

闻邦椿 刘凤翹 著

振动机械的理论及应用

机械工业出版社

振动机械的理论及应用

闻邦椿 刘凤翹 著



机械工业出版社

本书着重叙述振动机械的工作原理、运动学参数与动力学参数的计算方法及其调试的基本原理。书中对振动机械的典型结构与测试方法也作了简要的说明。

本书可供从事振动机械的科研设计人员和大专院校师生阅读,也可供制造工厂和使用现场的工程技术人员参考。

振动机械的理论及应用

闻邦椿 刘凤翹 著

*

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许可证出字第117号)

机械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 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $26 \frac{1}{4}$ · 字数 649 千字

1982年10月北京第一版·1982年10月北京第一次印刷

印数 0,001—8,800 · 定价 2.70 元

*

科技新书目: 32-105

统一书号: 15033·5266

前 言

振动机械是最近二十多年来得到迅速发展的一种新型机器。目前它已广泛应用于采矿、冶金、煤炭、石油化工、机械制造、水利电力、轻工、建筑、建材、交通运输和铁道等工业部门中，用以完成各种不同的工艺过程。例如完成給料、输送、筛分、脱水、冷却、干燥、选别、粉磨、光饰、落砂、成型、振捣、夯土、压路、沉拔桩和测试等各种工作。随着我国社会主义建设事业的发展，这类机器在各工业部门中的使用将会日益增多。为了使这类机器得到更有效的利用和促使其进一步发展，对它的工作原理及计算与调试方法作较系统、详细的叙述是很有必要的。从这一实际需要出发，作者除了吸取国内外科技工作者对振动机械研究的部分成果外，着重总结我们二十多年来对振动机械进行理论研究和试验研究取得的结果，以及参加振动机械设计与调试的心得体会。书中对物料运动理论、概率筛分理论、自同步理论、非线性与近共振振动机械的动力学理论、电磁式振动机械的理论及大长度振动机的刚度理论等内容，进行了较详细的叙述，提出了若干新的看法。

本书共分十章，其中第二、四、五、六、七、八、九章着重叙述振动机械工艺过程的理论、动力学理论及其计算与调试方法。为了读者阅读与使用的方便，并照顾到该书的系统性与完整性，在第一章、第三章与第十章中介绍了振动机械的结构、振动机械振动系统的分析方法与振动机械的测试方法等一般性内容。

本书初稿曾作为向东北工学院振动机械研究方向的研究生及有关单位从事振动机械研究设计的科技人员讲授的内容，在试用过程中进行了多次修改与补充。

在编写过程中，我们得到了所在单位——东北工学院和一机部起重运输机械研究所各级领导的关怀与支持，并得到鞍山矿山设计研究院、洛阳矿山机械研究所、平顶山选煤设计研究院、沈阳煤矿设计研究院、沈阳铝镁设计院、济南铸锻研究所、长沙建筑机械研究所、南京石油化工设计院、鞍山矿山机械厂、上海冶金矿山机械厂、沈阳电力修造厂、朝阳东方红机械厂、北京灰石厂和第一砂轮厂等单位的大力协助。在编写、整理与复印过程中，曾得到刘永祥、关立章、郭友勤、纪盛青和林向阳等同志的热情帮助，在此向他们致以深切的谢意。

由于水平所限，书中一定有许多不妥之处，甚至有错误的地方，望读者给予指正。

作 者

1980年6月于沈阳

目 录

前言

第一章 振动机械的用途、分类、工作原理及结构	1
第一节 振动机械的用途与分类	1
第二节 惯性振动机的工作原理与结构	5
第三节 弹性连杆式振动机的工作原理与结构	16
第四节 电磁式振动机的工作原理与结构	19
第二章 振动机械某些工艺过程的理论	22
第一节 直线运动振动机物料运动的理论	22
第二节 圆运动和椭圆运动振动机物料运动的理论	46
第三节 振动离心脱水机物料运动的理论	55
第四节 非谐和振动机物料运动的基本特征	67
第五节 物料筛分过程的概率理论	69
第三章 振动机械振动系统的一般分析方法	82
第一节 单自由度线性振动系统的一般分析方法	82
第二节 二自由度和多自由度线性振动系统的一般分析方法	91
第三节 非线性振动系统的一般分析方法	114
第四章 振动机械的振动质量、系统阻尼与弹簧刚度的计算	127
第一节 物料作滑行运动时结合质量与当量阻尼的计算	127
第二节 物料作抛掷运动时结合质量与当量阻尼的计算	133
第三节 振动机械弹性元件的结合质量的计算	141
第四节 振动机械振动系统的等效阻尼及所消耗的功率	145
第五节 振动机械的隔振理论及隔振弹簧刚度的计算	147
第六节 近共振振动机主振系统频率比的选择及弹簧刚度的计算	153
第五章 弹性连杆式振动机械的动力学	158
第一节 单质体弹性连杆式振动机的动力学	158
第二节 双质体弹性连杆式振动机的动力学	162
第三节 多质体弹性连杆式振动机的动力学	167
第四节 非线性弹性连杆式振动机的动力学	171
第五节 改善弹性连杆式振动机工作性能的措施	187
第六节 弹性连杆式振动机的动力学参数	190
第七节 弹性连杆式振动机的调整	195
第六章 惯性式振动机械的动力学	199
第一节 单质体单轴式惯性振动机的动力学	199
第二节 双轴惯性振动机的动力学	206
第三节 多轴惯性振动机的动力学	210
第四节 线性惯性式近共振振动机的动力学	214
第五节 双电机驱动的自同步振动机的同步理论	218
第六节 惯性式非线性近共振振动机的动力学	240

