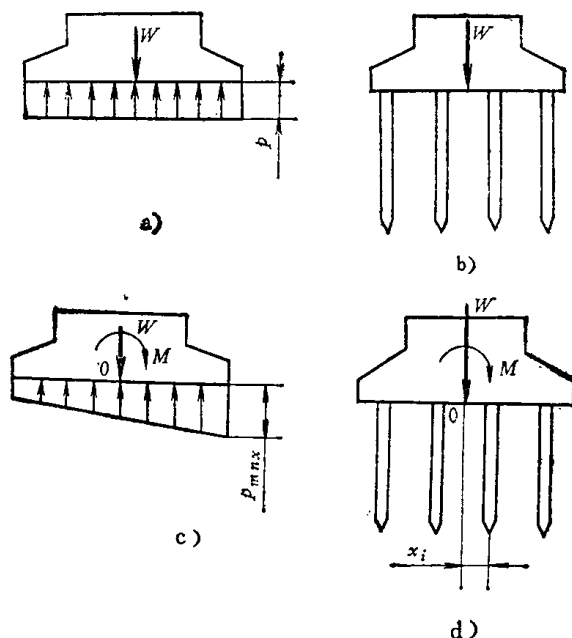


图38.1-3 地基反力示意图

- a) 中心受压天然地基反力 b) 中心受压桩基
c) 偏心受压天然地基反力 d) 偏心受压桩基

汽轮机组、电动机、压力机基础 $\alpha_R = 0.8$ ；

锻锤基础 $\alpha_R = 0.4 \sim 0.5$ （一类土取上限，四类土取下限，其他类土取中间插入值）；

其他类机器基础 $\alpha_R = 1.0$ 。

地基土的允许承载力 $[R]$ 根据工程地质勘察报告的建议和下列各表值采用。

当基础宽度大于 3 m 或埋置深度大于 1.5 m 时，从表 38.1-1 a ~ 1 g 查得的允许承载力，应按公式 (38.1-5) 修正，如基础宽小于 3 m 按 3 m 考虑，大于 6 m 按 6 m 考虑；埋置深度小于 1.5 m 按 1.5 m 考虑。

$$R = [R] + m_b \gamma (B - 3) + m_D \gamma (D - 1.5) \quad (38.1-5)$$

式中 R ——修正后地基土的允许承载力 tf/ m^2

m_b 、 m_D ——分别为基础宽度和埋深的承载力修正系数，按表 38.1-1 h 采用

γ ——基础底面以下土的天然容重（地下水以下取水下浮重），一般取 1.8 tf/ m^3

B ——基础底面宽度 m

D ——基础埋置深度 m（挖土整平时按整平地面算起；填土整平时，按天然地面算起）

表38·1-1a 岩石允许承载力[R] tf/m²

岩石类别	风化程度		
	强风化	中等风化	微风化
硬质岩石	50~100	150~250	≥400
软质岩石	20~50	70~120	150~200

注：对于微风化的硬质岩石，其允许承载力如取用大于400 tf/m²时，应另行研究确定。

表38·1-1b 碎石土允许承载力[R] tf/m²

土的名称	密实度		
	稍密	中密	密实
卵石	30~40	50~80	80~100
碎石	20~30	40~70	70~90
圆砾	20~30	30~50	50~70
角砾	15~20	20~40	40~60

注：1.表中数值适用于骨架颗粒空隙全部由中砂、粗砂或硬塑、坚硬状态的粘性土所充填。
2.当粗颗粒为中等风化或强风化时，可按其风化程度适当降低允许承载力，当颗粒间呈半胶结状时，可适当提高允许承载力。

表38·1-1c 砂土允许承载力[R] tf/m²

土的名称	密实度		
	稍密	中密	密实
砾砂、粗砂、中砂 (与饱和度无关)	16~22	24~34	40
细砂、粉砂	稍湿	12~16	16~22
	很湿		12~16
			30
			20

