

振动机械译文集

9

南京化学工业公司设计院
石油化工起重运输设计建设组

内部资料 注意保存

石油化工起重运输参考资料

(总第 9 期)

一九七四年十一月出版

编辑：南京化学工业公司设计院
石油、化工起重运输设计建设组

地址：南 京 大 厂 镇

印刷：南 京 人 民 印 刷 厂

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

要采用先进技术，必须发挥我国人民的聪明才智，大搞科学实验。外国一切好的经验，好的技术，都要吸收过来，为我所用。学习外国必须同独创精神相结合。采用新技术必须同群众性的技术革新和技术革命运动相结合。必须实行科学研究、教学同生产相结合。

一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

古人、外国人的东西也要研究，拒绝研究是错误的，但一定要用批判的眼光去研究，作为古为今用，外为中用。

编 者 的 话

在毛主席无产阶级革命路线的指引下，我国科学技术事业日益发展。为了适应我国社会主义革命和社会主义建设事业的需要，遵循伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，我们编译了“振动机械译文集”供有关工人、工程技术人员及高等院校师生参考。

在编译过程中，得到唐山冶金矿山机械厂及王世清同志的大力支持和帮助，在此，表示感谢。

由于我们马列主义、毛泽东思想水平不高，业务知识有限，经验不足，时间仓促，错误之处，在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

振动输送机结构型式及其特征的分类研究·····	(1)
振动输送机的计算设计与使用·····	(10)
振动给料机·····	(22)
振动输送机·····	(27)
间歇计量机·····	(33)
测重给料机·····	(49)
测重带式秤调整器·····	(55)
振动筛·····	(59)
振动干燥与冷却机·····	(71)
工作频率为25赫芝的电磁振动器·····	(78)
铸造车间加料及型砂处理装置·····	(80)
玻璃原料的配料·····	(85)
垂直振动输送机的动力学计算·····	(91)
定向电动振动输送机振幅的计算·····	(97)

振动输送机结构型式及其特征的分类研究

本文将目前通行的各种振动输送机,按驱动方式进行了分类,并按类就其主要参数、特性、结构型式和使用范围等的基本要点,列成对照表,作了概括性的分析说明。

在设计和选用振动输送机时要考虑一系列因素;其中包括驱动方式,物料的堆积比重,粒度和内摩擦阻力,输送距离、振动系统的调谐,悬吊或支撑结构,倾角、槽体的磨损以及对物料的保护要求等。

为避免混淆,首先对振动输送机和矿山上所熟知的振动溜槽^①加以区分。两者都是在输送方向上作往复运动的输送设备。但前者的运动总是具有垂直的运动分量,而后者则可以有附加的垂直运动。

因此,这两种输送设备的区别在于:振动输送机槽身的垂直加速度大于重力加速度的负值,振动溜槽的垂直加速度永远小于重力加速度。从理论上分析可表明抛料指数——其定义为槽体的最大垂直负加速度与重力加速度比值的绝对值,对于振动输送机大于1,而振动溜槽则小于1。因此,两类输送机的工作过程有着本质的区别:振动溜槽在工作冲程的减速阶段或回程时,需克服物料与槽底的摩擦阻力而使物料向前滑动;对于振动输送机,则当槽体的垂直加速度大于重力加速度的负值时总是能将物料抛起,所以物料主要是以断续的微跃运动前进。仅在短时间内与槽底接触,以便重新获得垂直加速度。

目前所使用的各种各样振动输送机,其主要的区别是它们的驱动方式^②。因此在以下所拟的分类研究中,首先将按驱动方式排列的各类振动输送机的要点进行对比。然后

在第二张分类对照表中列举出每一类的各种不同结构型式。

振动输送机的各主要数据及特性

表1 A. B. C 三栏中分别包括有,曲柄机构驱动的、非均衡(偏心)体驱动的和电磁驱动的输送机的各主要参数。

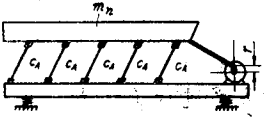
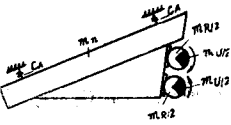
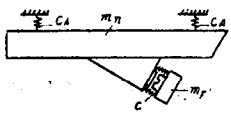
第2行为三类振动输送机的示意图,其有效质量各为 M_N ,通过弹簧常数为 C_A 的弹簧支撑(或悬吊)在基础上。曲柄振动输送机,是由曲柄半径为 r 的曲柄机构所驱动,偏心振动输送机,是由一对质量各为 $m_R/2$ 的回转振动器上的两个相对同步回转的偏心质量 $m_R/2$ 所驱动;而电磁振动输送机,则由一个电磁铁通过中间一些总弹簧常数为 C 的联接弹簧和一个质量为 m_n 的自由体而被驱动。

