

特殊结构

李 著 璟

清华大学出版社

结构的设计时,现行规范当然仍旧是必须参考的文献。

本书中附入了圆池及悬索结构的计算机分析程序。虽然这些程序都经过仔细检查及试用,但使用者在用于实际结构设计时,仍需审慎地根据具体情况自行决定是否适用。

清华大学土木工程系为作者提供了讲授本课程的机会,使本书得以问世,谨在此表示感谢。

李著璟

1987. 8

内 容 提 要

本书论述了动力机器基础、圆形容器的(贮液、颗粒性贮物容器)、悬挂结构(辐射式悬索、索网)等三类结构的受力分析、结构设计和施工工艺,编写重心在基本原理方面,但在必要处仍与现行规范相呼应。书中配有适量的例题和计算机分析程序,以利读者在从事这类结构设计时,能很快上手。本书在内容详略的安排上考虑了高年级学生的知识结构。

本书可作为土木工程结构专业高年级本科生教材。亦可供工程技术人员设计参考之用。

特 殊 结 构

李 著 璟

责任编辑 姚美瑞

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

中国科学院印刷厂印刷

·新华书店北京发行所发行

☆

开本: 8 $\frac{1}{2}$ ×1168 1/32 印张: 8.5 字数: 220 千字

1988 年 8 月第 1 版

1988 年 8 月第 1 次印刷

印数: 0001—6000

定价: 1.70 元

ISBN 7-302-00267-3/TU·22(课)

序 言

每个土建结构都有其自身的特殊设计问题，这本来是土建结构有别于机电产品的一个特点。从这个意义上说，每个结构都是一个“特殊结构”。但任何结构在设计上都有共性。从这个意义上说，又无所谓“特殊结构”。本书中所谓“特殊结构”，是指相对于大学本科开设的结构课程（如结构力学及工程结构等）一般内容而言。这些课程提供了结构设计与分析所需要的最普遍的理论知识。但对某些类型的结构，其设计与分析还需用一些其他的理论知识。这些知识当然可以在工作中通过自学来获取，但如果为之开设一门课程以便部分学生选修，则未尝没有好处。本书试图满足这一需要而不能取代其他结构教材。

属于这一类型的特殊结构很多，即使在一门“特殊结构”的专门课程或教材中也不可能——亦无必要——件件涉及。作者选择了动力机器基础、圆形容器的悬挂结构三种结构类型作为本课程的内容，主要是因为这几种结构类型的特殊性具有典型意义，所涉及的理论知识的应用范围绝不仅局限于此。当然，别的教师的选择未必会这样。总之，特殊结构课程的内容很大程度上取决于讲授者本人的取舍。若本书能对其他院校的特殊结构课有所助益，作者感到的满足就超出期待的了。

在编写本书时，和编写其他结构教材一样，都遇到对现行设计规范的依附问题。考虑到规范时时更新，而基本原理则相对稳定，并且规范往往是多方面意见妥协的产物，作者不愿此书成为对现行规范条文的诠释。因此，在编写中，决定将重心放在基本原理方面，对现行规范只是适当地在必要处予以呼应。在从事这些特殊

目 录

第一篇 动力机器基础的设计

前言	1
第一章 概论	3
1.1 动力机器基础的设计要求	3
1.2 动力机器基础上作用的荷载	3
1.3 动力机器基础的结构类型	6
1.4 机器基础的设计过程	7
第二章 简谐扰力作用下块状基础的设计	9
2.1 天然地基的刚度系数	9
2.2 机器基础的竖向振动分析	13
2.3 机器基础的扭转振动分析	16
2.4 机器基础的水平回转耦合振动分析	17
2.5 对机器基础分析方法的讨论	23
2.6 块状基础的设计要求	24
2.7 块状基础的构造	27
2.8 简谐扰力作用下块状基础动力分析举例	28
第三章 锻锤基础的设计	33
3.1 冲击作用下的振动分析	33
3.2 锻锤基础的设计	38
3.3 锻锤基础动力分析举例	43

