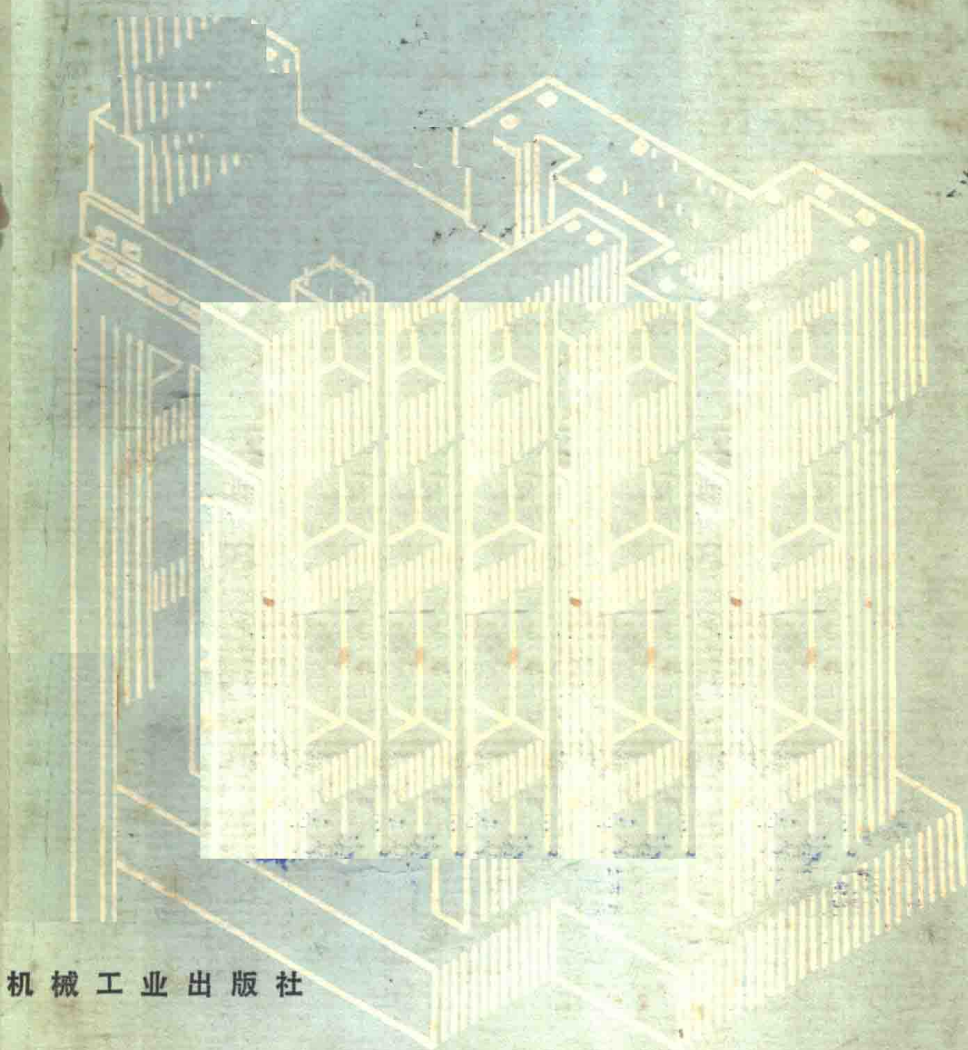


机器基础的现代结构及其计算

〔苏〕O. A. 萨维诺夫 著



机械工业出版社

机器基础的现代结构及其计算

〔苏〕O.A.萨维诺夫 著

李席珍 曾 华 译



机械工业出版社

书中叙述动力机器（包括活塞式发动机、活塞压缩机、电机、汽轮机组、破碎机、锯架、锻锤等）基础的一般构造原理、计算方法和设计规程。尤其对现代轻型结构和装配式结构以及在软弱土和填土上建造基础的合理方法予以特别重视。本书还叙述如何消除由于不平衡机器的工作而引起振动的措施。