表1中第3行列有各类输送机的频率。曲柄振动输送机一般以极低的频率工作,偏心振动输送机的频率适中,而与电网电压直接连接的电磁振动输送机则以极高的频率

① 正确的名称应为“摇动溜槽”(Schüttelrutsche),但习惯上叫“振动溜槽”,故译名从俗——译者

② 本文中驱动或驱动方式主要是指激振或激振方式——校者。

表 1 曲柄振动输送机、偏心振动输送机和电磁振动输送机的
最主要参数和特性对比

O	A	B	C
1 类别	曲柄振动输送机	偏心振动输送机	电磁振动输送机
2 示意图			
3 频率 〔次/秒〕	5—15—(25)	10—25(50)	50.100
4 双振幅S (毫米)	6—30 $S_N = 2 \cdot r$	1—10 $S_N = S_U \frac{m_U}{m_N + m_B}$	$S_{ges} = \frac{P_{err}}{C} \cdot \frac{1}{1 - (f_{err}/f_{elg})^2}$ $S_{ges} = S_N + S_F$ $S_N \cdot m_N = S_F \cdot m_F$
5 斜置角 β (度)	25—35	20—30	20—30
6 倾角 α (度)	0—5	0—15	0—15
7 最大升角 α (度)	5—10	10—12	12—14
8 输送速度 V(米/秒)	0.3—0.7	0.05—0.4	0.01—0.15
9 输送机长度L(米)	2—20 特殊结构达50米	0.5—10 特殊结构30—50米	0.1—5 特殊结构: 达10米
10 输送物料	散粒物料; 粉尘状物料; 粘着性弱的物料(有条件)。	散粒物料; 粉尘状物料 (有条件); 粘着性弱的散粒 物料(有条件); 大块物料 (有条件)。	散粒物料; 大块物料。
11 使用范围	输送	输送; 存仓排料; 分配。	输送; 存仓排料; 分配; 定量。
12 按每公斤 输送物料 计的槽底 磨损	极小	甚小	小
13 物料保护 程度	小	中等	大
14 驱动	由恒速或调速电动机通过 三角皮带或变速器、驱动曲 柄或偏心机构。	用一个离心力非定向的偏 心振动器; 用一个离心力定 向的摆动振动器; 用合成离 心力定向的两个相对同出回 转的偏心振动器; 由恒速或 调速电动机通过三角皮带或 软轴, 驱动一个或两个经齿 轮啮合、相对同步回转的偏 心块。	电磁振动器, 由固定在机 体上的电磁铁衔铁和一个与 其相对的用预压螺旋弹簧或 板弹簧支撑的自由体组成。 通常由一个半波整流器产 生50赫芝的工作频率的电源 以产生电磁。

O	A	B	C
类 别	曲柄 振动 输送机	偏 心 振动 输送机	电 磁 振动 输送机
15 激 振 动 P_{err} (公斤)	$P_{err} = m_N \cdot 4\pi^2 f_{err}^2 r$	$P_{err} = (m_N + m_R) \cdot 4\pi^2 f_{err}^2 \cdot r$	$P_{err} = m_N \cdot 4\pi^2 f_{err}^2 \cdot r_N \cdot \frac{1 - (f_{err}/f_{eig})^2}{(f_{err}/f_{eig})^2}$
16 支撑结构	通过摆杆弹簧支撑在基础或减振架上；通过摆杆弹簧及蓄能弹簧支撑在减振架上；由剪切橡胶弹簧支撑在减振架上。	通过软的螺旋弹簧或橡胶弹簧与基础相连；由软的螺旋弹簧、橡胶弹簧或板弹簧、或再附加硬的蓄能弹簧与减振架相连；有可能悬吊。	通过软的螺旋弹簧或橡胶弹簧支撑在基础上；通过摆杆弹簧与减振架相连；有可能悬吊。
17 振动系统的调谐	$f_{err} \gg f_{eig}$ $f_{eig} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sum C_A}{m_N}}$ $\sum C_A \ll 4\pi^2 f_{err}^2 \cdot m_N$	$f_{err} \gg f_{eig}$ $f_{eig} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sum C_A}{m_N + m_R + m_U}}$ $\sum C_A \ll 4\pi^2 f_{err}^2 \cdot (m_A + m_R + m_U)$	低于临界频率： $f_{err} \approx 0.9 f_{eig}$ 高于临界频率： $f_{err} \approx 1.1 f_{eig}$ $f_{eig} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C(m_N + m_R)}{m_N m_R}}$ $\sum C_A \ll 4\pi^2 f_{err}^2 (m_N + m_R)$
18 基础静力 P_{Fstat} (公斤)	$P_{Fstat} = G_N + G_G$	$P_{Fstat} = G_N + G_R + G_U + G_G$	$P_{Fstat} = G_N + G_R + G_U$
19 基础动力 P_{Fdyn} (公斤)	$P_{Fdyn} \approx \sum C_A \cdot r + m_N \cdot 4\pi^2 f_{err}^2 \cdot r$	$P_{Fdyn} \approx \sum C_A \cdot r$	$P_{Fdyn} \approx \sum C_A \cdot r$
20 料流的调节	在工作时调整驱动频率或用料层高度调节器；静止时改变曲柄长度。	在工作时调整驱动频率或用料层高度调节器；静止时调整偏心块大小。	在工作时利用相联电阻变压器或可变电抗器以改变电极电压。

表 1 符号的意义：

C ：蓄能弹簧的弹簧常数(公斤/毫米)
 C_A ：支撑弹簧的弹簧常数(公斤/毫米)
 f ：频率(次/秒)
 f_{err} ：激振频率(次/秒)
 f_{eig} ：自动频率(次/秒)
 G_F ：自由体重量(公斤)
 G_G ：物料重量(公斤)
 G_N ：输送机有效重量(公斤)
 G_R ：振动器重量(公斤)
 G_U ：偏心块重量(公斤)
 L ：输送机长度(米)
 m_F ：自由体重量(公斤—秒²/毫米)
 m_N ：自由体有效质量(公斤—秒²/毫米)

m_R ：振动器质量(公斤—秒²/毫米)
 m_U ：偏心块质量(公斤—秒²/毫米)
 P_{err} ：激振力(公斤)
 P_{Fdyn} ：基础的动力(公斤)
 P_{Fstat} ：基础的静力(公斤)
 r ：振幅(毫米)
 r_N ：有效质量的振幅(毫米)
 S_N ：有效质量的振幅(毫米)
 S_{ges} ：双振幅总和(毫米)
 S_N ：偏心块的双振幅(偏心块重心半径的两倍)
 v ：输送速度(米/秒)
 α ：倾角(度)
 β ：斜置角(抛料角)(度)