表38·1-1d 老粘性土允许承载力[R] tf/m²

含水比u	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
[R]	70	58	50	43	38

注：1.含水比u为天然含水量w与液限w_L的比值。
2.本表适用于压缩模量E_s大于150kgf/cm²的老粘土。

表38·1-1e 一般粘性土允许承载力[R] tf/m²

塑性指数 I _p	≤10				>10					
	0	0.5	1.0	1.5	0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.20
孔隙比 e	0.5	35	31	28	45	41	37	(34)①		
	0.6	30	26	23	38	34	31	28	(25)①	
	0.7	25	21	19	31	28	25	23	20	16
	0.8	20	17	15	26	23	21	19	16	13
	0.9	16	14	12	22	20	18	16	13	10
e	1.0		12	10	19	17	15	13	11	
	1.1				15	13	11	10		

① 供内插用。

表38·1-1f 沿海地区淤泥和淤泥质土

天然含水量 w%	允许承载力[R] tf/m ²						
	36	40	45	50	55	65	75
[R]	10	9	8	7	6	5	4

注：1.内陆淤泥和淤泥质土可参照使用。

2.w为原状土的天然含水量。

表38·1-1g 红粘土允许承载力[R] tf/m²

含水比 u	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
	[R]	35	30	26	23	21	19	17	15	13	12

注：本表适用于广西、贵州、云南地区的红粘土，对于母岩、成因类型、物理力学性质相似的其他地区的红粘土，可参照使用。

表38·1-1h 修正系数 m_B、m_D

土的类别	m _B	m _D
淤泥和淤泥质土，新近沉积粘性土、红粘土、人工填土，e及I _L 大于0.9的一般粘性土	0	1.0
老粘性土和一般粘性土	粘土、亚粘土 轻亚粘土	0.3 0.5
粉砂、细砂（不包括很湿与饱和状态的稍密粉、细砂）		2.0
中砂、粗砂、砾砂和碎石土		2.5
	3.0	4.0

b. 基组偏心限值 基组的总质心应力求与基底形心位于同一垂直线上（计算方法见第5章及其实例），如偏心不可避免时，其偏心距与偏心方向的基底边长之比不得大于下列限值：

汽轮机组基础 3%

其他类型机器基础（金属切削机床例外）

当 [R] ≤ 15tf/m² 3%

[R] > 15tf/m² 5%

c. 强度及抗裂性验算 机器基础的强度验算及用于抗裂的构造配筋，见有关各章。此外对于高而重，底座面积小的机器如压力机还需复核机器底座与基础接触面的混凝土压应力。当基础采用100号混凝土时，接触处压力不得大于20kgf/cm²，当基础采用150号~200号混凝土时，接触处压力不得大于30kgf/cm²。

1.4.2 动力计算

机器基础动力计算的主要目的是计算基组的振幅、振动速度或振动加速度，使其控制在允许范围之内。

机器基础动力计算体系主要有两种：一是质量—弹簧—阻尼器体系；一是弹性半空间体系。

本篇基本采用质量—弹簧—阻尼器体系，即把基础视为有质量的刚体，把地基视为无质量的弹簧并起阻尼器作用。简称质—弹—阻体系。

动力计算方法见第2章。在周期性扰力作用下的大块式或墙式基础的计算步骤见第5章、第7章及其实例；框架式基础的计算步骤见第6章及其实例；冲击机器基础的计算步骤见第8章及其实例；压力机基础计算步骤见第4章及其实例。

机器基础的振幅值是指半幅值 A ，见图38·1-4。

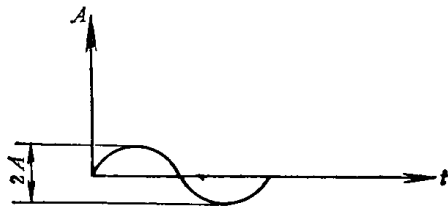


图38·1-4 振动波形示意图

机器基础进行动力计算时所用数据：1) 机器扰力值及其作用点的位置和机器通过其质心的质量惯性矩，这些数据与机器的结构、精度和动静平衡程度有关；2) 机器基础的振动控制值(允许值)关系到操作人员的身心健康、机器使用寿命和产品的质量，以及对周围环境的影响等，因此上述各数据均应由机器制造部门提供。如无条件时，则应按本篇有关各章所推荐的扰力值或扰力计算公式和振动控制值进行计算。