本书可供建筑工程设计技术人员使用。

**Современные конструкции фундаментов
под машины и их расчет**

О. А. Савинков

Стройиздат, Ленингр. отделение 1979

* * *

机器基础的现代结构及其计算

〔苏〕О. А. 萨维诺夫著

李席珍 曾 华 译

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $7 \frac{1}{4}$ · 字数 158 千字

1983 年 4 月北京第一版·1983 年 4 月北京第一次印刷

印数 0.001-8.500 · 定价 0.76 元

*

统一书号：15033·5486

序 言

自从本书第一版出版到现在已经过去十五年了。这些年来，在国内外已经出版了大量有关受动力作用的地基与基础计算和设计问题的著作。许多重要的结果在本书这次修改补充版中都作了必要的反映。本书还增加了与已颁布的新的标准文件（代替过去实行过的文件）有关的修改。特别是由于技术科学博士 В. И. 伊里伊切夫 (В. И. Ильичев)、技术科学副博士 М. Г. 戈卢勃佐夫 (М. Г. Голубцов)、技术科学副博士 О. Я. 谢赫捷尔 (О. Я. Шехтер) 所给予的积极支持，使得本书能将新编的准备在 1979 年出版的《动力机器基础设计规范》中的主要内容考虑进去。

作者非常感谢为本书提供资料的单位和个人，并深切地感谢技术科学副博士 В. М. 皮亚捷茨柯姆 (В. М. Пятецком) 和工程师 Б. К. 阿列克山特罗夫 (Б. К. Александров)，他们在准备本书手稿付印时给了作者很大的帮助。

目 录

序言

第一篇 总 则

第一章 机器基础	1
§ 1 机器的类型及其分类	1
§ 2 机器基础的结构类型	5
§ 3 对机器基础提出的要求	13

第二篇 在天然地基上的大块式基础

第二章 大块式基础的振动计算原理	20
§ 1 问题的提出	20
§ 2 基础的自由振动	21
§ 3 在周期力作用下基础的强迫振动	32
§ 4 在瞬时荷载作用下大块式基础计算的几种情况	37
§ 5 机器成组装置时基础的振动计算	41
§ 6 大块式基础振动试验研究的结果	44
§ 7 确定包括在基础振动计算公式中的地基特性的方法	52
第三章 受动荷载作用的基础的沉陷	67
§ 1 问题的提出	67
§ 2 地基土振动压密过程的研究结果	71
§ 3 振动对地基土抗剪强度和对地基剪切变形的影响	80
§ 4 实践的结论和建议	83
第四章 选择大块式基础的地基尺寸和类型	88
§ 1 选择大块式基础尺寸的基本原则	88
§ 2 根据已知的机器布置和固定条件确定基础的最小高度	91
§ 3 确定基础的埋置深度、基底的尺寸和地基的类型	97
§ 4 在填土上建造机器基础	103
§ 5 大块式机器基础的典型设计方法	106

第五章 大块式基础的构造和计算	110
§ 1 周期性作用的机器基础	110
§ 2 非周期性作用的机器基础	125
§ 3 冲击作用的机器基础	127
§ 4 落锤碎铁坑的基础 (地基)	138

第三篇 桩基础和框架式基础

第六章 桩基础的设计和计算	144
§ 1 采用桩基础安置机器的条件及其构造特点	144
§ 2 桩基础的垂直振动计算	146
§ 3 桩基础的水平振动和水平-回转振动的计算	150
第七章 框架式基础的设计和计算	153
§ 1 综述	153
§ 2 汽轮机和其它带旋转部分的高频机器框架式基础 的设计和计算	155
§ 3 电动机-发电机和其它低频机器框架式基础的振动设 计和计算	162
§ 4 框架式基础的结构特点和强度计算	171

第四篇 减振措施

第八章 动力机器和对振动敏感的设备隔振基础 的设计和计算	182
§ 1 综述	182
§ 2 隔振器装置的特点	187
§ 3 动力机器的隔振	191
§ 4 对振动敏感设备的隔振	196
第九章 消除机器工作时产生振动的各项措施	201
§ 1 关于弹性波在土壤中传播现象的综述	201
§ 2 设计时对建筑物和设备可能发生不能允许的振动 所应采取的预防措施	211
§ 3 现有的不平衡机器基础的减振措施	213
参考文献	221

第一篇 总 则

第一章 机 器 基 础

§ 1 机器的类型及其分类

任何一种用以转换能量或产生有效功而正常运行的机械都称为机器。对于用途、制造原理、功率和尺寸各不相同的绝大多数机械都适合这个总的定义。

对建筑设计人员来说，机器分类的主要特征是：**传到基础上的机器的动力作用的强度、类型和频率特性。**

按照上述第一个特征，首先必须把机器分为两类。第一类是产生动力作用的机器。这类机器在工作时产生很大的惯性力，现在把这类机器称为动力机器。第二类是没有动力作用的机器。这类机器运动部分的不平衡惯性力与机器重量相比较是微不足道的。