IV

第七节	冲击式惯性振动机的动力学	254
第八节	惯性式振动机械动力学参数的计算程序及计算实例	258
第九节	惯性式振动机的调整	261
第七章	电磁式振动机械的动力学	265
第一节	概述	265
第二节	电磁力为谐波形式的线性电振机的动力学特性	265
第三节	电磁力为非谐波形式的电振机的动力学特性	271
第四节	电磁力为拟线性或非线性的电振机的动力学	279
第五节	弹性力为拟线性或非线性的电振机的动力学	283
第六节	冲击式电振机的动力学	287
第七节	电振机摇摆振动的分析	290
第八节	电振机的动力学参数计算	295
第九节	电振机过渡过程的分析	300
第十节	电振机的调试	302
第八章	电振机电磁参数及控制系统	306
第一节	电振机的激磁方式	306
第二节	电振机的电磁激振力	309
第三节	电振机的负载电压与电流	322
第四节	电振机的功率及功率因数	326
第五节	电磁铁设计中应注意的几个问题	328
第六节	电振机的电磁参数计算	329
第七节	电振机的控制	336
第九章	振动机械某些零部件的刚度与强度计算	344
第一节	振动机械某些零部件的弹性振动	344
第二节	振动机械振动框架的静强度与动强度计算	362
第三节	振动机械弹性元件的选择与计算	377
第十章	振动机械的测试技术	393
第一节	测试的一般方法	393
第二节	振动系统基本要素及振动参数的测量	402
第三节	测试用激振器与振动台	409
本书常用符号		413
参考文献		414

第一章 振动机械的用途、分类、工作原理及结构

第一节 振动机械的用途与分类

在很多情况下，振动是一种不必要的和有害的现象。但在某些场合，振动是有益的。例如，利用振动可有效地完成许多工艺过程，或用来提高某些机器的工作效率。最近二十多年来，应用振动原理而工作的机械（简称振动机械）得到了迅速的发展，它们在矿山和冶金工厂、选煤厂、化工厂、发电厂、铸造厂、建筑工地、水泥厂以及粮食和食品加工厂中得到了广泛的应用。据不完全统计，目前已用于工业生产中的振动机有几十种之多，例如，振动给料机、振动输送机、振动筛、概率筛、振动离心脱水机、振动冷却机、振动球磨机、振动光饰机、振动落砂机、振动成型机、振动夯土机、振捣器、振动压路机、振动沉拔桩机、振动试验台、动平衡试验机和各种型式的激振器等。这些振动机在工业的各个部门中已发挥了重要的作用。

一、振动机械的组成

振动机械通常是由以下三个部分所组成（图 1-1）。

1. 激振器

用以产生周期变化的激振力，使工作机体产生持续的振动。常用的激振器有惯性式激振器、弹性连杆式激振器、电磁式激振器、液压式或气动式激振器，以及凸轮式激振器等。

2. 工作机体或平衡机体

如输送槽、筛箱、台面和平衡架体等。但在一些振动机中无平衡架体。为了完成各种工艺过程，它们通常作周期性的运动。

3. 弹性元件(弹簧)

包括隔振弹簧（其作用是支承振动机体，使机体实现所要求的振动，并减小传给基础或结构架的动载荷）、主振弹簧（即共振弹簧或称蓄能弹簧）和连杆弹簧（传递激振力等）。在一些振动机中无弹性元件。

振动机械与其它类型的机械相比，优点是结构简单、制造容易、重量较轻、金属消耗量少、成本低、能耗小、安装方便、维修容易等。某些振动机械也存在着振幅不够稳定、调整复杂、传给地基的振动较大、零部件工作寿命较短以及噪音较大等缺点。

二、振动机械的用途

1. 物料的输送

利用振动的槽体（或管体），可使物料沿指定方向作滑行运动或抛掷运动，从而可以达到输送物料的目的。用管体封闭的振动输送机，能输送含有矽尘的矿物及其它有害或有毒的物料，可为现场工人创造良好的工作环境，以保证他们的身体健康；此外，便于输送高温物料。这两个优点是其它输送设备所不能比拟的。

2. 物料的筛分、选别、脱水、冷却和干燥

因为振动可使物料松散地和均匀地分布于工作面上，同时在振动面上物料受重力（在离心力场中则为离心力）、冲击力、摩擦力和惯性力的频繁作用，所以在输送物料的过程中，可有效地完成诸如筛分、选别、脱水、冷却和干燥等各种工艺过程。

3. 物料的粉磨、物件的清理和工件的光饰

利用振动可使物料（或物件）内部的裂纹易于形成，并迅速展开；利用振动可加剧物料（或物件）与研磨介质之间的相互摩擦和撞击，从而可有效完成物料粉磨、物件清理、铸件落砂和工件（或刀具）光饰等各种工艺过程。

4. 松散物料的成型与紧实

利用振动可以显著减小物料的内摩擦系数，增加其“流动性”，因而使物料易于成型与紧实。

5. 土壤或砂石的夯实和振捣以及沉拔桩等

利用振动可减小土壤、砂石和其它混合物的内摩擦力，可降低土壤对贯入物体（桩或管）的阻力，因而可有效地完成夯土、压路、振捣和沉拔桩等工作，并可大大减轻工人的体力劳动。

6. 仪器、机器及其零部件的测试

利用激振器对机件进行振动试验；利用振动试验台或振动测量仪测定仪器、机器及其零部件的参数；利用振动原理对回转零部件进行动平衡试验等。

7. 其它用途

利用振动可以加快铸件或焊接构件内部形变晶粒重新排列的过程，缩短消除内应力的时间等。

可以预料，振动机械的用途将会不断扩大，其规格和品种将会日益增多。它们在我国实现四个现代化的过程中将会发挥更大的作用。

三、振动机械的分类

对振动机械进行分类的目的是：按照振动机械的类型，分别地对它们进行分析研究，找出它们的共性与特性，便于了解与掌握各种振动机械的特点，以使它们得到更合理的使用。

振动机械可以按照它们的用途、结构特点以及动力学特性进行分类。

1. 按用途分类

表 1-1 按用途对振动机械进行了分类，并列举了各种常见振动机械的名称。

2. 按驱动装置（激振器）的类型分类

（1）惯性式振动机（图 1-1）

它是由惯性激振器驱动。惯性激振器通常是由偏心块、主轴、轴承和轴承座等所组成（图 1-1 b）。工作机体的振动是由偏心块回转运动时产生的周期变化的离心力引起的。目前惯性式振动机在工业部门

