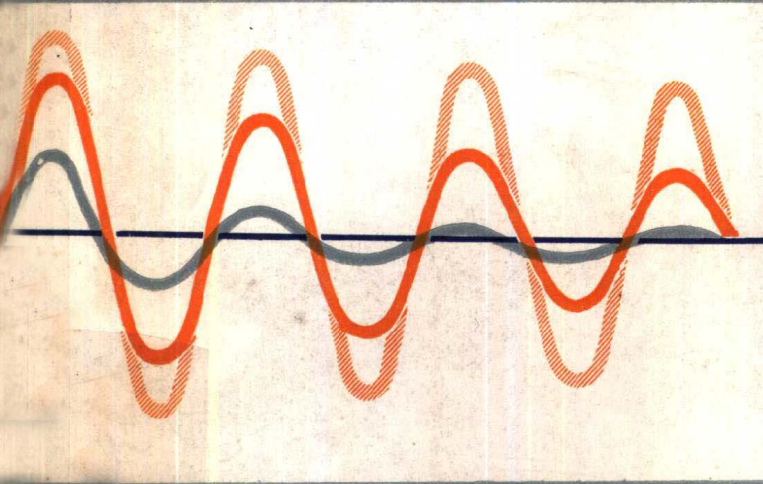


机器 上 基础

[西德] E. 劳施 著 武汉钢铁设计研究院 译



冶金工业出版社 —

机 器 基 础

上 册

〔西德〕E.劳施 著

武汉钢铁设计研究院 译

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书根据德国柏林工科大学教授、工学博士E. Rausch著的《Maschinenfundamente und andere dynamisch beanspruchte Baukonstruktionen》一书的1959年第三版和1968年补充本译出,并将书名改为《机器基础》。原著系作者根据多年从事机器基础及其他承受动载结构物的设计所积累的资料和经验编写成。本书系统地阐明了各类机器基础的设计和计算原理,并列有大量的设计实例。原著共分十六章,译本分上、下两册出版。上册包括第一至第八章;下册包括第九至十六章及参考文献。

上册内容包括:第一章阐明机器基础设计和计算总则;第二章至第五章具体说明等效静力的求法、疲劳系数的确定、弹性支承的刚体振动,机器基础的一般动力计算过程;第六章为承受单次冲击及不规则重复冲击的机器基础设计和计算;第七章和第八章分别叙述在周期性往复扰力或旋转扰力作用下的块体式或箱形基础的设计和计算以及设计实例。

本书可供从事机器基础设计、施工、科研的土建专业工程技术人员以及机械工业部门的有关技术人员使用,也可供土建类高等学校师生参考。

机 器 基 础

上 册

〔西德〕E.劳施 著

武汉钢铁设计研究院 译

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 17 7/8 字数 473千字

1981年12月第一版 1981年12月第一次印刷

印数00,001~8,000册

统一书号: 15062·3764 定价2.20元

译 者 的 话

现代的工程设计迅速走向精确计算的道路。机器基础的设计和计算随同结构动力学的进一步研究、机器制造工业的发展和电子计算机的广泛应用而日趋完善。过去不太清楚的许多因素，现在已逐步加深认识。大家知道，最早的动力计算方法是将动力荷载的幅值（最大值）乘上一个大于1的动力系数，然后将这样求得的价值视为静力进行结构计算。显然，这种方法没有考虑基础结构的动力特性，忽视了基础结构的振动和可能出现的共振问题。随着人们对机器基础荷载和结构动力特性的不断认识，使机器基础的动力计算比较符合客观规律。当然，人们对机器基础的动力计算有不同的认识，而且提出了不同的具体设计方法，例如，有所谓振幅法和共振法，前者使基础的振幅不超过某一容许值，后者使基础固有频率至少与扰力频率相差20~30%，以避免接近共振。本书所用方法属共振法。显然，目前结构动力计算中的许多问题还没有得到圆满解决，有待进一步研究，何况象汽轮机构架式基础之类的复杂结构很难得到精确的振动分析结果。因此，这两种方法应相辅相成，既要使基础不接近共振，又要使它的振幅不超过容许值。过去，我们熟悉了振幅法，但随着祖国建设事业的发展及引进国外技术和机器设备的需要，还要求我们掌握国外采用的其他设计方法。因此，我们翻译了这本《机器基础》。至于哪一种方法较切合实际和便于应用，希读者在实践中鉴别。