这样的分类在某种程度上是假定的，但是对建筑工作人员来说是有现实意义的。因为这样可以足够精确地从无数的各种各样机器中，把那些在设计和建造这些机器基础时应该考虑与动力荷载有关的特殊要求的机器区分出来。

下面我们能够看到各种动力机器的数量是不太多的。设计其他各种机器（属于第二类机器）的基础没有任何特殊要求。可按照设计房屋和构筑物的地基和基础的一般标准和规

则 $\ominus$ 进行设计，不考虑动力荷载。

按照在动力机器基础上动力作用的类型，这类机器可分为两组。其中的每一组又可分为三小组（见表 1.1）。

回转部分作匀速转动的机器，在理论上是完全平衡的。但实际上无论何时都不能使转动部分的质量中心与转动的几何轴线完全重合。因此，当这种机器工作时，就有不平衡的惯性力传到基础上 $\ominus$ 。虽然所产生的偏心距的数值通常是很小的，但是在现代机器的高速转动下，这种力就显得相当大。由于在每种情况下，偏心距的大小，不仅取决于转子的不平衡，而且还取决于气体动力，液体动力和电磁力的不平衡，因此对这一小组机器在转子转动时所产生的离心力的大小，无法作出精确的计算。这些机器的基础，只能根据电机和汽轮机组的平衡的经验资料进行近似的计算。有匀速转动转子的机器所产生的不平衡离心惯性力是按照正弦曲线规律变化的（图 1.1 a），它是周期力的最简单的一种形式。

有曲柄连杆机构的机器所产生的不平衡惯性力是较为复杂的一种周期力（图 1.1 b）。这些力是各种频率的许多分力的总和。

不再详细讨论上述这些力（关于这些力我们在以后还会谈到），因为这些力的计算可以达到相当高的精确度，而且所需的资料也常是设计人员所熟悉的。

$\ominus$ 不包括正在编制的、对振动敏感的设备基础（见第八章）。

$\ominus$ 上述的不平衡是由于回转部分存在偏心而引起的，一般称为静力不平衡。它具有很重要的意义。因此，在计算基础时应予考虑。此外，众所周知的，当转动部分的重心与转动的几何轴线相重合，但转动的几何轴线不与转动物体的任何一根主要轴线相重合，可能存在另一种不平衡的类型。这种不平衡的第二种型式，称为动力不平衡。这是产生离心力的不平衡力偶的原因；它不象第一种不平衡那样具有重要的意义，所以建筑设计人员通常不予考虑。

由颤动与冲击—振动的造型机传给基础的力具有另一种随时间而变化的图形(图1.1e)。这些力带有周期脉动的特征。其中每一个特征都是由很复杂的荷载与时间关系所确定的。在实际计算时,可用正弦曲线来代替这种关系,并相应地选择其参数,不会产生大的误差。

应当指出,除了在表1.1中所列

出的机器外,还可以把各种类型的破碎机也列为有周期作用的机器类型中。这样对实际情况是非常接近的。各种类型的破碎机在破碎块状材料时,回转部分不再是匀速转动。所以严格的说来,这种回转运动并不是周期性的,但是这种破坏匀速转动的情况是没有多大意义的。

回转部分进行不匀速转动的非周期作用的机器,除离心力外,还有干扰力偶传到基础上。这些力偶的力矩取决于不匀速转动的加速度。应该指出,这些力偶在周期作用的机器起动时也会发生,但是由于这些力偶不大,计算时不予考虑。

