

毕业设计(论文)任务书

毕业设计（论文）题目：

电磁振动盘的设计及制造

设计(论文)的基本内容：

- 1、电磁振动盘的设计；
- 2、电磁振动盘的制造；
- 3、毕业论文 1 份；
- 4、外文资料翻译 1 份。

毕业设计（论文）专题部分：

题目：_____

设计或论文专题的基本内容：

学生接受毕业设计（论文）题目日期

第 周

指导教师签字：

年 月 日

摘要

电磁振动盘是解决零件自动化上料难题的主要部件，近些年随着中国生产自动化水平的不断提高，其广泛应用于电子、五金、塑胶、医药、食品、玩具、文具、日常用品的制造等各个行业。优秀的振动盘设计可以提高劳动生产效率、保证加工精度、降低生产成本等。在当今激烈的市场竞争和机电一体化的趋势下，企业对效率，精度提出了更高的要求，也就是对振动盘的设计有更高的要求。本文参照传统振动给料机的设计方法进行了振动盘的设计。首先根据要输送的物料确定振动盘的直径，根据物料的质量，输送速度计算所需的激振力，根据激振力选择电磁铁，最后根据要输送的物料设计料盘。

关键字：振动机械，电磁铁，振动给料，螺旋给料

Abstract

The electromagnetic vibrating screw feeder is the main components to solve the problem of automated feeding the parts. Recent years with China the continuous improvement of the level of production automation, it widely used in electronics, metal, plastic, pharmaceutical, food, toys, stationery, daily necessities manufacturing industry. Excellent electromagnetic vibrating screw feeder design can improve the efficiency of labor and production, to ensure accuracy, reduce production costs. The trend of today's fierce market competition, and mechanical and electrical integration ,the companies put forward higher requirements for efficiency and accuracy, it also have greater demands on the design of the electromagnetic vibrating screw feeder. This article refers to the design of traditional vibrating feeder to the design of the electromagnetic vibrating screw feeder. According to transport materials to determine the diameter of the electromagnetic vibrating screw feeder, We calculate the required excitation force according to the quality of the materials and the transmission speed. We select electromagnet according to the exciting force Finally, according to the transportation of materials to design the reel.

Key words: oscillating machinery , electromagnet, vibratory feed, screw feeder

目录

毕业设计(论文)任务书	I
摘要	II
Abstract	III
第 1 章 绪论	1
1.1 振动盘简介	1
1.2 振动盘分类	1
1.3 振动盘结构	1
1.4 给料机工作原理	3
1.5 本文的主要工作	4
2.动力学参数的设计与计算	5
2.1 设计原始数据	5
2.2 输送速度的计算	5
2.3 电磁振动给料机的力学模型及计算	7
2.4 振动输送参数选择	10
2.4.1 物料抛料指数 D 的选择	10
2.4.2 动力系数 K 的选择	11
2.5 本章小结	11
第 3 章 电磁学参数的设计与计算	12
3.1 电磁铁参数计算	12
3.1.1 电磁铁结构	12
3.1.2 铁芯结构设计	13
3.1.3 电磁铁衔铁设计	14

3.1.4 电磁铁吸力的计算	14
3.2 本章小结	16
第 4 章 振动盘的结构设计	17
4.1 机械结构设计准则	17
4.2 弹簧板的设计	17
4.3 上座及底盘的设计	19
4.4 橡胶减震脚垫的设计	20
4.5 振动盘给料量控制器的设计	21
4.5.1 振动盘给料量的调节	21
4.5.2 振幅调节器的几种类型	22
4.6 本章小结	24
第 5 章 振动盘的调试及实验	25
5.1 测定振动盘的工作频率	25
5.2 振动盘的控制变量实验	25
5.2.1 采用 96mm×40mm 电磁铁，定间隙（为 0.8mm），变板弹簧数量，观察不同电压下，上下质体的振幅	25
5.2.2 采用 96mm×40mm 电磁铁，定系统刚度（其中一个方向为 8mm，另外 3 个方向为 6mm），变间隙，观察不同电压下上下质体的振幅	30
5.2.3 采用两块不同的电磁铁，在确定的电压值，气隙和固有频率下，观察振幅的变化	35
5.3 本章小结	38
第 6 章 振动盘的使用与维护	39
6.1 电磁振动给料机的使用	39
6.2 电磁振动盘的维护	40

第 7 章 总结.....	41
参考文献.....	43
结束语.....	44
附录 A.....	45
附录 B 外文资料翻译.....	52

第 1 章 绪论

1.1 振动盘简介

振动盘最开始时从振动给料机演变过来的一种新型的振动机械，是解决零件自动化上料难题的主要部件，它用电磁铁的吸力使料斗可以在垂直方向振动，由于弹簧的作用，同时还使料斗绕其垂直轴做扭摆运动。料斗内零件由于受到这种振动，而沿螺旋轨道上升直到送到出料口。其工作目的是通过振动将无序工件自动有序定向排列整齐、准确地输送到下道工序。近些年随着中国生产自动化水平的不断提高，其广泛应用于电子、五金、塑胶、医药、食品、玩具、文具、日常用品的制造等各个行业。

1.2 振动盘分类

按振动盘料斗分类：筒形料斗,螺旋线型料斗,锥形料斗,等分线型料斗。

按底盘类型分类：分别为正拉底盘,侧拉底盘,压电式底盘,精密底盘。

其中大部分振动盘采用正拉底盘,因为其装配简单,容易更换。侧拉底盘是将电磁铁倾倒摆放，用更少的线圈产生更大的吸力，相比来说要比正拉底盘装配上有一定难度。压电式底盘则使用压电陶瓷片代替传统振动盘上使用的电磁铁，使精度提高，但是造价要比传统使用电磁铁的振动盘要高得多。

1.3 振动盘结构

振动盘一般由 3 个主要部分组成：料盘，电磁振动底座，及控制系统。其具体结构见图 1.1。



图 1.1 振动盘样机图

以电磁振动底座为例，主要由下面几个部分组成见图 1.2

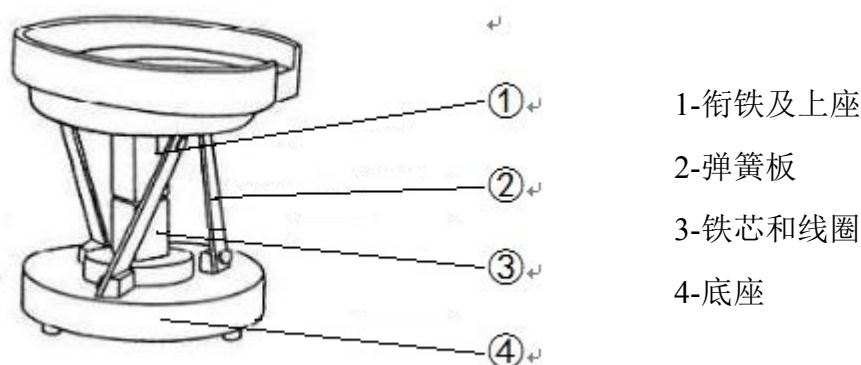


图 1.2 电磁振动底座示意图

1. 衔铁：一般是将衔铁与一块钢板焊接在一起，通过螺栓连接将其与上座固定，上座再与料盘通过螺栓固定在一起。
2. 弹簧板：振动器板弹簧为储能机构，它一般由 65Mn 或碳纤维板制成，弹簧板一段固定在底座，另一端固定在上座组成弹性系统。它联接前质量和后质量，形成双质点振动系统。也是将垂直振动方向的振动转变为料盘绕其垂直轴做扭摆运动的重要工作零件，其材料的质量的好坏，直接影响给料机的工作性能。
3. 铁芯和线圈：铁芯用 0.23~0.50 毫米“山”形硅钢片迭装而成，用螺栓固定在振动底盘上，铁芯上套有线圈，当电流通过时就产生磁场。
4. 底座：壳体用铸铁或铸钢铸造，作为固定弹簧组和铁芯用，亦作为平衡质量用，所以其质量应满足设计要求。

1.4 电磁振动盘工作原理

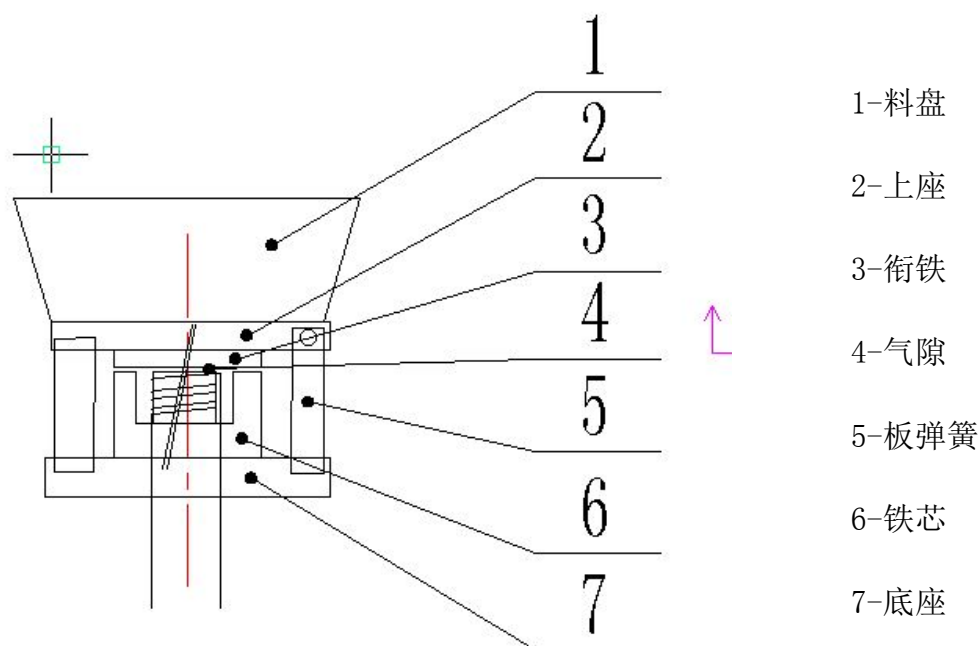


图 1.3 振动盘原理示意图

如上图所示，由料盘、衔铁、弹簧板的一部分以及约占槽体容积 10~20% 的物料等共同构成质量 m_1 ；由激振器壳体、铁芯、线圈及工作弹簧的另一部分等构成质量 m_2 。质量 m_1 和质量 m_2 用板弹簧连接在一起，形成一个双质点定向振动的弹性系统。根据机械振动谐振原理，将电磁振动给料机的固有频率 ω_0 调谐到与电磁激振频率 ω 相近、使其比值 $z = \omega / \omega_0 = 0.85 \sim 0.95$ ，机器便在低临界共振状态下工作。因此电振机具有工作平稳，消耗功率小的特点。

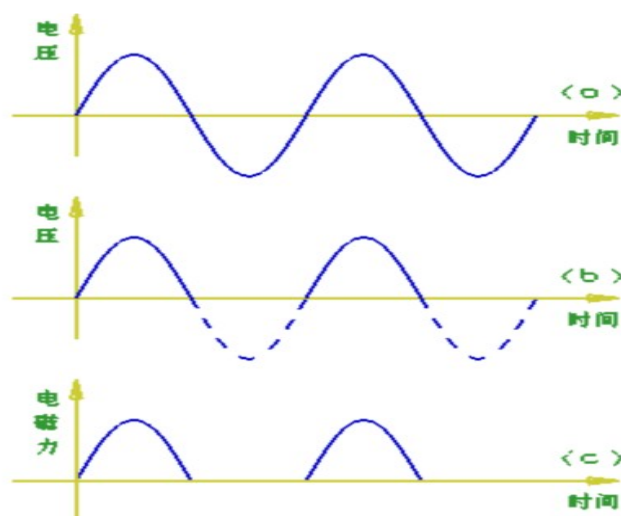


图 1.4 电压和电磁力的变化示意图

电磁线圈的电流一般是经过单相半波整流的。未整流时电流的电压为正弦曲线,见图 1.4a,当半波整流后,在正半周内有电压(图 1.4b)加在电磁线圈上,因而电磁线圈就有电流通过,在衔铁和铁芯之间便产生一对大小相等的脉冲电力,见图 1.4c,互相吸引。这时料盘向下运动并由于有成角度的板弹簧,使料盘绕其中线做微小的旋转运动,弹簧板发生变形,储存了一定的势能。在负半周,线圈中无电流通过,电磁力消失,由于板弹簧储存的势能被释放,衔铁和铁芯朝相反方向离开,料盘向上运动并绕其中线做反向旋转运动。这样,电磁振动给料机就以交流电源的频率。由于料盘中的料道与激振力作用线间有一定的夹角,当料盘振动加速度的垂直分量大于重力加速度时,料盘的物料被连续抛起,并按抛物线的轨迹向前进行跳跃运动。由于料盘振动的频率很高,振幅很小,物料被抛起的高度也很小,所以只能看见物料在料盘中向前流动。只有当单颗粒物料在料盘中运动时,才能看见微小的跳跃运动。

1.5 本文的主要工作

1. 动力学参数的设计与计算;
2. 电磁学参数的设计与计算;
3. 振动盘的结构设计;
4. 振动盘的调试及实验。

2.动力学参数的设计与计算

2.1 设计原始数据

本次设计的电磁振动盘的基本参数如下：

1. 物料名称：塑料钻石饰品(直径约 5mm)；
2. 输送量：max 300 个/分钟, (在 150—300 个/分钟内无级变量)；
3. 工作方式：连续；
4. 双振幅：0.25mm；
5. 震动频率：100Hz；
6. 料槽料道倾角：4° ；
7. 结构形式：料盘采用弹簧板支撑，铁芯采用“山”形铁芯。

2.2 输送速度的计算

槽体的位移为：

$$S_R = a_1(1 - \cos 2\pi ft) \quad (2.1)$$

式中 a_1 ——槽体的振幅；

f ——振动的频率；

t ——时间。

槽体的速度为：

$$S'_R = 2\pi fa_1 \sin 2\pi ft \quad (2.2)$$

料槽的加速度为：

$$S''_R = 4\pi^2 f^2 a_1 \cos 2\pi ft \quad (2.3)$$

产生抛掷运动的条件：

$$N = \frac{G}{g} 4\pi^2 f^2 a_1 \sin \beta \cos 2\pi ft_s + G = 0 \quad (2.4)$$

得

$$\cos 2\pi ft_s = - \frac{g}{4\pi^2 f^2 a_1 \sin \beta}$$

令

$$K = \frac{4\pi^2 f^2 a_1}{g} \quad (2.5)$$

$$D = \frac{4\pi^2 f^2 a_1 \sin\beta}{g} = K \sin\beta \quad (2.6)$$

D 表示抛掷的特性，故命名为抛掷指数。K 表示机械振动强度，故命名为机械指数。因此得产生抛掷运动的时间：

$$t_s = \frac{1}{2\pi f} \arccos\left(-\frac{1}{D}\right)$$

当 $D < 1$ 时，物料在整个振动周期中负于槽底，不可能被抛起，只有相对滑动。

当 $D = 1$ 时，这时物料的起点与落点重合。

当 $D > 1$ 时，物料被连续抛掷，在槽体加速度垂直分量等于重力加速度负值的瞬间，物料开始被抛起，沿抛物线轨迹向前运动，经过一定时间此运动过程重复进行，物料又被抛起，沿抛物线轨迹向前运动。通过物料的连续跳跃来实现物料连续向前运动。