原著是德国柏林工科大学教授、工学博士E. 劳施根据他多年从事机器基础及其他承受动载的结构物的设计工作所积累的资料和经验编写成的，系统地阐明了机器基础的设计和计算，列有大量的设计实例和许多结构图，亦叙述了一些失败的设计、施工事例，使人们吸取教训，引以为戒。因此，原著是一本有参考价值的优秀著作。

为便于读者阅读，我们将原著1959年第三版和1968年出版的

补充本连贯地合编在一起；原书的标题层次未动，但改编了书写形式，并对插图重新按章编号。

原著共分十六章，第一至第五章是基本理论部分。第一章阐明了机器基础设计和计算总原则。动力计算是要确定动载的等效静力（或力矩），以便将动力问题化为静力问题来进行结构计算。这里所指的等效静力系由扰力乘上疲劳系数和动力系数而得，而第二章至第五章则具体说明等效静力的求法，即第二章说明动力系数的求法；第三章说明疲劳系数的确定；第四章中将基础视为弹性支承的刚体的条件下，具体说明动力计算过程；求动力系数时须先得知基础的弹性变位值和固有频率，故第五章中详细说明地基土、桩、软木、混凝土及钢筋混凝土、弹性隔振器等的弹性性质，然后说明振动基础六种振动形式的固有频率的求法。在第六章至第十一章中，依次叙述了锤基础，产生往复扰力或者旋转扰力的机器的块体式或箱形基础、高转速机器（特别是汽轮机）的构架式基础的设计与计算，并列大量实例。第十二章叙述厂房地面破坏的地区机器基础的设计。第十四章中列举了机器基础的破坏事例及修复损坏了的基础的解决办法。第十五章概述了机器基础借助振动质量减振的原理和应用事例。第十六章叙述建筑工程中其他类型的动力问题，其中包括高层建筑、烟囱、钟楼等的动载问题。为了便于读者使用，译本将分上、下两册出版。上册包括第一至八章、下册包括第九至十六章。

译本中尽量采用较为通用的术语，也有一些专业名词的译名尚待商榷，在译本中附以原文。

本书以钟华杲同志为主翻译的，参加翻译的还有黄桐之同志（译第六、九、十章）和唐月兰同志（译第十四章）。全部译稿的校对和正本与补充本内容的合编工作均由钟华杲同志完成，最后蒙杨真三同志作技术审校。限于水平，译文内容如有错误，欢迎读者批评指正。

1980年10月

第三版原序

任何一台较大的固定的机器都应具有一个基础，因此，机器基础不仅对机械工程师、而且对土建工程师都具有相当普遍的关系，因为前者要求可靠地、无振动地支承着他设计的机器，而后者担负着正确设计基础的职责。可是，尽管如此，往往对这一领域注意得太少。

其部分原因在于：机器基础是不能用一般的建筑技术手段对待的一个特殊建筑工程领域。也就是说，与承受静力情况的其他结构物相反，机器基础是承受变化的动力。过去土建工程师主要是处置静力问题，而不知如何着手解决动力问题。因此，很久以来没有可靠的机器基础计算原理。人们早就认识到，将机器重量视为静载是不能满足要求的，因此采用振动附加系数。但是，这个附加系数既不以计算也不以经验为根据，因此大致是任意选取的。这个附加系数不适合于所出现的动应力，何况它仅是竖向荷载的附加系数，而没有考虑水平力附加系数。因此，往往出现事故。

但是，产生这种事故不能仅归因于计算原理的缺点；在许多情况下，所有与基础有关的诸因素都会促使事故产生。建设单位往往将机器基础的建设任务委托给不能胜任该项任务的承建单位。承建单位甚至在对机器基础很少了解或完全不了解、没有和专业人员商量、也不知道它所担负的风险的情况下就承担了施工任务。机器工厂往往提供不可靠的动力数据，并满足于简单的规定：“基础放置在有承载能力的下部基土上”。在设计时，机械工程师没有邀请土建工程师参加商讨，因此在大多数设计中就存在错误。机器基础建造任务的重要性和困难因素通常被低估了，其部分原因是由于基础造价一般仅为机器设备费用的一小部分。因此，注意力就集中在机器上，而未顾及这样的事实：如果基础