2 地基的主要动力参数

2.1 天然地基的刚度系数、刚度及阻尼比

2.1.1 匀质土的刚度系数

1) 抗压刚度系数 C_z 值，一般可按表 38·1-2 选用，必要时要通过试验确定。

2) 抗剪刚度系数 C_x 值按式 (38·1-6) 计算。

$$C_x = 0.7C_z \quad \text{tf/m}^3 \quad (38\cdot1-6)$$

3) 抗弯刚度系数 C_φ 值按式 (38·1-7) 计算。

$$C_\varphi = 2.15C_z \quad \text{tf/m}^3 \quad (38\cdot1-7)$$

4) 抗扭刚度系数 C_ψ 值按式 (38·1-8) 计算。

$$C_\psi = 1.5C_x = 1.05C_z \quad \text{tf/m}^3 \quad (38\cdot1-8)$$

表38·1-2 天然地基(匀质土)抗压刚度系数 C_z 值 tf/m^3

土的允许承载力 [R] tf/m ²	岩 石 碎石土	粘 土	亚粘土	砂 土
100	17600			
80	13500			
70	11700			
60	10200			
50	8800	8800		
40	7500	7500		
30	6100	6100	5300	4800
25		5300	4400	4100
20		4500	3600	3400
15		3500	2800	2600
10		2500	2000	1800
8		1800	1400	

注：1. 表中[R]值不按基础的宽度和深度进行修正。

2. 表中所列 C_z 值适用于底面积大于或等于 20m^2 的基础，当底面积小于 20m^2 时，则表中数值应乘以 $\sqrt[3]{\frac{20}{F}}$ 。

3. 不属于本表内的土类，可参照与本表内相类似的土选用。

2.1.2 分层土的刚度系数

当基底下的 $2d$ 深度范围内，由不同的土层组成时(见图 38·1-5)，其抗压刚度系数 C_{z2} 值按式 (38·1-9) 计算。抗剪、抗弯及抗扭刚度系数 C_{x2} 、 $C_{\varphi2}$ 、 $C_{\psi2}$ 值仍分别按式 (38·1-6)，(38·1-7)，(38·1-8) 计算，但式中 C_z 用 C_{z2} 代之。

$$C_{z2} = \frac{0.667}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{C_{zi} \left(\frac{1}{1 + \xi_{i-1}} - \frac{1}{1 + \xi_i} \right)}} \quad \text{tf/m}^3 \quad (38\cdot1-9)$$

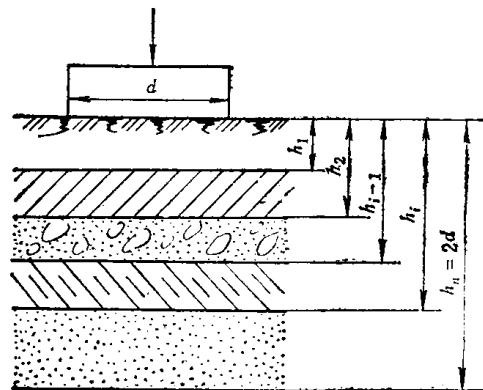


图 38·1-5

式中 C_{zi} ——第 i 层土的抗压刚度系数 tf/m^3

d ——方形基础底边长, 对矩形基础

$$d = \sqrt{F} \quad \text{m}$$

$$\xi_{i-1} = \frac{h_{i-1}}{d} \quad \xi_i = \frac{h_i}{d}$$

2.1.3 天然地基刚度

天然地基刚度系地基单位弹性位移(转角)所需的力(力矩), 它是基础底板以下影响范围内土体的综合性物理量, 主要是由地基土的性质、基底几何尺寸, 以及载荷性质等因素决定的。

(1) 天然地基的抗压、抗剪、抗弯及抗扭刚度, 分别按下列各式计算:

$$\text{抗压 } K_z = C_z F \quad \text{tf/m} \quad (38.1-10)$$

$$\text{抗剪 } K_x = C_x F \quad \text{tf/m} \quad (38.1-11)$$

$$\text{抗弯 } K_\varphi = C_\varphi I \quad \text{tf}\cdot\text{m} \quad (38.1-12)$$

