

前 言

目前,粉、粒、块状散体物料料仓的应用正日益广泛。但是,料仓内物料的阻流和搭拱却长期没有很好解决。

振动給料斗能有效地实现大中小型料仓中各种物料的破拱和清仓,消除料仓内物料的阻流和搭拱,同时具有給料机的性能,停机时还能起闸门作用。因此,它是一种破拱—給料—关闭作用合一的新型设备,在国内外得到了广泛的采用和迅速的推广。

振动給料斗有直线型、平旋型(椭圆振动型、圆振动型、扭振动型)和涡旋型三种型式,分电磁振动給料斗和惯性振动給料斗两大类。根据料仓的大小和不同的物料,振动給料斗可以形成上述振型和分类的几种直至几十种规格。振动給料斗通常由振动給料斗斗体(包括上体)、活化锥、驱动装置、隔振吊挂(支承)装置和密封装置五部分组成。其工作原理是利用振动能活化物料的作用,使物料流态化,实现料仓内物料的破拱和顺利流出;在排料过程中若停机,排料即自行停止。改变振动給料斗的振动频率、振幅或振动方向,可以调节給料量。振动給料斗具有结构简单、工作可靠、操作容易、耗电少、重量轻、隔振好、噪音低、全密封等优点。

本人通过1977年以来对惯性振动給料斗和电磁振动給料斗多种机型的设计、制造、安装和调试的实践,广泛收集了有关资料,根据自己的工作体会,写成此书。书中阐述了振动給料斗的用途、分类、工作原理,分析了振动給料斗的运动学和动力学,介绍了电磁振动給料斗和惯性振动給料斗以

及料仓减压锥、振动料仓、振动料堆的结构、性能和有关设计计算，列举了计算例题，汇集了国内外一些振动给料斗的应用实例和一些产品的主要技术参数，最后，还提供了测定振动给料斗性能参数的一些方法。所有这些，仅对振动给料斗的设计、制造和使用维护，起个抛砖引玉的作用；同时，由于振动给料斗的振型包括了一般振动机械的基本振型，因而对其他振动机械的设计、制造和使用也有参考价值。此外，本书还讨论了散体物料的特性及与振动给料斗相连的料仓，因此对料仓的设计也有参考价值。

本人在振动给料斗的研制和本书的编写过程中，得到了许多同志的指导和支持。可以说，这本书是这些同志与本人的共同结晶。共同参加研制工作的有胡伟祖、姜锡朋、王伟民、吴肇隆等工程师；共同参加产品设计工作的有胡伟祖、唐成义、谭立民、胡树章等工程师。江苏运输机械厂、新乡通用设备厂提供了研究和生产新产品的基地；南京化工设计院、机械部第六设计研究院、机械部第四设计研究院、郑州纺织机械厂、河南纺织机械厂、新乡电机厂、无锡铸造机械厂、唐山机车车辆厂等给予了大力协助。刘笃金总工程师、叶睦生工程师分别审阅了初稿。值得说明的是，振动给料斗作为振动机械的具体设备，同时考虑到本书的完整性，在第七章和第九章中，引用了《振动机械的理论与应用》中的许多论述和理论公式，并在实践中，证明是有效的。在审稿过程中，闻邦椿教授给予了原则性的指导，王光耀、叶睦生工程师进行了详细的审核。在此，深致谢意！