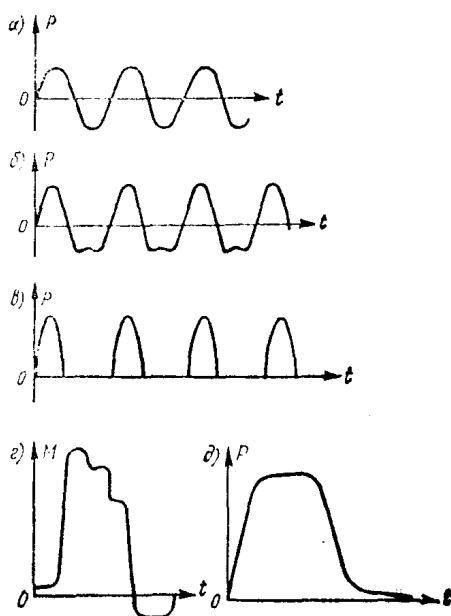


图1.1 各种类型机器工作时所引起的不平衡惯性力随时间的变化图

表1.1 动力机器的分类

机器的组别	主要运动的类型	典型的代表
I. 周期作用的机器	a) 匀速的转动	电机 (电动机, 电动-发电机等) 汽轮机组 (汽轮-发电机, 汽轮-鼓风机, 汽轮-压缩机和汽轮泵)
	б) 匀速转动及与其有关的往复运动	有曲柄连杆机构的机器 (压缩机、泵、内燃机、锯架)
	в) 由周期冲击所产生的往复运动	在铸造生产和预制钢筋混凝土工业与自动模压工业中采用的震动和冲击振动的造型机
II. 非周期作用的机器	a) 非匀速转动或往复运动	轧钢机的拖动电动机, 李翁纳-伊尔格纳机组, 遮断容量的发电机等
	б) 由单独冲击所产生的往复运动	锻锤, 模锻锤, 破碎度铁用的落锤碎铁装置
	в) 由加工件质量的移动而产生的运动, 传到基础上的偶然荷载	磨床

在某些情况下, 计算上述力矩值是相当简单的。例如, 遮断容量发电机的情况就是这样。这种发电机的动力作用主要是与转子的瞬时停顿有关。

在其他各种情况下, 例如当轧钢机的拖动发电机、李翁纳-伊尔格纳机组等工作时, 干扰力偶的力矩是按照复杂的规律变化的。当钢坯通过第一排轧机的孔口时, 传到轧钢机的电动机基础上的干扰力偶矩的变化图形 (图 1.11), 就

可作为一个例子。

必须指出，所讨论的这一组机器中，大部分机器的作用按其性质来说，都是接近于冲击作用的。例如，遮断容量发电机，它瞬时停顿所产生的动力效果就是这样（见第4页）。试验台座在工作时传到基础上的力与图1.1d中的概略线图相符合，这可作为另一个有代表性的例子。

第Ⅱ6组是有冲击作用的机器，如同第Ⅱa组的机器一样，在工作时产生一种脉冲型的动力效果。但是这组机器传给基础的冲击力很小，因此这些机器可以单独进行讨论。最后，第Ⅱb组机器将偶然荷载传到基础上，产生按照频谱成分接近“白噪声”的动力效应。按照传到基础上的动力作用的类型，机器可大致这样分类。

至于按照我们所感兴趣的最后一个特征——频率情况的特征——来分类，则必须考虑到：不管机器的结构形式是多种多样的，机器基础固有振动主振型的频率是在相当狭窄的范围内变化的，平均约为400~800转/分。根据这一情况，最好把机器分为低频率的（每分钟转数在600~800以内）和高频率的（每分钟转数超过600~800）。这样分类只适用于第一组机器（见表1.1）。绝大部分有曲柄连杆机构的机器、各种类型的破碎机、一部分电机（主要是功率最强大的电动发电机）和某些其他的机器属于低频率的机器；大部分电机和汽轮机组属于高频率的机器。

§ 2 机器基础的结构类型

按照结构分类，动力机器基础可分为两种主要的形式——大块式基础和框架式基础。

大块式基础建成连续的块体或大板，并开有为布置和固

定装置部分（机器、辅助设备和管道）所必须的以及在使用过程中供管理机器用的坑、沟和孔洞。根据整套机器设备的特点，这种基础可以建成无地下室的和有地下室的。无地下室型的基础应用最广，其特点是没有扩展的地上部分，用于安装在房屋最底层的机器。相反地，地下室型基础具有很扩展的地上部分，其高度通常相当于底层的高度。

地下室型的大块式基础，可分为具有大块式上部（连续的）的基础和墙式基础。墙式基础的上部建筑由纵墙和横墙组成。应当指出，有连续上部建筑的地下室型基础是不经济的，在现代建筑中已经不采用。