100次/秒或通过半波整流器时以频率为50次/秒工作。

为了使惯性力不致过大,至今振动输送机的最大加速度都尽可能不使超过重力加速度的6倍。但电磁振动输送机有时在大于重力加速度的10到15倍条件下工作。因为加速度是与频率的平方有关,所以,当频率增高时,容许的振幅就必须减小。

第4行为一般常采用的双振幅^①值及其计算公式。对于通常无共振扩大,刚性联动的曲柄振动输送机,其振幅仅取决于曲柄的回转半径 r 。对于偏心振动输送机,实际采用的激振频率总是比其自振频率大得多,所以振幅应按重心定理计算。即槽体的有效重量 m_N 连同振动器的质量 m_R 是与偏心体的质量 m_U 相对的向其空间固定的重心共同运动。

电磁振动输送机是一种调谐的双质点振动系统以接近于共振的频率工作。其总的振幅和所选择的激振频率 f_{ext} 与自动频率 f_{eig} 的比值调谐有关。每个质量的振幅则同偏心振动输送机一样,按重心定理运动,其大小与质量成反比。

第5行为斜置角 β ,或称抛料角。即物料被输送机抛起的方向角,它与槽体的加速度有关;一般地说,加速度大,抛料角就小。但也可根据具体情况,按不同的观点,譬如按照输送机的磨损或对物料的保护要求来选择抛料角。对于强烈磨损性物料应选用大的抛料角,而易碎性物料则常须选用很小的抛料角。一般抛料角是在 $20^\circ \sim 35^\circ$ 之间。

为提高物料的流量,输送机通常是倾斜安装的(表中第5行)。特别是用作存仓排料设备,而且排料能力要求很高时,由于倾角越大,槽体的磨损就越大,所以输送机的倾角,尽可能不使超过 $10^\circ \sim 15^\circ$ 。对于电磁振动输送机,因为输送速度较小,所以常选用较大的偏角。

各类输送机的最大升角(第7行)是在 $10^\circ \sim 14^\circ$ 之间,其中频率高、振幅小的输送

机可具有较大的升角,这是因为振幅小时,物料的跳动高度也相应地小,所以物料颗粒就不易向后滑动和滚动。当向上输送时,升角每增加 1° ,物料的流量将减小2%。

各类输送机所能达到的输送速度如第8行所示。曲柄振动输送机的输送速度最大,电磁振动输送机则因振幅小,输送速度最小。当机械负荷相同,亦即输送机的加速度相同时,输送速度与振幅的平方根成正比,而与频率成反比。

第9行为输送机的长度。曲柄振动输送机由于激振频率较小,槽体的动力刚度较大,所以能采用的长度最长。而高频率的电磁振动输送机,即使支撑距离相当短,仅约几米,也会出现弯曲自振频率,其值与激振频率相等。值得注意的是,振动输送机毕竟是短距离输送设备。虽然也曾进行过长达50米以上的振动输送机的试验研究,但实际上,只有输送特别具有侵蚀性或灼热的物料,并且不能或很难采用那些非常经济的如带式输送机输送时才有意义。长的振动输送机特别是电磁振动输送机,常常做成多点驱动,但必须注意各驱动点,应装设在可能发生的弯曲振动曲线的节点上。

第10行为各类输送机适宜输送的物料种类。只要对物料的保护没有严格的要求,曲柄振动输送机能用来输送所有的散粒物料。偏心振动输送机也同样可以输送各种散粒物料,但对粒度小于0.06毫米的粉尘状物料有一定的限制。因为这些物料的空气渗透性小,在物料与输送机槽底或物料本身之间形成空气压力垫,增加了输送的困难。在适当地选择频率和振幅以及料层不太厚时,也可以改善这种物料的输送情况。

① 原文中多用 Schwingweite 一词,经查尚无确切的中文译名;其物理意义与振幅相同,但在量上为振幅值的两倍。故译文中凡用以表示物理关系时,即用“振幅”代表,而涉及具体数据和计算公式中则暂译为“双振幅”。校者注

粘着性大的散粒物料，在一定条件下，尤其是粒度也较小时，无论是用曲柄振动输送机或偏心振动输送机都将遇到极大的困难。电磁振动输送机是不适合输送细粒和粉状物料的。由于其振幅小，所以特别适用于输送大块物料，并且常常用来作分配输送机。

第 11 行为各类输送机的使用范围。曲柄振动输送机一般只用于单纯的输送，而偏心振动输送机除用于输送外，还可作仓排料以及分配之用。由于电磁振动输送机在工作过程中可以调节物料流量，所以除上述作用外，还适合作定量输送，并且因为没有具有惯性质量的回转件，能够在瞬间停车，所以显得更为有利。