不良则机器、甚至整个车间生产都可能遭到危害，而且造成的浪费可能为基础造价的几倍（由于机器停工，机器的损坏、修理和重装，基础的损坏和重建而耗费资金）。这种过错的责任问题是难以解答的，以致可能发生费用浩大的诉讼。

在这种实际情况下应向有关人员呼吁：要较多地注意机器基础！

本书将对此指出解决办法。本书是根据实践为实用而写成的，不仅适用于土建工程师而且适用于机械工程师。它包括以最容易理解的和较简单的方式叙述的机器基础设计原理，以及许多设计实例和破坏事例的说明。

上述设计实例取自第一版；目前它们仍然有价值。

本书第一版是由我写的有关文章（参见书后的参考文献提要）编成的，它是在科学的基础上广泛地讨论机器基础（以及其他承受动载的建筑结构）的初次尝试。那时，其内容基本上是一个“粗制品”，尚须作许多补充或修改。

在当前第三版中，我尽力使资料编排得好些，通过大量资料增补以扩充内容并使其达到最新水平。能够实现这一点的主要根据是：我作为顾问工程师和鉴定人在建筑工程这一复杂的特殊领域工作达十年之久，已经积累有丰富的经验。

对机器基础的计算和构造原则没有改动。但在本书新版本中详细叙述了材料疲劳、阻尼的影响、振幅的计算，振幅对人和对建筑材料以及对机器影响的评定；对于以增大振动距离来减小振动影响尽力找出依据；以新的原理叙述了地基土的弹性性质，补充了新的设计实例和破坏事例；此外，考虑并全文转载了在这期间由我主管下的建筑工程技术标准委员会的“建筑工程振动问题”工作委员会制订的两份西德工业标准：DIN4024（汽轮机基础）和DIN4025（锻锤基础）。

书末列出了就我所知直到1958年为止的文献详细索引，并对引用的出版物作了提纲挈领的内容提要（译文中从略）。参考文献分为三类：Ⅰ，书；Ⅱ，文章；Ⅲ，标准。每一类文献中的出

出版物又按专业范围组合在一起；而每一专业范围中的文献按著作者姓名在字母表中的顺序排列并用数字编顺序号。因此，每一参考文献的编号系用一个罗马数字（代表所属的类）和两个阿拉伯数字（代表专业范围和出版物号码）表示，例如：Ⅱ.16.29（第Ⅱ类；第16种专业范围；第29篇文章）。——此外，为了能易于找到出版物的著作者，载有参考文献著作者人名表；其中著作者按其姓名在字母表中的顺序排列，并附上有关的参考文献编号（译文中略）。

为了本书第一版的出版，工学博士G. 布兰德斯先生在校阅文章和插图方面给予我帮助。现在，我感谢工学士K. 埃塞尔先生在修饰文章方面和在本版校样方面的努力合作。

E. 劳施

1959年于鲁尔

补充本原序

我在1959年出版的《机器基础》一书第三版中，附有回答问题的邮政明信片说明：我乐意接受读者的意见和建议，并且我打算编补充本。我收到许多读者的建议和一再询问我补充本什么时候出版。现在，我终于能够出版这一补充本并在其中尽可能的考虑了读者的意愿。

这个补充本的内容包括：对一般问题的补充说明，例如对材料疲劳、振幅的计算、弹性基座的弹性性质的补充说明；关于已建成的机器基础和破坏情况的一些有参考价值的实例；钟楼振动的进一步详细讨论；对锻锤基础和汽轮机基础振动计算的进一步阐明；电视塔的说明；装卸引桥按海浪的作用进行振动计算的一个详细例题；振动对人和结构物的影响等。

补充本的内容系按《机器基础》一书的章节编排的，由目录可知其概况；借助书末的术语索引便于查找各个术语的说明。此外，在书末就作者所知道的近期出版物列出详细的参考文献索引。在文献索引中象原著第三版一样也对所引用的出版物作了提纲挈领的内容提要（译文中从略）；并继续采用该书所用的编号方法。

