

振动机械的理论 与动态设计方法

闻邦椿 刘树英 何 勍 著



机械工业出版社

本书着重叙述振动机械的工作理论与动态设计方法。书中扼要介绍振动机械的用途、类型、工作原理及其典型构造,较系统地叙述振动机械的工艺过程的理论及工艺参数的设计与计算方法,振动机械振动系统参数的计算与频率比的选择方法,双电动机或多电动机驱动的振动机械振动同步和控制同步的理论,线性和非线性振动机械(其中包括惯性式振动机、弹性连杆式振动机和电磁式振动机等)动力学参数的计算方法,振动机械及其零部件的动态设计的理论与方法等,书中还举出了若干计算实例。

本书可作为工程类专业的大专院校的学生及研究生学习和参考,还可供科研院所的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

振动机械的理论及动态设计方法/闻邦椿等著. —北京:
机械工业出版社, 2001. 10

ISBN 7-111-09372-0

I. 振… II. 闻… III. 振动—机械设备 IV. TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 064086 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:蒋有彩 版式设计:冉晓华 责任校对:申春香

封面设计:鞠 杨 责任印制:郭景龙

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·21.75 印张·537 千字

0 001—2 500 册

定价:39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、68326677—2527

第一作者闻邦椿教授简介

闻邦椿，原籍浙江温岭，1930年9月生于浙江省杭州市。1957年东北工学院机械系研究生毕业。现为东北大学机械工程与自动化学院教授、博士研究生导师、机械电子工程研究所所长，IFTOMM（国际机器理论与机构学联合会）中国委员会委员，国际转子动力学技术委员会委员，亚太振动会议指导委员会委员，中国振动工程学会理事长，目前担任《振动工程学报》主编，还兼任上海交通大学“振动、冲击、噪声”国家重点实验室和大连理工大学“工业装备结构分析”国家重点实验室学术委员会主任，曾任及现任第六、七、八、九届全国政协委员，国务院学位委员会第二、三、四届机械工程学科评议组成员，并兼任20余所大学的兼职教授、顾问教授、名誉教授、名誉院长和校长等职。1984年被评为全国第一批有突出贡献的中青年专家，并享受国家特殊津贴，1991年当选为中国科学院院士。

他系统地研究和发展了振动学与机器学相结合的新学科“振动利用工程学”。还研究了转子动力学、机械系统非线性振动理论及应用、机械故障的振动诊断、机电一体化以及工程机械理论的某些问题。曾发表论文380篇，出版专著和主编的论文集10余种。

他曾指导和联合指导百余名研究生，已有50名研究生取得了硕士学位，26名取得了博士学位，还曾指导博士后4名、俄罗斯和哈萨克斯坦访问学者各一名。

他曾完成数十项国家重大科研项目 and 横向科研项目，包括国家自然科学基金重大项目 and 973、863项目等，曾获国际奖两项，国家级奖3项，省、部、委级奖10项。有多项成果达到国际先进水平，取得了重大经济效益和社会效益。

他曾应邀去日本、德国、澳大利亚等国讲学，还曾参加在20余个国家召开的国际学术会议，宣读论文40余篇，并多次应邀做大会报告。主持召开国际学术会议4次，担任国际学术会议学术委员会主席多次和主编国际学术会议论文集4种。本书是作者对自己及所领导的科研组30余年的科学研究实践进行总结的重要成果之一。

前 言

振动机械是 20 世纪后半期得到迅速发展的一类机械,它是利用振动原理来完成各种工艺过程的机械设备。目前这类机械已广泛应用于工农业生产及国防建设等各个部门,例如采矿、冶金、煤炭、石油化工、机械、电力、水利、土木、建筑、建材、铁路、公路交通、轻工、食品和谷物加工、农田耕作、作物收割等。在人类日常生活等许多方面也有广泛应用。这类机械可有效完成许多工艺过程,例如给料、上料、输送、筛分、布料、烘干、冷却、脱水、选分、破碎、粉磨、光饰、落砂、成型、整形、振捣、夯土、压路、摊铺、钻挖、装载、振仓、犁土、沉桩、拔桩、清理、捆绑、采油、时效、切削、检桩、检测、勘探、测试及诊断等。随着我国经济建设和科学研究事业的进一步发展,新用途的振动机械将会不断涌现,在各个部门的使用也将日益增多,并将发挥越来越重要的作用。为了使这类机械获得更有效的使用和促进其进一步的发展,对它们的工作理论与设计计算方法进行较系统和较详细的叙述是十分必要的,特别是随着现代科学技术,诸如非线性动力学理论与方法、现代设计理论与方法和计算机技术的迅速发展,应用最新的科学技术,对振动机械进行全面和系统的动态设计,是保证该类机械可靠和有效运行的重要措施和必要手段。

本书是在闻邦椿、刘凤翹所著《振动机械的理论及应用》一书的基础上,补充了若干新的内容,与刘树英、何勍共同编写而成。作者在总结自己多年来在振动机械的理论研究和试验研究,以及研制多种新型振动机械所积累的实际经验的基础上,吸取了国内外科技工作者在这一领域所取得的最新重要研究成果,以及有关参考文献中所介绍的振动机械设计理论和方法。书中对振动机械的工作理论进行了较详细的叙述,例如物料滑行和抛掷运动的理论和筛分过程的理论、振动机械振动系统等效质量和等效阻尼的计算理论与方法、振动机械的隔振模态与主振动模态及弹簧刚度的设计计算方法、振动机械二次隔振的理论与计算方法、双电动机或多电动机驱动的振动机械的振动同步和控制同步的理论和方法、振动机械振动系统动力学理论与动力学参数的计算方法、振动机械及其主要零部件的动态设计方法等,并提出了若干新的见解和看法,举出一些计算实例。

在编写本书的过程中,我们得到了东北大学机械电子工程研究所及有关兄弟单位同志们的支持,还得到研究生李振平和张静等同学的大力协助,在此一并向他们致以衷心的感谢。本书可能存在一些不妥之处甚至有错误,请广大读者予以指正。