$$\text{抗扭 } K_\psi = C_\psi J \quad \text{tf}\cdot\text{m} \quad (38.1-13)$$

式中 I, J ——分别为基础底面通过其形心的抗弯惯性矩及抗扭惯性矩 m^4

(2) 埋置基础的地基抗压、抗剪、抗弯及抗扭刚度, 分别按下列各式计算

$$\text{抗压 } K_z = \alpha_z C_z F \quad \text{tf/m} \quad (38.1-14)$$

$$\text{抗剪 } K_x = \alpha_{x\varphi} C_x F \quad \text{tf/m} \quad (38.1-15)$$

$$\text{抗弯 } K_\varphi = \alpha_{x\varphi} C_\varphi I \quad \text{tf}\cdot\text{m} \quad (38.1-16)$$

$$\text{抗扭 } K_\psi = \alpha_{x\varphi} C_\psi J \quad \text{tf}\cdot\text{m} \quad (38.1-17)$$

式中 $\alpha_z, \alpha_{x\varphi}$ ——分别为基础埋深的地基抗压刚度及抗剪、抗弯和抗扭刚度的提高系数, 可按下列各式计算:

$$\alpha_z = (1 + 0.4\delta_b)^2 \quad (38.1-18)$$

$$\alpha_{x\varphi} = (1 + 1.2\delta_b)^2 \quad (38.1-19)$$

$$\delta_b = \frac{h_i}{\sqrt{F}} \quad (38.1-20)$$

式中 δ_b ——基础埋深比, 当 $\delta_b > 0.6$ 时取 0.6

h_i ——基础埋置深度 m

式(38.1-18)、(38.1-19)适用条件:

1) 地基土和基础周边填土为同一粘土、亚粘土、轻亚粘土或砂土类。回填土容重与基础下地基土的容重之比不小于 0.85;

2) 地基土的允许承载力 $[R] \leq 35 \text{ tf/m}^2$;

3) 对淤泥及淤泥质土时, 式(38.1-18)中的 0.4 改用 0.2; 式(38.1-19)中的 1.2 改用 0.5;

4) 对于锻锤、压力机基础 $\alpha_z = 1.0$ 。

(3) 埋置基础与混凝土地坪整体连接时, 天然地基抗剪、抗弯及抗扭刚度应乘 $\alpha_1 = 1.2 \sim 1.4$ 提高系数(软弱地基取 1.4, 其他地基取 1.2)。

2.1.4 天然地基阻尼比

1) 天然地基阻尼比, 一般按表 38.1-3 选用。

表 38.1-3

D_z	$D_{x\varphi 1}$	$D_{x\varphi 2}$	D_ψ
0.15	0.08	0.12	0.12①

① D_ψ 应由现场试验确定, 无条件时采用表中数值。

表中 D_z ——天然地基垂直向阻尼比

$D_{x\varphi 1}, D_{x\varphi 2}$ ——天然地基水平回转向第 1、第 2 振型阻尼比

D_ψ ——天然地基扭转向阻尼比

2) 埋置天然地基基础的垂直向、水平回转向阻尼比应分别乘以 $\beta_z, \beta_{x\varphi}$ 提高系数。其值按下列公式计算:

$$\beta_z = 1 + \delta_b \quad (38.1-21)$$

$$\beta_{x\varphi} = 1 + 2\delta_b \quad (38.1-22)$$

天然地基扭转向阻尼比提高系数也可取 $\beta_{x\varphi}$ 。

2.2 打入式灌注桩和预制桩桩基(以下简称打入式桩基)的刚度系数、刚度及阻尼比

打入式桩基刚度系数、刚度及阻尼, 一般均由现场试验确定, 如无条件时, 可按下述规定选用与试算, 并在打桩过程中进行验证, 以便确定桩基设计是否需要修正。

2.2.1 刚度

打入式桩基的刚度计算公式

$$1) \text{ 抗压 } K_{zh} = n_h k_{zh} \quad \text{tf/m} \quad (38.1-23)$$

$$k_{zh} = \sum C_{\tau h} F_{\tau h} + C_{zh} F_{zh} \quad \text{tf/m} \quad (38.1-24)$$

$$2) \text{ 抗弯 } K_{\varphi h} = k_{zh} \sum_{i=1}^n r_i^2 \quad \text{tf}\cdot\text{m} \quad (38.1-25)$$