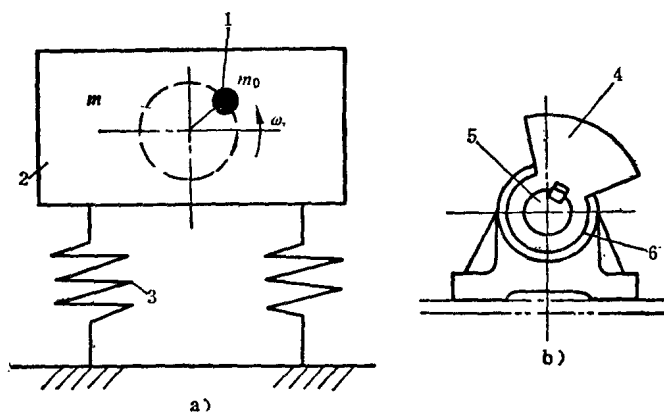


图1-1 惯性式振动机

a) 惯性振动机简图 b) 惯性激振器
1—激振器 2—工作机体 3—弹性元件 4—偏心块
5—主轴 6—轴承和轴承座

中得到了广泛的应用。例如，惯性振动筛、振动球磨机、振动落砂机、振动成型机和振捣器等。

表1-1 振动机械按用途分类

类 别	用 途	机 器 名 称
输送給料类	物料输送，給料，预防料仓起拱，作闸门用	1.振动給料机 2.水平振动输送机 3.振动料斗 4.垂直振动输送机 5.仓壁振动器
选分冷却类	筛分，选别，脱水，冷却，干燥	1.振动筛 2.共振筛 3.弹簧摇床 4.惯性四轴摇床 5.振动离心摇床 6.重介质振动溜槽 7.振动离心脱水机 8.槽式振动冷却机 9.塔式振动冷却机 10.振动干燥机
研磨清理类	粉磨，光饰，落砂，清理，除灰	1.振动球磨机 2.振动光饰机 3.振动落砂机 4.振动除灰机 5.矿车清底用振动器
成型紧实类	成型，紧实	1.石墨电极振动成型机 2.耐火砖振动成型机 3.混凝土预制件振动成型机 4.振动造型机
振捣打拔类	夯土，振捣，压路，沉拔桩，挖掘，装载，凿岩	1.振动夯土机 2.插入式振捣器 3.附着式振捣器 4.振动压路机 5.振动沉拔桩机 6.电铲振动斗齿 7.振动装载机 8.风动或液压冲击器
试验测示类	测示，试验	1.试验用激振器 2.振动试验台 3.动平衡试验机 4.振动测示仪器
其 它	振动时效等	1.振动时效用振动台

(2) 弹性连杆式振动机 (图 1-2)

它是由弹性连杆式激振器驱动的，弹性连杆式激振器是由偏心轴、连杆及连杆端部的弹簧所组成。工作机体借弹性连杆激起振动。目前用于工业中的该类振动机有弹性连杆式振动输送机、振动冷却机和重介质振动溜槽等。弹性连杆式振动机构通常用于长度较大的振动机中。

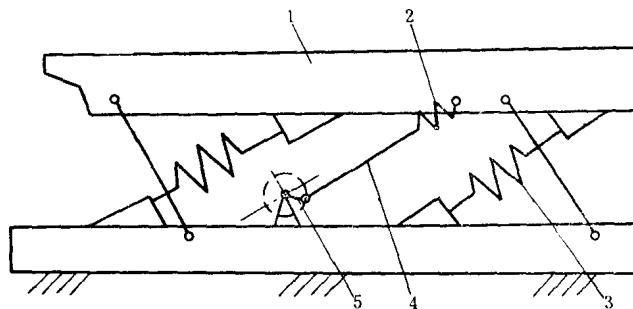


图1-2 弹性连杆式振动机

1—工作机体 2—连杆弹簧 3—弹性元件 4—连杆 5—偏心轴

(3) 电磁式振动机 (图 1-3)

它是由电磁激振器驱动的。电磁激振器是由铁芯、线圈及衔铁所组成 (图 1-3 b)。交变电流或脉动电流通过线圈，使电磁铁产生周期变化的电磁吸力，从而使工作机体产生振动。目前用于工业中的该类振动机有电磁振动給料机、电磁振动输送机、电磁振动筛和电磁振动试验台等。