水平的理论速度可以用下式进行计算：

$$\begin{aligned} v &= \frac{g}{2} \cdot \frac{n^2}{f} \cot\beta \\ &= \frac{9.8}{2} \cdot \frac{0.9^2}{100} \cot 70^\circ \\ &= 0.014 (\text{m/s}) \end{aligned} \quad (2.7)$$

式中 g ——重力加速度(m/s^2);

f ——振动频率(Hz);

β ——振动方向角($^\circ$);

n ——跳跃系数（上式中取 $n=0.9$ ）当 $n=1$ 时为物料落到槽上当即被抛弃。

n 与 D 具有下述隐函数关系：

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

n 与 D 的关系如图 2.1 所示，

当 $n=0$, 得 $D=1$

当 $n=1$, 得 $D=3.3$

当 $n=2$ 或 3 , $D=6.36$ 或 9.48

对大多数按照抛掷原理工作的振动机,通常选取 $D < 3.3$, 这时工作面每振动一次,物料将出现一次抛掷运动。这种运动状态,对于减小不必要的能量消耗和提高振动机的工作效率都是有益的,这就是目前大多数振动机所选取抛掷指数 D 一般不大于 3.3 的主要理由。

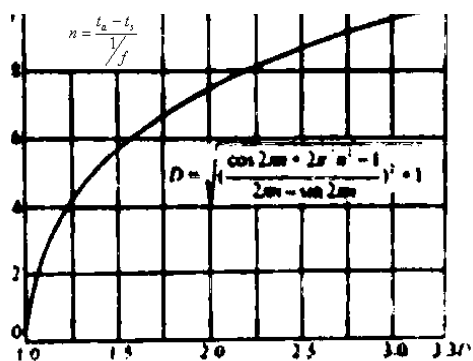


图 2.1 系数 n 与抛掷指数 D 的关系曲线

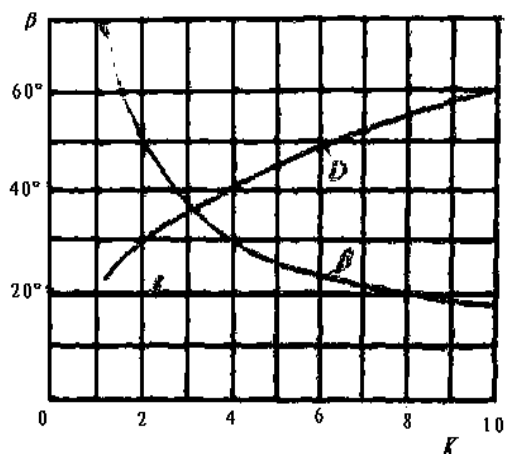


图 2.2 按动力系数 K 和抛掷指数 D 以得到最佳输送速度的振动方向角 β

如果机器动力系数 K 已经选定,则振动方向角的选择对输送状况有极大的影响。 β 角越大,抛掷指数 D 也越大。这表示物料抛得陡而高,系数 n 也大; β 小时则相反,物料抛得较平,并且向对于抛料时间,物料在槽里停留时间长。振动方向角 β 的选择取决于三个因素,即预期的输送速度、槽体的磨损和对输送物料的保护。对应每一个动力系数 K 可得到一个最佳振动方向角,使输送速度最大。

图 2.2 表明,为了获取最高的输送速度,振动方向角 β 与设备动力系数 K 所呈现的函数关系,同时也含有与抛掷指数 D 的关系。

对一系列物料进行多次实验结果得出实际输送速度与理论速度的差值,即实际速度为:

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \eta_H \eta_M \eta_a \frac{g n^2}{2 f} \cot \beta \quad (2.8) \\ &= 0.56 \times \frac{9.81}{2} \times \frac{0.9^2}{100} \cot 70^\circ \\ &= 0.0081 \text{ (m/s)} \end{aligned}$$

式中 η_M —— 物料性质速度降低系数(取 0.7);

η_H —— 料层厚度降低系数(取 0.8);

η_a —— 槽体倾角影响速度系数(取 1)。

2.3 电磁振动盘的力学模型及计算

电磁振动盘的结构可简化为一个双自由度双质体的振动系统。质量 m_1 为前质量,包括料盘、料盘物料的结合质量、上座、衔铁、主振弹簧折算质量等几部分。质量 m_2 为后质量,包括底盘、铁芯、线圈和主振弹簧折算质量部分等。作用在两个质体上的激振

力模量大小相等方向相反,对振动系统而言是作用与质体之间的内作用力。相对阻尼力是消耗在弹性系统的滞后上,大小相等方向相反。外摩擦阻力,主要是由于物料输送中所引起的阻力,由于阻力比较小,所以分布在系统中两个质体上,也可以认为近似于相等,方向相反。内阻力与弹性元件的变形速度成比例,外阻力与质体的运动速度成比例。

因此,从上述分析可以列出电磁振动盘的振动微分方程:

惯性力+阻尼力+弹性力+激振力=0

$$m_1 \ddot{x}_1 + f_1 \dot{x}_1 + f(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k(x_1 - x_2) = F \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.8)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + f_2 \dot{x}_2 - f(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k(x_1 - x_2) = -F \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.9)$$

式中 m_1, m_2 ——质体 1, 质体 2 的质量(kg);

f_1, f_2 ——质体 1, 质体 2 的阻尼系数;

f ——质体 1、质体 2 之间的相对阻尼系数。

$x_1, x_2, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \ddot{x}_1, \ddot{x}_2$ ——分别为质体 1, 质体 2 在振动方向上的位移, 速度, 加速度;

F ——激振力(N);

ω ——角频率(rad/s);

t ——时间(s);

ϕ ——初相位角($^\circ$)。

(1)计算质量比:

质量 m_1 为前质量, 包括给料盘、料盘物料的结合质量、上座、衔铁、主振弹簧折算质量等几部分。质量 m_2 为后质量, 包括振动盘底座、铁芯、线圈和主振弹簧折算质量, 橡胶底座等。此质量通过 solid works 绘出三维图, 根据三维图计算质量。

质量 m_1 =料盘+物料+上座+衔铁+主振弹簧折算质量

A 型电磁铁=2858g+50g+1793g+807g+48g×8×0.5=5700g=5.7kg

B 型电磁铁=2858g+50g+1793g+614g+44g×8×0.5=5491g=5.5kg

质量 m_2 =振动盘底座+电磁铁+主振弹簧折算质量+橡胶减震座

A 型电磁铁=11523g+2151g+48×8×0.5=13866g=13.9kg

B 型电磁铁=11523g+1445g+44×8×0.5=13144g=13.1kg

(2) 质体 1 与质体 2 的振幅:

在振动方向上，由于 $k_1 \ll k_2$ ，所以可忽略 k_2 的影响。将式 (2.8)(2.9) 中两方程式相加可得：

$$m_1 \ddot{x}_1 + f_1 \dot{x}_1 + m_2 \ddot{x}_2 + f_2 \dot{x}_2 = 0 \quad (2.10)$$

也就是说，在每个瞬时，质体的惯性力与外阻力之和为零。同时外阻力近似地均布在两个质体上，大小相等方向相反，即：

$$f_1 \dot{x}_1 + f_2 \dot{x}_2 = 0 \quad (2.11)$$

$$\text{则式(2.10)可写成:} \quad m_1 \ddot{x}_1 + m_2 \ddot{x}_2 = 0 \quad (2.12)$$

当强迫振动系统满足式(2.10)和式(2.11)时，则：

$$\frac{x_2}{x_1} = -\frac{f_1}{f_2} = -\frac{m_1}{m_2} \quad (2.13)$$

因此，电磁振动盘有质量与振幅成反比的特性，即：

$$\frac{a_1}{a_2} = -\frac{m_2}{m_1} \quad (2.14)$$

式中 a_1, a_2 ——分别为质体 1 和质体 2 的振幅。

$$a_1 + a_2 = 0.25\text{mm} \quad \frac{m_2}{m_1} = \frac{13.9}{5.7} = 2.4$$

$$\text{得} \quad a_1 = 0.18\text{mm} \quad a_2 = 0.07\text{mm}$$

(3) 激振力幅 F 的计算

主振弹簧刚度：

$$k = m \cdot \omega_0^2 = m \left(\frac{\omega}{z} \right)^2 \quad (2.15)$$

$$\text{其中} \quad m = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} = \frac{13.9 \times 5.7}{13.9 + 5.7} = 4.04$$

式中 ω ——角频率(rad/s)；

z ——调谐指数(z 取 0.9)；

m ——计算质量 (kg)。

$$\text{得:} \quad k = 1967051.062 \text{ (N/m)}$$

式(2.12)可以简化为单质量的强迫振动系统，其方程为：

$$\ddot{x} + \frac{f+c}{m} \dot{x} + \frac{k}{m} x = \frac{F}{m} \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.16)$$

$$c = \frac{f_1}{1 + \frac{m_1}{m_2}} = \frac{f_2}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \quad (2.17)$$

方程(2.16)的特解为：
$$x = \frac{F \lambda}{m \omega_0^2} \sin(\omega t + \varphi - \alpha) \quad (2.18)$$

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{(1-z^2)^2 + 4b^2 z^2}} \quad (2.19)$$

其中 $b = \frac{c+f}{\omega_0}$ ，取 $b=0.05—0.07$

式中 x ——相对位移(m)；

F ——激振力幅(N)；

λ ——共振放大系数；

α ——激振力之后位移的相位角；

z ——调谐指数；

b ——衰减系数。

激振力为主振弹簧最大变形与弹簧刚度之积：

$$F = k \cdot x_{\max} \quad (2.20)$$

将式(2.20)带入(2.19)，可得激振力：

$$F = \frac{Ak}{\lambda} = Ak \sqrt{(1-z^2)^2 + 4b^2 z^2} \quad (N) \quad (2.21)$$

取 $b=0.07$ ，则：

$$F = 2.5 \times 10^{-4} \times 1967051.062 \sqrt{(1-0.9^2)^2 + 4 \times 0.07^2 \times 0.9^2} = 896.91(N) \quad (2.22)$$

则电磁铁吸力为
$$F_{\text{吸}} = F \times \sin 20^\circ = 306.76(N) \quad (2.23)$$

式中 A ——相对振幅(m)；

z ——调谐指数；(z 取 0.9)

b ——衰减系数；(b 取 0.07)

k ——主振弹簧刚度(N•m)。

2.4 振动输送参数选择

2.4.1 物料抛料指数 D 的选择

对于各种振动机械，抛料指数的选择范围是不相同的。对于大多数长距离大产量的振动输送机，抛料指数通常为 $D=1.4 \sim 2.5$ ；对于电磁振动盘，由于长度较短，为了获得较大的输送速度，抛料指数的选择范围为 $D=2.5 \sim 3.3$ 。物料在抛掷状态下运动，由于物料与料槽底部接触时间较短，大部分时间处于空中运行状态，所以对槽体磨损

较小。振动盘采用中速抛掷状态，在这种状态下，振动输送效率较高，能耗少，对机体强度和刚度要求不太高。

2.4.2 动力系数 K 的选择

设备的动力系数 K 主要受机械零件强度和结构刚度限制。输送距离长，输送量大的振动输送机，为提高设备利用系数，使设备不过于庞大复杂并能长期工作。通常动力系数 $K=4\sim6$ 。在选用振动次数 n 与振幅 λ 时，应满足振动强度 $[K]$ 的要求。 $[K]$ 一般为 5-10，所以按照下式验算振动机的振动强度：

$$K = \frac{\omega^2 \lambda}{g} = \frac{\pi^2 n^2 \lambda}{900g} < [K]$$

2.5 本章小结

经过对这个双质体振动系统进行建模，然后进行动力学参数的设计和计算最终确定了最佳振幅比为 2.4，系统的刚度确定为 1967051.062(N/m)，经过计算最终的出激振力为 897N，经过受力分析可得最佳电磁铁的吸力为 307N。

第3章 电磁学参数的设计与计算

3.1 电磁铁参数计算

3.1.1 电磁铁结构

1. 铁芯形式的选择

合理的铁芯结构可以使硅钢片材料消耗和加工工时大为减少,减少漏磁,并利用安装与调节。电磁铁的铁芯有三种形式: U型、山型、H型。U型的铁芯结构简单、漏磁少,但是结构不紧凑、不便于安装。山型的电磁铁的紧凑,复杂程度也不高,而且方便安装,但是有漏磁,但现在可以使用优质硅钢片材料弥补大部分漏磁。H型电磁铁结构比较复杂,调节比较困难,但弹簧不产生静变形。考虑上述因素我选用“山”型的铁芯作为本次设计的铁芯。

2. 衔铁材料的选用

电器元件应用广泛,品种繁多,因其工作原理、使用场合不同,铁芯的结构形式也各不相同。电流互感器、磁放大器、零序互感器等采用的是静止式铁芯,起控制和放大电信号的作用,而接触器、继电器、电磁铁等采用的是运动式铁芯,把电信号转化为机械动作。运动式铁芯由静铁芯(磁轭)和动铁芯(衔铁)组成,工作中处于频繁吸合与释放的状态,其极面承受反复碰撞。因此,要求铁芯除具有良好的磁性能外,还应具有一定的机械、冲击韧性和耐磨性等,以保证电器的可靠运行。

运动式铁芯按励磁电流的种类不同,可分为直流励磁铁芯和交流励磁铁芯。直流励磁铁芯在稳定状态下通过恒定的磁通,没有涡流和磁滞损耗,为加工方便,常用整块低碳钢或电工纯铁等材料制成。而交流励磁铁芯则通过交流磁通,产生涡流和磁滞损耗,为减少涡流常用涂有绝缘层,厚度为 $0.35\sim 1\text{mm}$,含碳量低于4.5%的硅钢片叠压而成,通常称为叠压式铁芯。与直流励磁铁芯相比,交流叠压式铁芯机械强度不高,制造工艺复杂,因此提高叠压式铁芯的机械强度是铁芯制造的重要课题。

3. 硅钢片类别的选择

硅钢片按轧制方式可分为热轧和冷轧两类,按硅钢片晶粒取向分为无取向和晶粒取向两大类。

从磁性能看,热轧硅钢片的工作磁感应强度仅为 $1.0\sim 1.2\text{T}$ 。而短时工作制的电磁

装置,如自藕减压起动器中变压器铁芯的磁感应强度可选到 1.6T。然而,冷轧硅钢片一般都可工作在 1.5~1.6T,同时其硬度也比热轧硅钢片高。由于冷轧硅钢片在性能上明显地优于热轧硅钢片,其 μ 和 B_s 值比热轧硅钢片高 1.3~1.5 倍,故在电器行业中热轧硅钢片正在被淘汰。美国自 1954 年、英国自 1963 年、日本自 1967 年已先后停止生产热轧硅钢片。与此同时,国外在无取向冷轧硅钢片的绝缘涂层方面也取得了进展。综合上述一些理由,本次设计选用冷轧无取向硅钢片。

4. 硅钢片厚度的选择

涡流的磁场会减弱主磁场。由于铁芯的中部所交链的涡流回路数量最多,所以中心部分的去磁作用也就最明显。结果是沿边缘的磁通多于中间的磁通,形成所谓的“集肤效应”。采用薄硅钢片,不仅可有效地减少涡流,而且能降低集肤效应的不良影响。硅钢片越薄,其效果越好。但是硅钢片越薄,加工这种硅钢片的工艺越复杂,成本越昂贵。在铁芯制造中,硅钢片越薄,加工越困难,而且硅钢片间绝缘所占尺寸相对增加,使叠片系数下降,造成磁通密度增高。因此,硅钢片也不宜过薄。目前变压器采用的硅钢片厚度一般为 0.23~0.50mm。本设计出于经济性和工艺性考虑,选用厚度为 0.35mm 的硅钢片。