闻邦椿

2001 年 2 月于沈阳

本书常用符号

A —面积、振幅、电振机特征数	i_q —反向滑动系数
a —加速度、筛孔尺寸	J —转动惯量
B —槽体宽度、磁通密度	J' —计算转动惯量
B_i —特征矩阵	K —振动强度
B_i^{-1} —矩阵 B_i 的逆矩阵	K_d —动刚度系数
B_i^a —矩阵 B_i 的伴随矩阵	K_m —物料结合系数
b —阻尼比	K —刚度矩阵
C_x —相对粒度为 x 的物料，每次跳动的理论透筛概率	k —弹簧刚度
C_x —相对粒度为 x 的物料，每次跳动的实际透筛概率	k_e —等效弹簧刚度
D —抛掷指数、能量散失函数	k_0 —连杆弹簧刚度
D_a —同步性指数	L —工作面长度、电感
D_k —正向滑行指数	M —力矩、机体质量
D_q —反向滑行指数	M —质量矩阵
E —材料拉伸弹性模量	m —质量
$F(t)$ —激振力	m' —计算质量
F —作用力	m_e —等效质量
F_d —动载荷幅值	m_k —弹簧质量
F_f —阻尼力	m_p —机体质量
F_k —弹性力	m_m —物料质量
F_m —惯性力	m_0 —偏心块质量
F_q —激振力，干扰力	n —转速、振动次数、阻尼系数
F_0 —极限摩擦力、激振力幅、恒定电磁力	P —功率
F_1 —一次谐波力幅、质体 1 上激振力幅	P_f —摩擦功率
F_2 —二次谐波力幅、质体 2 上激振力幅	P_z —振动功率
F —激振力矩阵	q_j —广义坐标
f —阻力因数、动摩擦因数	$\dot{q}_j$ —广义速度
f_0 —静摩擦因数、静变形	R —半径、恢复系数
f_m —物料当量阻力系数	r —偏心块的偏心距、轴偏心距、半径
f —阻尼矩阵	$s, \dot{s}, \ddot{s}$ —振动方向上的位移、速度、加速度
G —材料切变模量、物体重量	$s_0, \dot{s}_0, \ddot{s}_0$ —相对位移、相对速度、相对加速度
g —重力加速度	T —周期、动能
H —槽体高度	t —时间
h —料层厚度、板弹簧厚度	V —位能
I —单位矩阵	v_d —理论平均速度
i_D —跳跃系数	v_m —实际平均速度
i_k —正向滑动系数	W —稳定性指数
	$x, \dot{x}, \ddot{x}$ — x 方向的振动位移、速度、加速度
	$x_0, \dot{x}_0$ —初始位移和初始速度

X

x_g —静位移	θ_k —正向滑动角
$\mathbf{X}$ —位移列阵	θ_q —反向滑动角
$\mathbf{X}_M$ —模态矩阵	λ —振幅
$\dot{\mathbf{X}}$ —速度列阵	λ_1, λ_2 —质体 1 及质体 2 的振幅
$\ddot{\mathbf{X}}$ —加速度列阵	λ_x, λ_y — x 方向与 y 方向的振幅
$\mathbf{X}_N$ —正规化模态矩阵	λ_c —自由振动的振幅
$y, \dot{y}, \ddot{y}$ — y 方向的振动位移、速度、加速度	μ —动摩擦角、质量比
$z, \dot{z}, \ddot{z}$ — z 方向的振动位移、速度、加速度	μ_0 —静摩擦角、空气磁导率
z_0 —频率比	φ —相位角
α —相位差角	φ_{k0} —正向滑始角
α_0 —工作面倾角	φ_{q0} —反向滑始角
β —振动角、动态系数	φ_m —正向滑止角
γ —初相角	φ_e —反向滑止角
Δ —静位移	φ_k —假想正向滑始角
Δk —间隙弹簧刚度	φ_q —假想反向滑始角
Δf —间隙弹簧阻力系数	φ_k' —实际正向滑始角
$\Delta\alpha$ —轴 1 与轴 2 偏心块的相位差角	φ_q' —实际反向滑始角
$\Delta\dot{\alpha}$ —轴 1 与轴 2 偏心块的相对速度	φ_d —抛始角
$\Delta\ddot{\alpha}$ —轴 1 与轴 2 偏心块的相对加速度	φ_z —抛止角
δ —振动方向线与工作面夹角	$\psi, \dot{\psi}, \ddot{\psi}$ —扭摆振动的角位移、角速度和角加速度
ϵ —小参数符号、晶闸管触发角	
ϵ_0 —晶闸管遏止角	ω —角频率
η —传动效率、筛分效率	ω_0 —固有频率
η_c —隔振系数	ω_{0d} —低频固有频率
θ —初相角、晶闸管导通角	ω_{0g} —高频固有频率
θ_d —抛掷角	

目 录

前 言

本书常用符号

第 1 章 振动机械的用途、分类、 工作原理及构造

1.1 振动机械的用途与分类	1
1.1.1 振动机械的组成	1
1.1.2 振动机械的用途	1
1.1.3 振动机械的分类	2
1.2 惯性振动机械的工作原理与构造	4
1.2.1 惯性激振器的形式	4
1.2.2 线性或近似线性的非共振类惯性振动机械	5
1.2.3 线性或近似线性的近共振类惯性振动机械	13
1.2.4 非线性惯性振动机械	14
1.2.5 冲击式惯性振动机械	17
1.3 弹性连杆式振动机械的工作原理与构造	19
1.3.1 单质体弹性连杆式振动机械	19
1.3.2 双质体弹性连杆式振动机械	20
1.4 电磁式振动机械的工作原理与构造	22
1.4.1 电磁式仓壁振动器	22
1.4.2 电磁式振动给料机	22
1.5 液压式振动机械的工作原理与构造	24
1.5.1 液压式激振器的类型	24
1.5.2 液压式振动机械的典型构造	26

第 2 章 振动机械工艺过程的理论及 设计计算

2.1 直线运动振动机械物料运动的理论及工艺参数计算	27
2.1.1 物料滑行运动的理论	27

2.1.2 物料抛掷运动的理论	35
2.1.3 物料运动状态与运动学参数的选择	40
2.1.4 实际输送速度与生产率的计算	43
2.1.5 计算实例	47
2.2 圆运动和椭圆运动振动机械物料运动的理论及工艺参数计算	49
2.2.1 振动工作面的位移、速度和加速度	49
2.2.2 物料滑行运动的理论	50
2.2.3 物料抛掷运动的理论	54
2.3 非谐和振动机械物料运动的基本特征	58
2.3.1 正向和反向滑动的初始条件	58
2.3.2 正向和反向滑动的终止条件	59
2.3.3 物料的平均速度的计算	59
2.4 物料筛分过程的概率理论	60
2.4.1 物料颗粒每次跳动的透筛概率	60
2.4.2 下落倾角及物料在整个筛长上的跳动次数	63
2.4.3 普通振动筛物料透筛总概率的计算	64
2.4.4 多层筛面的概率筛物料透筛总概率的计算	64
2.5 振动机械工艺过程的动力学理论	68

第 3 章 振动机械的振动质量、系统 阻尼和弹簧刚度的设计与 计算

3.1 物料作滑行运动时结合质量与当量阻尼的计算	71
3.1.1 考虑物料非线性作用力时振动机械的振动方程	71
3.1.2 振动方程的一次近似解及物料的结合系数与阻力系数	72