(4) 其它振动机

它们由风动式激振器、液压式激振器和凸轮式激振器驱动。由于该类振动机与前述三类振动机的工作原理及计算方法不同，本书将不叙述。

3. 按动力学特性分类

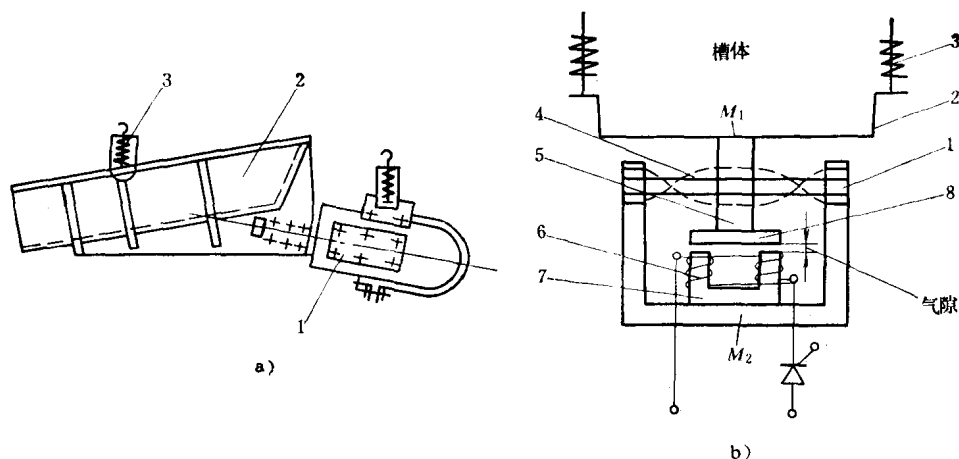


图1-3 电磁式振动机

a) 外形图 b) 电磁激振器

1—激振器 2—工作机体 3—弹性元件 4—板弹簧 5—联接叉 6—线圈 7—铁芯 8—衔铁

表 1-2 是按照动力学特性对振动机进行的分类。分为线性非共振类振动机、线性近共振类振动机、非线性振动机、冲击式振动机。

除了按照前述特性进行分类外，还常常按照振动质体的数目及自由度的数目对振动机进行分类。

表1-2 振动机械按动力学特性分类表

振动机类型	动力学状态的特点	常用激振器的型式	振 动 机 名 称
线性非共振类振动机	线性或近似于线性非共振 ($\omega \gg \omega_0$)	惯性激振器，风动式激振器，液压式激振器等	1. 单轴或双轴惯性振动筛 2. 自同步概率筛 3. 自同步振动给料机 4. 双轴振动输送机 5. 双轴振动落砂机 6. 单轴振动球磨机 7. 惯性式振动光饰机 8. 惯性振动成型机 9. 插入式振捣器 10. 振动压路机 11. 惯性式振动试验台 12. 惯性振动冷却机
线性近共振类振动机	线性或近似于线性近共振 ($\omega \approx \omega_0$)	惯性激振器，弹性连杆式激振器，电磁激振器等	1. 电磁振动给料机 2. 惯性式近共振给料机 3. 弹性连杆式、惯性式及电磁式近共振输送机 4. 线性共振筛 5. 槽式近共振冷却机 6. 振动炉排 7. 线性振动离心脱水机 8. 电磁式螺旋振动上料机
非线性振动机	非线性，非共振，或近共振 ($\omega \gg \omega_0$) ($\omega \approx \omega_0$)	惯性激振器，弹性连杆式激振器，电磁式激振器等	1. 非线性振动给料机 2. 非线性振动输送机 3. 非线性共振筛 4. 弹簧摇床 5. 振动离心摇床 6. 附着式振捣器 7. 非线性振动离心脱水机 8. 振动沉拔桩机
冲击式振动机	非线性，非共振，或近共振 ($\omega \gg \omega_0$) ($\omega \approx \omega_0$)	惯性激振器，电磁激振器，风动式或液压式激振器等	1. 蛙式振动夯土机 2. 振动钻探机 3. 振动锤锻机 4. 冲击式电磁振动落砂机 5. 冲击式振动造型机 6. 振动夯土机(抛离式) 7. 风动式冲击器 8. 液压式冲击器

第二节 惯性振动机的工作原理与结构

一、惯性激振器的型式

惯性振动机是由带偏心块的惯性激振器驱动的。惯性激振器可分为以下几种。

1. 单轴式惯性激振器

单轴式惯性激振器(图 1-4 a)

通常产生沿圆周方向变化的激振力。当轴两端的偏心块具有不同的安装相位时,还会产生沿圆周方向变化的激振力偶。

2. 双轴式惯性激振器(图 1-4 b、c)

双轴式惯性激振器(图 1-4 b)的两轴通常作反向等速回转,所以当两轴上的偏心块质量及偏心距相等时,在 $y-y$ 方向上两轴偏心块产生的惯性力相加,而在 $x-x$ 方向上两轴偏心块产生的惯性力互相抵消,因此,该激振器将产生一个直线的、方向变化的激振力。当轴两端的偏心块具有不同的安装相位时(图 1-4 c),还会产生定向周期变化的激振力偶。

3. 多轴式惯性激振器

最常见的为四轴式惯性激振器(图 1-4 d),通常产生两种频率的激振力。

目前单轴式和双轴式惯性激振器得到了相当广泛的应用,而多轴惯性激振器仅在少数机器中应用。

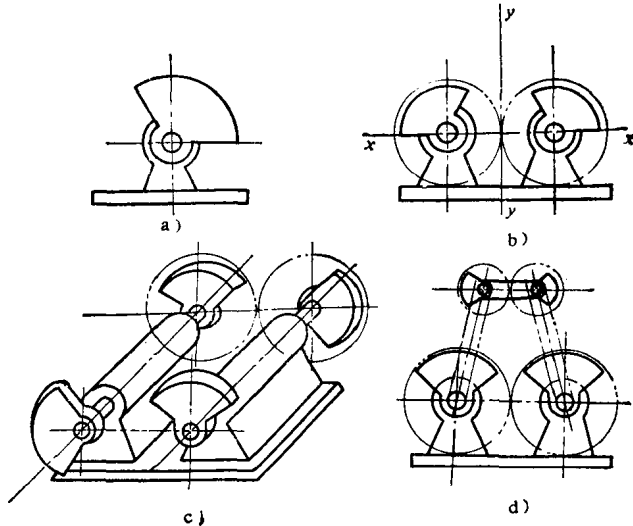


图1-4 各种惯性激振器

a) 单轴式惯性激振器 b)、c) 双轴式惯性激振器
d) 多轴式惯性激振器

二、线性非共振式惯性振动机的特点与结构

该类振动机具有以下特点:

- 1) 该类振动机的弹簧刚度为常数或接近于常数。
- 2) 机器在远离共振的状态下工作,工作频率 ω 与固有频率 ω_0 之比 z ,通常在 $2 \sim 10$ 范围内选取。
- 3) 由于固有频率远小于工作频率,所以弹簧的刚度很小,因而,传给地基的动载荷小,振动机有良好的隔振性能。

4) 该种振动机通常采用单质体振动系统,构造比较简单。

由于该类振动机具有构造简单、隔振良好等优点,目前在工业中应用相当广泛。下面将分别说明单轴式、双轴式和多轴式惯性振动机的构造。

1. 单轴式惯性振动机

单轴惯性振动筛结构如图 1-5 所示。它是由单轴惯性激振器 1、筛箱 2 和带有隔振弹簧

3 的悬吊装置所组成。

单轴惯性激振器通常由带有偏心块或偏心轮的主轴、轴承和轴承座等组成。

筛箱是由钢板与型钢焊接或铆接成的箱型结构，在两侧板间有无缝钢管或型钢联接，筛箱内固定有筛网或筛板。筛箱由四个带隔振弹簧的悬吊装置吊于结构架上或楼板上，也可以支承于隔振弹簧上。