综上所述,我们选择厚度为 0.35mm 理论密度为 7.65 的 GB2521-88 中的 DW240-95 牌号硅钢片。

3.1.2 铁芯结构设计

铁芯的结构式各异,但基本组成相同。常见的叠片式铁芯由芯片、分磁环(短路环)、铆钉、夹板等四部分组成。

我们采用两种电磁铁进行对照试验:

A 型“山”型硅钢片中间磁极的宽度是 32mm,另一边的长度为 40mm,即“山”型硅钢片中间磁极的横截面尺寸为 32×40 (mm)。又由硅钢片的厚度为 0.35mm,可以计算出共需要 115 片硅钢片。保证单位时间内穿过的磁力线相等,取“山”型硅钢片两边磁极的面积为中间磁极面积的一半,因为中间磁极与两边磁极的长度相等,所以两边磁极的宽度为中间磁极的一半,即 16mm。所以“山”型硅钢片两边磁极的横截面尺寸为 16×40 (mm)。选用线圈的匝数为 1600 匝。

B 型“山”型硅钢片中间磁极的宽度是 25mm,另一边的长度为 38mm,即“山”型硅钢片中间磁极的横截面尺寸为 25×38 (mm)。又由硅钢片的厚度为 0.35mm,可以

计算出共需要 105 片硅钢片。保证单位时间内穿过的磁力线相等，取“山”型硅钢片两边磁极的面积为中间磁极面积的一半，因为中间磁极与两边磁极的长度相等，所以两边磁极的宽度为中间磁极的一半，即 12.5mm。所以“山”型硅钢片两边磁极的横截面尺寸为 12.5×38（mm）。选用线圈的匝数为 1200 匝。

3.1.3 电磁铁衔铁设计

衔铁即运动式铁芯，与铁芯共同组成电磁铁。衔铁由 0.35 毫米一字形硅钢片迭装而成，然后将其与一 4mm 钢板焊接，通过螺栓与上座联接，和铁芯保持一定间隙。本次设计采用冷轧无取向硅钢片 DW240-35 作为衔铁材料，与铁芯材料相同。硅钢片的宽度是按照电磁铁的导磁面积所设计，这样保证电磁铁和衔铁的横截面积基本相同，从而形成一个“回路”。由于衔铁要与上座相连，所以讲衔铁与一片 4mm 厚的铁板焊接在一起，在铁板上钻 4 个孔矩为 68mm 的 9mm 的通孔，用 M8 圆柱头内六角螺钉将衔铁与上座连接。

3.1.4 电磁铁吸力的计算

选用的电磁铁为山形电磁铁,图 3.1 所示为此电磁铁俯视图。

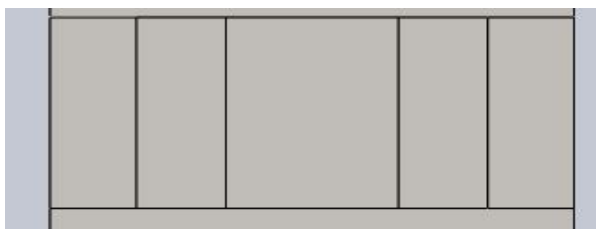


图 3.1 山形电磁铁俯视图

山型电磁铁气隙磁导计算公式为：

$$g = 2 \mu_0 \left(\frac{b}{c} + \frac{2a}{c + \frac{\pi a}{4}} \right) \quad (3.1)$$

上式中 b——电磁铁宽度(mm)；

a——电磁铁柱心铁宽度(mm)；

c——电磁铁柱心铁间宽度(mm)；

μ_0 ——空气的磁导系数(H/mm)；

g——单位长度漏磁导。

山型电磁铁吸力的平均值为：

$$F_0 = 0.2 \left(\frac{U \cdot 10^4}{f \cdot W} \right)^2 \frac{S}{\left(S + \frac{2}{3 \mu_0 l_c g \delta} \right)^2} (\text{公斤}) \quad (3.2)$$

式中 U——电磁铁线圈上电压有效值(V);

f——电源频率(Hz);

W——线圈匝数;

S——电磁铁极面面积(cm^2)即山型电磁铁柱心铁横截面积;

l_c ——铁芯长度(cm);

g——单位长度漏磁导;

δ ——气隙长度(cm);

μ_0 ——空气的导磁系数, 等于 $1.25 \times 10^{-8} \text{ H/cm}$ 。

将公斤化为现在的单位 Pa

$$1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2 \quad (3.3)$$

$$1\text{ 公斤}=9.8 \times 10^4 \text{ Pa} \quad (3.4)$$

我们选择两种电磁铁进行试验: A 型尺寸为 $76\text{mm} \times 38\text{mm} \times 50\text{mm}$;

B 型尺寸为 $96\text{mm} \times 40\text{mm} \times 65\text{mm}$;

$$\begin{aligned} g &= 2\mu_0 \left(\frac{3.8}{1.3} + \frac{2.5}{1.3 + \frac{\pi \times 2.5}{4}} \right) \\ &= 9.22 \times 10^{-8} \text{ H/cm} \end{aligned}$$

$U=220\text{V}$, $f=100\text{Hz}$, W 为 1600 匝, $l_c = 3.8\text{cm}$ $S=3.8\text{cm} \times 2.5\text{cm}$ $\delta=0.08\text{cm}$

根据式(3.2)可得

$$F_0 = 2.972 \text{ (公斤)}$$

$$2.972 \text{ 公斤}=2.972 \times 9.8 \times 10000=291256(\text{Pa})$$

电磁铁吸力为:

$$F=291256 \times 0.025 \times 0.038=276.693(\text{N})$$

B 型:

$$\begin{aligned} g &= 2\mu_0 \left(\frac{4}{1.6} + \frac{3.2}{1.6 + \frac{3.2\pi}{4}} \right) \\ &= 8.16 \times 10^{-8} \text{ H/cm} \end{aligned}$$

$U=220\text{V}$, $f=100\text{Hz}$, W 为 1200 匝, $l_c = 4.8\text{cm}$, $S=4\text{cm} \times 3.2\text{cm}$, $\delta=0.08\text{cm}$

根据式 (3.2)

$$\text{可得: } F_0 = 4.109(\text{公斤})$$

$$4.109 \text{ 公斤}=4.109 \times 9.8 \times 10000=402714(\text{Pa})$$

电磁铁吸力为 $F=402714 \times 0.032 \times 0.04=515.474(\text{N})$

3.2 本章小结

经过计算可得两种电磁铁的吸力分别为 276N 和 515N，分别将两块电磁铁装入振动盘，对比振幅情况，最终选取最佳电磁铁。

第4章 振动盘的结构设计

4.1 机械结构设计准则

1. 对于那些损坏可能对产品的安全性和可靠性有比较大的不利影响的零件所用材料,其环境适应性和耐久性必须:(1)建立在经验或试验的基础上;(2)考虑环境的影响,如温度、湿度、振动和大气污染等。
2. 结构的每个构件必须适当地加以防护,以防因气候、腐蚀、磨损等原因引起的损伤或强度降低。
3. 相邻结构若有较大温差,必须注意热变形引起过应力而造成零件的损坏。
4. 应尽量减少应力集中,减少或避免附加弯矩,避免不利的传力形式出现,控制复杂载荷的应力出现。
5. 为了提高结构的抗疲劳能力,在设计中必须注意:
 - (1) 合理的选材;
 - (2) 减少应力集中(如断面的急剧变化、尖角、锐边、表面粗糙度等);
 - (3) 控制尺寸公差,以免负公差的累积导致构件的断面厚度偏小;
 - (4) 尽量采用干涉配合的紧固件;
 - (5) 局部关键部位应进行强化;
 - (6) 在噪声疲劳部位(发动机附近),应降低工作应力,或采用夹层结构。
6. 为防止某个构件的损坏而引起其它构件的损坏,在设计时应采用:
 - (1)止裂措施;
 - (2)多路传力设计;
 - (3)多重元件设计。
7. 密封材料应具有良好的耐磨、耐压、耐油、耐高低温和抗老化的性能。

4.2 弹簧板的设计

振动器板弹簧一般由优质弹簧钢 65 Mn 材料制成的板弹簧片叠装而成。板弹簧经过淬火后,要求硬度 $HRC=40\sim 42$,热处理后弹簧片不允许有扭曲、裂纹、夹渣、锤痕等缺陷;表面脱碳层厚度不得超过板弹簧厚度的 $1/100$;

板弹簧叠片两端用螺栓压紧,其中一端与底盘用螺栓联接,另一端与上盘同样用螺

栓联接。当振动时，板弹簧两端有相对平移，所以在计算弹簧刚度时应考虑压不紧系数。由材料力学弯曲变形知识可知，若忽略板弹簧本身质量，视两端为固定梁，两端受一对大小相同,方向相反的力，其挠度为：

$$y = \frac{Pl^3}{12EJ} \quad (4.1)$$

$$J = \frac{bh^3}{12} \quad (4.2)$$

式中：

P——作用力（N）

l——板弹簧的有效长度（m）

E——钢的拉伸弹性模数， $E = 206 \times 10^9 \text{ Pa}$

J——惯性矩（ m^4 ）

b——板弹簧的宽度（m）

h——板弹簧的厚度（m）

弹簧刚度：

$$k_i = \frac{P}{y} = \frac{12EJ}{l^3} = \frac{Eb^3}{l^3} \quad (4.3)$$

由弹簧叠片，并考虑到压紧系数，则弹簧板束总刚度为：

$$k = i \frac{Eb^3}{\alpha l^3} \quad (4.4)$$

式中：

k——弹簧片总刚度（N/m）

α ——压紧系数，他与弹簧板厚度和片数有关，一般取 $\alpha = 1.05 \sim 1.25$

弹簧板有效长度 100mm，宽度为 20mm，厚度为 2mm。

主振弹簧刚度：

$$k = \frac{1}{z_0^2} m \omega^2 \quad (4.5)$$

$$m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} = \frac{5.7 \times 13.9}{5.7 + 13.9} = 4.04$$

$$k = \frac{1}{0.9^2} 4.04 (2\pi \times 100)^2 = 1967051.062$$

由公式（4.4）得：

a 为压不紧系数，取 $a=1.25$

$$i = \frac{k \alpha l^3}{16 E b d^3} = 13.645$$

取 13 或者 14 块，利用增加或减少板弹簧片数的方法，调整机器的工作点（即频率比）。

4.3 上座及底盘的设计

4.3.1 上座的设计

上座是把激振力传给槽体的主要部件，它与料盘刚性连接在一起。上座连接着振动体和料盘，既上座的连接表面着衔铁，上表面通过螺栓与料盘连接在一起，因此上座是设计中很重要的一环。本设计选用 ZG275-485H 为上座材料，此种材料性能要强

于 ZG45 铸钢件。在满足机械强度和刚度的前提下，应尽可能地减轻重量。

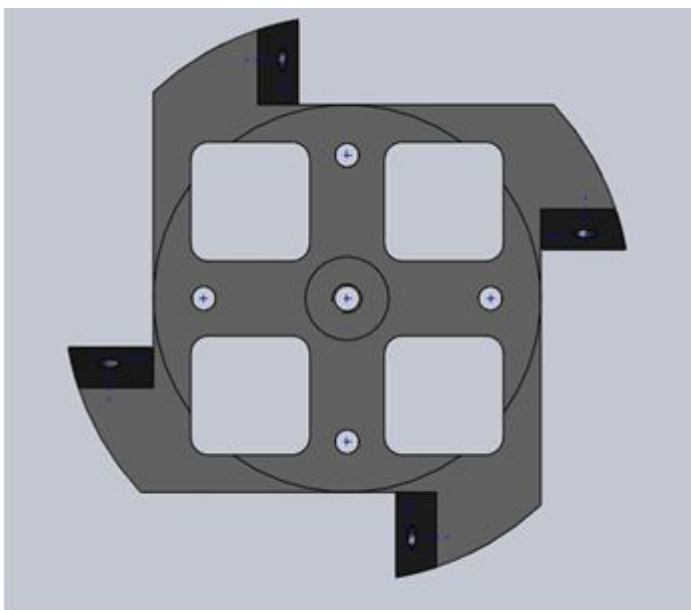


图 4.1 上座俯视图

上座的三维示意图如图 4.1，中间的通孔为 M10 螺栓孔，通过螺栓将其与料盘联接在一起，上座的表面开 4 个 M8 螺纹通孔，位置与衔铁上螺孔的位置相同，用于通过与衔铁连接的螺栓，加工时要保证加工精度，以保证精确安装。在上座的 4 个侧面分别有 4 个耳型联接耳，分别在 4 耳面上开各开一个 M8 螺纹通孔，用于上盘

与板弹簧联接。其上面为减轻质量，将其开为 4 个镂空正方形，及保证了强度，又节约材料，减轻了质量。

4.3.2 底盘的设计

底座采用与上座同样的材料，其示意图如图（4.2）。底盘的上表面有 4 个 M8 螺纹孔，位置与衔铁上螺孔的位置相同，用于通过与电磁铁连接的螺栓，侧面有 4 个 M8 螺纹孔，用于通过与板弹簧联接的螺栓，底面有 3 个螺纹孔，用于联接减震橡胶垫。

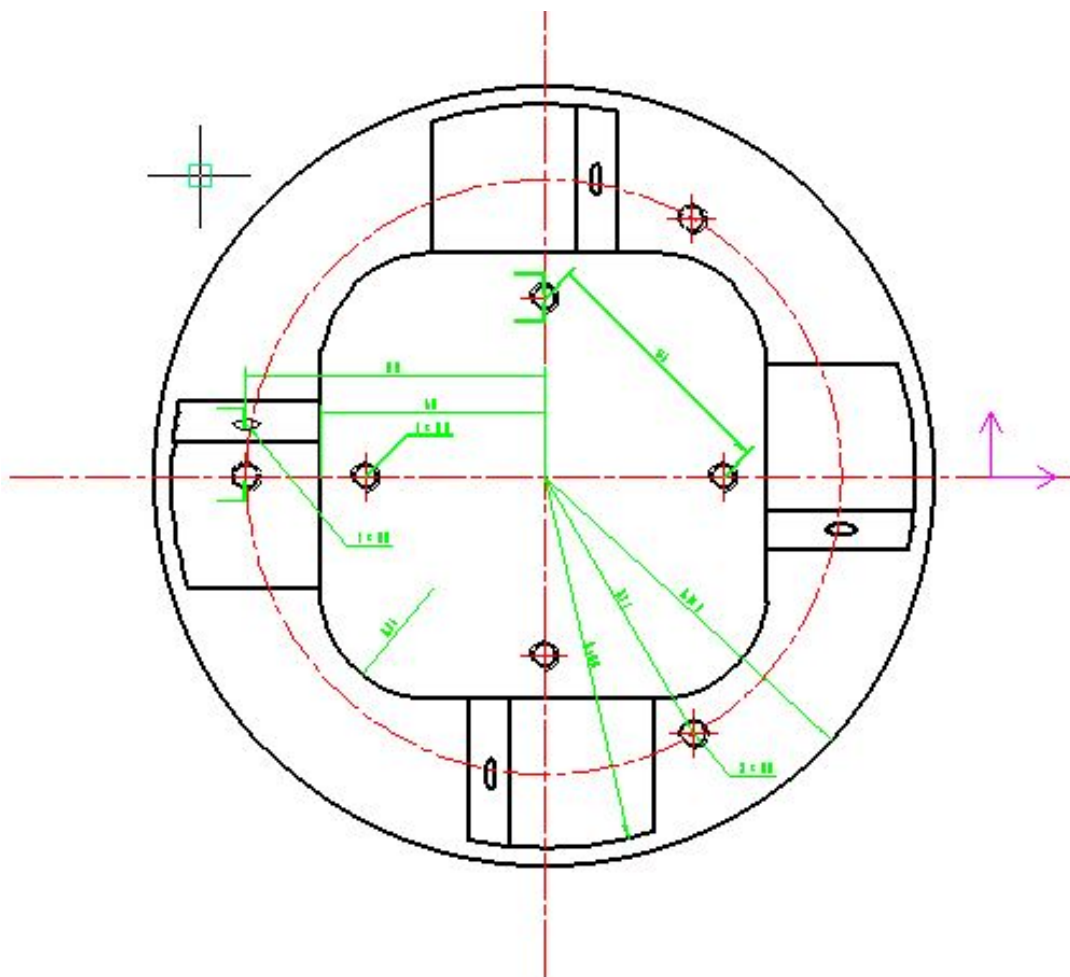


图 4.2 底盘示意图

4.4 橡胶减震脚垫的设计

在振动设备的设计中,橡胶或者橡胶金属零件可用作减震器或者激振器的主弹簧。他与金属弹簧相比有以下的特点:可以塑模成所需的形状和尺寸;可以随意选择三个方向的弹簧刚度;改变橡胶弹簧的内部构造,可以大幅度地改变弹簧刚度;此外由于橡胶具有较大的内摩擦,在共振或近共振工作时,其振幅不易出现浪涌现象。