$$3) \text{ 抗剪 } \text{当桩的上部土层 } [R] \leq 20 \text{ tf/m}^2 \text{ 时}$$

$$K_{xh} = 1.2 K_x \quad \text{tf/m} \quad (38.1-26)$$

当桩的上部土层 $[R] > 20 \text{ tf/m}^2$ 或为支承桩时

$$K_{xh} < K_x \quad (38.1-26a)$$

如需采用斜桩以提高抗剪刚度，当桩的斜度为 1:6，其间距为 $(4 \sim 5)d_h$ (d_h 为桩截面的直径或边长)时，则其抗剪刚度

$$K_{xh} = 1.4K_x \quad \text{tf/m} \quad (38\cdot1-26b)$$

4) 抗扭 $K_{\psi h} \approx 1.2K_{\psi} \quad (38\cdot1-27)$

式中 n_h ——桩的根数

k_{zh} ——单桩的抗压刚度

r_i ——第 i 根桩的轴线至基础底面形心回转轴的距离 m

C_{rh} ——桩周各层土的当量抗剪刚度系数 tf/m^3 ，见表 38·1-4

F_{rh} ——各层土中的桩周表面积 m^2

C_{zh} ——桩尖土的当量抗压刚度系数见表

表 38·1-4 桩周土的当量抗剪刚度系数

C_{rh} 值		tf/m^2
土类名称	土的状态	C_{rh}
淤泥	饱和	600~700
粘土、亚粘土、轻亚粘土	软塑	700~1000
	可塑	1000~1500
	硬塑	2000~2500
粉砂、细砂	稍密~中密	1000~1500
圆砾、卵石	稍密	1500~2000
	中密	2000~3000
中砂、粗砂、砾砂	稍密~中密	2000~2500

表 38·1-5 桩尖土的当量抗压刚度系数 C_{zh} 值

土类名称	土的状态	桩尖入土深度 m	C_{zh}
粘土、亚粘土、轻亚粘土	软塑、可塑	10~20	50000~90000
	软塑、可塑	20~30	80000~130000
	硬塑	20~30	130000~160000
粉砂、细砂	中密、密实	20~30	100000~130000
中砂、粗砂、砾砂、圆砾、卵石	中密	7~15	100000~130000
	密实		130000~200000
页岩	中等风化		150000~200000

注：表列数值系当桩的间距为 $(4 \sim 5)d_h$, $n_h \geq 10$ 时的值，当 n_h 为 4 时，应将上两表中数值乘 2.0，当 $4 < n_h < 10$ 时，用插入法计算。

$$38\cdot1-5 \quad \text{tf/m}^3$$

F_{zh} ——桩的截面积 m^2

K_x ——天然地基的抗剪刚度 tf/m

5) 当考虑桩基上承台的埋深和地坪作用时，其抗剪和抗扭刚度可按下式计算：

$$K_{xh} = K_x(0.2 + \alpha_{x\varphi}\alpha_1) \quad (38\cdot1-27a)$$

$$K_{\psi h} \approx K_{\psi}(0.2 + \alpha_{x\varphi}\alpha_1) \quad (38\cdot1-27b)$$

式中 α_1 ——地坪提高系数取 1.2~1.4, $\alpha_{x\varphi}$ 见式 (38·1-19)

桩基抗压刚度可不考虑基础的埋深和地坪作用。

2.2.2 阻尼比

打入式桩基的阻尼比按表 38·1-6 采用。

表 38·1-6 桩基阻尼比

D_z	$D_{x\varphi 1}$	$D_{x\varphi 2}$	D_{ψ}
0.20	0.12	0.20	0.20

桩基阻尼比不考虑基周填土及地坪提高系数。

2.2.3 当量质量与质量惯性矩

打入式桩基参加振动的当量质量与质量惯性矩的计算

1) 垂直振动时，桩和桩间土参加振动的当量质量 m_z 按下式计算：

$$m_z = l_i b d \frac{\gamma}{g} \quad \text{tf} \cdot \text{s}^2 / \text{m} \quad (38\cdot1-28)$$