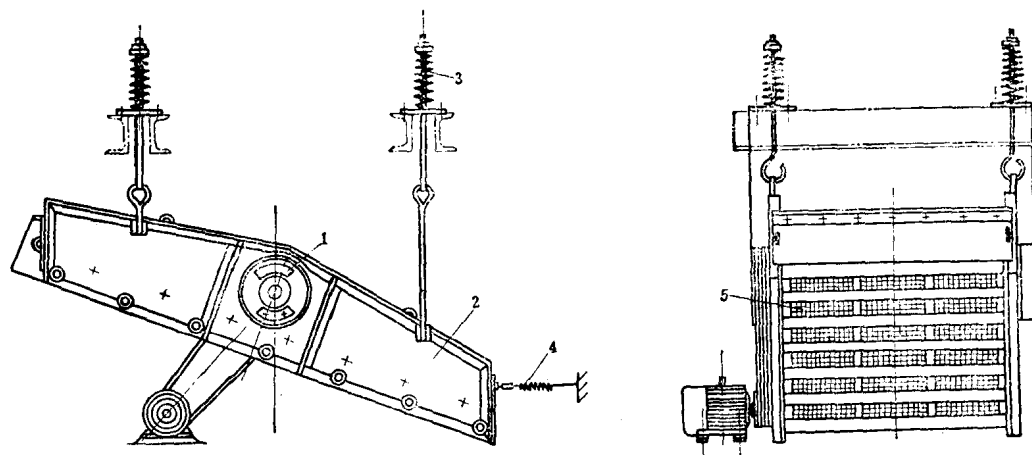


图1-5 单轴惯性振动筛的结构

1—单轴惯性激振器 2—筛箱 3—隔振弹簧 4—前拉弹簧 5—筛面

单轴惯性振动筛的筛箱通常作圆周振动或近似于圆形的椭圆运动。它常用于选矿厂、选煤厂、水泥厂和化工厂中，对各种物料进行筛分。

图 1-6 所示的振动球磨机也是一种由单轴惯性激振器激振的振动机。它是由装有研磨介质（通常为钢球）与被研磨物料的圆筒形机体 6、单轴激振器 3 和隔振弹簧 7 所组成。电动机 1 通过弹性联轴节 2，使单轴激振器的主轴回转，主轴上的偏心块便产生离心力，使机体作近似于圆周的振动，机体上任意一点的轨迹，都位于激振器主轴的垂直平面内。

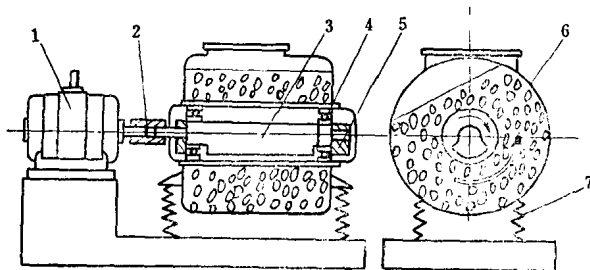


图1-6 振动球磨机

1—电动机 2—弹性联轴节 3—单轴式激振器 4—轴承 5—偏心块 6—机体 7—隔振弹簧

机体的振动使研磨介质和被研磨物料产生频繁的冲击和相互摩擦，从而使物料受到粉碎。但当振动球磨机的振动频率不够高时，每一个研磨介质（钢球）仅相对于某一中间位置作有限的运动。只有当振动频率超过某临界值的时候，研磨介质才出现对粉碎物料较为有利的运动，每一周期研磨介质在机体内作一次回转运动，它们之间会产生冲击作用和摩擦作用。同时，整个研磨介质还绕中心管作慢速的回转运动，其转向与主轴的回转方向相反（见图 1-6 箭头所示）。

振动球磨机用于物料的细磨与超细磨，其粉碎细度可达几微米。目前它在粉末冶金工厂、化工厂以及其它工厂中，得到了比较广泛的应用。

图 1-7 表示了激振器主轴垂直方向安装的立式振动光饰机。由图 1-7 a 可见，容器 1 与

立式激振器连成一体，并支承于隔振弹簧 2 上。振动器主轴上下两端装有偏心块，它们在水平面上的投影互成一个角度。当激振器主轴高速旋转时，偏心块产生激振力（离心力）和激振力矩。使容器产生周期性的振动。由于容器底部为一圆环形状，各点的振幅不一，使容器中的磨料（即研磨介质）和被磨工件既绕容器中心轴线（垂直轴）公转，又绕圆环中心翻滚，其合成运动为环形螺旋运动。因为磨料和工件在运动时互相磨削，所以可对工作进行均匀加工。