使用空心圆柱橡胶减震座, $r_1 = 15\text{mm}$, $r_2 = 6.5\text{mm}$, $h=30\text{mm}$ 。

$$\text{则: } A_L = \pi(r_1^2 - r_2^2) = \pi(15^2 - 6.5^2) = 574.12\text{mm}^2 \quad (4.6)$$

$$A_F = 2\pi \times h \times (r_1 + r_2) = 2\pi \times 30 \times (15 + 6.5) = 4052.65\text{mm}^2 \quad (4.7)$$

$$s = \frac{A_L}{A_F} = \frac{574.12}{4052.65} = 0.14 \quad (4.8)$$

$$\mu = 1.2(1 + 1.65s^2) = 1.24 \quad (4.9)$$

则压缩方向上的弹簧刚度为：

$$k_{\perp} = \frac{A_L \mu}{h} E = \frac{574 \times 1.24}{30} E = 23E \left(\text{kg/mm} \right) \quad (4.10)$$

上式中 A_L —— 受力面积 (mm^2)

A_F —— 自由面积 (mm^2)

s —— 是受力面积与自由面积之比，称为形状因素，为无因次量。

μ —— 形状系数，为无因次量。

k_{\perp} —— 竖直方向的橡胶弹簧常数。

E —— 橡胶的静态弹性模数。

减震橡胶的挠曲量一般取 15%，其静力挠曲量为：

$$\frac{\delta}{h} = \frac{15}{100} \quad \delta = \frac{15 \times 30}{100} = 4.5 \text{ (mm)} \quad (4.11)$$

表 4.1 橡胶的邵氏硬度

H 邵氏硬度	E (kg/mm^2)	G (kg/mm^2)	d
40	18.5	4.6	1.1
45	21.8	5.7	1.15
50	25.7	7.1	1.2
55	30.4	8.8	1.28
60	36.0	11.1	1.4

当邵氏硬度取 $H=50^\circ$ 时，所需的减震器荷重为：

$$W = k_{\perp} \delta = 3350 \times 0.45 = 1507 \text{ (公斤)} \quad (4.12)$$

动载的挠曲量为：

$$\delta_d = \frac{\delta}{d} = \frac{4.5}{1.2} = 3.75 \text{ (mm)} \quad (4.13)$$

4.5 振动盘给料量控制器的设计

4.5.1 振动盘给料量的调节

振动盘的振幅就是调节它的给量，所谓振动盘的调节特性就是指改变点参数引起给料量变化的特性。

振动盘调节给料量的方法有两种, 一是改变激振力, 二是改变激振频率。

1. 改变系统的激振力以调节振幅,

$$U = 4.44WfS'B_0 \times 10^{-8}(\text{伏}) \quad (4.14)$$

得半波整流激振电振振动盘的激振力为:

$$F = 2 \left(\frac{U \times 10^8}{5000 \times 4.44Wf} \right)^2 \frac{1}{S} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (4.15)$$

由上式可知激振力正比于电源电压的平方, 反比于匝数的平方。因此得到改变激振力的 2 个办法。而振幅与激振力的幅值成正比, 所以振幅调节有两个办法。

(1) 调节外加电压 U

随着电压的变化给料量变化很大, 这是因为振幅正比于电压的平方缘故。对于要求给料稳定的系统不可不注意电流电压波动的影响。

可控硅调节器也属于这一类型, 通过改变可控硅整流器的开放角就可以调节振幅。

由于这个办法简单可行, 而且调节范围宽, 所以得到广泛应用。

(2) 改变线圈匝数

由于激振力反比于匝数的平方, 所以改变匝数可以调节振幅, 进而调节给料量。鉴于这种方法的实现比较起来不如上一种方法容易, 故采用较少。

2. 改变激振电源频率调节物料量

利用变频电源改变激振频率。由于频率增加使得单个物料的跳跃次数增加, 振幅不变时输送量也会增加。在激振力幅值不变时由于调谐指数的变化也会使振幅有所增加。应当注意, 变频电源为保证激振力不变, 需保持电压与频率的比值不变。

4.5.2 振幅调节器的几种类型

1. 调压型振幅调节器

如图 4.3, 利用调压器调节电压, 经过半波整流供给振动盘。由于调压容器的限制, 只用于小型振动盘。

这种调节器比较简单, 调节范围大, 但是不宜实现自动控制。

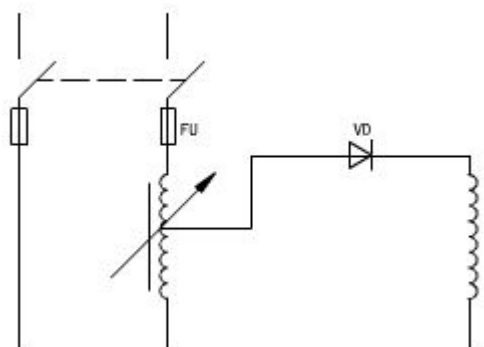


图 4.3 调压器型调节器

2. 可变电阻调节器

(1) 串联型

如图 4.4, 通过改变电阻值, 改变电振机线圈输入电压, 从而调节振幅。这种调节器的损耗比较大, 一般用于小型振动盘。

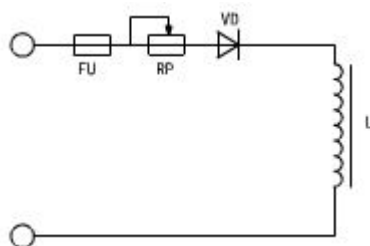


图 4.4 串联电阻型调节器原理图

(2) 并联型

如图 4.5, 这种调节器一般适用于小型振动盘。调节特性均匀性差。

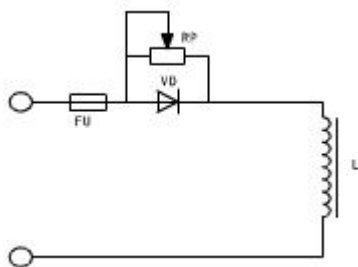


图 4.5 并联电阻型调节器原理图

3. 可变电感调节器

本调节器调节特性平滑, 损耗小, 但功率因数低。

4. 可变电容调节器

本调节器特性均匀性差, 但功率因数高, 只用于微型振动盘。

5. 可控硅整流调节器

利用可控硅半波整流控制方案是比较理想的。其优点有：

- (1)调节范围大，可以从零调到额定值。
 - (2)能实现闭环自动控制，大大简化自动控制系统，并且可以达到很高的精度。
 - (3)控制系统能量消耗甚微，可以认为是无损耗的。特别是对于中，大型振动盘效果较显著。
 - (4)成本低，体积小。
- 但是可控硅调节器的功率因数低，特别是在小振幅的时候，这是应当注意的。
- 可控硅调节器的典型触发线路很多，效果都是比较好的。

4.6 本章小结

本章首先确定了底盘和上座的尺寸，然后根据系统刚度确定板弹簧数为 13 或 14 块，板弹簧的数量最终由下一章的实验数据来决定。橡胶减震脚垫材料选择为顺丁橡胶。对比上文提到的 5 种控制器，我们最终采用可控硅整流流调节器。

第 5 章 振动盘的调试及实验

5.1 测定振动盘的工作频率

通过 pulse 软件测得此振动盘在调节器的作用下工作频率为 100Hz。

由此可以确定工作频率。由公式：

$$z_0 = \frac{\omega}{\omega_0} \quad (5.1)$$

z_0 一般为 0.9—0.95 为最好，确定了工作频率为 100Hz，就可以确定出系统的固有频率为 105Hz ——111Hz 最好，而由公式：

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5.2)$$

可知， m 为确定值，只有改变 k ，即这个系统的刚度才可以改变固有频率，只有改变弹簧板的厚度或者数量才可以改变系统的刚度。

5.2 振动盘的控制变量实验

5.2.1 采用 96mm×40mm 电磁铁，定间隙（为 0.8mm），变板弹簧数量，观察不同电压下，上下质体的振幅

在振动盘的料盘表面贴一个 3508B 传感器，在振动盘底座贴另一个 3508B 传感器，在电脑上打开 pulse 软件，很直观的就可以看出来上下质体的振幅。

(-) 电压为均 90V 时：

①4 个方向的板弹簧都为 6mm,上质体振幅如图 5.1:

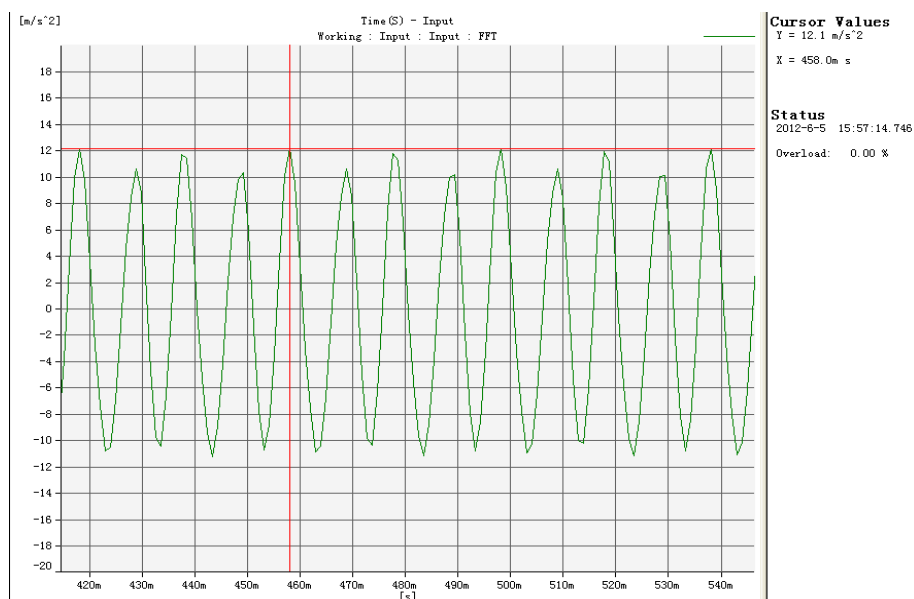


图 5.1 上质体振幅

由公式

$$x = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (5.3)$$

可得

$$\ddot{x} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi) \quad (5.4)$$

得

上质体振幅 $A=0.12\text{mm}$

下质体振幅如图 5.2:

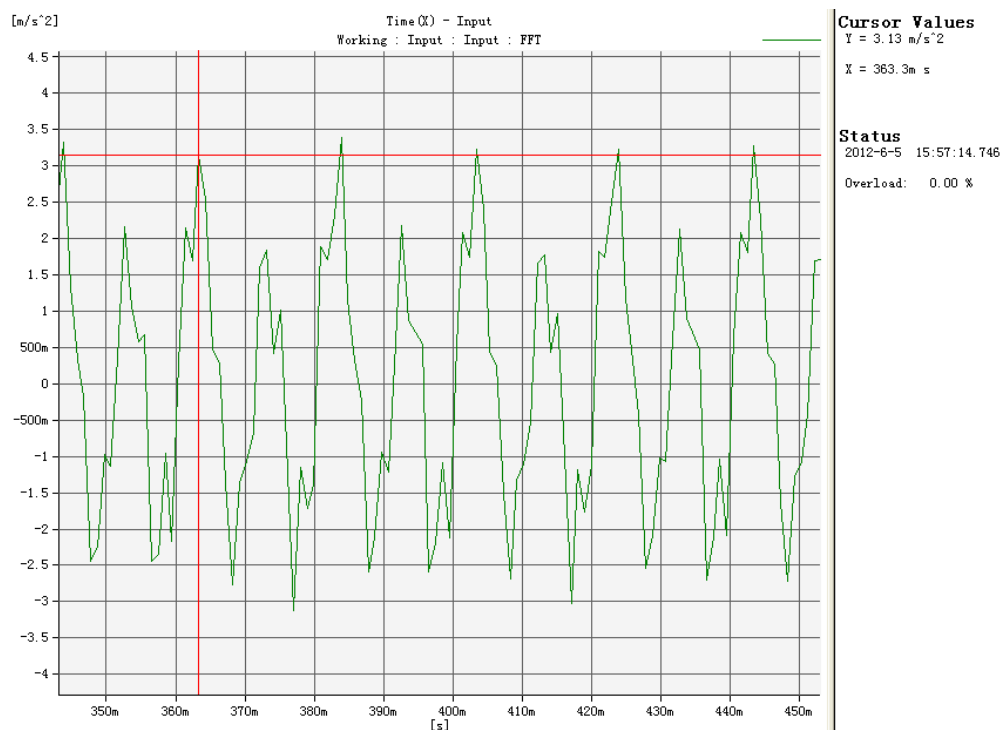


图 5.2 下质体振幅

得下质体振幅 $A=0.3\text{mm}$

②其中一个方向的板弹簧厚度为 8mm，另外 3 个均为 6mm，上质体振幅如图 5.3:

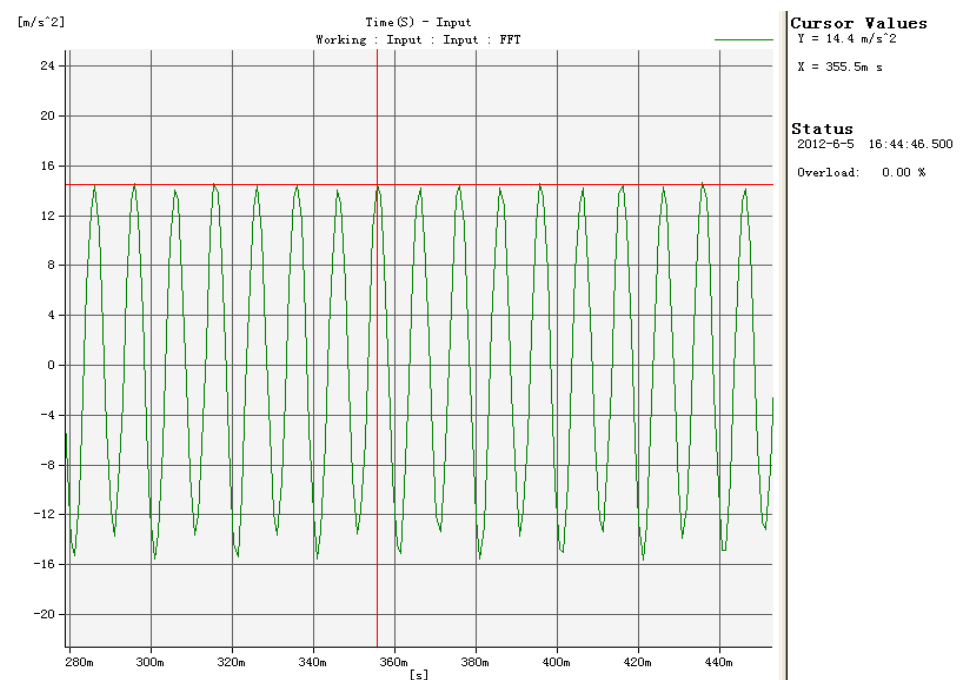


图 5.3 上质体振幅

得上质体振幅 $A=0.144\text{mm}$

下质体振幅如图 5.4:

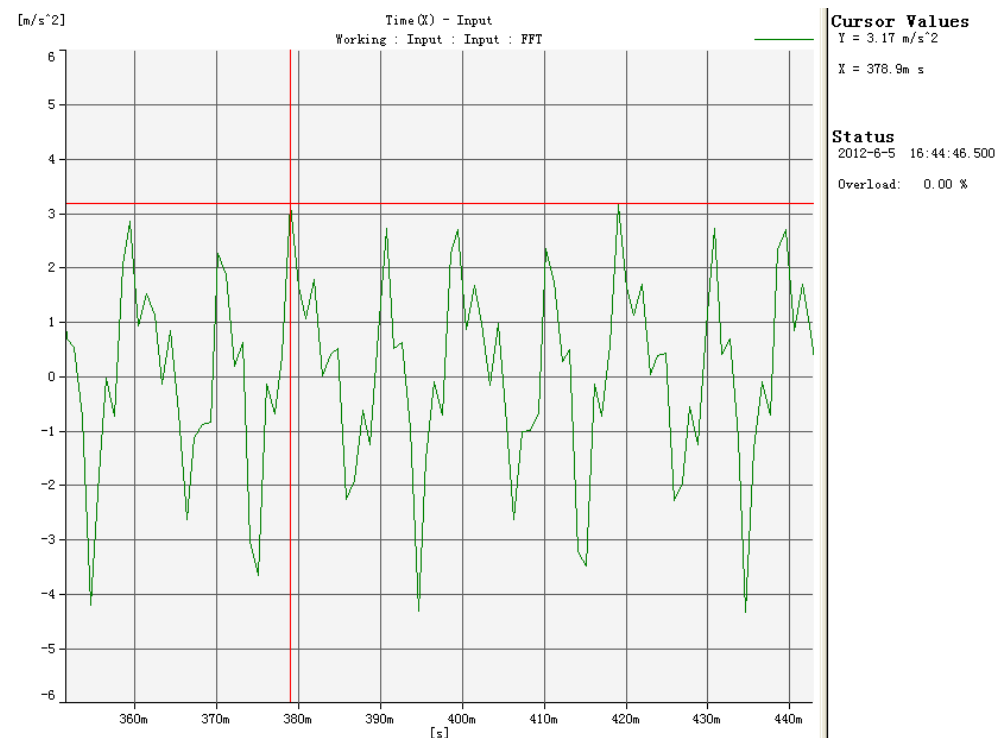


图 5.4 下质体振幅

得下质体振幅 $A=0.032\text{mm}$

(二)电压均为 110V 时

①4 个方向的板弹簧都为 6mm,上质体振幅如图 5.5:

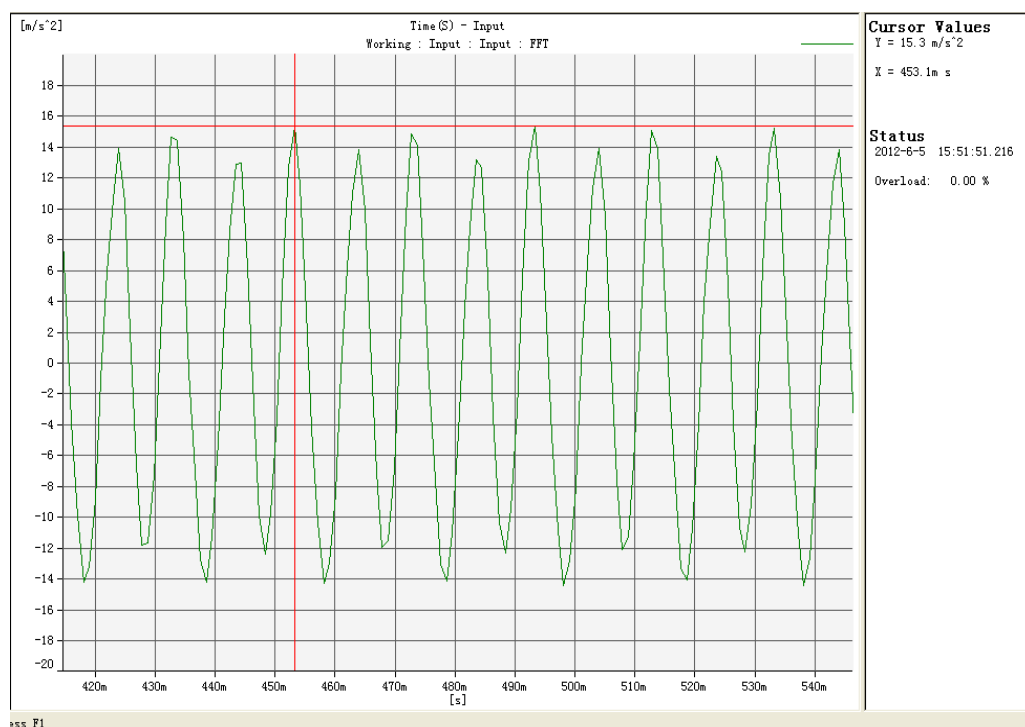


图 5.5 上质体振幅

得上质体振幅 $A=0.15\text{mm}$

下质体振幅如图 5.6:

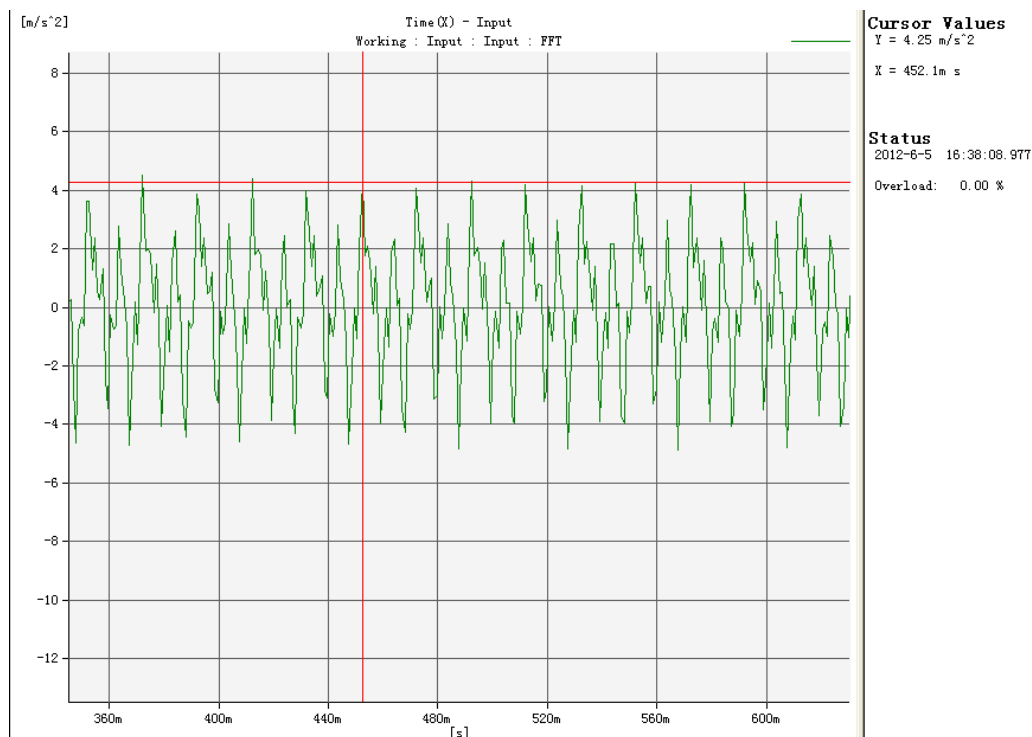


图 5.6 下质体振幅

得下质体振幅 $A=0.049\text{mm}$

②其中一个方向的板弹簧厚度为 8mm，另外 3 个均为 6mm，上质体振幅如图 5.7:

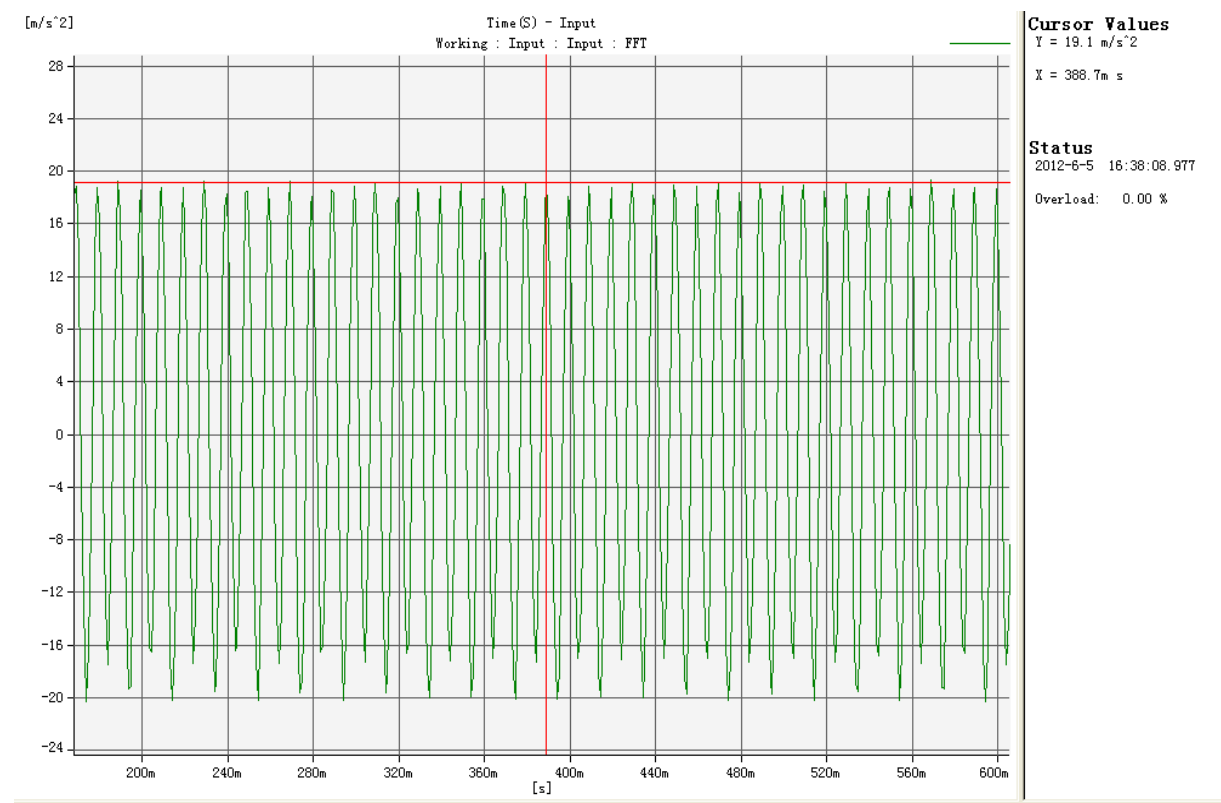


图 5.7 上质体振幅

得上质体振幅 $A=0.19\text{mm}$

下质体振幅如图 5.8:

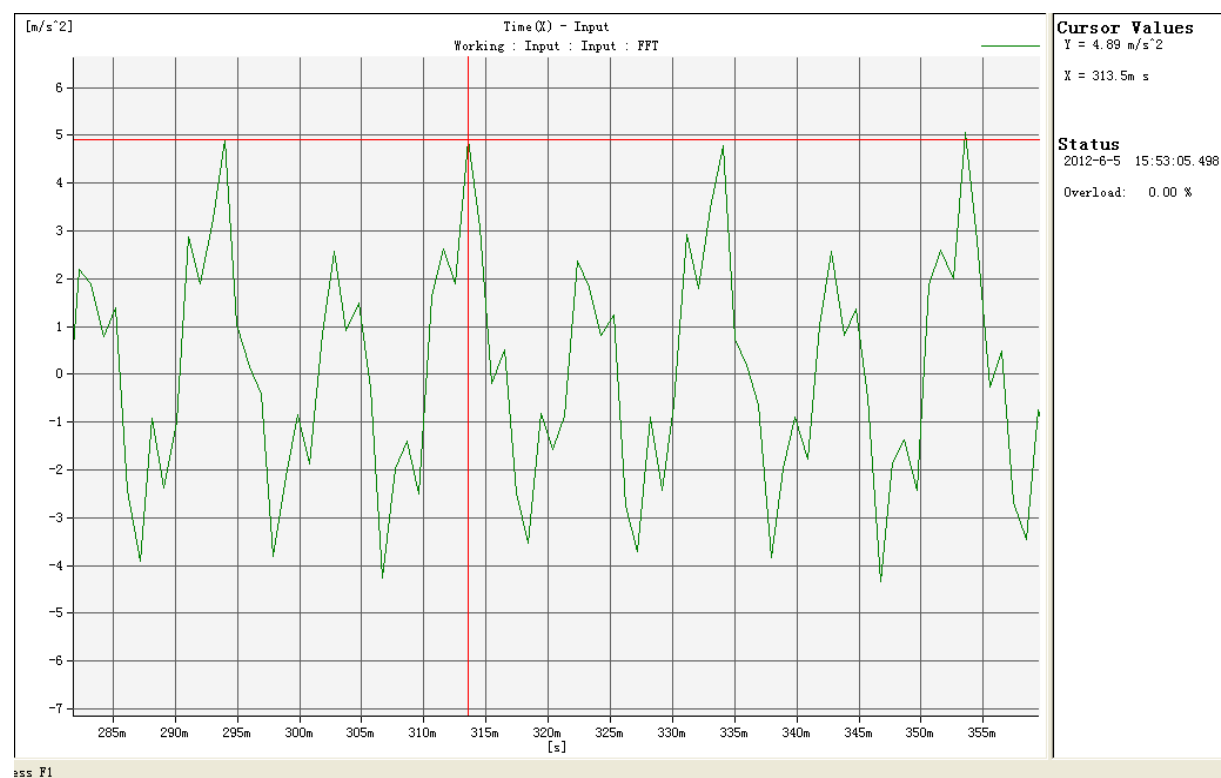


图 5.8 下质体振幅

得下质体振幅为 $A=0.049\text{mm}$

得四个方向板弹簧厚度均为 6mm 时的系统固有频率 $\omega_0=101\text{Hz}$ 。

其中一个方向的板弹簧厚度为 8mm ，其余 3 个均为 6mm 时的固有频率 $\omega_0=112\text{Hz}$ 。

将上述数值整理为表 5.1：

表 5.1 系统固有频率及激振力对振幅的影响

电压	振幅	板弹簧均为 6mm	其中一个为 8mm ， 其均余为 6mm
90V	上质体振幅（mm）	0.120	0.144
	下质体振幅（mm）	0.030	0.032
110V	上质体振幅（mm）	0.150	0.190
	下质体振幅（mm）	0.043	0.049