第四章 刚架型基础的设计	47
4.1 刚架的动力分析	47
4.2 汽轮机组基础设计	63
4.3 刚架基础动力分析举例	69
第五章 机器基础的隔振	74
5.1 机器基础振动对四周的影响	74
5.2 隔振	77
附录一	84
附录 1.1 结构动力学基本知识	84
附录 1.2 曲柄连杆体系的惯性力	90
参考文献.....	92

第二篇 钢筋混凝土圆形容器的设计

前言	93
第六章 弹性地基上的受弯构件	95
6.1 弹性地基梁的内力分析	95
6.2 变系数地基上的变截面梁	99
第七章 圆柱形器壁分析	101
7.1 圆柱形容容器壁内力分析	101
7.2 贮液池壁的内力分析	103
7.3 颗粒性贮物的器壁分析	116
第八章 底板内力分析	119
8.1 弹性地基上圆板的内力分析	119
8.2 池底板在边缘均布力作用下的内力分析	122

8.3 板中心作用有集中荷载的底板分析	132
第九章 顶板内力分析	137
9.1 轴对称平面圆板位移方程	137
9.2 圆板的内力计算	139
9.3 中心支柱圆板内力计算	147
第十章 钢筋混凝土水池配筋构造	155
10.1 池壁与池底的连接	155
10.2 池底板的浇筑	156
10.3 池壁与顶板的连接	156
10.4 池壁分缝问题	157
10.5 池壁混凝土的浇筑及养护	158
10.6 水池顶板及底板的配筋构造	158
10.7 顶板支柱的设置	159
附录二	160
附录 2.1 板的位移与弯矩关系式	160
附录 2.2 水池内力分析计算机程序	162
参考文献.....	184

第三篇 悬挂系统结构设计

前言	185
第十一章 单索受力分析	187
11.1 悬索的平衡方程式	187
11.2 悬索的应力变形协调方程式	191
11.3 集中荷载作用下的单索受力分析	199

第十二章 辐射式悬挂系统结构..... 205

 12.1 单层辐射式悬挂结构 207

 12.2 双层辐射式悬挂结构 209

第十三章 索网结构分析..... 215

 13.1 索网的平衡方程 215

 13.2 索网的协调方程 220

附录三..... 223

 附录 3.1 辐射式悬索结构分析计算机程序 223

 附录 3.2 索网结构分析计算机程序 231

 参考文献..... 264

第一篇 动力机器基础的设计

前 言

动力机器基础的设计所需专业知识涉及机械振动及结构动力学两个领域,因此未能包含在一般大学土木工程系的本科课程中。本书将就机器基础设计所需的理论知识及最基本的一些实际考虑进行讨论。读者掌握这些内容后,在从事这方面的工作时便不至于无从下手。

对学习本书所需最少量的动力学知识编于附录 1.1 中。

第一章 概 论

1.1 动力机器基础的设计要求

动力机器基础之别于一般房屋基础在于前者除承受自身及机器重量等静载外,还承受机器运转时的动力效应。因此在设计上,除满足一般静力平衡及强度要求外,尚有以下特殊的要求:

(1) 保持机器与基础的动稳定,亦即不使机器与基础在运转时发生共振现象。这一点可以通过计算基础的自振频率来控制。

(2) 不使地面振动传播太广以致影响邻近建筑物。这一点可以通过计算地面振幅来控制。

(3) 不使基础自身的振幅超过机器正常运转所容许的振幅。这一点可通过计算基础振幅来控制。

因此,设计机器基础时,除对基础进行静载下的设计外,还须对基础在动力效应下的反应进行分析。

1.2 动力机器基础上作用的荷载

由于基础上机器的运转,产生了作用于基础上的动力效应。这种动力效应,可根据机器运转性质之不同,分为以下几种类型。

1.2.1 由于机器的均匀回转运动引起的扰力

图 1.1 所示为一机器的回转部件,其质量 m 集中于质心点。如

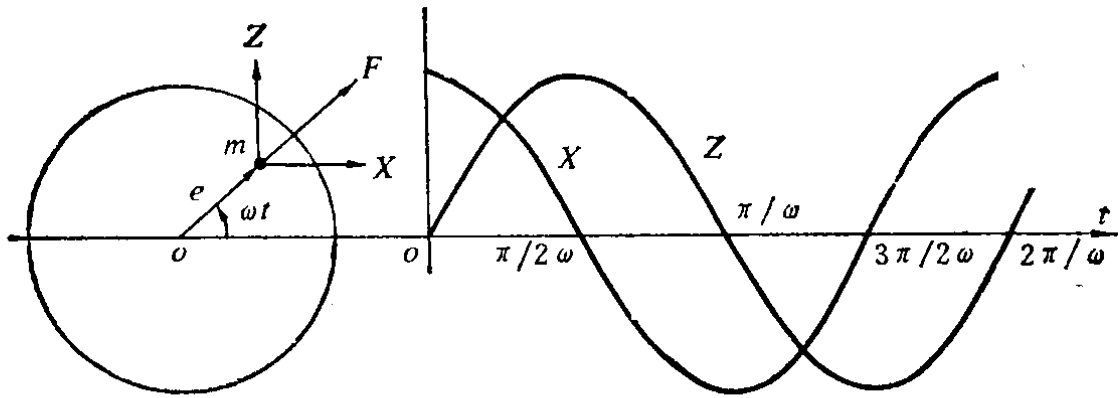


图 1.1 均匀回转运动产生的扰力

果回转部件的质心对于回转中心没有偏心，则均匀回转不会对基础产生扰力。若回转部件的质心对回转中心有一偏心 e ，则均匀回转时，由于惯性作用，就可通过回转轴的轴承对基础施加扰力。根据 D'Alembert 原理，扰力为

$$F = m e \omega^2 \quad (1.1)$$

式中， m 为回转部件的质量；

e 为回转部件的质心对回转轴的偏心距；

ω 为回转部件的转速，以每单位时间内弧度计；

F 为回转惯性力。

F 的作用方向恒垂直于回转轴。对于 F 的作用，一般考虑其两个互相垂直的分力，例如图 1.1 中所示水平方向分力 X 及垂直方向分力 Z 各为

$$\left. \begin{aligned} X &= m e \omega^2 \cos \omega t \\ Z &= m e \omega^2 \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (1.1a)$$