E. 劳施

1968年于施塔恩贝格

目 录

译者的话	I
第三版原序	III
补充本原序	VII
符号	1
第一章 机器基础设计和计算总则	3
第二章 弹簧支承的单质点的振动；借助动力系数（乘 数）确定弹性力	22
第一节 冲击过程	22
一、一般概念，固有频率	22
二、质量对弹簧的冲击	24
三、向弹簧支承的质点冲击	26
四、冲击突加性的影响	32
第二节 振动的阻尼	38
第三节 周期性（往复）扰力	43
第三章 考虑材料疲劳（疲劳系数），确定等效静力	56
第四章 弹性支承的刚体振动，机器基础的一般动力计 算过程	66
第五章 机器基础的弹性变位值和固有频率的确定	81
第一节 重量惯性矩和惯性半径	81
第二节 建筑材料、隔振材料、地基、弹性隔振器和桩的弹性 特征	83
一、面支承	83
1. 天然软木	83
2. 纤维橡胶板	85
3. 硬毡（锤毡）	86
4. 黄麻纤维板	86
5. 木料	86
6. 砖砌体	86
7. 钢筋混凝土	87
8. 钢材	87

9. 地基	87
二、点支承	96
1. 螺旋钢弹簧	96
2. 橡胶块	106
3. 钢筋混凝土桩	109
4. 气垫弹性隔振器	111
第三节 基础的弹性变位值	112
一、弹性主轴	112
二、面支承和点支承的特征值	113
三、基础的轴向弹性位移值	115
四、基础的弹性变位特征值和固有频率	118
第六章 承受单次冲击及不规则重复冲击的机器基础设	
计和计算	127
第一节 锻锤基础	127
一、概述	127
二、西德工业标准 DIN4025: 锻锤基础 (具有砧座的锻锤基础)。计	
算和构造说明	152
三、锻锤基础实例	158
例1 砧座为弹性支承的锻锤基础	158
例2 在钢弹簧上的大型空气锤基础	163
例3 在钢弹簧上的小型快速冲击锻锤基础	169
例4 在软木隔振层上的小型快速冲击锻锤基础	176
例5 在钢弹簧上的大型无砧座锻锤基础	180
例6 在地基上的无砧座锻锤基础	187
例7 在桩基上的柔弹性冲击落锤基础	194
四、两台或若干台锻锤放置在一座公共的基础上	206
五、锻锤设备的弹性锚固砧座	209
第二节 落锤破碎设备基础	214
一、在浅基础上的落锤破碎设备	215
二、在沉井基础上的落锤破碎设备	219
第三节 卷扬机	221
第四节 提升井架	224
第五节 破碎设备	229
一、概述	229
二、碎矿机基础	230

第六节	离心机地坑	247
第七节	矿山提升机基础	263
第七章	在周期性往复扰力或旋转扰力作用下块体式或箱形基础（以及低转速机器的构架式基础）的计算和设计	268
第一节	周期性扰力的种类	268
第二节	频比的选择	270
第三节	基础形状的确定；要求的基础重量	275
第四节	计算程序	277
一	数据	277
二	静载的确定	277
三	弹性基座计算	277
四	固有频率计算	278
五	等效静力计算	278
六	弹性基座强度计算	281
七	振幅计算	281
八	基础计算	282
第五节	振幅的计算	284
第六节	对振幅的评价	294
第七节	基础强度计算（考虑惯性力）	302
第八章	在周期性往复扰力或旋转扰力作用下的块体式或箱形基础设计实例	309
第一节	低频至中频扰力作用下的机器基础	309
例一	支承在地基上的活塞式压缩机基础	309
例二	支承在地基上的大型电动双级空气压缩机基础	323
例三	支承在地基上的大型卧式双级压缩机基础	328
例四	数台成列布置的、具有很大水平惯性力的卧式机器联合基础	333
例五	支承在地基上的卧式活塞式发动机（冶金工厂的大型煤气发动机）基础	336
例六	支承在地基上的风道通风机基础	339
例七	支承在地基上的大型风道鼓风机基础（带有风道管）	353
例八	支承在地基上的压缩机基础	378
例九	支承在桩上的压缩机基础	383
例十	支承在桩上的旋转式印刷机基础	388