式中 l_i ——桩的折算长度，当桩长 $l_h \leq 10m$ 时取用 1.8m; $l_h \geq 15m$ 时取用 2.4m，中间值用插入法计算

b, d ——桩基承台底边的宽度、长度 m

γ ——土和桩的折算容重，可近似地取土的容重 tf/m^3

2) 水平回转耦合振动时，桩和桩间土参加振动的当量质量 $m_{x\varphi}$ 按下式计算：

$$m_{x\varphi} = 0.4m_z \quad (38\cdot1-29)$$

3) 打入式桩基质量惯性矩，因考虑桩和桩间土参加振动的当量质量，故须乘以提高系数 β_i ：

$$\beta_i = 1 + \frac{m_{x\varphi}}{m} \quad (38\cdot1-30)$$

式中 m ——基组的总质量

3 基础的构造与施工

3.1 构造与材料

1) 机器基础的构造要保证基础整体刚度、防止构件的过大变形和开裂。

确定基础顶面尺寸时,应遵守下列规定:机器底座边缘到基础边缘的水平距离,一般不宜小于100mm;地脚螺栓轴线至基础边缘的距离不小于四倍螺栓直径;预留螺栓孔边至基础边缘的净距不应小于100mm;上述距离要求亦适用于基础孔洞、坑槽等边缘净距,如不能满足上述要求时,宜局部配置辅助构造钢筋,以免基础开裂和裂缝开展。从地脚螺栓的底面到基础底(如螺栓下有孔洞时则到孔洞顶面)的距离,不得小于150mm。

对于墙式基础,墙与顶板须有牢靠的连接以保证墙体间的共同工作。

对于框架式基础,柱与梁的连接宜加腋,或加柱帽,以保证其空间刚度。

2) 机器基础大多用混凝土或钢筋混凝土材料建造。

大块式基础一般采用标号不低于100号的混凝土。墙式、框架式基础采用不低于150号的混凝土。

机器基础顶面的二次浇注材料的标号应比基础材料提高一级,当浇注厚度大于50mm时,采用细石混凝土,小于50mm时,采用1:2水泥砂浆。

对于具有防水、防油、防渗等要求的基础,混凝土标号不低于200号,防水混凝土应捣制密实并加入防水剂,必要时亦可做防水层。防油时应在基础表面涂防油材料。

机器基础内的配筋,一般采用Ⅰ级或Ⅱ级钢,不得使用冷轧钢筋,受冲击较大处的部位应尽量采用热轧变形钢筋,并避免焊接接头。对体积大于40m³的基础,沿基础周边配置直径较细、间距较密的钢筋网。体积小于或等于40m³的基础,则一般不配筋或局部配筋。

3.2 基础施工与允许偏差

机器基础施工必须严格遵守施工与验收规范,在无特殊困难时,应尽量少留或不留施工缝。在浇注混凝土时应震捣密实,防油、防水基础的表面尤

其要求平整。在混凝土凝结期应加强养护。

(1) 施工时偏差不得超过下列要求

- | | |
|------------------------------------|-------------|
| 1) 基础平面 主要尺寸(长度、宽度) | ±30 |
| mm | |
| 2) 基础顶面标高(不计二次灌浆层厚度) | ± 30 |
| mm | |
| 3) 预留孔、洞、坑、沟等尺寸 | ± 20 mm |
| 4) 地脚螺栓孔中心与基础(或机器的)轴线之间的距离 | ±10mm |
| 5) 地脚螺栓及镶入配件与轴线之间的距离 | ±5mm |
| 6) 预埋地脚螺栓上端标高 | ± 20 mm |
| 7) 地脚螺栓垂直轴线之偏差 | <5% |
| 8) 锻锤砧块垫层下基础表面应一次抹光,不允许另做找平层,其水平度: | |
| 采用木垫时 | ≤1% |
| 采用橡胶垫时 | ≤0.5% |

其他部分按施工验收规范有关规定。

(2) 基础沉降观测

机器基础在载荷作用下,可能产生不均匀沉降,为了保证机器的正常运转,对于大型机器或对差异沉降敏感的机器应在基础上设置沉降观测点。基础沉降观测分下列几个阶段进行。

- 1) 基础底板施工完毕后;
- 2) 基础全部施工完毕后;
- 3) 机器安装完毕后;
- 4) 试运转期间;
- 5) 投产后不定期观测(其期限根据地基土的性质及机器对差异沉降要求而定,一般为半年至一年)。