3.1.3 物料结合系数与阻力系数的 计算	74	4.1.1 平面单质体同向回转自同步振动机械的 同步理论	104
3.1.4 物料的非线性作用力引起的高次谐 波振动	76	4.1.2 平面单质体反向回转自同步振动机械的 同步理论	110
3.2 物料作抛掷运动时结合质量与当量 阻尼的计算	77	4.1.3 平面单质体自同步振动机械同步状态的 计算	113
3.2.1 考虑物料非线性作用力时振动机械的 振动方程	77	4.1.4 自同步振动机械的同步性试验的若干结 果	115
3.2.2 振动方程的一次近似解及物料的结合 系数与阻力系数	78	4.2 双电动机驱动空间运动惯性振动机械 的振动同步	116
3.2.3 物料结合系数与阻力系数的计算结果 与实验结果	81	4.3 弹性连杆式振动机械的振动 同步	122
3.3 振动机械弹性元件的结合质量的 计算	84	4.3.1 双激振器驱动弹性连杆式与电磁式振动 机械的振动同步	122
3.3.1 板弹簧的结合质量计算	84	4.3.2 弹性连杆式振动机械在机电耦合情况下的 振动同步	124
3.3.2 圆柱螺旋弹簧的结合质量计算	86	4.4 双电动机或多电动机驱动的振动机械 的控制同步	127
3.3.3 剪切橡胶弹簧的结合质量计算	87	4.4.1 双电动机驱动的机械系统的变结构控制 同步	127
3.4 振动机械振动系统的等效阻尼及所 消耗功率的计算	88	4.4.2 平面单质体同向回转自同步振动机械相 位差的模糊监督控制	127
3.5 振动机械的隔振理论及隔振弹簧刚 度的计算	90	4.5 多电动机驱动的振动机械的复合 同步	129
3.5.1 非共振振动机械的两种常用的隔振 方案	90	第5章 惯性式振动机械的动力学参数 的设计与计算	132
3.5.2 振动机械隔振效果的计算	91	5.1 非共振单轴式惯性振动机械的动力学 参数	132
3.5.3 一次隔振系统隔振参数的计算	91	5.1.1 平面运动单轴惯性振动机械的 动力学	132
3.5.4 二次隔振系统隔振参数的计算	93	5.1.2 空间运动单轴惯性振动机械的动 力学	136
3.6 近共振振动机械主振系统频率比的 选择及弹簧刚度的计算	96	5.2 非共振双轴式惯性振动机械的动力 学参数	139
3.6.1 共振的利用及减少激振力的动力学 方法	96	5.2.1 平面运动双轴惯性振动机械的 动力学	139
3.6.2 振幅稳定性和频率比的关系及加强振幅 稳定性的措施	97	5.2.2 空间运动双轴惯性振动机械的 动力学	142
3.6.3 频率比的选取及主振弹簧刚度的 计算	99	5.3 非共振多轴式惯性振动机械的 动力学参数	143
3.7 振动机械的隔振模态与主振动模态及 主振动响应	100		
第4章 双电动机与多电动机驱动的振 动机械的同步理论	103		
4.1 双电动机驱动平面运动惯性振动机械 的振动同步	104		

5.3.1 床面运动的一般规律.....	143	6.4.2 按四个自由度振动系统的分析.....	183
5.3.2 当 θ_2 为 $\frac{\pi}{2}$ 时的位移、速度和加速度曲线及差动系数的值	144	6.5 弹性连杆式振动机械的动力学参数的计算程序及计算实例	191
5.4 线性近共振式惯性振动机械的动力学参数	146	6.5.1 隔振弹簧刚度.....	191
5.4.1 单质体线性近共振振动机械的动力学.....	146	6.5.2 振动质体的计算质量与诱导质量.....	191
5.4.2 双质体线性近共振振动机械的动力学.....	148	6.5.3 主振固有频率和频率比.....	192
5.5 非线性近共振惯性振动机械的动力学参数	150	6.5.4 连杆弹簧和储能主振弹簧刚度的选取.....	192
5.5.1 软特性非线性弹簧摇床与振动离心摇床的动力学.....	150	6.5.5 所需的计算激振力及偏心距.....	193
5.5.2 硬特性非线性振动离心脱水机与惯性共振筛的动力学.....	155	6.5.6 非线性弹簧的隙幅比与刚度.....	193
5.6 冲击式惯性振动机械的动力学参数	163	6.5.7 电动机的功率.....	194
5.7 惯性振动机械动力学参数的计算程序及计算实例	165	6.5.8 连杆作用力及转动轴转矩.....	194
5.7.1 动力学参数计算程序.....	165	6.5.9 传给地基的最大动载荷幅值.....	195
5.7.2 动力学参数计算实例.....	165	6.6 弹性连杆式振动机械的调试	195
5.8 惯性振动机械的调整	168	6.6.1 连杆弹簧压缩量的调整.....	195
5.8.1 惯性激振器的调整.....	168	6.6.2 振动输送机工作点的调整.....	196
5.8.2 振动系统的调整.....	169		
5.8.3 主振系统的调整.....	170	第 7 章 电磁式振动机械的动力学参数的设计与计算	199
第 6 章 弹性连杆式振动机械的动力学参数的设计与计算	172	7.1 电磁式振动机械的电磁力的基本形式	199
6.1 线性单质体弹性连杆式振动机械的动力学参数	172	7.2 电磁力为谐波形式的电磁式振动机械的动力学参数	199
6.2 线性双质体弹性连杆式振动机械的动力学参数	173	7.2.1 半波整流电振机振幅及相位差角.....	202
6.2.1 平衡式双质体弹性连杆振动机械.....	174	7.2.2 半波整流加全波整流电振机振幅及相位差角.....	203
6.2.2 不平衡式双质体弹性连杆振动机械.....	175	7.3 电磁力为非谐波形式的电磁式振动机械的动力学参数	204
6.3 多质体弹性连杆式振动机械的动力学参数	178	7.3.1 可控半波整流电振机的电磁力及与振幅的关系.....	204
6.4 非线性弹性连杆式振动机械的动力学参数	180	7.3.2 降频电振机的电磁力及与振幅的关系.....	206
6.4.1 按二个自由度振动系统的分析.....	181	7.4 弹性力为非线性的电磁式振动机械的动力学参数	208
		7.4.1 非线性弹簧的类型、主要优点及计算特点.....	208
		7.4.2 非线性橡胶弹簧的合成刚度及与预压量的关系.....	209
		7.4.3 用最小平方矩法求弹簧的等效刚度与系	