由于本人水平所限，谬误疏漏难免，诚盼指正。

作者

1988年3月

目 录

前 言

第一章	振动给料斗的用途	1
第一节	概述	1
第二节	振动给料斗的用途	2
第三节	振动给料斗的主要特点	4
第四节	振动给料斗的破拱给料作用	8
第五节	振动给料斗与其他给料机及料仓破拱助流装置的对比	23
第六节	振动给料斗在国内外的应用	25
第二章	振动给料斗的基本类型和工作原理	45
第一节	振动给料斗的基本类型	45
第二节	振动给料斗的工作原理	47
第三节	各类型振动给料斗的比较	62
第三章	振动给料斗的结构	67
第一节	振动给料斗的基本结构	67
第二节	振动给料斗各部件的结构和作用	67
第四章	振动给料斗的运动分析	73
第一节	振动给料斗的基本运动形式	73
第二节	振动给料斗物料运动的基础理论	84
第五章	振动给料斗运动参数的计算	95
第一节	振动给料斗运动状态的选择	95
第二节	振动给料斗运动参数的计算	97
第六章	振动给料斗结构参数的计算	106
第一节	振动给料斗斗体的结构参数	106
第二节	活化锥的结构参数	111

第三节	振动給料斗上体、密封装置和隔振吊挂或支承装置的结构参数	113
第七章	振动給料斗动力学参数的计算	119
第一节	电磁振动給料斗的动力学理论	119
第二节	惯性振动給料斗的动力学理论	125
第三节	惯性振动給料斗双惯性激振器激振时的 自同步理论	136
第四节	振动給料斗动力学参数的计算	158
第八章	振动給料斗弹性元件的设计计算	192
第一节	弹性元件的种类和联接计算	192
第二节	电磁振动給料斗主振弹簧的设计计算	200
第三节	振动給料斗隔振装置的设计计算	206
第九章	振动給料斗电气控制的设计和计算	230
第一节	电磁振动給料斗控制线路的设计	230
第二节	电磁激振器电磁参数的计算	252
第三节	惯性振动給料斗电气控制的设计	263
第四节	振动电机电磁参数的计算	266
第十章	振动給料斗结构的设计	280
第一节	振动給料斗斗体结构的设计	280
第二节	激振器结构的设计	291
第三节	振动給料斗其他结构的设计	320
第十一章	料仓减压锥、振动料仓和振动料堆	332
第一节	料仓减压锥	332
第二节	振动料仓	339
第三节	振动料堆	341
第十二章	振动給料斗的选用、安装、使用和维护	343
第一节	振动給料斗的选用原则	343
第二节	振动給料斗的安装与运转特性	345
第三节	振动給料斗的调试	348

第四节	振动给料斗的调节特性	357
第五节	振动给料斗的使用	363
第六节	振动给料斗的维护	366
第十三章	振动给料斗的技术参数	373
第一节	国内一些振动给料斗的技术参数	373
第二节	国外一些振动给料斗的性能参数	391
第十四章	振动给料斗性能参数的测定	405
第一节	振动给料斗运动参数的测定	406
第二节	振动给料斗动力参数的测定	411
第三节	振动给料斗电参数的测定	416
第四节	噪声的测定	417
主要参考文献		418

第一章 振动給料斗的用途

第一节 概 述

目前，国内外普遍存在着各种粉、粒、块状物料料仓的阻流、搭拱问题。问题虽小，但影响颇大，比如，某面粉厂因料仓阻流造成几十万斤小麦霉烂；某火力发电厂的煤仓因阻流而自燃，甚至有的火力发电厂煤粉仓因阻流而引起爆炸；有的化工厂氰化钠粉料仓因为阻塞，多年来一直靠人工在有害气氛下捅料；有的铸工车间落砂地坑内料仓因为阻塞，由专设的工人在高粉尘的地坑里捅料；有的高15m直径6m容量500t的砂仓仅有 $\phi 600$ 直径的中心砂柱排料……而工人爬到大、中、小型料仓上或钻到料仓内耙料或用大锤在料仓外敲打料仓，进行破拱，更是屡见不鲜。可见，料仓阻流既会影响生产，又会造成事故。

随着工业的发展，散体物料料仓越来越多。由于料仓的阻流或搭拱，使整个流水线或自动线受阻甚至停产。因此，解决粉、粒、块散体物料料仓的阻流、搭拱问题，已经越来越受到国内外专业人员的重视，并进行了多年的研究。