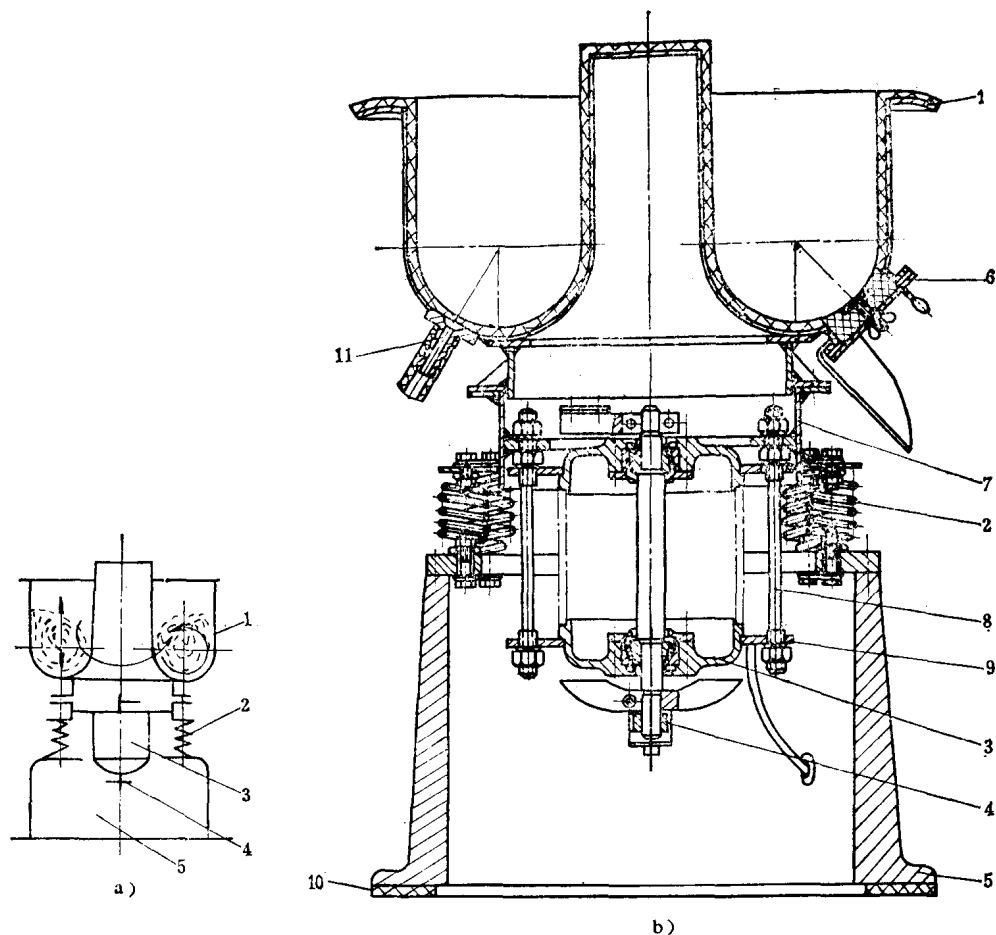


图1-7 立式振动光饰机

a) 示意图 b) 结构图

- 1—容器 2—弹簧 3—电动机 4—偏心块 5—底座 6—卸料口 7—法兰盘
8—长螺栓 9—夹板 10—橡皮垫 11—出水口

由立式振动光饰机结构图 1-7 b 看出，容器 1（内壁固定有橡胶或塑料衬板）与法兰盘 7 用螺钉紧固。在容器底部的一侧开有卸料口 6，卸料门用螺栓压紧，以保证容器密封。在容器的另一侧设有网状出水口，填加剂从这里流出。电动机 3 用四根长螺栓 8 及两块夹板 9 悬挂在法兰盘 7 上。电动机轴两端装有偏心块 4。上述各个部分均支承于弹簧 2 上。在底座 5 下面有一层橡皮垫 10。

振动光饰机常用来去除机械加工件、冲压件和锻铸件的毛刺和氧化皮，也可用做工件的尖边倒圆、除锈和抛光等加工。此外，这种加工方法还可以磨去刀具的虚刃，进而延长它的

使用寿命。

图 1-8 a 表示了插入式振捣器的结构图。它是由带有增速齿轮的电动机 16、软轴 5 和偏心式振动棒 2 所组成。电动机通过软轴，将动力传给振动棒。软轴的另一作用可使振动棒在任意一个位置进行工作。

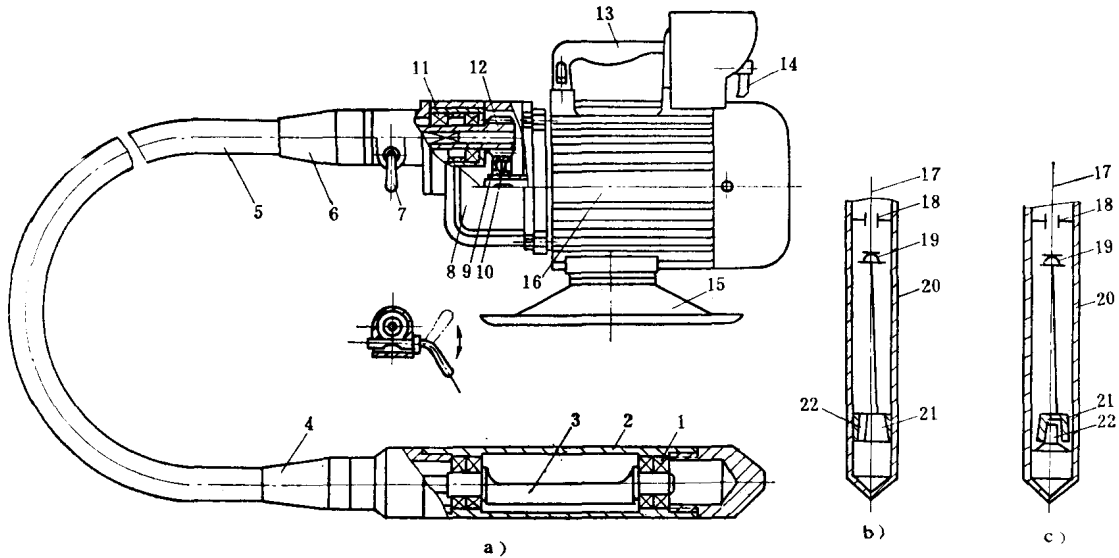


图1-8 插入式振捣器

a) 偏心式插入振捣器 b) 外滚道式振动棒 c) 内滚道式振动棒

1、11—轴承 2—振动棒外壳 3—偏心轴 4、6—软管接头 5—软轴 7—软管锁紧扳手 8—增速器
9—电动机转子轴 10—胀轮式防逆装置 12—增速小齿轮 13—提手 14—电源开关 15—转盘
16—电动机 17—传动轴 18—轴承 19—万向接头 20—壳体 21—滚锥 22—滚道

目前在建筑部门中用来振捣混凝土的插入式振捣器的振动棒，除偏心式以外，还采用行星式振动棒。它又分为外滚道式和内滚道式两种。图 1-8 b 为外滚道式振动棒，而图 1-8 c 为内滚道式振动棒。采用了行星摩擦传动，在不采用增速齿轮的情况下，就可以使振动棒的振动频率增加到电动机工作频率的 4~7 倍。通常采用 2800 转/分的电动机驱动时，振动棒的频率可增加到 10000~20000 次/分。这样高的振动频率，对于提高混凝土的浇灌质量是有效的，这有利于除去混凝土中的气孔和促使浇灌件密实。

很明显，滚动体对其自身轴线的转速即等于电动机的转速，而滚动体中心线对振动棒中心线的转速（或称公转转速）是与振动棒的振动频率相等的。

单个插入式振捣器通常用于振捣小型的混凝土制件。在大型工程中可应用多个振捣器联合工作。

2. 双轴式惯性振动机

双轴惯性振动机分为强制同步式和自同步式两类。

图 1-9 为振动成型机（振动台）的示意图。这种振动机是钢筋混凝土构件厂的主要成型机械，用于大批生产空心板、平板以及厚度不大的梁柱构件等。

该机是由台面 1、底座 2、偏心块 3、支承弹簧 4、齿轮同步器 5 和电动机 6 所组成。电动机通过弹性联轴节使齿轮同步器回转，再经两个弹性联轴节，将运动传给激振器的两根