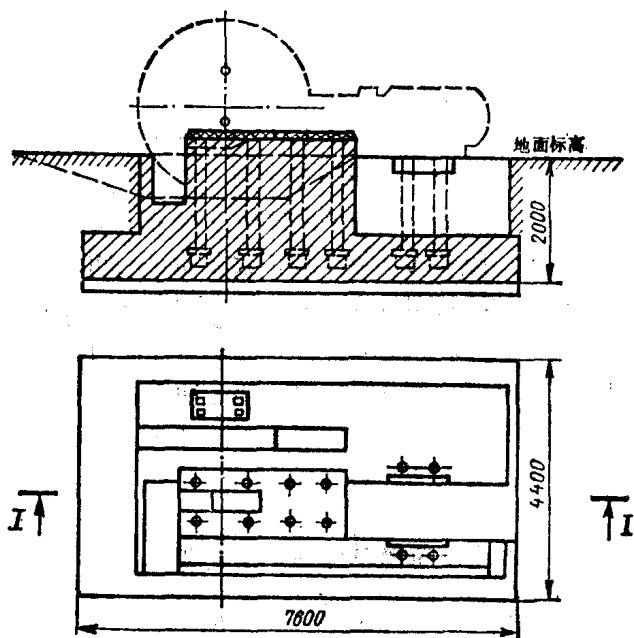


图1.2 生产率为 $35\text{米}^3/\text{分}$ 的卧式活塞式空气压缩机的基础

目前大块式基础广泛应用于装置各种类型的机器。它的共同特点是刚度大。由于刚度大，所以在计算时不考虑这种基础的变形，而把它们当作刚体看待。

下面讨论几个建造大块式基础有代表性的实例。

图 1.2 是卧式单

汽缸活塞式压缩机的

无地下室型大块式基

础。由图可以看出，

这种基础是形状复杂

的混凝土块体，它的

上部边缘除有个别突

出部分外，是和房屋

底层的地坪面相齐

的。基础上部的坑是

为了便于安置机器和

管道，并保证机器维

护的可能性。机器用

安置在专门沟内的锚

固螺栓固定在基础

上。从平面看，基础下部扩展成平板状，以矩形的底面支承在地基土上。

立式双汽缸压缩机的无地下室型基础（图 1.3）与上述基础在结构上有很大的差别。由于这种基础的上部没有深坑和孔洞，所以可以建成板式的基础。它的厚度总共是 0.6 米。基础的上边缘和上述例子一样，基本上是和底层的地面相齐。压缩机的电动机也安装在这种基础上。

图 1.4 是支承在底部平板上的上部为墙式建筑的地下室

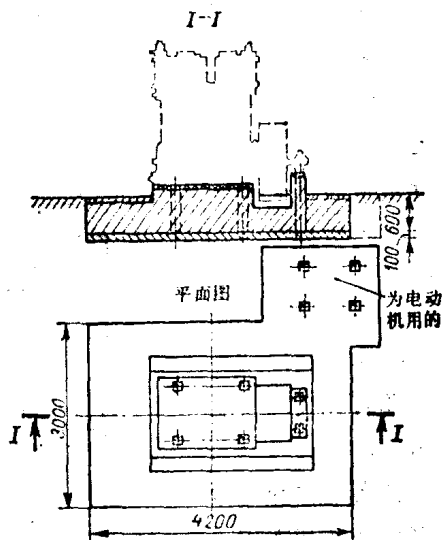


图1.3 生产率为19米³/分的立式双汽缸压缩机的板式基础

型基础的典型结构。在这种情况下，承重墙放置在与机器安装轴线相垂直的方向，上部用纵梁相连接。

在工业建筑的实践中，为了便于布置机器、设备和管道起见，常采用有纵墙的墙式基础。但在某些情况下（例如用以安装低频率的机器时），则宁可采用有横墙的基础，因为当力作用在与机器安装轴线相垂直的平面时，这种基础具有较大的刚度和强度。

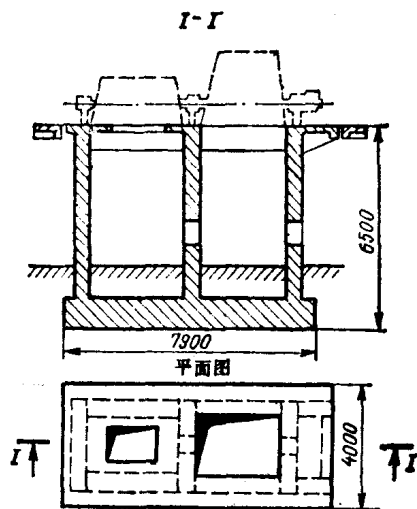


图1.4 功率为750千瓦的
电动发电机的基础

还有一种介于地下室型基础和无地下室型基础之间的基础结构，这就是锯架基础（图1.5）。这种基础有相当扩展的地上部分，但是并没有到达地下室上的楼板面。安装其他类型的机器（如破碎机），有时也采用这种结构。

在一定条件下（下面将要讨论这些条件）把几部机器安装在一个公共基础上是适宜的。对于在工作时产生很大的水平不平衡惯性力的机器，宜采用这样的装置。图1.6是圆锥破碎机的地下室型的墙式联合基础。一个第Ⅰ阶段破碎的破碎机安置在上面，三个第Ⅱ阶段破碎的破碎机安置在下面。