近年来，美、日、联邦德国等国家对料仓阻流、搭拱的机理和解决的途径进行了许多研究工作。从1963年开始，美国首先在铸造行业研究振动給料斗，经过反复探索而应用于生产实际。由于它动力消耗少，破拱清仓性能好，又几乎不需要什么维护等优点，很快在其他部门得到了推广。它几乎消除了阻流、搭拱现象，也几乎可以应用于所有的粉、粒、块

状物料料仓，因此从70年代开始就形成了系列定型产品。苏联等国家也相继开始了研制。上述各国在近几年曾先后有人取得了专利或作者证书。

我国从1977年开始研制振动給料斗并应用于生产实际，形成了几种系列十几种规格的定型产品，先后应用于煤炭、化工、电力、铸造、焊条制造、粮食、饲料等部门，使用性能好，运转正常，深受欢迎。

由于振动給料斗较其他料仓破拱防阻塞装置具有突出的优越性，国外称它为“料斗活化器”〈Bin Activator〉或称“振动漏斗”〈Vibratory Hoppers〉；由于它具有给料机的性能，我国专业工作者在有关会议上将其定名为“振动給料斗”。

第二节 振动給料斗的用途

振动給料斗(见图1-1)的用途很多。据国内外资料介绍，已经应用振动給料斗的部门有煤炭、电力、机械、化工、建材、冶金、矿山、轻工、食品、粮食、医药、交通运输等。适用的

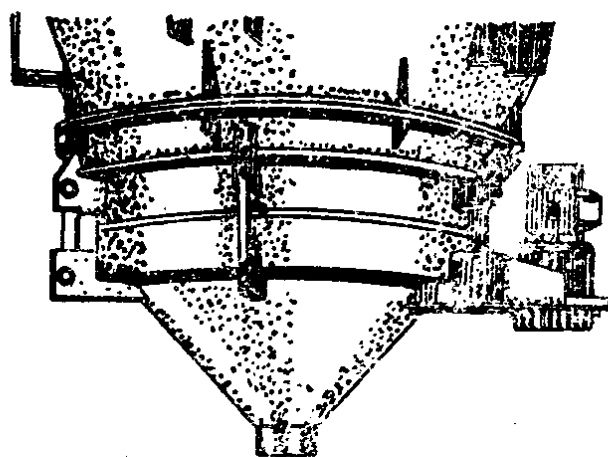


图 1-1 振动給料斗外形图

物料有煤炭、建筑用砂、铸造用砂、石碴、卵石、矿石、矿粉、烧结矿石、炉碴、电石、石灰、水泥、水泥生熟料、陶瓷原料、耐火材料、粘土、陶土、炭黑、烟灰、滑石粉、石膏、锌粉、铅粉、二氧化锰、氧化铁、氧化钛、氧化铝、氧化锌、氧化铬、氯化钾、氰化钠、氯化铵、重碳酸钠、碳酸氢钠、纯碱、碳酸钙、重晶石、石棉、金属碎屑或粉末、玻璃纤维、木屑、硅藻土、颜料、硫磺、聚氯乙烯、聚乙烯醇、尿素、树脂、六氯化苯、硬脂酸锌、洗衣粉、农药、化肥、饲料、麦麸、碎烟草、茶叶、大麦、大豆、花生、小麦、淀粉、乳粉、食盐、砂糖、碎胶片以及泥饼等等。

国外已定型的振动給料斗产品有多种系列，多种规格，直径从 $\phi 400\text{mm}$ 到 $\phi 4200\text{mm}$ ，激振电机的激振力从几牛顿到 356kN （80000磅），功率从几百瓦到 11kW （15马力）；每台振动給料斗激振力 363kN （81500磅），功率 14.7kW （20马力）；給料能力从每小时几公斤到 2000t/h ；适用物料粒度从几微米（325目）到上百毫米；适用物料种类从轻质炭黑到粘性泥饼、重质矿粉；适用的料仓直径从 $\phi 400\text{mm}$ 到 $\phi 21560\text{mm}$ （70ft），高度从几百毫米到 25m ，容积从几升到 1000m^3 ；可以单独用作給料机，或单独用作破拱清仓设备，也可以兼而用之。