第 12 行为输送机槽体的磨损难易程度。磨损发生在物料与槽底接触并滑动的瞬间。这时物料被加速，直至达到重力加速度的负值时又被抛起。如果抛料的时间小于输送的一个振动周期则一秒钟内物料和槽底的接触次数就等于输送机的频率。当输送机的频率较小时，物料与槽底的接触次数少，滑动过程也相应地少。此外，频率小的输送机的输送速度大，单位时间内输送的物料量多，所以，以输送物料单位重量所表示的磨损程度，对于频率低的曲柄振动输送机比电磁振动输送机小；另一方面，倾角大时磨损增加，这是因为物料除去所说的微跃运动外，还发生更大程度的附加滑动。

关于输送过程中物料的保护问题，其情况恰恰相反（第 13 行）。物料的保护程度大小，取决于物料与槽底重新接触瞬间的相对碰撞速度。因为振幅大，碰撞速度大，从而物料易破碎，在振动很小的电磁振动输送机上物料最易受到保护，而在曲柄振动输送机上物料的保护最差。

第 14 行为各种结构型式的驱动方式。偏心振动输送机采用的型式最多（参见表 2）；而且为了进一步提高物料的流量、增加输送机的长度和宽度，近来新发展了四级

以上的偏心振动器。驱动力大小取决于所需要的激振力。15 行内列有激振力 P_{err} 的计算公式。当调谐的频率超过临界频率有足够高时，曲柄振动输送机和偏心振动输送机的支撑弹簧的弹簧常数 C_A 实际上可忽略不计，因而全部惯性力必须由驱动件来承担。对于电磁振动输送机，由于有共振扩大作用，所需激振力就小得多。如果其他一些输送机，装置了蓄能弹簧使同样也在接近于共振区工作，则公式 15 A 和 15 B 也应同样乘以公式 15 C 的分数项才适用。显然，当激振频率和自振频率接近重合时，这些输送机所需要的激振力也可大大地减小。

各类输送机是通过摆杆弹簧、螺旋弹簧或橡胶弹簧支撑或悬吊在基础上（16 行）。由于曲柄振动输送机的振幅大，故实际上只采用摆杆弹簧来支撑；偏心振动输送机和电磁振动输送机，多半支撑或悬挂在软的螺旋弹簧或橡胶弹簧上，而且螺旋弹簧宜作为受压弹簧使用，而不宜作受拉弹簧用。在选择支撑弹簧时，要综合考虑所预期的弹簧减振效果和对于静载荷所需要的弹簧刚度。减振效果要求较高时，亦即要减小基础受力时，要求用弹簧常数很小的软的支撑弹簧。反之，如采用弹簧刚度很小的弹簧来承受静载荷是不容许的。

17 行列有振动系统调谐的基本公式。曲柄振动输送机以及偏心振动输送机，通常其调谐远远超过了临界频率，也就是说，其激振频率 f_{err} 比自振频率 f_{elg} 大得多。与此相反，电磁振动输送机的调谐是接近于共振，而且既可以高于临界频率，也可以低于临界频率。低于临界调谐具有一系列重要优点，诸如可显著地减小振动器，工作条件也较有利等。

基础或支撑结构所承受的力包括机体自重和物料二者的静力和工作时的动力。18 行所列静力计算公式，19 行为动力计算公式。对于偏心振动输送机和电磁振动输送机，适当地选择弹簧常数 C_A ，可使基础所受的

动力达到相当小的程度,而对于曲柄振动输送机,除弹簧力外,全部惯性力还必须由基础或减振架来承受,正确的计算应在公式19A中第二项后乘以15C式中的分数项,可是调谐值 $f_{\text{ext}}/f_{\text{elg}}$ 一般非常大,所以有足够的准确性将分数项的绝对值以1代之。

物料流的调节方法(20行)对于曲柄振动输送机和偏心振动输送机,可通过调整驱动转速或在工作过程中利用一个料层厚度调节器改变输送的物料量。此外,也可在停车时将曲柄长度或偏心块的大小调整到一定值。电磁振动输送机调节料流的方法最简单,可以在运转过程中利用串联电阻、变压器或可变电抗器改变磁铁电枢电压,从而改变了振幅。但是,特别是对于大型输送机,这套设备的费用比一般机械系统还要高,所以使用受到了限制。

最主要的振动输送机结构型式

表2是几种最主要的振动输送机结构型式的对比。1至4行是最常见的曲柄振动输送机的结构型式。输送槽R通常是经摆杆弹簧或剪切橡胶弹簧F支撑在基础或一个减振架G上。

减振架的重量一般比槽体大2~4倍,故共振幅约仅为槽体的 $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{1}{4}$,而且它是通过很软的支撑弹簧A与基础相连的,所以基础受力很小。在槽体和减振架之间装设硬的蓄能弹簧S,可使在额定工作条件下驱动的激振力减小很多。蓄能弹簧的设计应使振动系统的自振频率与激振频率接近相等。为使槽体保持本身的振动从而使输送速度不受负载波动的影响,应避免在共振点工作,虽然此时的激振力为最小。

第4行为一种曲柄振动输送机的特殊结构型式,在这种复式振动输送机上,其减振架同样可作为输送槽之用。这类输送机多数是以圆管代替敞式输送槽,所以也能适合于输送极细的粉尘状物料。由于这种输送机在振动技术上是属于双质点振动系统,不产生

向外部作用的力,而且支撑在各摆杆L的形体的重心上,因此,可以直接安装在基础上或轻型的楼板结构上,因为除静载荷外,基础实际上不承受任何动力。

5—11行为偏心振动输送机几种主要的结构型式。凡采用非定向振动的回转振动器,并由橡胶弹簧或螺旋弹簧悬挂的输送机,必须永远倾斜安装,并且适用于小输送量。水平安装时,需由摆杆弹簧来支撑。