式中， t 为时间。因此两个分力均为简谐力。

这里 ω 称作简谐运动的“圆频率”，习惯上又简称作“频率”。当回转运动的转速以每分钟回转周数 n (r/min) 来表示时， ω 与 n 之间的关系为

$$\omega = \pi n / 30 \quad (\text{rad/s} = \text{弧度/秒})$$

在进行机器基础设计时，应采用机器制造厂商所提供的扰力

值,并乘以适当的扩大系数(一般取为 1.10)。

1.2.2 由于机器部件的往复运动引起的扰力

典型的往复运动机件为活塞,这种往复运动常与曲柄连杆运动相结合而构成更复杂的运动状态

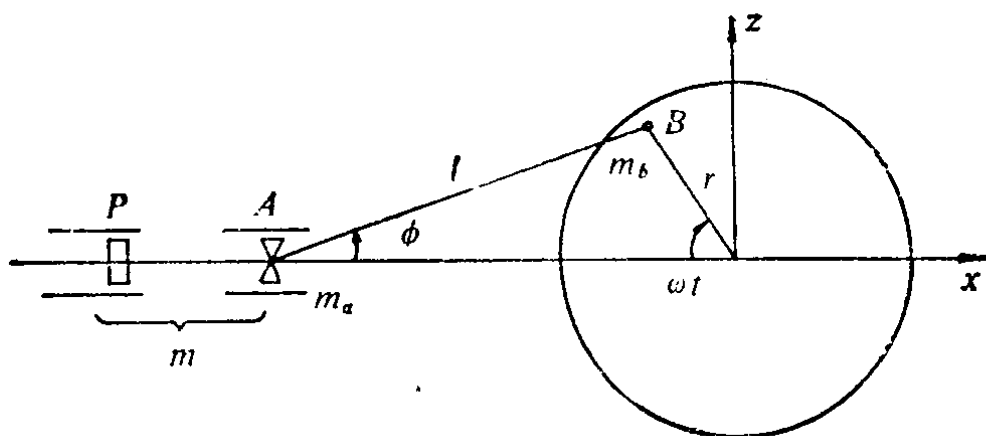


图 1.2 往复式运动产生的扰力

图 1.2 所示为一水平空压机的曲柄连杆及活塞机构。设连杆长度为 l , 曲柄长度为 r , 连接于节点 B ; 又设活塞 P 与十字头 A 的总质量为 m , 连杆质量中有 m_a 集中于 A , 连杆与曲柄质量中有 m_b 集中于 B , 则作用在基础上的水平扰力 X 及竖向扰力 Z 各近似为

$$\left. \begin{aligned} X &= r\omega^2(m + m_a + m_b) \cos \omega t \\ &\quad + r\omega^2(m + m_a) \frac{r}{l} \cos 2\omega t \\ Z &= r\omega^2 m_b \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

式中, ω 为转速;

t 为时间;

ωt 为曲柄与水平轴间的夹角(图 1.2)。

由上式可见,由于机件的往复运动,产生频率为 ω 及 2ω 的扰力,称作一谐及二谐扰力。这一点在基础设计中是重要的,即不但

要防止基础在一谐扰力下发生共振，还要求基础在二谐扰力下不发生共振。

曲柄连杆可能有多种布置，其扰力亦各不相同，多数情况下均有一谐及二谐扰力。在设计基础时，应按机器制造厂商提供的扰力值并乘以 1.10 的扩大系数。

1.2.3 由于冲击作用引起的动力效应

冲击作用的典型例子为锻锤落在锻件上，通过砧座，传到基础上的动力效应。对锻锤的冲击效应进行分析时，锤头击速是个重要的数据。锤头击速 V_0 可从厂商提供的打击能量 U 及锤头质量 m_0 按下式计算得到

$$V_0 = \sqrt{2U/m_0} \tag{1.3}$$

如为自由落锤，击速 V_0 也可从锤的落距 h 计算为

$$V_0 = \sqrt{2gh} \tag{1.4}$$

式中， U 为落锤打击能量；

m_0 为锤头质量；

h 为锤头落距；

g 为重力加速度，一般可取为 $g = 9.81\text{m/s}^2$ 。

1.3 动力机器基础的结构类型

从结构形式来看，动力机器的基础可分为两种主要类型，即 (1) 块状基础，(2) 刚架式基础 (见图 1.3)。

块状基础 (图 1.3a) 的应用范围很广，对于某些类型的机器来说 (如锻锤)，块状基础更是唯一可行的基础类型。刚架式基础 (图 1.3b) 一般仅用于安装高转速低功率的机器如风机或汽轮机等。

对块状基础进行动力分析时，可以忽略基础的变形，将基础作为刚性体来处理，而仅考虑地基的变形。对刚架式基础进行动力

分析时必须考虑基础的变形；并且由于在构造上将刚架放在一厚重的底座上,分析中可忽略地基的变形。

介于以上两种类型之间的还有墙式基础 (图 1.3c),即以墙代替刚架式基础的梁。当墙的净高不超过墙厚的 4 倍时,分析仍可按块状基础进行,即忽略基础的变形。有关墙式基础设计的讨论在本书中从略。以下将分章讨论块状基础及刚架基础设计中的一些问题。