另外对于振动较大的机器基础所在厂房的柱基亦应定期进行沉降观测。

4 机器基础振动对周围建(构)筑物、其他机器、仪器和设备的影响以及应采取的措施

4.1 对厂房结构的影响和采取的措施

1) 当车间设有低频率(≤10赫)的动力机器,且其不平衡扰力较大,则在设计厂房结构时,应避免产生共振。

2) 在单层厂房内设有锻锤、水爆清砂池基础

时, 厂房结构和墙体应采取抗震构造措施, 同时, 厂房屋盖结构系统设计时, 应计入基础振动所产生的动载荷(当量静载荷), 其大小为屋盖系统垂直载荷(包括静载与活载)的5%~20%, 垂直动载荷增加数值和影响范围见表38·1-7。

表38·1-7 锻锤、水爆基础振动对厂房屋盖系统的垂直动载荷增加值

振源条件	屋盖结构系统垂直载荷增加的百分数 %	增加载荷影响半径 m
锤头落下部分 公称重量 tf	≤1.0	3~5
	2~5	5~10
	10~16	10~15
水爆清砂池	无隔震	10~20
	有隔震	7~15

注: 1. 锻锤车间增加载荷按最大的一台锻锤考虑。
2. 水爆清砂池中, 下限用于爆小件, 上限用于爆大件。
3. 与水爆车间不直接连接而又在影响半径之内的厂房, 按上表中数值之半计算垂直动载荷。

锻锤基础邻近的厂房柱基, 其地基允许承载力应乘折减系数0.75~0.85。

水爆池所在的柱间吊车梁在选型时应提高一级(标准图)并按重级工作制考虑, 对柱子牛腿亦应予以加强。

3) 冲击能量大的落锤基础, 因振动影响大, 一般建筑物应与它有相当的距离, 其最小距离可按表38·1-8采用。

表38·1-8 落锤基础对周围建筑物影响范围 m

地基土类别及状态	落锤冲量tf·m为下值时, 基础振动对邻近建筑物影响半径		
	≤60	120	180
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
四类土(饱和粉细砂及淤泥质土)	50	80	100

当建筑物满足不了表中最小距离时, 设计建筑物应考虑抗震措施。

4) 当设计设有金属切削机床的车间时, 应与铁路、公路及其它振动设备等振源保持必要的距

离, 其数值可参考表38·1-9。

5) 设计锻锤、落锤、水爆清砂池车间, 当地基较差时, 屋架下弦净空应增大, 以备调正。

表38·1-9 机床防振参考距离 m

振源	振源的主要特性	一般机床	精密机床
火车	国家铁路	100~200	200~300
	厂内铁路	15~30	40~80
汽车	国家公路	30~50	50~80
	厂内公路	10~20	20~40
压缩机	功率小于100kW	30~40	40~70
	功率150~250kW	40~60	80~100
锻锤	<1tf	30~50	50~80
	1~2tf	40~60	80~120
	3~5tf	50~70	100~250
	≥10tf	100~200	300~500
机械 压力机	<1000tf	20~30	40~70
	1000~4000tf	30~60	70~120
	6300~12000tf	40~70	100~200

注: 如受条件限制不能满足表中要求时, 应采取减振、隔振措施。

4.2 地面振动衰减估算

在具有振动的机器基础(振源)周围, 设置对振动有限制要求的建筑物(如设有精密设备、仪器的建筑物), 需离振源有一定的振动衰减距离, 使传至该处的振幅值小于建筑物允许的振幅值, 该距离一般应由现场测试确定, 如无条件时, 可按下式估算

$$A_{r_j} = A_0 \sqrt{\frac{r_d}{r_j} \left[1 - \xi_d \left(1 - \frac{r_d}{r_j} \right) \right]} e^{-f_0 a_0 (r_j - r_d)} \quad (38·1-31)$$

式中 A_{r_j} ——距振动基础中心 r_j 处地面的振幅 mm

A_0 ——振动基础的最大振幅 mm

f_0 ——基础上机器工作频率; 一般为50Hz以下, 对于冲击机器基础可采用机组自振频率 Hz

r_d ——圆形基础半径。矩形或正方形基础

采用当量半径 $r_d = \mu_1 \sqrt{\frac{F}{\pi}}$ m

表38·1-10 系数 ξ_d 值

r_d m	≤ 0.5	1	2	3	4	5	6	≥ 7
ξ_d	0.99~0.85	0.70	0.60	0.55	0.45	0.40	0.35	0.25~0.15