用摆动振动器的输送机(6行)同样是具有一个离心力为非定向的回转偏心振动器。但这个振动器与以上一种回转振动器输送机上的不同,它不是固定在机体上,而是通过橡胶扭转元件G使与机体能摆动的相连。这个元件振动方向上是受压,而在垂直于振动方向上是受扭,由于橡胶弹簧的压缩弹簧常数比其剪切弹簧常数一般约大7倍,此外摆振器的重量相对槽体重量小得多,所以振动器在垂直于振动方向上仅产生上下簸动,而槽体本身则作定向振动。

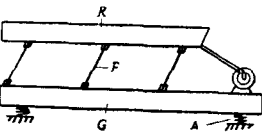
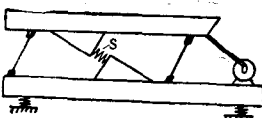
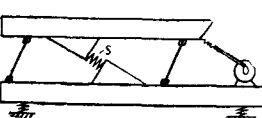
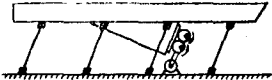
第7行为一种双偏心块输送机,由外部变速机构或调速电动机带动,其频率可以改变。但采用这种方式对输送能力的调节范围还是相当小,这是因为频率与机械指数和惯性力是成平方关系,此外在机械指数为常数时输送速度与频率成反比。

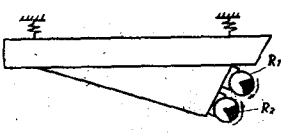
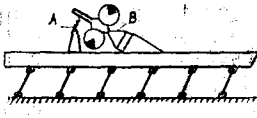
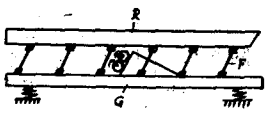
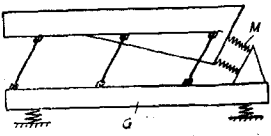
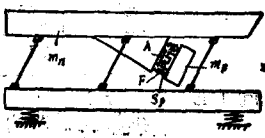
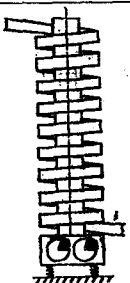
第8行是一种最有意义的具有双偏心振动器的输送机。两个彼此无关而大小相等的偏心振动器 R_1 和 R_2 经过刚性托架固定在槽体上。两个振动器与电源接通后便相对地回转。如果槽体本身是一个在空间各方向都能自由运动的系统,则两个振动器本身就能达到自动同步,从而可产生定向振动。

第9行为另一种按同样原理(双偏心振动器)工作的输送机,但输送距离较长。为使长的槽体具有足够的动力刚度,需用摆杆弹簧来支撑,以减少槽体的一个自由度;这时就将两个振动器通过板弹簧B和附加支撑弹簧A与槽体相连。显然,也可以将振动器装设在槽体下部。

表 2

最主要的振动输送机的结构型式对比

O	A	B	C	D	E	F	G
№	示 意 图	名 称	驱动方式	支撑方法	调 谐	使用范围	其 他
1		曲柄 振动输 送机	连杆为 刚性联接 的曲柄机 构	由摆杆 弹簧支撑 在减振架 G上	远远超 过临界频 率 $f_{err} \gg f_{eig}$	较长 距离输 送	缺点：曲 柄机构的轴 承须承受全 部惯性力。
2		曲柄 共振输 送机	连杆为 刚性联接 的曲柄机 构	由摆杆 弹簧或剪 切橡胶弹 簧和附加 的硬质蓄 能弹簧5 支撑在绝 振的减振 架上	接近共 振(略高 或略低于 临界频 率)	同 1 F	由于共振 扩大,在额 定工作条件 下,驱动力 可显著减 小,需要起 动力矩大的 电动机起 动。
3		曲柄 共振输 送机	连杆为 弹性联接 的曲柄机 构	同 2 D	同 2 E	同 1 F	同 2 G, 由于采用弹 性联接驱 动,有可能 使用普通电 动机。
4		复式 振动输 送机	连杆为 弹性联接 的曲柄机 构	以各摆 杆L的中 点支撑在 基础上。采 用剪切橡 胶弹簧F	同 2 E	大量 较长距 离输送	通常减振 架也作为第 二个输送槽 用。
5		回转 振动输 送机	非定向 的回转振 动器	用螺旋 弹簧、橡 胶弹簧、 板弹簧支 撑或悬挂	同 1 E	存仓 排料或 小量料 流的分 配	当用螺旋 弹簧或橡胶 弹簧支撑 时,应安装 成较大的倾 角。
6		摆动 振动器 输送机	离心力 定向的摆 动振动器	同 5 D	同 1 E	存仓 排料或 中等料 流的分 配	由于振动 器的摆动, 当驱动力很 大时,槽体 的运动不易 稳定。
7		双偏 心块输 送机	合成离 心力定向 的两个相 对同步回 转的偏心 块	由摆杆 弹簧、橡 胶弹簧或 螺旋弹簧 支撑在基 础上。	同 1 E	同 4 F	两个偏心 块经齿轮啮 合达到同步 回转。由三 角皮带或软 轴驱动。转 速调节幅度 大。