主轴。轴上装有多個偏心塊，兩軸上的偏心塊對稱地安裝，以使水平方向的激振力互相抵消，而垂直方向的激振力互相疊加，這樣便可使台面產生垂直方向的振動。

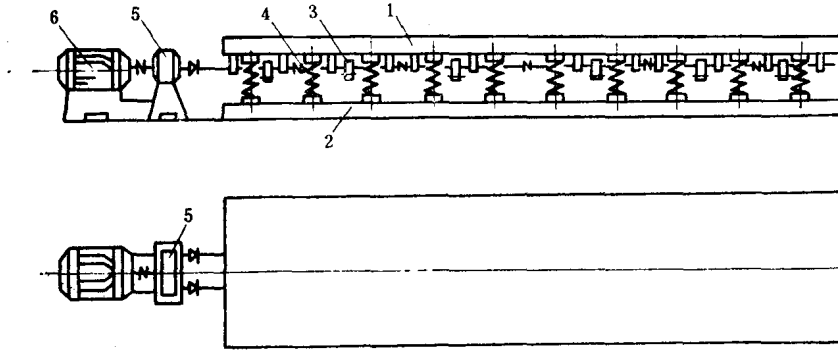


图1-9 振动成型机（振动台）示意图

1—台面 2—底座 3—偏心块 4—支承弹簧 5—齿轮同步器 6—电动机

使用时将装好的钢筋和混凝土的钢模紧固在台面上，由于振动，可使钢筋混凝土构件得到快速而有效的振实。

在工业部门中除了应用强制同步式振动机外，近十年来，开始广泛采用依照力学原理实现同步的自同步振动机。

图1-10为某热矿振动筛。该筛用于冶金部门热烧结矿的筛分。它是由激振器1、筛箱2、二次隔振底架3、一次隔振弹簧4、感应电动机5与6、可伸长的弹性联轴节7、中间轴8和二次隔振弹簧9组成。两台感应式异步电动机通过弹性联轴节（中间为可伸缩的花键轴）使激振器回转。根据力学原理，在一定条件下，两轴上的偏心块可作等速反向回转，而且两偏心块对称于两轴心联线运转，因而它们所产生的激振力垂直于两轴心联线。为了获得较好的隔振效果，该筛采用二次隔振系统，即在一次隔振弹簧下方，再安装二次隔振质量与二次隔振弹簧。

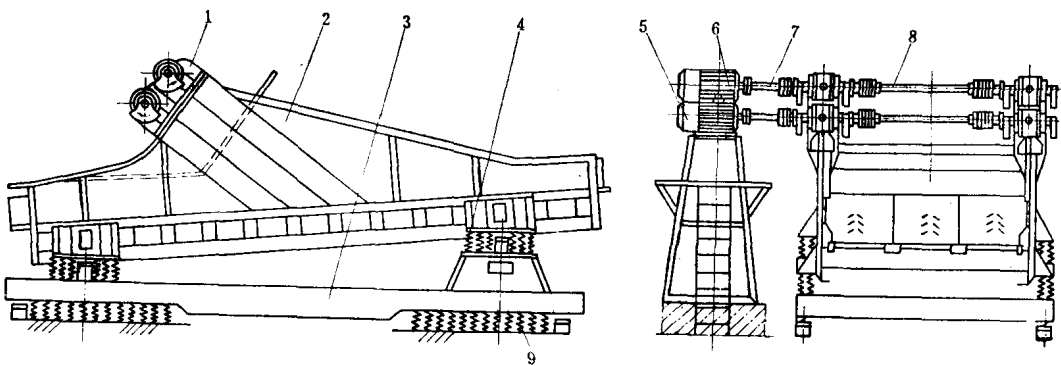


图1-10 热矿振动筛

1—激振器 2—筛箱 3—二次隔振底架 4—一次隔振弹簧 5、6—电动机 7—弹性联轴节
8—中间轴 9—二次隔振弹簧

图1-11是交叉轴式自同步垂直振动输送机。该机由螺旋槽体1、交叉安装的激振电动机2和隔振弹簧3所组成。

激振电动机即是在电动机的轴端上安装有偏心块,因而激振电动机回转时,偏心块将产生激振力。该种振动机的两台激振电动机无任何强迫联系。当两电动机交叉安装时,根据力学原理,在一定条件下,可实现同步运转,并产生垂直方向的激振力和绕垂直轴的激振力矩。因而螺旋槽体上任意一点均会产生垂直振动与绕垂直轴的扭转振动,两种振动的合成,是一种组合的直线振动。振动方向线与螺旋槽的夹角通常为 $20^\circ \sim 45^\circ$, 这种振动可使螺旋槽体中物料连续地沿槽体向上输送。

垂直振动输送机常用于物料的冷却与输送,每台机器的最大输送高度一般为 $6 \sim 8$ 米。其输送量一般不大于 20 吨/小时。

3. 多轴式惯性振动机

目前用于工业中的多轴惯性振动机,有四轴惯性振动输送机(图 1-12)和四轴惯性振动摇床(图 1-13)。

由图 1-12 可见,激振器中有两对回转方向彼此相反的主轴,左侧一对轴的转速为右侧一对主轴转速的二倍,但偏心质量矩仅为低速轴的几分之一。当激振器工作时,激振力是两种频率激振力的组合,在垂直方向互相抵消,而且仅存在于水平方向,合成激振力对振动中心来说是不对称的,因而可使输送管体沿水平方向作不对称的振动,这种振动可使物料向右或向左滑行。

图 1-13 的四轴惯性振动摇床用于选别有用矿物。该种机器由上部床面和下部床面、四轴惯性激振器和悬吊钢丝绳组成。四轴惯性激振器用齿轮联接,左侧和右侧两对主轴各用一对速比等于 1 的齿轮联接,而左侧与右侧主轴之间用一对速比为 2 的齿轮联接。因此,可以获得如图 1-12 中所示振动输送机同样的运动。并使床面作不对称的运动。这种不对称的速度曲线,对于选别有用矿物是不可缺少的。