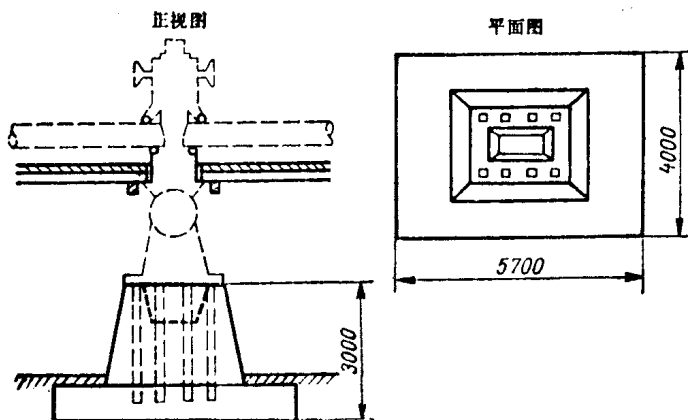
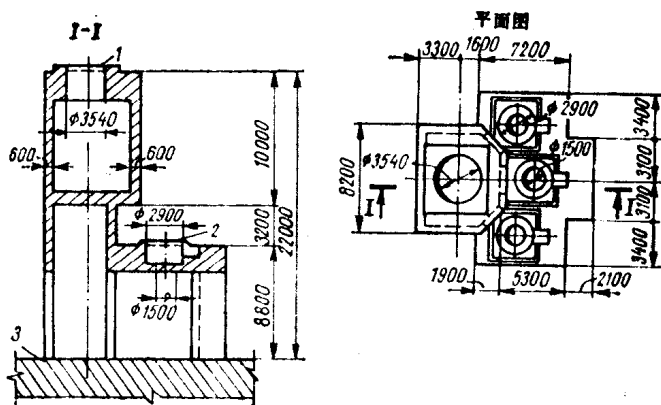


图1.5 锯架基础

图1.6 铁厂第 I、II 阶段破碎的圆锥
破碎机的墙式联合基础

1—第一阶段破碎的破碎机位置 2—第二阶段破碎
的破碎机位置 3—坑底

建造大块式机器基础的材料，差不多完全采用钢筋混凝土。只是在小功率的机器下建造实体砌块式的小型基础时，才能采用素混凝土。在本书以下各章中详细地介绍各种类型机器基础的材料选用问题。

在七十年代中期，大块式机器基础只用现浇式的（混凝土和砖砌体等）。近年来出现了这些基础的装配式结构。一般说来，这些结构是多种多样的。最成功的是采用标准的空心砌块的基础。图 1.7 是建造这种基础的例子。

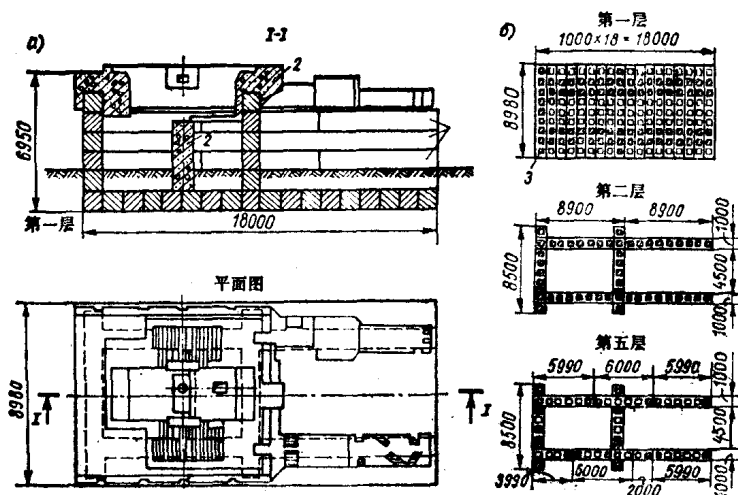


图 1.7 用标准空心砌块装配的在大功率卧式压缩机下的装配式的墙式基础

1—预制砌块 2—现浇混凝土 3—砌块中的孔洞（阴影线表示带钢筋骨架用混凝土整体浇灌）

必要时，大块式基础装上隔震器（积极隔震），采用这些隔震器可以减弱机器对基础的动力作用，并减小基础的振动。在第八章还要叙述隔震器的制造意图、计算原理和构造

原则。

下面讨论框架式基础的特点。这种基础差不多完全属于地下室型，它的结构型式是多种多样的。任何一个框架式基