O	A	B	C	D	E	F	G
№	示意图	名称	驱动方式	支撑方法	调 谐	使用范围	其 他
8		双偏 心振 动输 送机	合成离 心力定 向两个 同步回 转的振 动器	用螺旋 弹簧或 橡胶弹 簧支撑 或悬吊	同 1 E	存 仓 排料或 大量的 分配	两个偏 心振 动器自 动同步 回转, 如 槽体对 各向能 自由运 动并且 两个振 动器联 在一起的 抗振刚 度大。
9		双偏 心振 动输 送机	同 8 C	通过板 弹簧支 撑在基 础上	同 1 E	中等 和大量 的长距 离输送	两个振 动器通 过板弹 簧 B 和 连于槽 体的支 撑弹簧 A 而得 到第 3 个 自由度
10		带激 振底架 的偏 心振 动输 送机	同 8 C	由摆杆 弹簧或 剪切橡 胶弹簧 支撑在 减振架 上	同 1 E 或 2 E	中等 量、距 离输送	因振 动器可 加以保 护, 适 合于输 送热的 物料。当 槽底磨 损严重 时容易 更换。
11		带对 衡振 座的 偏 心振 动输 送机	同 8 C	同 8 D	水平方 向超过 临界垂 直方向 接近共 振	同 9 F	槽 体 长 时, 可用 4 点支 撑
12		带固 定电 磁振 动的 电磁 振 动输 送机	固定 的 电磁 铁 M	同 1 D	同 2 E	存 仓 排料小 的分定 量配合	缺点: 在 减振架 G 上受 力大, 只 能制成 小型输 送机。
13		自由 振 动的 电磁 振 动输 送机	电磁 铁 S _F 体 及自由 质量 F 通过弹 簧 F 与 槽体有 效质量 连接	由摆杆 弹簧、 橡胶弹 簧或螺 旋弹簧 支撑在 基础或 减振架 上, 有 可能悬 吊	联接弹 簧 F 上 的有效 质量和 自由质 量同 2 F。 基础或 减振架 的支撑 同 1 E	输送、 排中流 量, 存 仓、排 料等的 分定量	自由质量 和有效 质量同 质量 F 形成双 质点自 由振动 系统, 对 外无作 用力。联 接弹簧 可以是 板弹簧 或螺旋 弹簧
14		螺旋 槽振 动输 送机	电磁 铁或 双偏 心振 动器	由螺旋 弹簧、 橡胶弹 簧或板 弹簧支 撑在基 础上	对基础 同 1 E。 用电磁 铁驱动 时有效 质量和 自由质 量同 2 F	垂 直 运料流 量小	用偏 心振 动器时, 单机输 送高度 可达 10 米。在 输送过 程中同 时可对 物料进 行干燥 或冷却 等作业

第10行中为一种带激振底架的偏心振动输送机。槽体R和减振架G通过摆杆弹簧F相连,而形成一个双质点振动系统,激振力则作用在减振架上,摆杆弹簧也可用剪切橡胶元件来代替。在设计弹簧F时,应考虑使槽体成为共振系统而工作。

为提高动力刚度,并同时降低激振力,有一种采用带对衡振动支座*的偏心振动输送机(第11行)。这些每隔一定距离的附加质量通过摆杆弹簧与槽体相连附加质量 m 是用剪切橡胶弹簧固定在板弹簧P上,并使此振动系统在水平方向上为超临界调谐,而在垂直方向上则接近共振。两个偏心振动器通过板弹簧B联接在槽体上,并由支撑弹簧A支撑。这种结构的输送机即使当支撑点很少或仅用一个支承结构支撑,槽体也可以做得较长。

对于电磁振动输送机,为了维持振动所必需的激振力是由一个或几个电磁铁所产生。由于电磁铁只能产生吸力,所以最初一批电磁振动输送机的结构是将一个固定电磁铁装在绝振的底架上,而输送槽则由摆杆弹簧支撑在此底架上。在固定电磁铁的脉冲吸力作用下,槽体相应地偏离单位,而使板弹簧获得所需的复原力。这种采用固定电磁铁的结构型式(第12行)目前仅用于很小型的定量输送机上。

在目前生产的电磁振动输送机中,绝大部分是按照自由振动原理工作的(第13行),在这种结构里,电磁铁的衔铁A固定在槽体上有效质量 m_N 上,而自由体质量 m_P 连同磁铁线圈 S_P ,则通过预压螺旋弹簧或板弹簧F联在槽体上。弹簧F的弹簧刚度应设计成使此双质点振动系统的自振频率与激振频率接近重合,因此驱动力仅需用来克服阻压损失。

由于这些振动输送机是属于双质点自由振动系统,所以对外部毫无作用力。输送机可以装设在轻型的建筑物的楼板上或者悬吊起来。当电磁铁与电网直接相联时,输送机的工作频率为100次/秒,若经过半波整流器时则为50次/秒。与低频率的曲柄或偏心振动输送机相比较,电磁振动输送机对动力刚度有较高的要求;因此对于较长的输送机需要用摆杆弹簧支撑,并且多数还用几个振动器;但必须注意,这些振动器应布置在可能发生的槽体弯曲振动曲线的节点处,而摆杆弹簧则应装在曲线的拱段上。在可能条件下,将振动器设在槽体上部是有优点的。

螺旋槽输送机是各种振动输送机中的一种特殊型式(第14行)。这种绕垂直的中心支柱成螺旋状槽体的输送机是用于小量的垂直输送。槽体通过螺旋弹簧、橡胶弹簧或板弹簧支撑在基础上,而由偏心振动器或电磁振动器使它绕垂直轴作用转振动,用电磁振动器时,单机高度通常为2~3米,用偏心振动器时可达10米。当输送高度要求更大时,可以将几台输送机先后串联。这种输送机除能垂直输送散粒物料及小件物品以外,还适用于进行各种生产加工作业,如用于物料的冷却、干燥、加热、润湿及脱水等。