注：1. r_d 为中间值时，用插入法计算。
2. 对于 $F > 10m^2$ 的水平振动基础， ξ_d 乘以折减系数 0.3~0.4。

表38·1-11 土壤能量吸收系数 α_0 值 s/m

土壤类别	$\times 10^{-3}$
强风化硬质岩	0.375~0.625
硬塑的粘土和中密的碎石	0.875~1.150
可塑的粘土和中密的粗砂砾石	1.000~1.250
软塑的粘土和稍密的中砂、粗砂	1.150~1.450
淤泥质粘土和饱和松散细砂	1.500~1.750
新近沉积的粘性土和非饱和松散砂	1.850~2.150

注：1. 对 $F > 10m^2$ 的基础，在水平振幅的衰减计算中， α_0 应乘以 0.7~0.8。
2. 同一状态的土壤，孔隙比大者 α_0 取大值，孔隙比小者取小值。

μ_1 ——动力影响系数：当 $F \leq 10m^2$ 时 $\mu_1 =$

1.0； $F > 20m^2$ 时， $\mu_1 = 0.8$ ，其间采用插入法计算

ξ_d ——无量纲系数；按表 38·1-10 选用

α_0 ——土壤能量吸收系数；按表 38·1-11 选用

4.3 补救措施

对于已投产的机器基础，当发现基础振动过大，应查明原因，采取相应措施予以补救。如系机器安装原因，应重新调整。如系机器制造原因，则应调整配重，如系基础设计不当，则应结合机器的动力特性予以处理。对低转速机器基础，可将刚性地坪之一部或全部(厂房墙及柱附近的地坪除外)与基础牢固地连接成整体，以增大刚度和阻尼，或加大基础底面积以增大刚度，从而降低振幅值。对于中、高转速的框架式基础，如系基础顶板局部振动过大，则可增加板厚或加大梁高，或改变梁的跨度和支承条件，以改变梁板自振频率。如系柱子刚度不足，则改变柱子截面或改成墙式基础。总之，要使基础的自振频率远离机器的扰力频率，才能减小基础的振动。

第2章 机器基础的动力计算方法

机器基础的动力计算主要内容是：1) 自由振动下，基组(基础、基础上机器、附属设备和基础上填土的总称)自振频率的计算；2) 扰力作用下，基组振幅的计算。一般情况下，计算模型为质量—弹簧—阻尼体系；某些情况下，可略去模型中的阻尼。

1 大块式机器基础的动力计算

大块式机器基础(包括一部分墙式基础)的振动，可作为弹性地基上刚体的振动，如图 38·2-1，它在空间具有六个自由度：三个位移和三个转角。通常用基组总质心 O 沿基组三个主轴 OX, OY, OZ 的位移及基组绕这三根轴的转角来描述基组的振动。

当基组总质心 O 和基础底面形心 b 可认为在一条垂直线上时，基组振动可分解为互相独立的三种

振动：1) 沿 OZ 轴的垂直振动；2) 在 XZ 及 YZ 平面内的水平回转耦合振动；3) 绕 OZ 轴的扭转振动。这三种振动可分开计算，然后迭加。

冲击作用下的大块式基础的动力计算属质量—

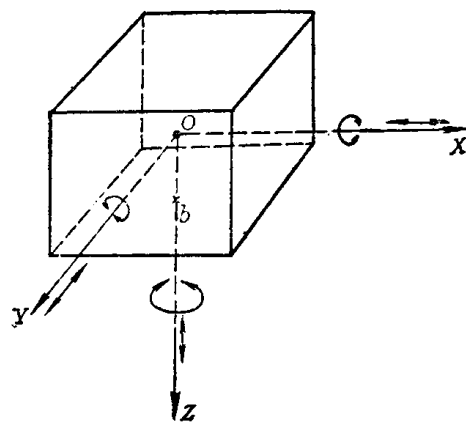


图38·2-1 坐标系及振动分量示意图