振动給料斗可以在新建厂矿企业中广泛采用，也可以改造原有料仓，替换原有的旧給料设备。改造工作量很少，无需基础，只需将料仓出口改成适于安装振动給料斗的法兰，即可安装。

振动給料斗可用于料仓排料，向皮带输送机、斗式提升机、埋刮板输送机、螺旋输送机等输送设备給料，或向破碎机、筛分机、烘干机、成型机等设备給料，也可以向配料

机、定量器等设备给料，可以实行单机或群机自动控制。它的给料量也可以按信号进行调节控制。

由于振动给料斗具有很好的密封性，因此它可应用于具有高粉尘和有害气体的物料料仓；由于物料对它磨损很小，它又可应用于磨损性大的物料料仓；当振动给料斗是由耐热钢板或不锈钢板制作时，它可应用于高温或有腐蚀性物料的料仓。

总之，振动给料斗在散体物料料仓破拱清仓和给料方面，应用十分广泛，并且具有广阔的发展前景。

第三节 振动给料斗的主要特点

振动给料斗与其他给料设备和破拱装置相比，具有以下主要特点：

(1) 兼有破拱、给料、关闭作用。

振动给料斗靠振动破拱和实现给料，振动停止，物料即刻停止卸出。破拱—给料—关闭三者合为一体，无需另外加装破拱助流装置或设备，也不必再安装料仓闸门，这样，既节省了设备和能耗，又简化了生产操作和设备维修。

(2) 具有给料机性能，给料松散、连续、均匀、准确（见图1-2）。

振动给料斗是靠振动将料仓内物料诱导活化成流态化，使物料膨松后呈群流状态连续均匀地流水般排出，直至停机或卸空，其给料精度可达4%，GD型振动给料斗鉴定测试建筑用砂的给料精度为0.68%。当然，它和其他给料设备一样，由于不是定量设备，其给料精度尚不及定量准确的定量设备。由于活化作用，在排料过程中不仅没有物料粒度偏

析，而且还有一定的混合作用（见图1-3），使原有偏析得到一定程度的改善。

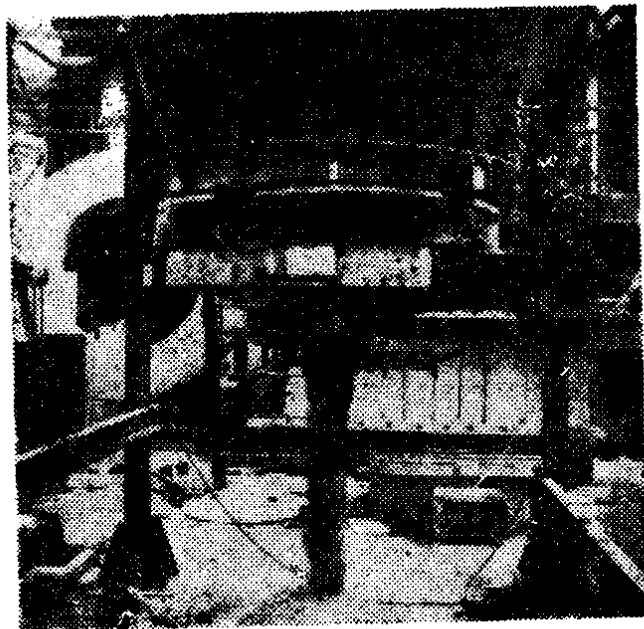


图 1-2 振动給料斗給料情况

（3）破拱助流能力强，性能超过目前其他破拱助流装置和給料设备。

振动給料斗将振动传给料仓内的物料，在适宜的振频下诱导物料颗粒活化，大大降低了会导致搭拱阻流的颗粒之间的摩擦力和内聚力，使物料顺利下移，不易成拱。同时，振动也可以摧毁已有的拱桥。这一作用靠的是诱导而不是强制，同时又是流态化，因此，这一作用超过其他已有的破拱助流装置和給料设备。