作者:〔西德〕K. H. 魏曼埃尔

译文原著:“起重运输机械译丛”1965年第一期

王梦时:译自《Forderqnd heberl》1964年No 3

倪文馨 审核

* 动力阻振器——校者

振动输送机的计算设计与使用

本文说明振动输送机的工作原理及其最主要的一些参数，列出了输送速度的计算公式。对斜置角的选择和槽体的结构设计进行了论述。然后按驱动方式将三类振动输送机的结构特点及使用范围分别作了介绍。最后附以计算例题来说明在设计振动机时应考虑的各种因素。

关于振动输送机的输送过程，一些研究单位进行了很多研究工作，已有一系列涉及某些专门问题或讨论生产实际中具体使用方面的文章发表。本文将对几种最主要的振动机类型的不同特点、使用范围以及计算方法予以说明。

1. 振动输送机的工作原理

振动输送机的工作原理（图1）是通过曲柄驱动机构3，由摆杆2所支撑，斜置角为 β 的槽体1斜向的上下运动。物料被抛起后，即按自由抛物体的轨迹继续向前，直至与槽体接触，再重新得到加速而又被抛起。在一台按振动条件设计正确的振动机上，物料与槽体接触着的时间只占一个振动周期的

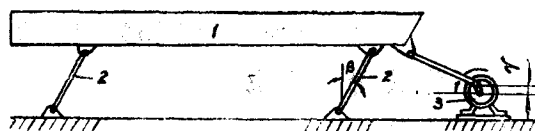


图1 振动输送机的示意图

1—槽体，2—摆杆，3—驱动，
 γ —振幅， β —斜置角

极小部分，而其中大部分是处于抛料运动过程。由于物料抛起高度只有0.1~1毫米的大小，因此实际上看起来，槽里的物料好像是在连续不断地流动。

图2为输送槽里一颗物料的运动过程。此物料颗粒a当 t_0 时达到了重力加速度负值 $-g$ 而脱离槽体，至 t_1 时复与槽体接触，在隔了一个槽体振动周期到 $t_0 + \frac{1}{f}$ 时又被抛起（ f 是槽体的振动频率）。这样断续的微跃运动是属于一种周期性跳跃过程，亦即物料的跳起点与接触点同在一个槽体振动周期之内。

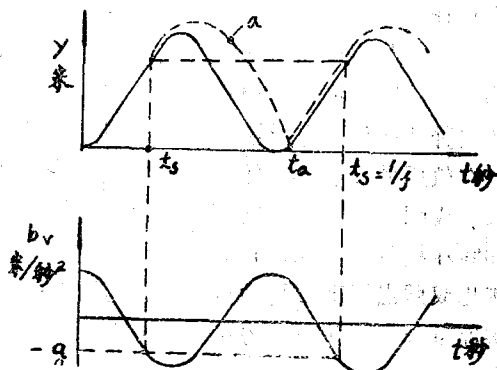


图2 槽体与物料的垂直运动过程

机器指数 K 为槽体最大加速度与重力加速度的比值。如以 f （赫芝）表示槽体的振

动频率, r (毫米) 表示振幅, g (毫米/秒²) 表示重力加速度。则:

$$K = \frac{4\pi^2 \cdot f^2 \cdot r}{g} \quad (1)$$

此机器指数受材料强度及起决定性作用的惯性力的大小所限制。目前振动输送机一般是以 $K = 4 - 6$ (有少数达 $K = 10$) 的机器指数工作。

输送物料的运动情况, 主要是由垂直加速度的大小而定。槽体最大垂直加速度与重力加速度的比值, 称为抛料指数 Γ 故:

$$\Gamma = \frac{4\pi^2 \cdot f^2 \cdot r \cdot \sin\beta}{g} \quad (2)$$

抛料指数与机器指数具有如下关系式:

$$\Gamma = K \cdot \sin\beta \quad (3)$$

周期性跳跃过程其抛料指数是在 1.0 - 3.3 之间, 这在振动机上输送时, 实际上也都是这种情况, 当 $\Gamma = 3.3$ 时, 物料恰好越过一个槽体振动周期, 即抛料持续时间 $t_a - t_s$ 等于一个槽体振动周期 $\frac{1}{f}$ 。

2. 输送速度

输送速度 V 与物料特性、料层厚度以及频率 f 、振幅 r 和斜置角 β 有关。假定: 物料颗粒在达到重力加速度负值后, 以槽体的速度脱离振动机; 在抛料过程中, 只受到地心吸力的作用, 而且重新与槽体接触时也只引起塑性冲击; 则当水平输送时, 其理论输送速度 V 可用算法求出:

$$V' = \frac{g}{2} \cdot \frac{n^2}{f} \cdot \text{ctg}\beta \quad (4)$$

式中 g 为重力加速度, 系数 n 为抛料时间与一个振动周期之比, 即:

$$n = \frac{t_a - t_s}{1/f} \quad (5)$$

n 与抛料指数 Γ , 具有下列隐函数关

系:

$$\Gamma = \sqrt{\left(\frac{\cos 2\pi n + 2\pi^2 \cdot n^2 - 1}{2\pi n - \sin 2\pi n} \right)^2 + 1} \quad (6)$$

Γ 与 n 的关系示于图 3。当 $\Gamma = 3.3$ 时, 抛料时间 $t_a - t_s$ 即等于振动周期 $\frac{1}{f}$, 故 n 就等于 1。