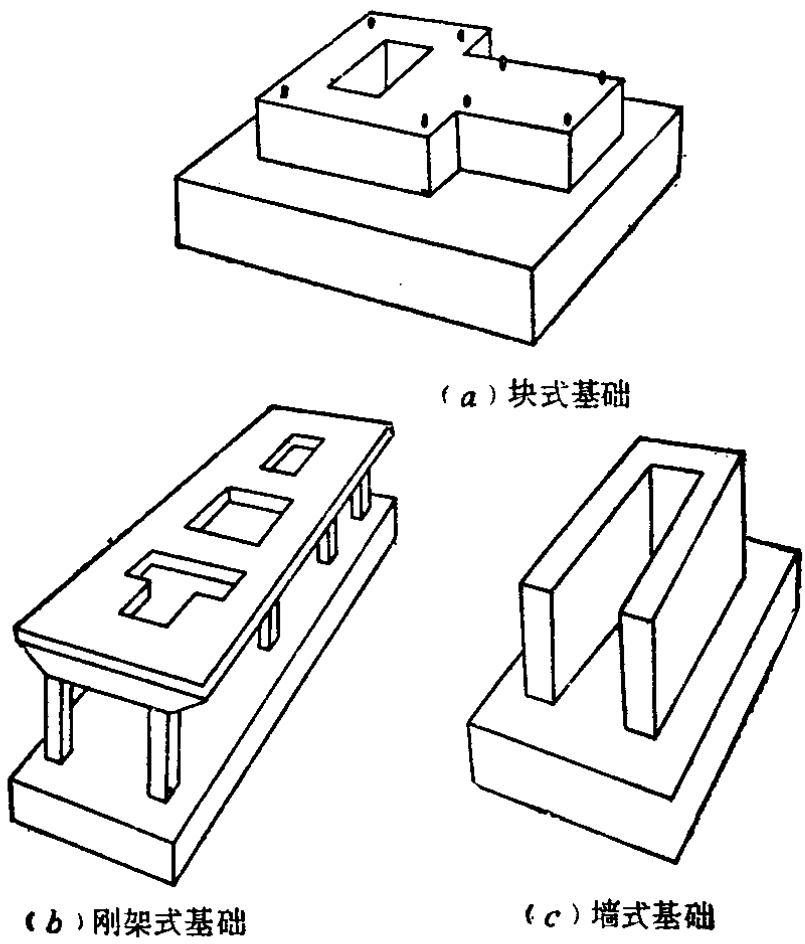


图 1.3 机器基础的结构类型

1.4 机器基础的设计过程

机器基础的设计,在一般情况下,可按图 1.4 所示的流程进行。

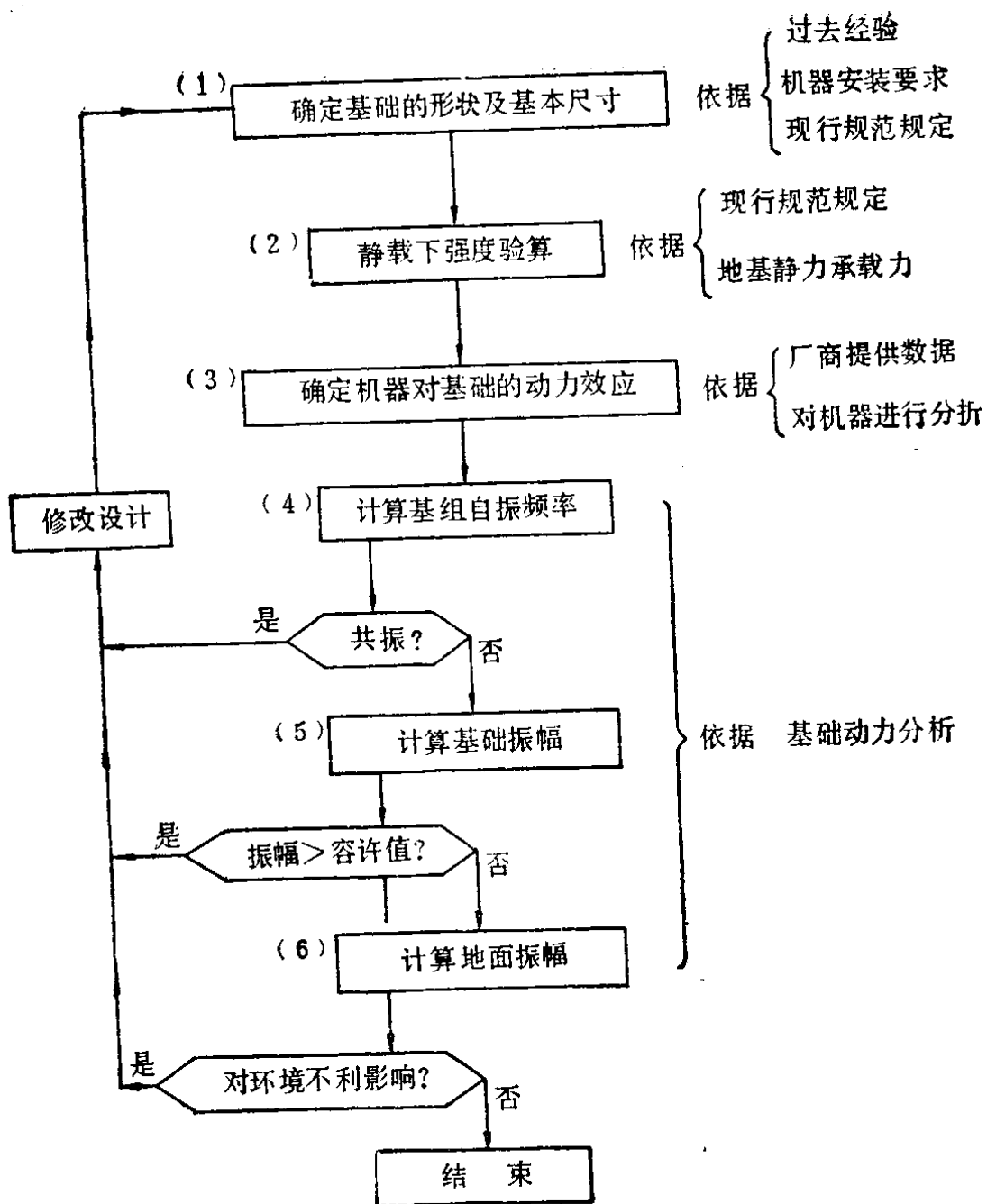


图 1.4 机器基础设计流程

本书将只讨论动力机器基础的动力效应设计问题，对图 1.4 流程中的第 (2) 步——基础的静力设计——将不予涉及。流程图中“基组”一词的定义见第二章。

第二章 简谐扰力作用下 块状基础的设计

块状基础的动力分析可根据两种数学模型进行。一是将地基土视为半无限空间的弹性或弹塑性介质，以电子计算机计算为手段，利用有限元理论进行动力分析。一是将地基土视为无质量的弹性垫层，可以比较方便地建立基础的位移微分方程并进行求解。本书将采取第二种分析途径——将地基视为弹性垫层。因此，为弹性垫层所设的弹性刚度就是动力分析中所必需的地基动力参数。

这里将以下讨论中常用的几个名词定义如下：

基础：指位于机器下将机器扰力传到地基上的结构物；

地基：指位于基础底面下的土体；

基组：指基础和机器形成一体振动的组合体，在分析中视为刚体。

2.1 天然地基的刚度系数

2.1.1 抗压刚度系数 k_z

抗压刚度系数 k_z 定义为在地基表面上产生均匀的单位压陷时所需的压强。一般 k_z 可按表 2-1 所列取值。必要时，应通过试验确定。

地基对基础反力的合力 Z' 可按式计算(图 2.1a)。

$$Z' = k_z A z \quad (2.1)$$

• 9 •