统的固有频率.....	210	9.2 大长度振动输送机体的弹性弯曲振	动及计算	259
7.4.4 非线性电振机的工作点及其对振幅稳定性影响.....	211	9.3 共振筛筛框的有限元分析及静、动	强度计算	268
7.5 电磁式振动机械的动力学参数的计算程序与实例	212	9.3.1 共振筛筛框的静强度计算.....	269	
7.6 电磁式振动机械过渡过程的		9.3.2 共振筛筛框的动强度计算.....	279	
分析	216	9.4 振动筛筛箱的有限元分析及动强度	计算	283
7.6.1 频率比的实验求法	216	9.4.1 振动筛的动态特性分析.....	283	
7.6.2 阻尼比的测定与计算	217	9.4.2 振动筛的结构强度分析.....	284	
7.6.3 能耗系数的测定与计算	217	9.5 振动机械弹性元件的计算	286	
7.6.4 物料结合系数的测定与计算.....	218	9.5.1 弹性元件(弹簧)的种类和	用途	286
7.7 电磁式振动机械的测试	218	9.5.2 弹性元件的组合刚度.....	287	
7.7.1 主振系统的调整	219	9.5.3 螺旋弹簧的刚度与强度计算.....	288	
7.7.2 隔振系统的调整	221	9.5.4 板弹簧的刚度与强度计算.....	290	
7.7.3 电气系统的调整	221	9.5.5 橡胶弹簧的刚度与强度计算.....	292	
第 8 章 电磁式振动机械的电磁参数及		第 10 章 振动机械动态设计的内容		
控制系统	222	与方法	301	
8.1 电磁式振动机械的励磁方式	222	10.1 振动机械动态设计的内容	301	
8.2 电磁式振动机械的电磁激		10.2 振动机械动态设计的步骤和	方法	303
振力	224	10.3 二次隔振自同步式振动筛的动力学	建模与动态特性分析	307
8.2.1 电磁力基本公式的导出.....	224	10.3.1 筛机的运动方程式及其求解	307	
8.2.2 电振机的气隙磁通密度.....	226	10.3.2 同步性条件和同步状态的稳定性	条件	309
8.2.3 电磁铁的最大磁通密度.....	230	10.3.3 机体各部位的运动轨迹	311	
8.2.4 各类电振机的电磁激振力.....	231	10.3.4 计算结果和实验结果	312	
8.2.5 最大电磁激振力和主谐波激振		10.4 非线性振动离心脱水机的动力学建	模与动态特性分析	312
力幅	234	10.5 振动压路机机架结构动态特性的动	力有限元分析	317
8.3 电磁式振动机械的负载电压与		10.5.1 计算工况的确定	317	
电流	236	10.5.2 机架结构模态分析	319	
8.3.1 电振机负载电压的波形.....	236	10.5.3 机架应力的实验分析	320	
8.3.2 电振机电流的平均值与有效值.....	237	10.6 长距离振动输送机机体动态特性的	传递矩阵分析法	323
8.4 电磁式振动机械的功率与功率		10.6.1 固有频率的计算	323	
因数	240	10.6.2 固有振型的计算	326	
8.4.1 电振机的功率	240	10.6.3 在简谐激振力下的稳态响应	326	
8.4.2 电振机的功率因数	241	10.6.4 弯曲振动系数的计算	328	
8.5 电磁式振动机械的电磁参数		10.6.5 设计中弯曲振动的校核	331	
计算	242	参考文献	332	
8.6 电磁式振动机械的控制	248			
8.6.1 电振机的控制原理和方法.....	248			
8.6.2 电振机的自动控制	252			
第 9 章 振动机械零部件的动态设计方				
法	254			
9.1 振动机械悬挂钢丝绳的横向振动及				
计算	254			

第 1 章 振动机械的用途、分类、工作原理及构造

1.1 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 30 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械有几十种之多，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形式的激振器等。这些振动机在工业的各个部门中已发挥了重要的作用。

1.1.1 振动机械的组成

振动机械通常是由激振器、工作机体及弹性元件三个部分组成（图 1-1a）。

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）。在一些振动机械中无弹性元件。

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及噪声较大等缺点。

1.1.2 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,从而可有效地完成物料粉磨、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、振捣及沉拔桩等

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。

1.1.3 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)的形式分类

(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 1-1b)。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中得到