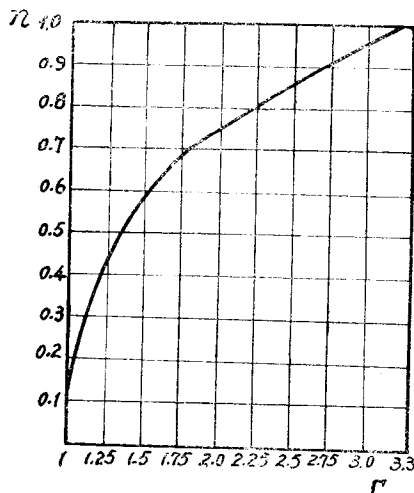


图 3 系数 n 与抛料指数 Γ 的关系曲线

对一系列主要物料进行多次试验结果得出实际输送速度与理论的相差值: 粒度大于 1 毫米而比重大的散粒物料, 采用一个降低系数 $\eta = 0.85 - 1.0$, 比重小的则以 $\eta = 0.75 - 0.9$ 来计算。对于十分轻的以及内摩擦极大的细粒物料, 则输送速度随料层厚度的增加而显著降低。通常振动输送机上的料层厚度不应超过 300~400 毫米, 而且在输送槽里的料层高度按正常情况超过 300~400 毫米, 在输送管里则约为其内径的 50%。利用降低系数即可求出水平输送时实际能达到的输送速度为:

$$V = \eta \cdot \frac{g}{2} \cdot \frac{n^2}{f} \cdot \text{ctg}\beta \quad (7)$$

对于每一种具体情况, 可根据振动机的参数 f 、 r 和 β 按 (2) 式先确定抛料指数 Γ ,

再由图3查出其相应的 n 值。这样，即可按(7)式求出其输送速度 V 。

由(7)式可知，输送速度要与频率成反比。这表明：当机器的负荷相等（惯性力相等）时，总是要以低频率，并相应地大的振幅才能获得最大的输送量。例如，当机器指数与斜置角均相同时，在一台以频率为25赫芝驱动的振动机上，其输送速度、输送量要比一台50赫芝的振动机大一倍。

由(1)式，频率 f 为：

$$f = \sqrt{\frac{g \cdot K}{4\pi^2 \cdot r}}$$

代入(7)式，得：

$$V^* = \eta \cdot \sqrt{g} \cdot \pi \cdot \frac{n^2}{\sqrt{K}} \cdot \sqrt{r} \quad \cdot \operatorname{ctg} \beta \quad (8)$$

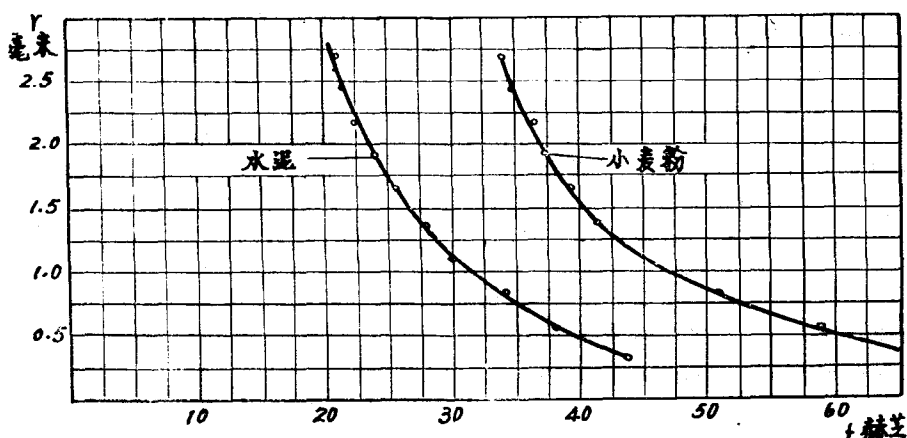


图4 水泥与小麦粉可输送性界限曲线

即当机器指数一定时，输送速度与振幅的平方根成正比。

由于机器指数受所产生的惯性力的大小而有一定的限度，频率对于机器指数是平方关系，故高频振动机其振幅必然较小，因而输送速度也较低。

上列降低系数 η 值适用于干燥的物料。对于输送潮湿的粘性物料。虽然槽体如复衬上平滑的塑料层后也可得到显著改善，但仍是困难的。

以粒度为0.11；0.09和0.06毫米的水泥、食糖、小麦粉以及玻璃球等进行试验结果表明：粒度为0.06毫米以下的物料会产生一些附加因素，使这些物料在振动机上输送有很大困难，甚至不可能。

图4所示为水泥与小麦粉可输送性的界限曲线。对于这些物料，会在物料与槽底，

或物料本身之间，形成一种压力气垫，使物料不能与槽体很好接触。因而就不再能被槽体加速到能进行正常输送的程度，其结果，对于这些物料的输送速度以及输送量将剧烈下降。这两条曲线是当料层厚度为70毫米时试验得出的。如果料层厚度更大时，则这些曲线将向左移得很多。当频率一定时，如果振幅超过了界限曲线，就不能进行输送。

可见，当频率较低、而振幅相应地较大时，情况较佳。因此一台低频率、长行程的振动机，譬如还可用来输送水泥，而在一台频率为50赫芝、振幅为0.5毫米的电磁振动机上，即使料层厚度仅为70毫米也无此可能，这时唯有将这台输送机装得非常倾斜。这样，物料基本上已不再是由于振动机

* 原文误为 w ——译者注