例十一	支承在桩上的大型六缸柴油机基础	404
例十二	支承在地基上的压缩机基础	411
例十三	支承在地基上的曲柄杠杆式破碎机基础	415
例十四	支承在软木和地基上的旋转式印刷机基础	416
例十五	支承在不良地基上的旋转式印刷机多层结构基础	425
例十六	支承在桩上的压缩机基础	426
例十七	支承在地基上的两台氮气压缩机长条基础	434
第二节 中频至高频扰力作用下的机器基础		440
例一	支承在钢弹簧上的中型立式五缸柴油机基础	440
例二	支承在钢弹簧上的立式八缸柴油机基础	457
例三	支承在钢弹簧上的发电机基础(低频比)	461
例四	支承在钢弹簧上的传动装置试验台基础	466
例五	支承在钢弹簧上的离心机基础	477
例六	锤式粉煤机基础	478
例七	带有脉动换向器的疲劳试验机基础	480
例八	立式双缸蒸汽机基础	484
例九	排烟机基础	491
例十	支承在地基上的立式六缸柴油机基础	493
例十一	支承在地基上的摆动架式发动机试验台基础	495
例十二	支承在桩基上的基础	507
例十三	排锯机基础	508
第三节 在高频扰力作用下的机器基础		515
例一	支承在钢弹簧上的小型四缸柴油机基础	515
例二	支承在钢弹簧和构架上的发动机试验台基础	521
例三	支承在橡胶隔振器上的疲劳试验台基础	528
例四	支承在钢构架上的排烟机	532
例五	支承在软木和地基上的发动机试验台基础	533
例六	发电机的箱形基础	540
例七	支承在软木和地基上的永司登式汽轮机基础	542

符 号

符 号	意 义	单 位
<i>A</i>	砧座重量	公斤
<i>B</i>	锤头重量	公斤
<i>C</i>	地基反力系数	公斤/厘米 ³
<i>D</i>	阻尼比	
<i>E</i>	弹性模量	公斤/厘米 ²
	能量(动能或势能)	公斤·厘米
<i>F</i>	面积	厘米 ²
	一组支承点的点数	
<i>G</i>	重量	公斤
	剪切模量	公斤/厘米 ²
<i>J</i>	重量惯性矩	公斤·厘米 ²
	质量惯性矩	公斤·厘米 ² ·秒 ²
<i>J'</i>	面积惯性矩	厘米 ⁴
<i>K</i>	力(动力的最大值)	公斤
<i>M</i>	力矩	公斤·厘米
<i>N</i>	频率	次/分
	法向力	公斤
<i>N_e</i>	固有频率	次/分
<i>N_m</i>	扰力频率(机器转数)	次/分
<i>P</i>	力(等效静力)	公斤
<i>Q</i>	荷载	公斤
<i>S</i>	地基土的剪切系数	公斤/厘米 ³
	冲量	公斤·秒
<i>T</i>	全振动周期	秒
<i>T_s</i>	冲击持续时间(半振动周期)	秒
<i>X</i>	振幅、变位最大值	厘米
<i>a</i>	摇摆振动旋转中心的距离	厘米

$a_{1,2}$	摇摆振动的旋转中心与重心的距离	厘米
b	加速度	厘米/秒 ²
c	弹簧常数(弹簧刚度)	公斤/厘米
d	厚度	厘米
g	重力加速度	厘米/秒 ²
h	高度	厘米
i	重量惯性矩或质量惯性矩的惯性半径	厘米
	弹簧圈数	
k	碰撞系数;阻尼系数	
l	长度;跨度	厘米
m	质量	公斤·秒 ² /厘米
n	频率	次/秒
n_c (以及 n_0, n_1, n_2, n_t)	固有频率	次/秒
n_m	扰力频率(机器转数)	次/秒
q	单位长度上的荷载	公斤/厘米
v	速度	厘米/秒
t	时间	秒
x	变位的瞬时值	厘米
α	突加系数	
δ	移位, 挠度	厘米
β	阻尼振动的对数衰减率	
μ	疲劳系数	
ν	动力系数	
σ	应力	公斤/厘米 ²
ξ	频比 = n_c/n_m	
ω	圆频率	秒 ⁻¹ 或弧度/秒
ω_c	固有圆频率	秒 ⁻¹ 或弧度/秒
ω_m	扰力圆频率(机器圆频率)	秒 ⁻¹ 或弧度/秒