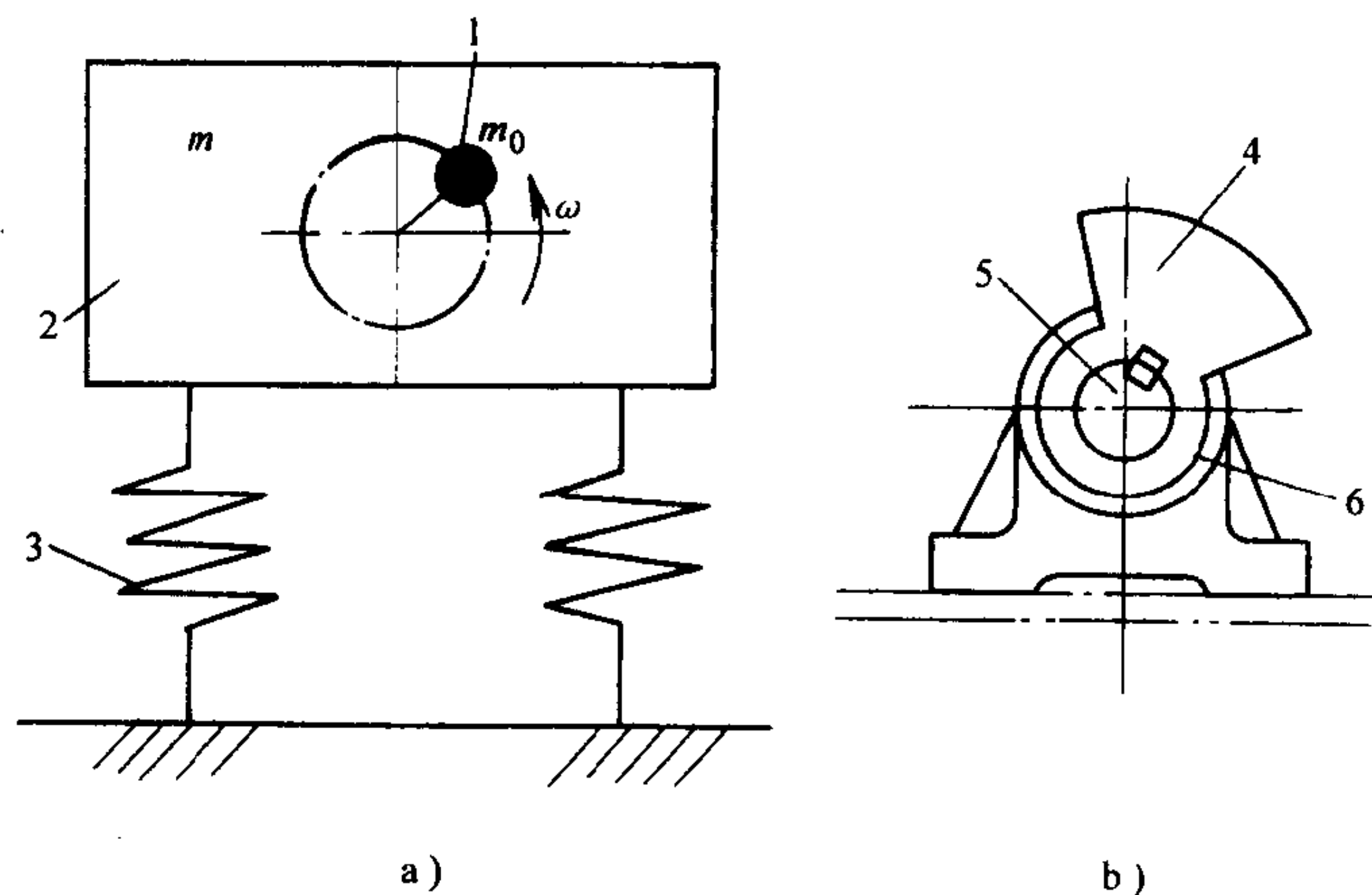


图 1-1 惯性式振动机

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

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
输送给料类	物料输送、给料、预防料仓起拱、作闸门用	①振动给料机；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。

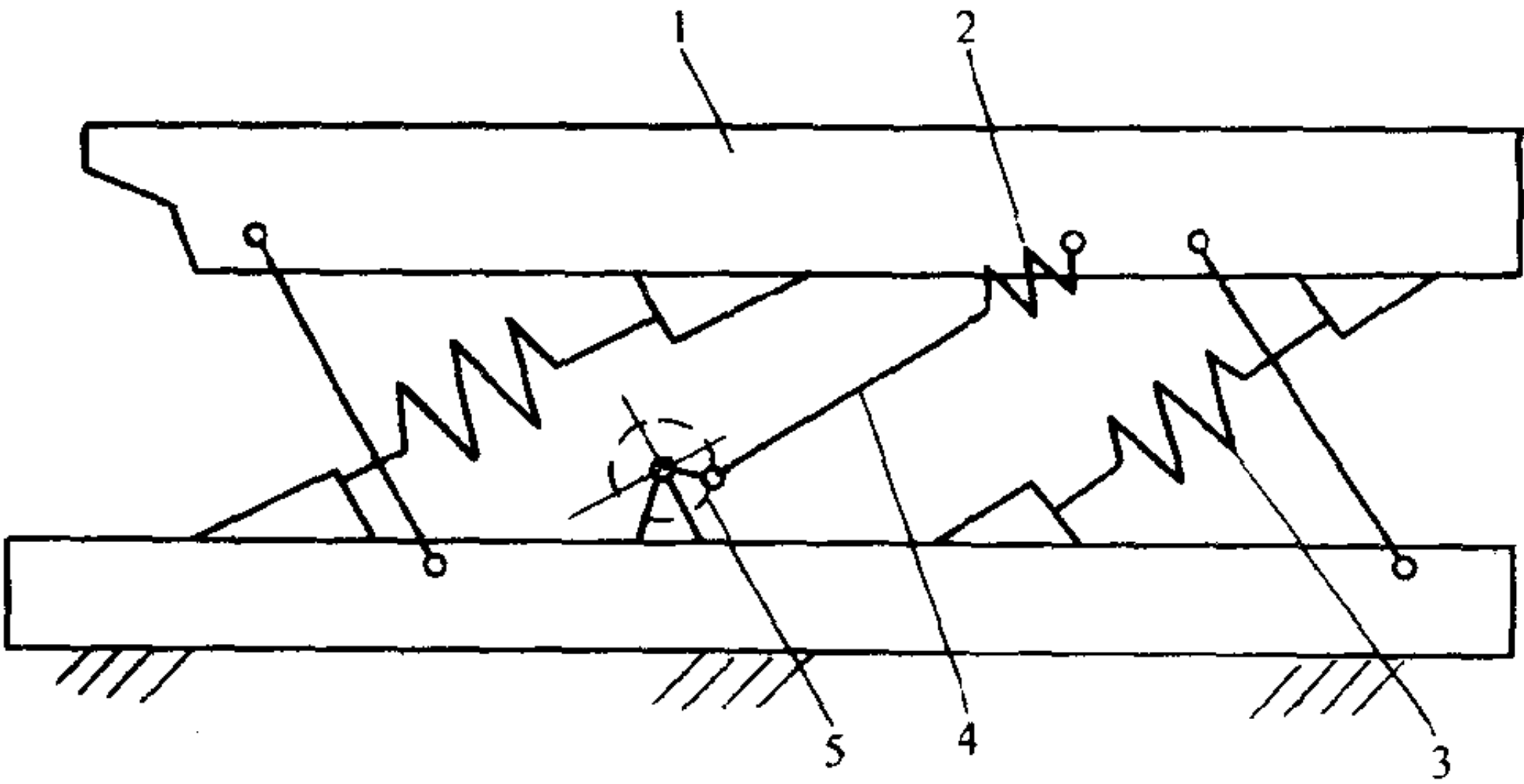


图 1-2 弹性连杆式振动机

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。电磁激振器是由铁心、线圈及衔铁所组成 (图 1-3b)。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给料机、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