（4）结构简单，制造容易，造价低廉，安装操作简便，运行可靠，维修方便。

振动給料斗是将激振器（如电磁激振器或振动电机）直接安装在振动給料斗斗体上产生振动的，没有减速器等传动装置；振动給料斗自身结构也极简单，多为焊接结构，制造

容易。它与料仓之间采用法兰螺栓联接。接通电源，即可运行。长期连续运行，也可不必设专人操作，工作可靠，几乎不用维护保养，一般只对振动电机轴承每工作 10000h 注油一次。

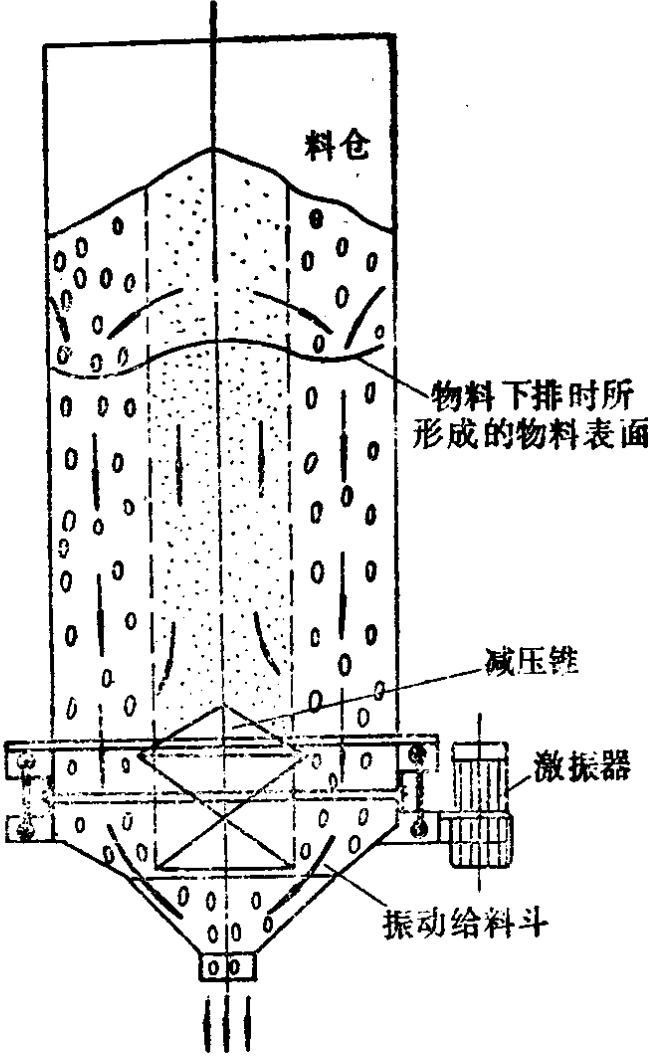


图 1-3 振动给料斗排料过程
(振动给料斗直径与料仓直径相同)

(5) 重量轻、功耗小、隔振好、磨损少、噪音低。

由于振动给料斗结构简单，自重仅为同类产品的几分之一到十几分之一。它省去了功耗较大的破拱助流装置。功率利用率高，功耗最小，功率仅为同类产品的几分之一到十几分之一。物料在振动给料斗内作抛掷运动，对内壁几乎没

有相对滑动，使振动給料斗的磨损很小，即使用于强磨琢性物料，使用五年也无明显磨损。

由于振动給料斗本身无相对振动，吊挂（或支承）装置以隔振器隔振，所以传给料仓及构架的振动很小。曾对一台 $\phi 1000$ 的惯性振动給料斗实测，隔振效率达98%；噪音在50~56dB（A）之间，大大低于国家规定值（85dB）。这在振动机械中，噪音是较小的；与其他給料机和破拱装置比较，噪音也较小。