第一章 机器基础设计和计算总则

一、机器基础和其它结构物基础的区别主要在于其上作用有传来的动力，即随时间迅速变化的力。这种动力引起振动，因此，首要的任务是：根据工程振动学原则合理地设计机器基础，以尽量减小基础（和机器）的振动和振动向周围的传播。此外，机器基础应能保证可靠地支承机器，因此应遵照规程按作用在基础上的静力和动力进行设计。机器基础由于其上有作用力或由于其它原因（例如，由于采矿引起地层的破坏）产生变形。这种变形应保持在由机器设备所决定的限度内。

二、由机器产生的动力作用（扰力）可分为两大类(图1-1)

1. 单次冲击或无规律的连续冲击作用

例如，锻锤基础由于锤头的冲击作用、卷扬机由于急刹车或者提升井架由于吊筐卡住（在某些情况下由于钢绳拉断）时都发生单次冲击作用。

例如，在开动碎石机和磨碎机时都产生无规律的连续冲击作用。

2. 按一定的时间顺序往复作用的惯性力，其大小随时间按正弦规律变化：即周期力。这一类动力出现较多，因为大多数机器都产生这类动力。活塞式机器可引起一阶、二阶或更高阶的惯性力，其频率分别为机器转数的一倍、二倍或更多倍（见参考文献 I . 3 . 3 和图8-213及8-214，活塞式机器惯性力的推导）。例如，立式柴油发动机产生竖向周期力，而卧式蒸汽机产生水平周期力。对多缸机器，各个力合成为周期力矩。此外，在活塞式机器，绕轴旋转的周期力矩通过作用于导轨上的压力传到基础。甚至可变的蒸汽压力的一部分也可能传到基础（参阅图14-12）。具有旋转质量的机器（尤其是涡轮机）产生的动力也属于这一类，因为它的离心力在任何瞬间均可分解为一竖向分力和一水平分

力，因此它同时产生频率等于机器转数的一个竖向周期力和一个水平周期力。所有这些动力数据均应由机器制造厂给出。

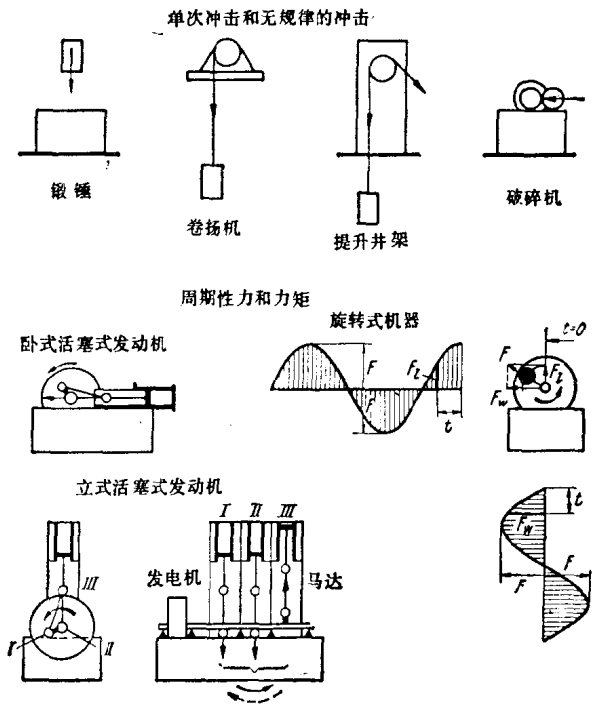


图 1-1 动力作用（扰力）

三、和静载相反，动力不是不加改变地由基础传给基座；确切地说按工程振动学原则设计的基础可能大大减弱或增强力的传递。通过力求合理地设计基础来最大限度地减小由基础施加给基座的力，这不仅是考虑基座的应力，而且是为了减小振动的传播程度。在这时可以说基础在机器与基座之间可以起到制动块体那样的作用。为此，往往需要在基础与基座之间加入弹性垫层，以使基础具有较柔的弹性支座。为此目的可以采用（厚约 6 厘米）天然软木板（用铁皮箍组装）、橡胶板（或组合橡胶板等）、或者采用单个的隔振器，例如圆筒形橡胶块，特别是钢螺旋弹簧（装在弹簧匣内）。采用这样的钢螺旋弹簧是为获得最柔的弹性支承