表 1-2 是按照动力学特性对振动机械进行分类。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。

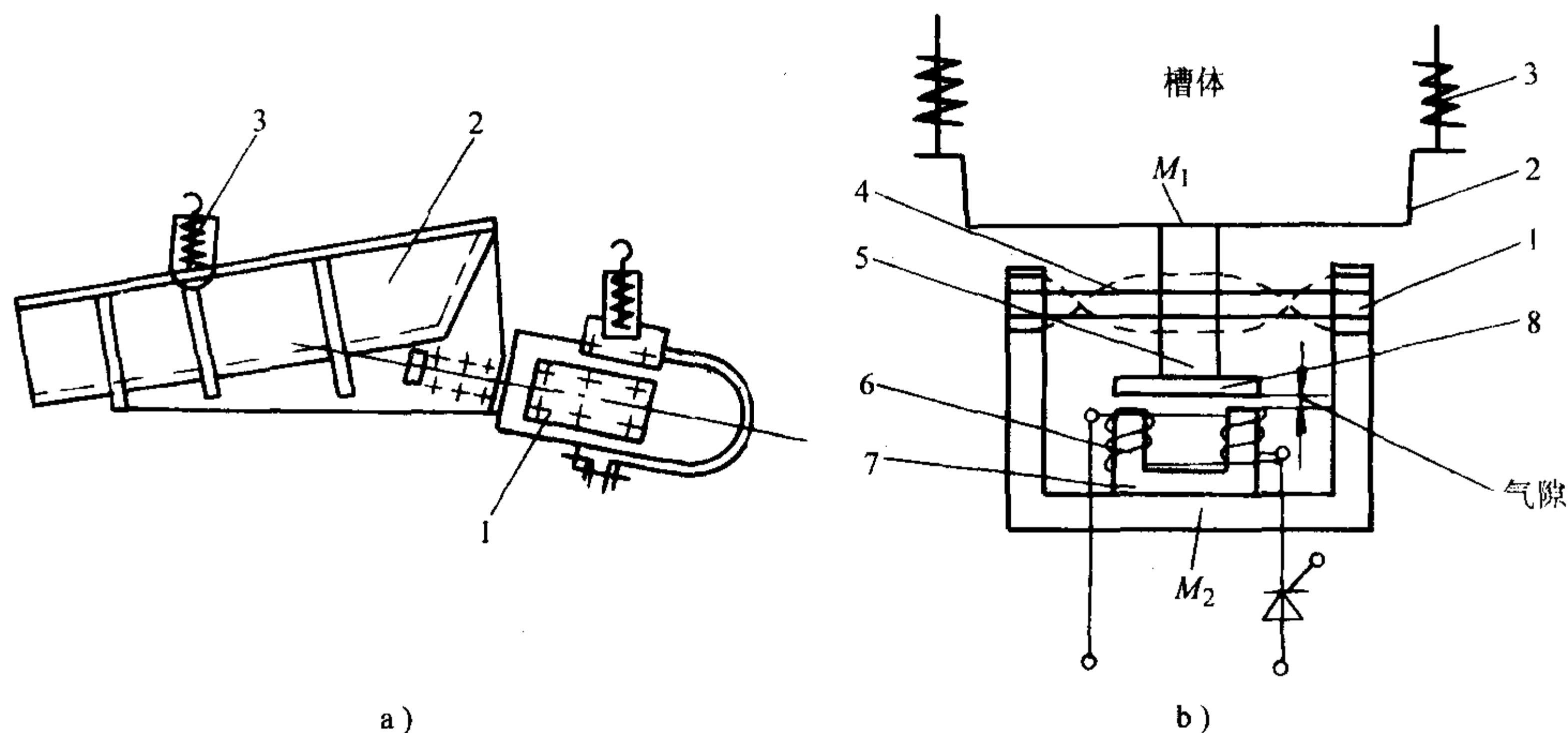


图 1-3 电磁式振动机
a) 外形图 b) 电磁激振器

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—铁心 8—衔铁

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	常用激振器的形式	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 ($\omega \gg \omega_0$)，或近共振 ($\omega \approx \omega_0$)	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 ($\omega \gg \omega_0$)，或近共振 ($\omega \approx \omega_0$)	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

1.2 惯性振动机械的工作原理与构造

1.2.1 惯性激振器的形式

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

单轴式惯性激振器如图 1-4a 所示，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 1-4b 所示的双轴式惯性激振器的两轴，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，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、大小变化的激振力。当轴两端的偏心块具有不同的安装相位时（图 1-4c），还会产生定向周期变化的激振力偶。

3. 多轴式惯性激振器

最常见的为图 1-4d 所示的四轴式惯性激振器，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，多轴式惯性激振器仅在少数机器中应用。

1.2.2 线性或近似线性的非共振类惯性振动机械

该类振动机具有以下特点：

1) 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_0 ，通常在 2~10 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) 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。

1. 单轴式惯性振动机

(1) 单轴惯性振动筛 其结构如图 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形结构，在两侧板间用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，也可以通过隔振弹簧支承于下方基座上。