（6）不需要基础和附加装置。

振动給料斗与料仓仅靠法兰螺栓联接，不象其他給料设备（如圆盘給料机等）需要混凝土基础和需要调整套、破拱助流装置等附加装置，也可不用闸门。其造价仅为其他产品的几分之一到十几分之一，又省去了上述附加装置的费用，可使工程造价降低。

（7）安装高度低，可取代料仓锥体或部分锥体。

振动給料斗斗体坡度小，自身安装高度低；同时可以取代小型料仓的锥体或大中型料仓的部分锥体，可增大料仓容积，或在满足容积要求的情况下，可以降低料仓高度。许多火力发电厂的煤仓，为了防止煤仓搭拱阻塞，不得不设计曲线料仓（见图1-15b），使料仓高度大大增加，建筑物造价也大大增加。采用振动給料斗后，可以取代原給料机和破拱装置，减小料仓高度，节省料仓本身投资和降低建筑造价。

（8）密封性好，无需局部除尘或防毒。

振动給料斗自身全密封，也与上部料仓和下部受料装置全密封，实现全封闭給料，不必另加局部通风除尘和空气净化装置。

（9）給料量可调，易于实现单机或群机自动控制。

电磁振动给料斗可在运行中无级调节给料量，惯性振动给料斗可在停机时调节给料量，两种给料斗均可实现单机或群机自动控制。

振动给料斗还可以根据电信号自动调节给料量。

第四节 振动给料斗的破拱给料作用

振动给料斗与料仓紧密相连，是互相起作用的有机体。振动给料斗直接影响料仓的排料和清仓；料仓又会影响振动给料斗的工作。因此讨论振动给料斗的破拱、给料作用进而研究其工作原理时，必须首先对散体物料料仓进行初步的探讨。

一、散体物料的基本特性

呈松散状态的细粉状、颗粒状或小块状固体物料，统称为散体物料。它是由固体颗粒组成的群体，其颗粒尺寸从几微米到上百毫米。它具有固态和液态之间的特性，比如：由于松散而具有一定的流动性；因内摩擦力和内聚力而具有一定的固结性，成型性，抗压缩性，呆滞性等。

现引入本书经常涉及的散体物料内摩擦系数和外摩擦系数这两个基本概念。

1. 内摩擦系数 f 。

散体物料因其外形和表面粗糙程度不同，而不同程度地存在着摩擦力，因颗粒间的物理—化学特性还存在着内聚力（又称附着力）。这些力往往随着物料的粒度、湿度、粘结性，以及物料料层厚度的变化和压力的变化而有所改变。由于这些力的存在和相互作用，构成了物料颗粒间的剪切强度，图1-4表示极限剪切应力 τ 与物料颗粒所受垂直压强 σ