三、线性近共振式惯性振动机的特点与结构

目前应用于工业中的线性近共振式惯性振动机有振动炉排、惯性共振式给料机、惯性共振式振动输送机、惯性共振筛等。这类振动机具有以下特点:

1) 弹性元件(弹簧)的刚度为常数或近似于常数。所以可按线性振动系统或近似于线性系统进行分析研究。

2) 该种振动机主振系统的频率比 $z_0 = \frac{\omega}{\omega_0}$ 一般为 $0.75 \sim 1.3$ (常用的为 $0.75 \sim 0.95$), 即机器在近共振情况下工作。但隔振系统的频率比 $z_0 = \frac{\omega}{\omega_0}$ 通常仍按远超共振的状态进行选择, 通

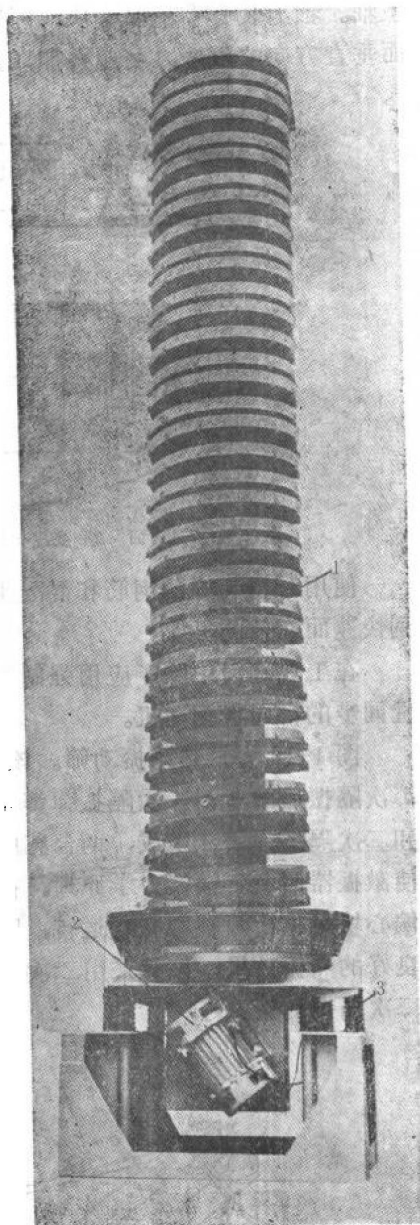


图1-11 交叉轴式自同步垂

直振动输送机

1—螺旋槽体 2—激振电动机

3—隔振弹簧

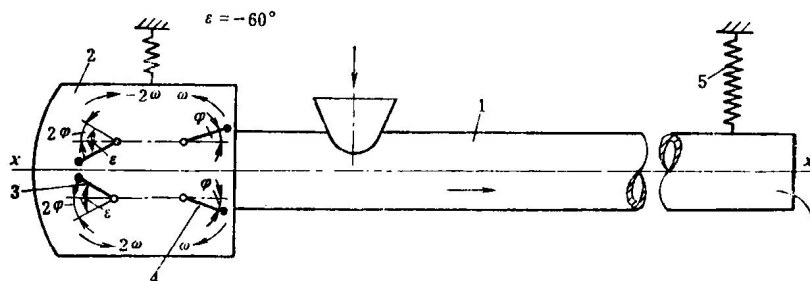


图1-12 四轴惯性振动输送机示意图

1—输送管 2—激振器 3—高速轴 4—低速轴 5—弹簧

常取 $z_0 = 2 \sim 10$ 。

3) 由于在近共振状态下工作, 所需的激振力较小, 通常为非共振类振动机所需激振力的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{8}$, 因而其传动部结构紧凑, 尺寸小而且耐用。

4) 当采用单质体振动系统时, 由于缺少隔振弹簧, 所以会将较大的动载荷传给地基。当采用双质体系统时, 虽然可以采用隔振措施, 但结构较复杂, 机器重量也会相应增大。

5) 近共振振动机工作点 (即频率比) 的调整, 要比非共振类振动机复杂一些。

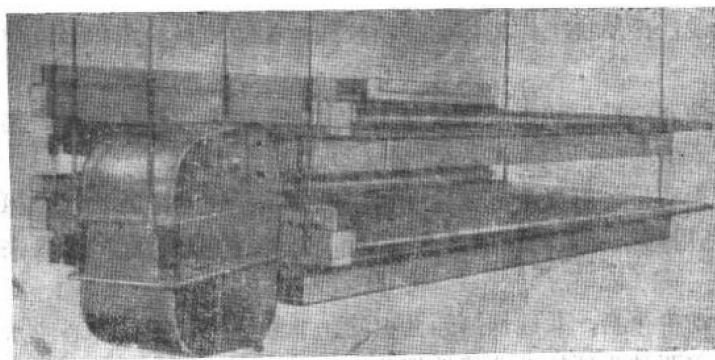


图1-13 四轴惯性振动摇床

图 1-14 是惯性共振式振动输送机。该机主要是由输送槽体 2、单轴惯性激振器 1、隔振弹簧 3 所组成。输送槽体 2、平衡质量 4 与剪切橡胶弹簧 5 及惯性激振器 1 组成了主振动系

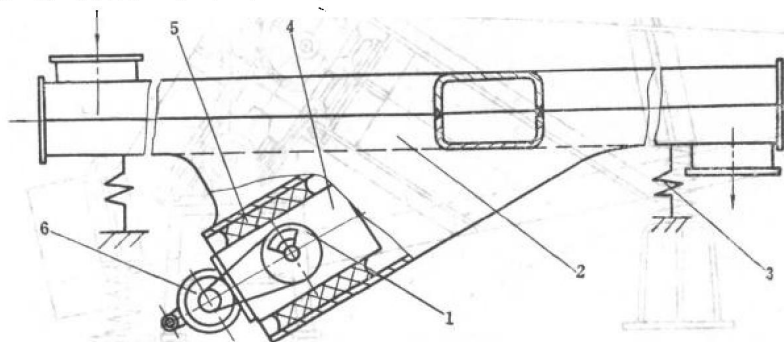


图1-14 惯性共振式振动输送机

1—单轴惯性激振器 2—输送槽体 3—隔振弹簧 4—平衡质量 5—剪切橡胶弹簧 6—电动机