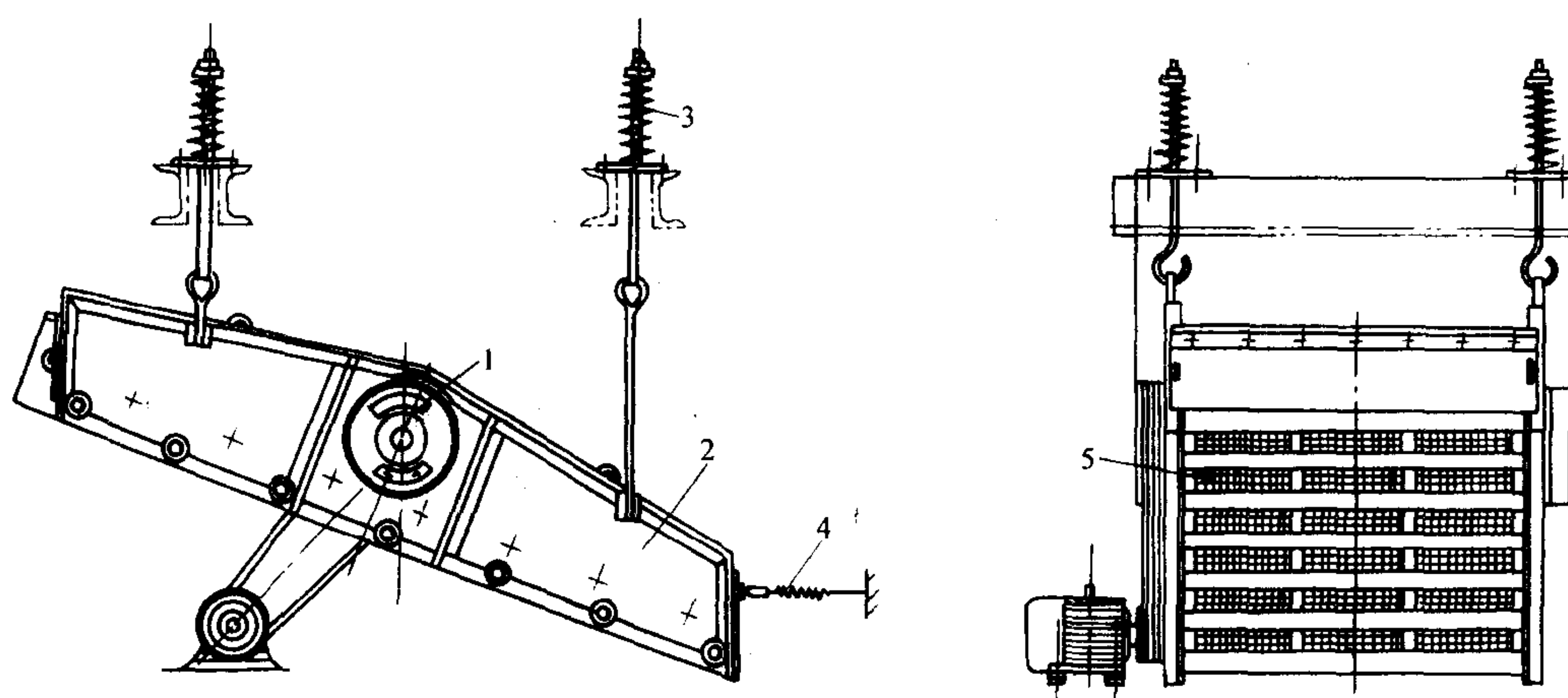


图 1-5 单轴惯性振动筛的结构

1—单轴惯性激振器 2—筛箱 3—隔振弹簧 4—前拉弹簧 5—筛面

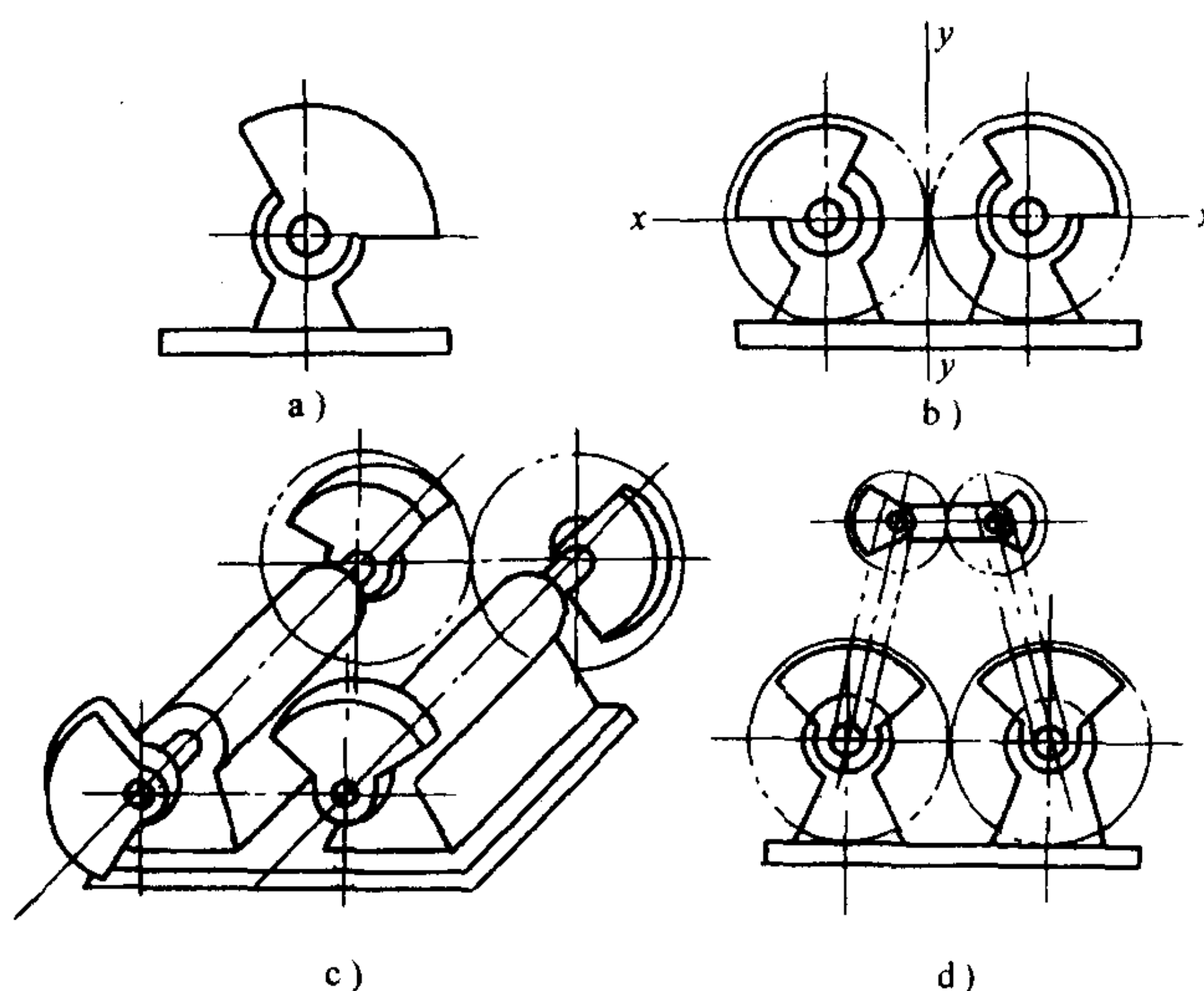


图 1-4 各种惯性激振器

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

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，对各种物料进行筛分。

(2) 振动球磨机 其结构如图 1-6 所示。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 通过弹性联轴器 2，使单轴激振器的主轴回转，主轴上的偏心块 5 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。