的关系。 ac 曲线接近于直线，其倾斜角 φ_0 称为散体物料的内摩擦角，其正切值称为该物料的内摩擦系数 f_0 ，即：

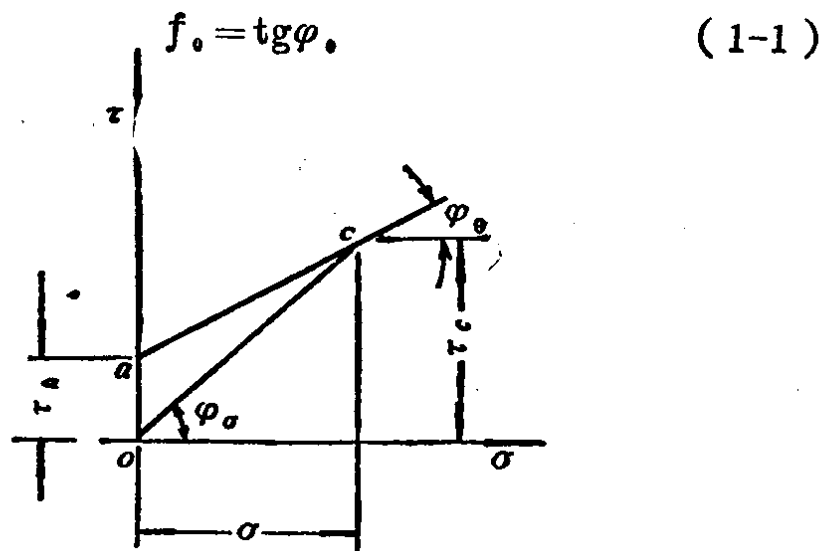


图 1-4 剪切应力与垂直压强的关系

当垂直压强不变时，通过坐标原点。与 ac 上任一点 c 的连线 oc 和横坐标的夹角 φ_σ ，可计算出该物料的抗剪强度， φ_σ 称为抗剪强度角，其正切值 f_σ 称为抗剪强度系数，即：

$$f_\sigma = \operatorname{tg} \varphi_\sigma = f_0 + \frac{\tau_0}{\sigma} \quad (1-2)$$

式中 τ_0 称为初抗剪强度，它表明物料颗粒面的内聚力（附着力）。没有初抗剪强度的物料，是流动性好的物料；有初抗剪强度的物料（ $\tau_0 > 0$ ），是流动性较差的物料，这类物料属于粘性物料。但物料流动性好坏还和颗粒间内摩擦系数 f_0 有关， f_0 还起决定作用，即内摩擦系数 f_0 大的物料，是流动性差的物料。一般物料的内摩擦角大致等于其自然堆积角（或称安息角）。自然堆积角分动态与静态，视具体情况选取。在冲击较大及振动过程中，物料堆积角应取动态值；在静止状态或要求不严格的场合可取静态值。一般物料的动态或静态堆积角均由试验确定。当物料的粒度、含水量、粘性