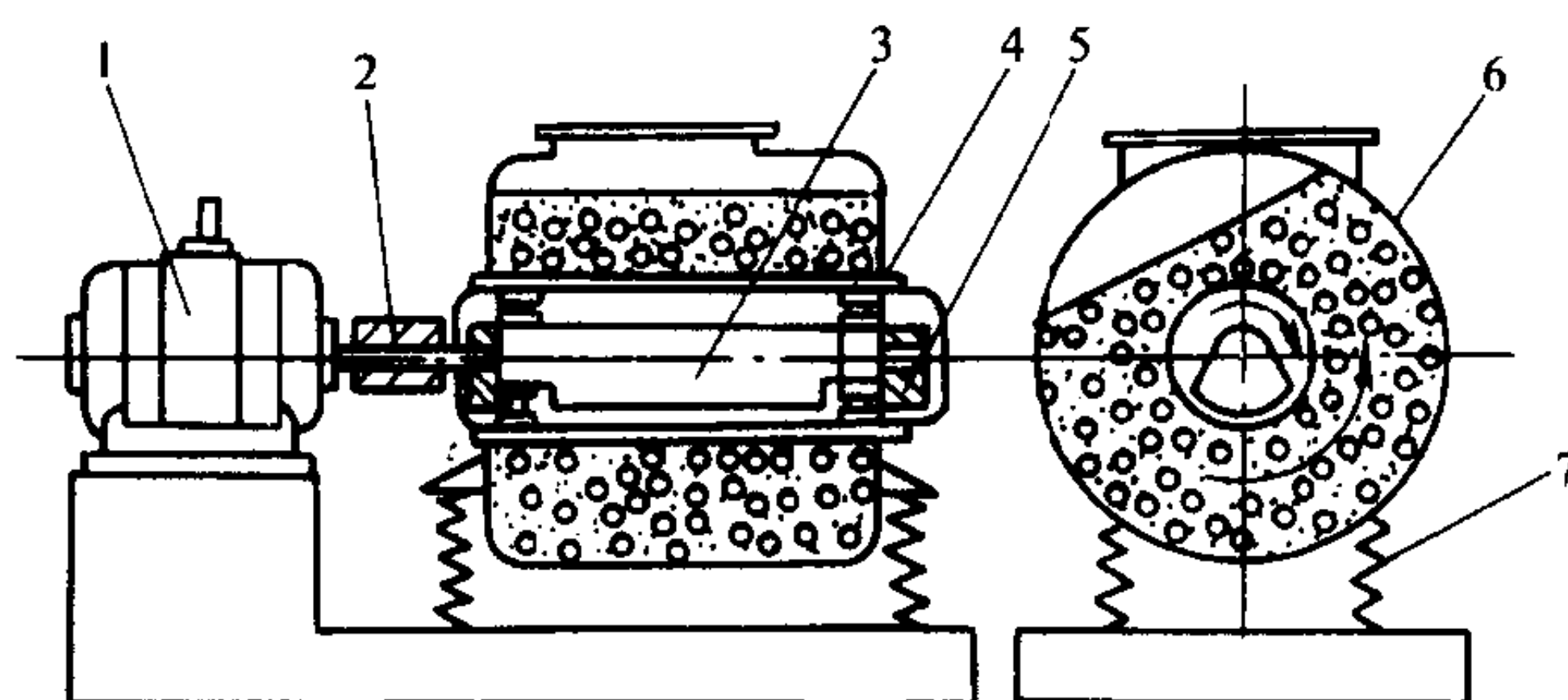


图 1-6 振动球磨机

1—电动机 2—弹性联轴器 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制的运动。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、化工厂及其它工厂中，得到了比较广泛的应用。

(3) 振动光饰机 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 1-7a 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（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。

由立式振动光饰机结构图 1-7b 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 11，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，也可用作工件的尖边倒圆、除锈和抛光等加工。此外，这种加工方法还可以磨去刃具的虚刃，进而延长它的使用寿命。

(4) 插入式振捣器 其结构如图 1-8a 所示。它是由带有增速齿轮的电动机 15、软轴 5 和偏心式振动棒 2 所组成。电动机 15 通过软轴 5，将动力传给振动棒 2。软轴的另一作用可使振动棒在任意一个位置进行工作。

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 1-8b 为外滚道式振动棒，图 1-8c 为内

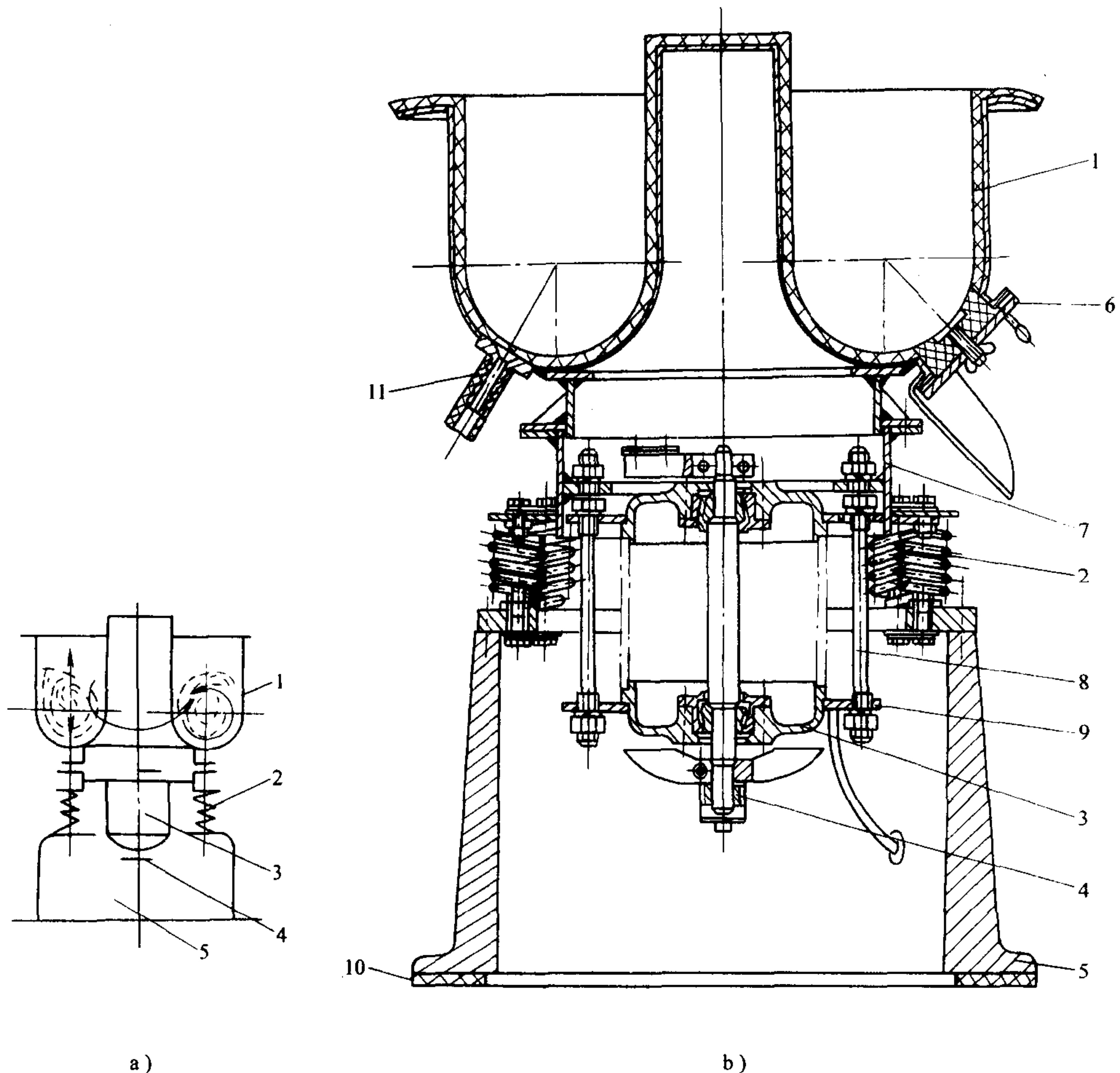


图 1-7 立式振动光饰机

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

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 2800r/min 的电动机驱动时，振动棒的频率可增加到 10000~20000 次/min 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。

(5) 振动料斗 其结构示意图和工作原理图如图 1-9 所示。该料斗由料仓 1、可调减压锥 2、振动电动机 3、给料斗 4、挠性密封装置 5 和隔振橡胶弹簧 6 组成。它用于向受料设备或装置给料。料斗本体由外筒和内锥组成，用弹簧将它悬挂在上方的料仓底部，外筒呈 Y 形，下部有斜槽，物料从斜槽的斗口排出；内滑动锥为尖锥形，小头向上；由于在料斗侧面