等改变时，其值也改变。

一些物料的自然堆积角（摩擦角）与摩擦系数，列于表 1-1。

2. 外摩擦系数 f_j

料仓内壁对散体物料会产生摩擦阻力。物料静止时，受料仓内壁静摩擦阻力的约束；物料流动时，料仓内壁会产生限制物料流动的阻力。这两种阻力统称为外摩擦力，前者称

静外摩擦力，后者称动外摩擦力。同内摩擦力一样，外摩擦力也可以用曲线的倾斜角 φ' 表示外摩擦角，其正切值 f_j 表示外摩擦系数，如图 1-5。

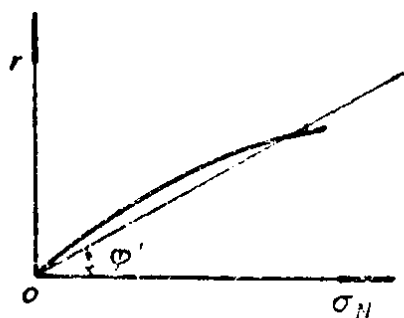


图 1-5 物料外摩擦系数

外摩擦系数亦有静态和

动态之分。

动摩擦系数与静摩擦系数的关系为：

$$f_d = (0.7 \sim 0.9) f_j$$

式中 f_d ——动摩擦系数；

f_j ——静摩擦系数。

表 1-2 为一些物料的外摩擦系数。

当不知道该物料对几种料仓材料的外摩擦系数时，可按 下式近似计算

$$f_0 : f_1 : f_2 : f_3 : f_4 = 20 : 15 : 16 : 17 : 20$$

式中 f_0 ——该种物料的内摩擦系数；

f_1 ——物料对钢板的外摩擦系数；

f_2 ——物料对木板的外摩擦系数；

f_3 ——物料对橡胶的外摩擦系数；

表 1-1 各种散体物料的摩擦角与摩擦系数

物料名称	堆 密 度 (t/m ³)	含水率 (%)	粒 度 (mm)	内 摩 擦		外 摩 擦		流动性	粘 结 性	磨 损 性
				静内摩 擦 角	静 内 摩 擦 系 数	对钢的 静 外 摩擦角	对 例 的 静 外 摩 擦 系 数			
铁 矿 粉	1.94	4.87	10~0	44°	0.97	35°	0.7	较好	中	中
铁 矿 石	2.1~2.8					35°~40°	0.7~0.84			
硫 铁 矿	2.0	2.11	15~0	35°	0.7	35°	0.7	好	无	大
硫 铁 矿 尾 砂	1.71	4.54		46°	1.04	35°	0.73	较好	中	中
锰 铁 矿	1.7~1.9					35°~46°	0.7~0.84			
氧 化 锰 矿 砂	1.8	8.41	10~0	47°	1.07	38°	0.73	较好	中	中
灰 石	1.5~1.6		100~0	40°~50°	0.84~1.19	35°~43°	0.7~0.84			
烧 结 混 合 料	1.68	6.20	铁 矿 粉 5~0; 焦 粉 3~0 返 矿 10~0; 石 灰 10~0	43.5°	0.95	33°	0.58	较好	中	大
烧 结 返 矿 (土 法)	1.94	3.19	10~0	39°	0.81	33°	0.62	较好	中	大
烧 结 返 矿 (洋 法)	1.84	干	10~0	47°	1.07	32°	0.62	较好	小	大
球 团 返 矿	1.77	5.34	20~0(20~10占15%)	45°	1.0	30.5°	0.59	好	小	大
烟 煤	0.8		100~30(150占少量)	35°~45°	0.7~1.0	35°~40°	0.7~0.84	好	无	中
锅 炉 用 煤(一)	0.9	7.41	200~50(占30%); 15~10(占70%)	45°	1.0	30°	0.58	中	中	小

续表

物料名称	堆 密 度 (t/m ³)	含水率 (%)	粒 度 (mm)	内 摩 擦		外 摩 擦		流动性	粘结性	磨损性
				静内摩 擦 角	静 内 摩 擦 系 数	对钢的 静 摩 擦 角	对 钢 的 静 外 摩 擦 数			
锅炉用煤(二)	0.85	6~7	40~30(占20%); 15~10(占30%)10以下(占50%)	49°	1.15	36°	0.73	中	中	中
无烟煤粉	0.88	5~6	20~15(占5%); 15~5(占13%)5以下(占82%)	39°	0.81	31°	0.6	好	小	中
无烟煤	0.9~0.95			35°~40°	0.58~0.84	35°~40°	0.7~0.84			
无烟煤粉	0.9	7.8	5~7(占13%); 5以下(占87%)	37°	0.75	27°	0.51	好	小	中
无烟煤粉	0.82	8.54	15~10	46°	1.04	33°	0.65	好	小	小
锅炉煤渣	0.8	12.3	150~50(占10%); 50以下(占90%)	48°	1.11	34°	0.67	中	小	中
焦炭	0.5~0.8		80~30(150占少量)	35°~45°	0.7~1.0	30°~40°	0.58~0.84	好	无	大
生灰	1.25	干	60以下	41°	0.87	30°	0.58	好	无	大
石英砂	1.31	1.5	3以下	40°	0.84	37°	0.75	好	无	大
黄砂(建筑用)	1.4	6.5	2以下	43°	0.93	34°	0.67	好	小	大
黄砂(铸造用)	1.32	6.5	40~70目	52.5°	1.3	45.5°	1.02	较差	中	大
消石灰	0.60	5.68	粉 状	43°	0.93	36°	0.73	中	小	小
铸铁屑	2.46	干	10~5(占10%); 5~1(占40%)1以下(占50%)	43°	0.93	38°	0.78	好	无	大