结论： 测得四个方向板弹簧厚度均为 6mm 时的系统固有频率 $\omega_0 = 101\text{Hz}$ 。

测得其中一个方向的板弹簧厚度为 8mm ，其余 3 个均为 6mm 时的固有频率

$\omega_0 = 112\text{Hz}$ 。可得第二种的工作频率与固有频率比更接近 $0.9—0.95$ 这个比值，根据表 5.1 的直可以直观的反映出，采用相同的激振力固有频率越大的系统可以获得更大的振幅。

5.2.2 采用 $96\text{mm} \times 40\text{mm}$ 电磁铁，定系统刚度（其中一个方向为 8mm ，另外 3 个方向为 6mm ），变间隙，观察不同电压下上下质体的振幅

在振动盘的料盘表面贴一个 3508B 传感器，在振动盘底座贴另一个 3508B 传感器，在电脑上打开 pulse 软件，很直观的就可以看出来上下质体的振幅。

(一) 电压均为 90V 时：

①电磁铁间隙为 0.6mm ，上质体振幅如图 5.9:

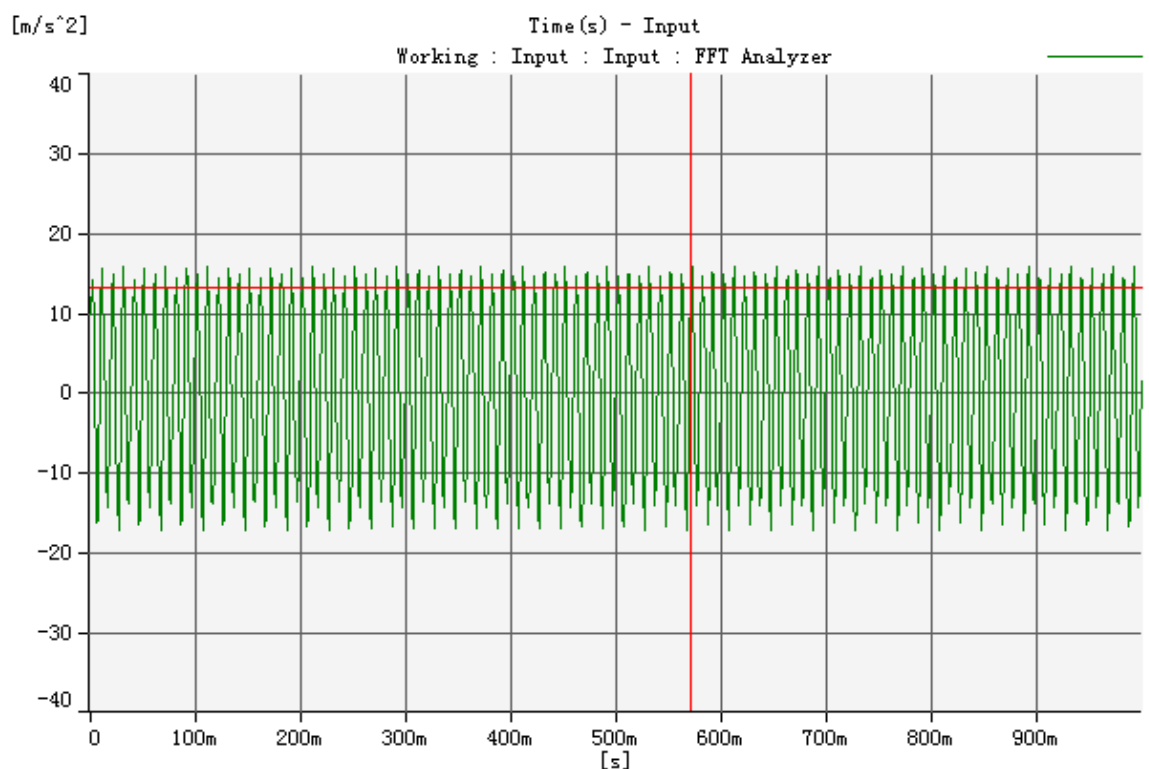


图 5.9 上质体振幅

得上质体振幅 $A=0.147\text{mm}$

下质体振幅如图 5.10:

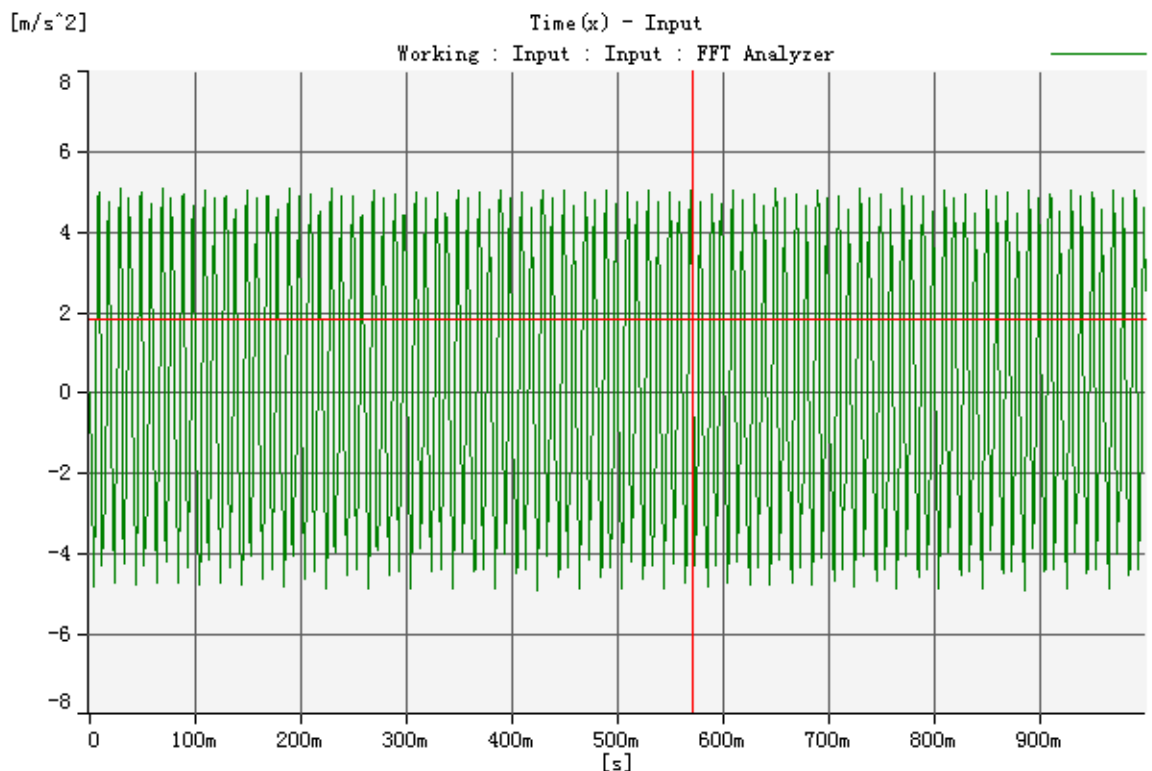


图 5.9 下质体振幅

得下质体振幅 $A=0.044\text{mm}$

②电磁铁间隙 0.8mm 时，得上质体振幅如图 5.11:

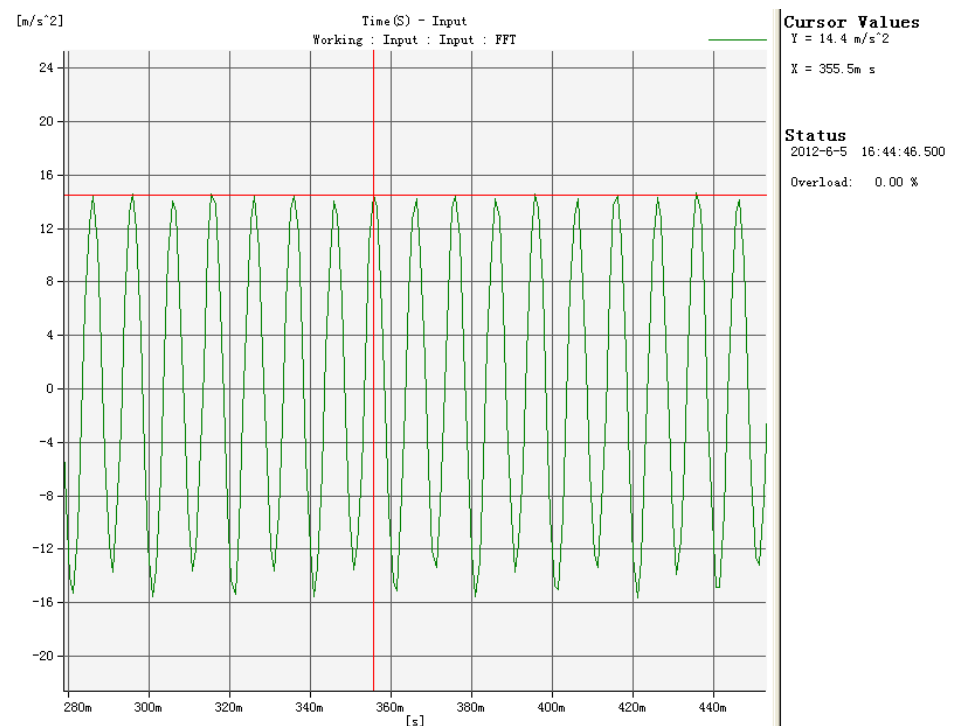


图 5.11 上质体振幅

得上质体振幅 $A=0.144\text{mm}$

得下质体振幅如图 5.12:

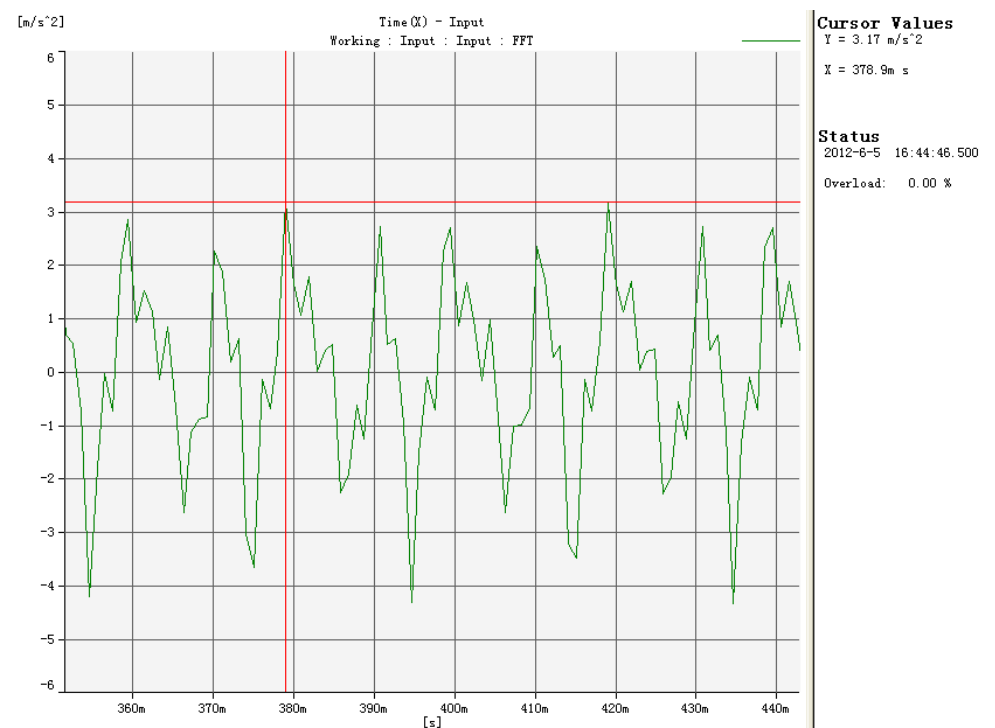


图 5.12 下质体振幅

得下质体振幅 $A=0.031\text{mm}$

(二)电压为 110V 时

①电磁铁间隙为 0.6mm，上质体振幅如图 5.13:

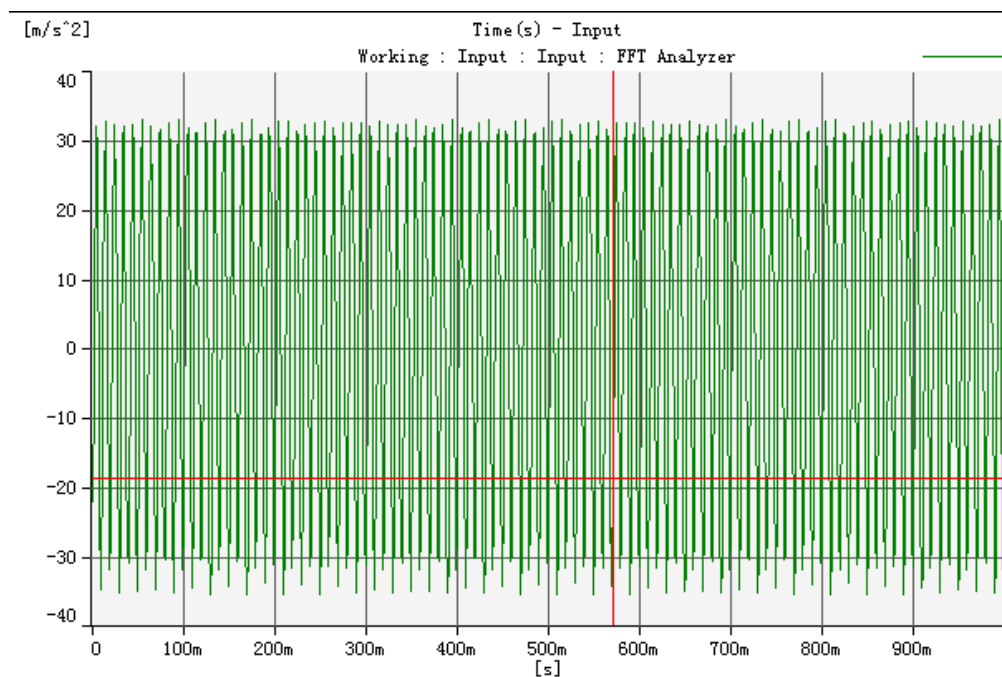


图 5.13 上质体振幅

得上质体振幅 $A=0.33\text{mm}$

下质体振幅如图 5.14:

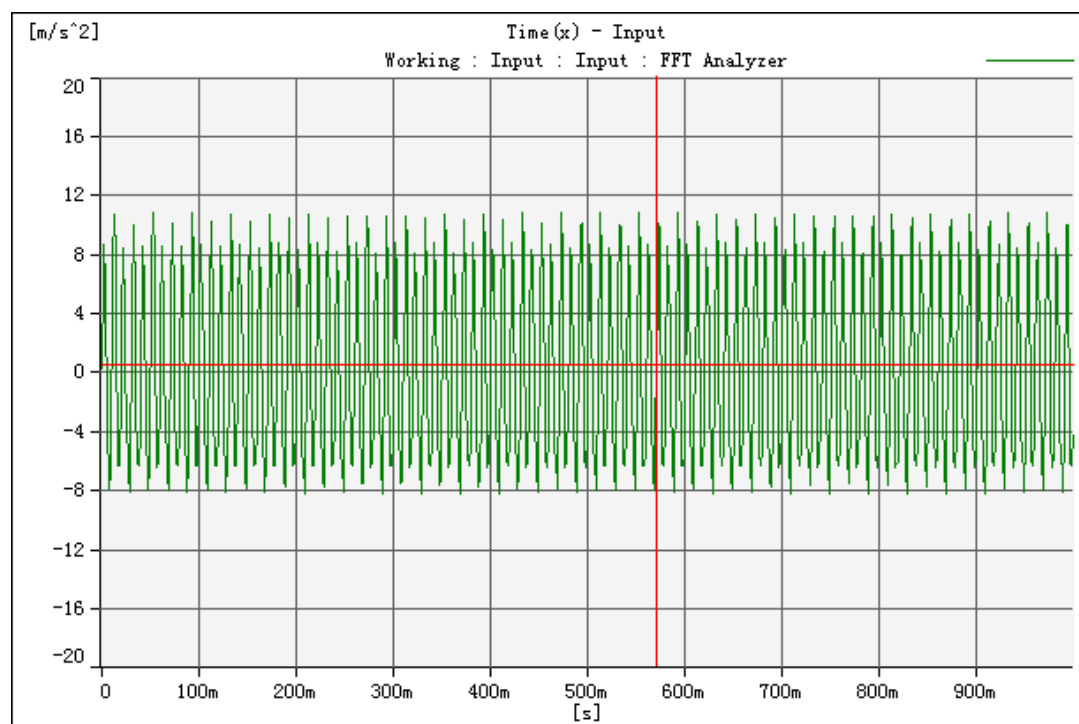


图 5.14 下质体振幅

得下质体振幅为 $A=0.11\text{mm}$

②电磁铁间隙为 0.8mm，上质体振幅如图 5.15:

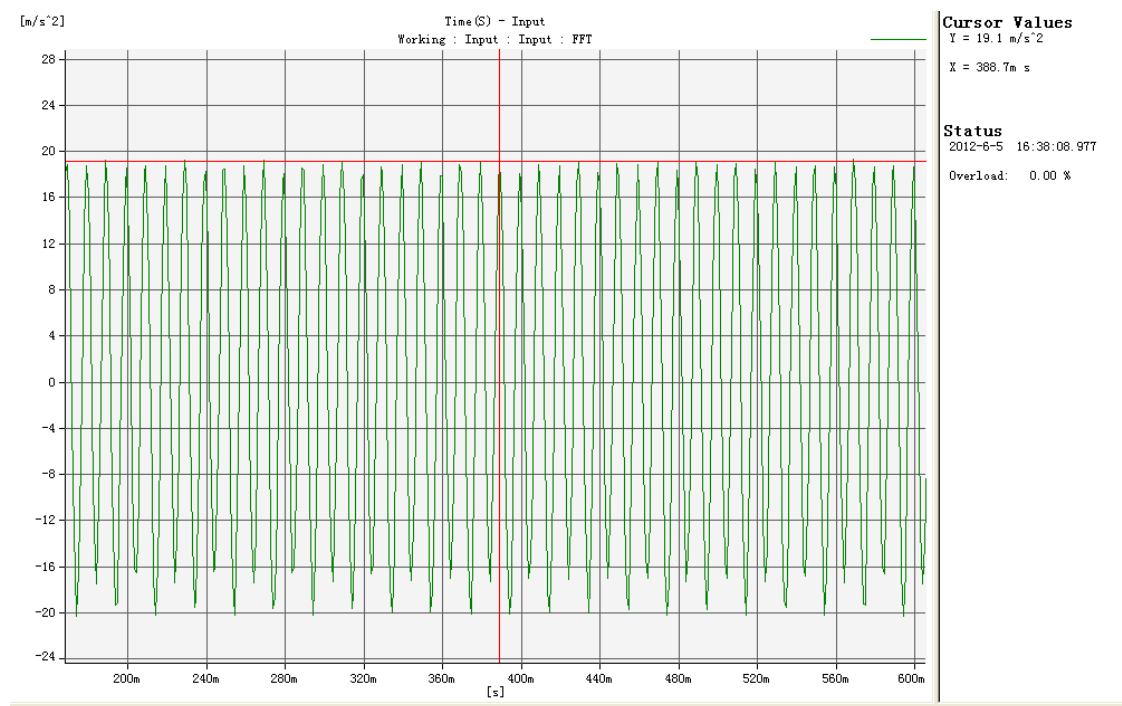


图 5.15 上质体振幅

得上质体振幅 $A=0.19\text{mm}$

下质体振幅如图 5.16:

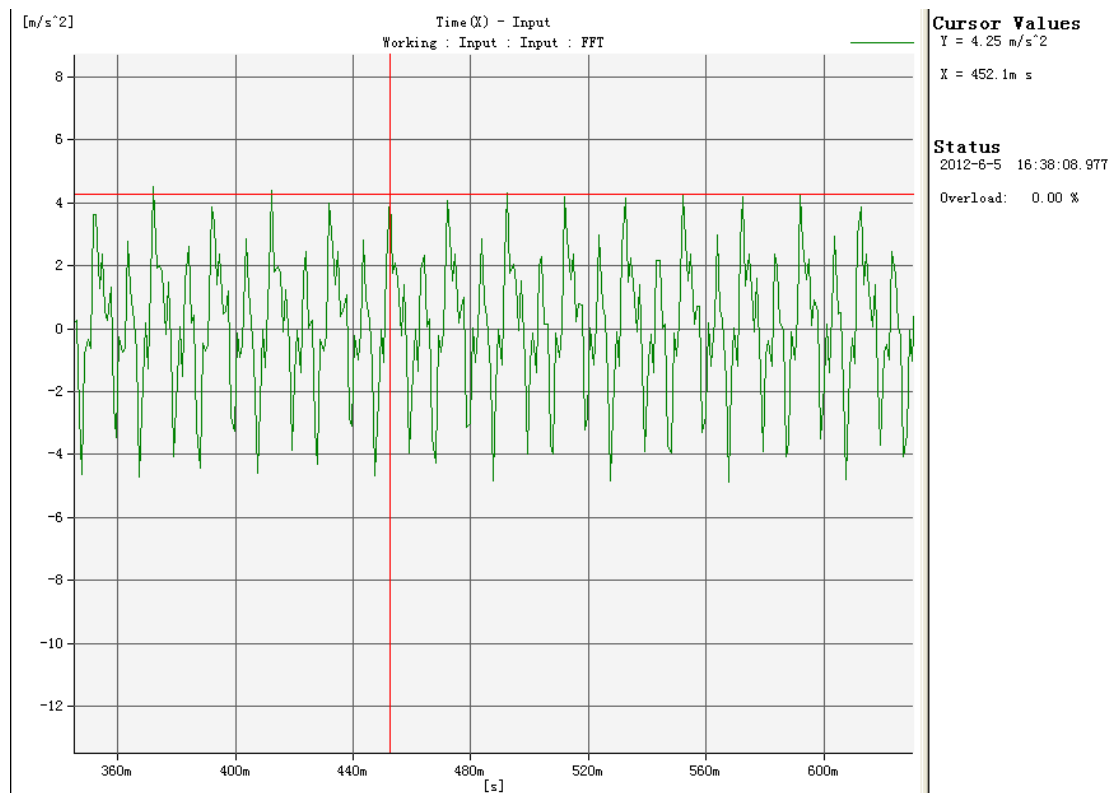


图 5.16 下质体振幅

得下质体振幅 $A=0.043\text{mm}$

整理上述数值，可得出表 5.2:

表 5.2 电磁铁气隙及激振力对振幅的影响

电压	振幅	电磁铁气隙为	电磁铁气隙为
		0.8mm	0.6mm
90V	上质体振幅 (mm)	0.144	0.147
	下质体振幅 (mm)	0.031	0.044
110V	上质体振幅 (mm)	0.190	0.330
	下质体振幅 (mm)	0.043	0.111

结论: 根据表 5.2 可得，改变电磁铁的气隙间隙，从 0.8mm 变到 0.6mm 使得电磁铁的吸力有很大的变化，从而改变振动系统上下质体的振幅。

5.2.3 采用两块不同的电磁铁，在确定的电压值，气隙和固有频率下，观察振幅的变化

在振动盘的料盘表面贴一个 3508B 传感器，在振动盘底座贴另一个 3508B 传感器，在电脑上打开 pulse 软件，很直观的就可以看出来上下质体的振幅。

电压为 90V 气隙为 0.8mm 一个方向的板弹簧为 8mm，其余三个方向的板弹簧为 6mm。

(一)使用 76mm×38mm 小电磁铁，上质体的振幅如图 5.17:

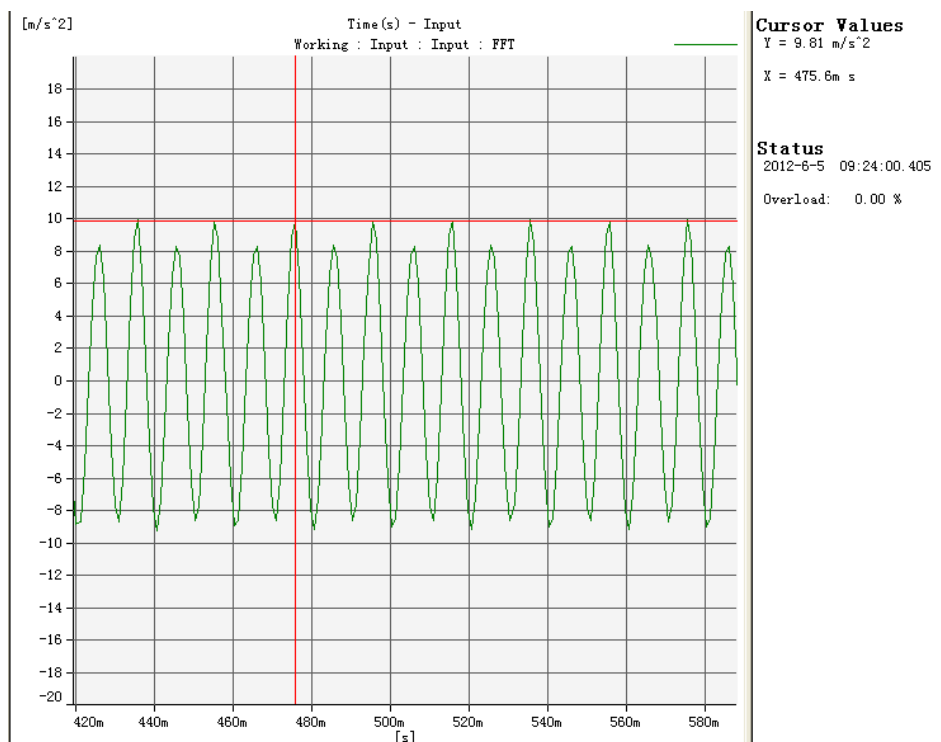


图 5.17 上质体振幅

得上质体振幅 $A=0.098\text{mm}$

下质体振幅如图 5.18:

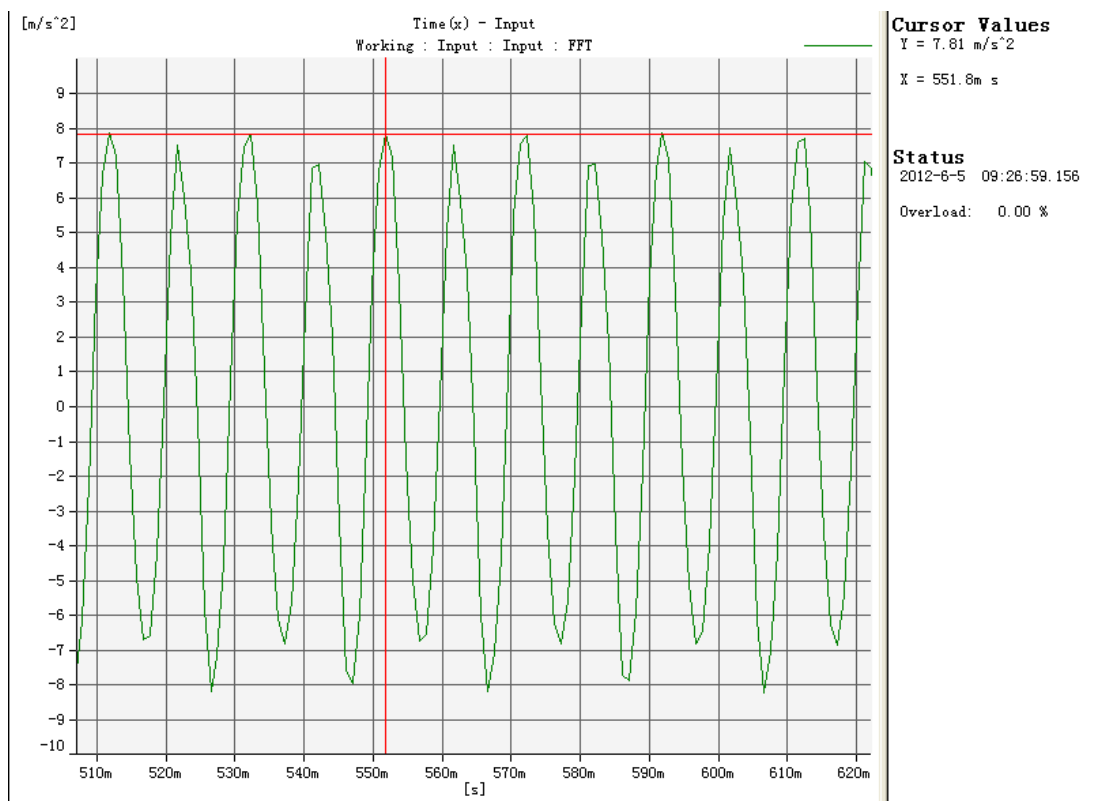


图 5.18 下质体振幅

得下质体振幅 $A=0.078\text{mm}$

(二)使用 96mm×40mm 大电磁铁，上质体的振幅如图 5.19:

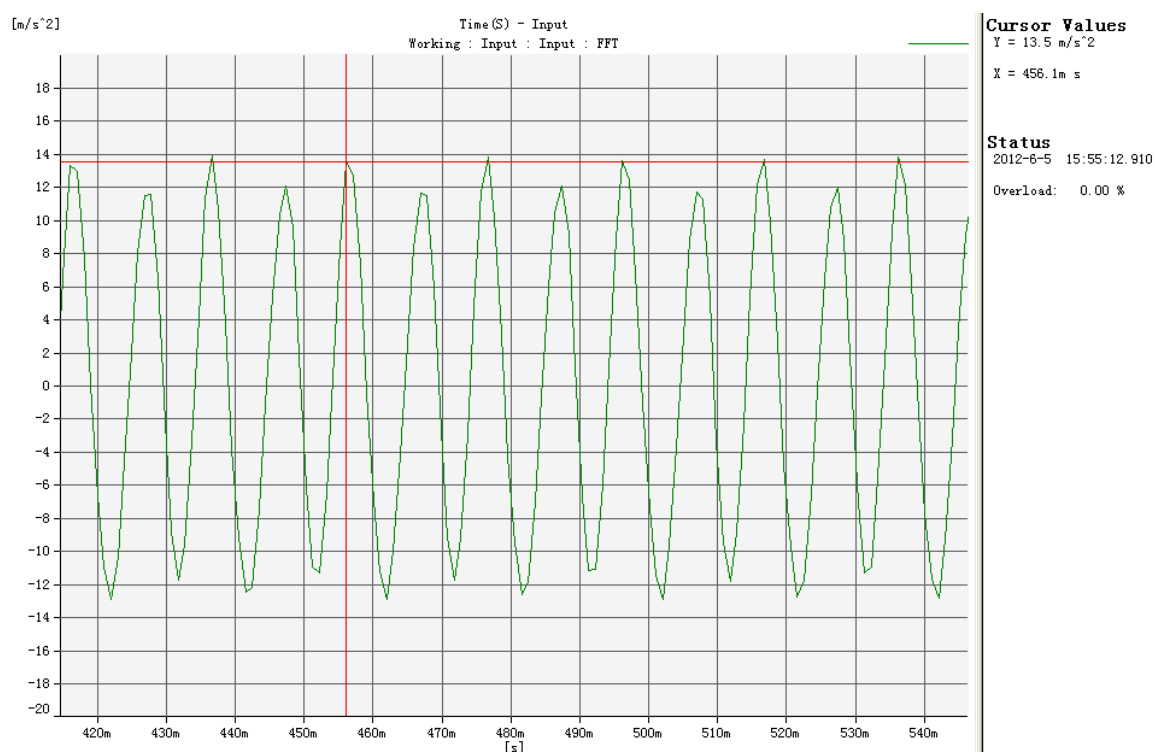


图 5.19 上质体振幅

得上质体振幅 $A=0.135\text{mm}$

下质体振幅如图 5.20 所示:

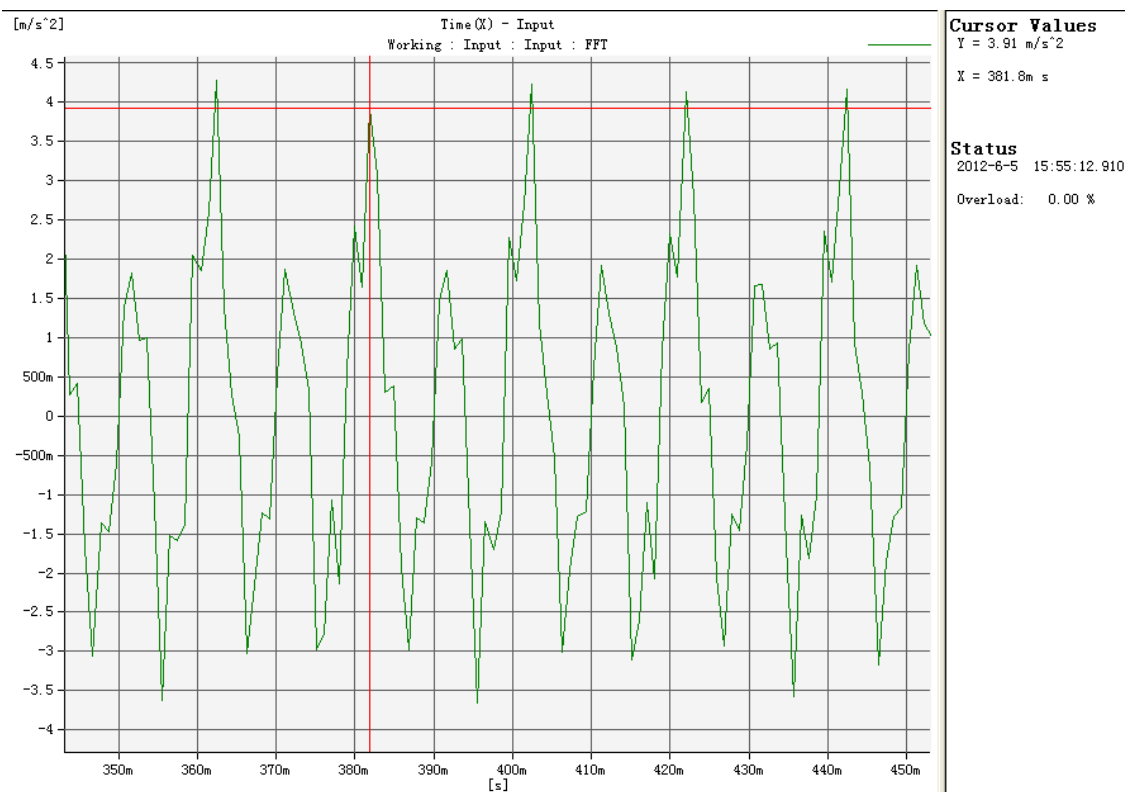


图 5.20 下质体振幅

得下质体振幅 $A=0.039\text{mm}$

整理上述数值，可得表 5.3：

表 5.3 使用不同电磁铁对振幅的影响

振幅	76mm×38mm 电磁铁	96mm×40mm 电磁铁
上质体振幅（mm）	0.098	0.135
下质体振幅（mm）	0.078	0.039

结论：使用不同电磁铁，由于匝数和电磁铁极面面积的不同，引起激振力的不同，导致了上下质体振幅的不同。

5.3 本章小结

综上所述，我们决定采用：

- (1)96mm×40mm 的电磁铁；
- (2)板弹簧其中一个方向为 8mm，其余 3 个方向为 6mm；
- (3)电磁铁气隙为 0.8mm；

可以使振动盘在较小的电压下获得更大激振力从而获得更大的振幅，使出料速度得到有效的提高，并且更节能。

第6章 振动盘的使用与维护

6.1 电磁振动给料机的使用

振动盘虽然运转安全、使用可靠、操作容易、维护简单，但实践表明，一旦出了故障，若不及时停机并予以排除，也会在短期内损坏。因此，操作人员和维护检修人员需要掌握振振动盘的性能，严格执行操作规程，作到及时维护，才能保证振动给料机长期正常运转。

1. 开机前注意事项

- （1）检查振动盘周围是否有影响振动的因素，一旦发现，应立即排除。
- （2）检查振动盘身状况是否正常：所有螺母是否紧固（弹簧紧固螺母尤为重要）；焊缝等有无破裂等等；振动盘是否放置水平。
- （3）检查各种控制装置的完整性、灵敏性和可靠性。
- （4）检查出料口和料盘内情况是否符合要求。

2. 开机时注意事项

- （1）启动是否正常，启动时电压调整旋钮应调至0档。
- （2）开机后有无不正常噪音和振动异常现象。
- （3）给料状态是否均匀、连续、松散、准确。

3. 运转时注意事项

- （1）观察振动是否正常。
- （2）观察给料是否稳定。
- （3）检查螺母有无松动，有无异常噪音。
- （4）检查电磁铁是否超过允许温升。
- （5）检查密封装置的密封效果，是否有溢料及塞料现象，是否影响振动。

4. 电磁振动给料机的使用

（1）接通电磁振动盘的转换开关，信号灯亮，电磁激振器接入电网，电磁振盘机启动后调节电压控制器，便可以调节给料量到需要值，并开始稳定工作。通常电位器在启动前都是在振幅最小甚至在零工位，然后逐渐增加到需要值，也可以直接在需要值工位启动，或在需要值工位停机。

新投产的电磁振动盘,工作一段时间后,应再次检查各个需要紧固的螺栓是否紧固。

(2) 向电子秤等定量给料时,可在电气控制线路上设计成以时间继电器控制先进行约 80%~95%的大流量粗给料,然后切换为小流量的精给料,直至达到需要值,发出信号指令,自动停机。这样可以做到既缩短给料时间,又保证给料精度。在定量精度要求不高的场合,振动给料机可以用作定量设备。

(3) 采用在料盘设置料位控制器控制电磁振动盘,在料空或假料空时停机,及时发出料空信号。

6.2 电磁振动盘的维护

1. 在电磁振动盘投入运转的第一周内,所有的紧固螺栓和压紧螺栓必须重新拧紧。若电源装置在工作期内有变化,则电磁铁与衔铁之间气隙需要重新调整。

在投入运转的第二周内,必须重复检查 2~3 次,以后则应定期进行周期性的重复检查。

2. 振动盘在运行中,铁芯与衔铁不得有碰撞,长期碰撞将会使铁芯、衔铁、线圈以及其他机件损坏。发现碰撞现象应及时调解电位器降低电流,直到不碰撞为止。如降低电流后,生产率达不到要求时,应检查原因采取相应措施,进行调整或调谐。

3. 在运行中,如发现噪声突然增大或有尖叫声;应检查铁芯是否发生碰撞,板弹簧是否断裂。在更换板弹簧时,所更换的新弹簧必须与原弹簧规格一致。

4. 振动器的密封盖板应盖好,尤其在输送铁磁性物料的场合,避免铁磁性物质或杂物堵住铁芯与衔铁的气隙,造成振幅降低。

5. 在运行中,不允许以超过运送物料的能力所需要的振动强度进行振动,以免造成机件的损坏。

6. 振动盘在无负荷状态下,不要使其长期以最大振幅运行。

第7章 总结

经过以上的分析和计算,确定了电磁振动盘的基本结构,电磁振动部分即电磁铁的尺寸,控制部分的选择的料盘的设计。最终根据设计图进行加工及制造。经调试完全可以按照既定的速度进行给料。

本电磁振动盘共分为6大部分:

1. 动力学参数的设计及计算:将电磁振动盘的结构简化为一个双自由度双质体的振动系统,建立力学模型,列出电磁振动给料机的振动微分方程,根据此振动微分方程计算出所需的激振力,激振力 $F=307\text{N}$ 。

2. 电磁学参数的设计与计算:根据激振力来选择电磁铁尺寸,按照上述的激振力,我们选择两块两种电磁铁:

A 型尺寸为 $96\text{mm}\times 40\text{mm}\times 65\text{mm}$;提供的吸力为: $F=276\text{N}$

B 型尺寸为 $76\text{mm}\times 38\text{mm}\times 50\text{mm}$;提供的吸力为: $F=525\text{N}$

3.电磁振动盘结构的设计:根据所要输送的物料,选择直径为 200mm ,三个料道的料盘,且有回料盒来防止输送速度过大导致物料从料道滑落。根据料盘的直径,确定底座直径为 210mm ,上座要比料盘略小为 190mm 。根据激振力,选择板弹簧的基本尺寸为 $120\text{mm}\times 20\text{mm}\times 2\text{mm}$,孔矩为 100,数量为 13 或 14 块。采用 3 个橡胶底座进行减震。

4. 电磁振动盘的加工及制造:底盘及上座采用铸造加工,料盘采用 2mm 厚钢板进行复杂焊接而成。2 种电磁铁,板弹簧及控制器均外购。

5. 组装,调试及实验:分别改变电磁铁,气息间隙,板弹簧数量,在料盘和地盘上分别黏贴传感器,使电磁振动盘工作,经过 pulse 软件的处理,可以直观的观察出上下质体的振幅及振幅比。将电磁振动盘调至不工作状态,将传感器黏贴到料盘表面,用激振锤敲击料盘,经过 pulse 软件处理,可以得到此系统的固有频率。

6. 最终方案的确定:根据实验的数据,得:

①使用 13 块板弹簧,其中一个方向为 4 块,另外 3 个方向为 3 块;

②A 型尺寸为 $96\text{mm}\times 40\text{mm}\times 65\text{mm}$ 的电磁铁;

③电磁铁气隙间隙为 0.8mm 。

在此条件下可以使振动盘在较小的电压下获得更大激振力从而获得更大的振幅，使出料速度得到有效的提高，并且更节能。

参考文献

1. 巩亚东, 原所先, 史家顺. 《机械制造技术基础》[M], 北京: 科学出版社, 2002.
2. 成大先. 《机械设计手册》[M], 北京: 化学工业出版社, 2010.
3. 蔡光起. 《机械制造技术基础》[M], 沈阳: 东北大学出版社, 2005.
4. 陈超祥, 叶修梓. 《Solid works 零件与装配体教程》[M], 北京: 机械工业出版社, 2008.
5. 万静, 许纪倩. 《机械制图》[M], 北京: 清华大学出版社, 2011.
6. 张秀艳, 黄英, 肖平阳. 《画法几何及机械制图》[M], 北京: 高等教育出版社 2006.
7. 电磁振动给料机编写组. 《电磁振动给料机》[M], 北京: 机械工业出版社, 1972.
8. 蔡国康. 《电磁铁》[M], 上海: 上海科学技术出版社, 1964.
9. 闻邦椿, 刘凤翹. 《振动机械的理论及应用》[M], 北京: 机械工业出版社, 1980.
10. 刘鸿文. 《材料力学》[M], 北京: 高等教育出版社, 2004.
11. 马星国. 《机械设计》[M], 北京: 科学出版社, 2006.
12. 《电磁振动给料机》[D], 沈阳: 沈阳理工大学, 2009, 36—39.

结束语

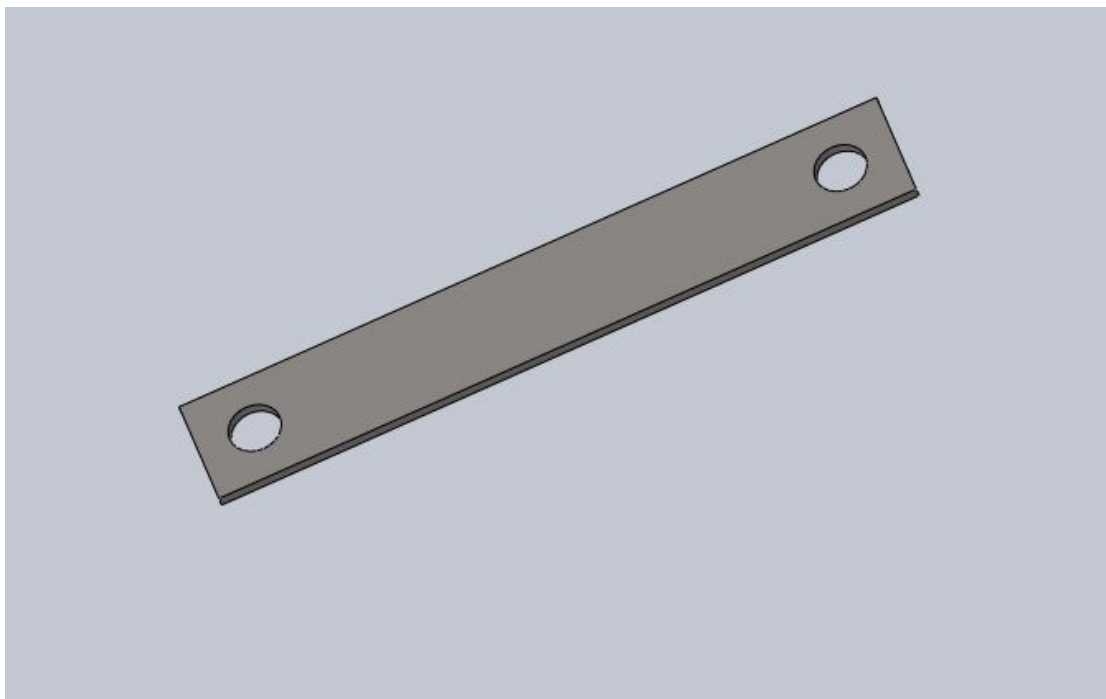
踉踉跄跄地忙碌了两个月，我的毕业设计课题也终将告一段落。通电运行，也基本达到预期的效果，虚荣的成就感在没人的时候也总会冒上心头。但由于能力和时间的关系，总是觉得有很多不尽人意的地方，譬如功能不全、外观粗糙……数不胜数。可是，我又会有点自恋式地安慰自己：做一件事情，不必过于在乎最终的结果，可贵的是过程中的收获。以此语言来安抚我尚没平复的心。

毕业设计，也许是我大学生涯交上的最后一个作业了。想籍次机会感谢四年以来给我帮助的所有老师、同学，你们的友谊是我人生的财富，是我生命中不可或缺的一部分。

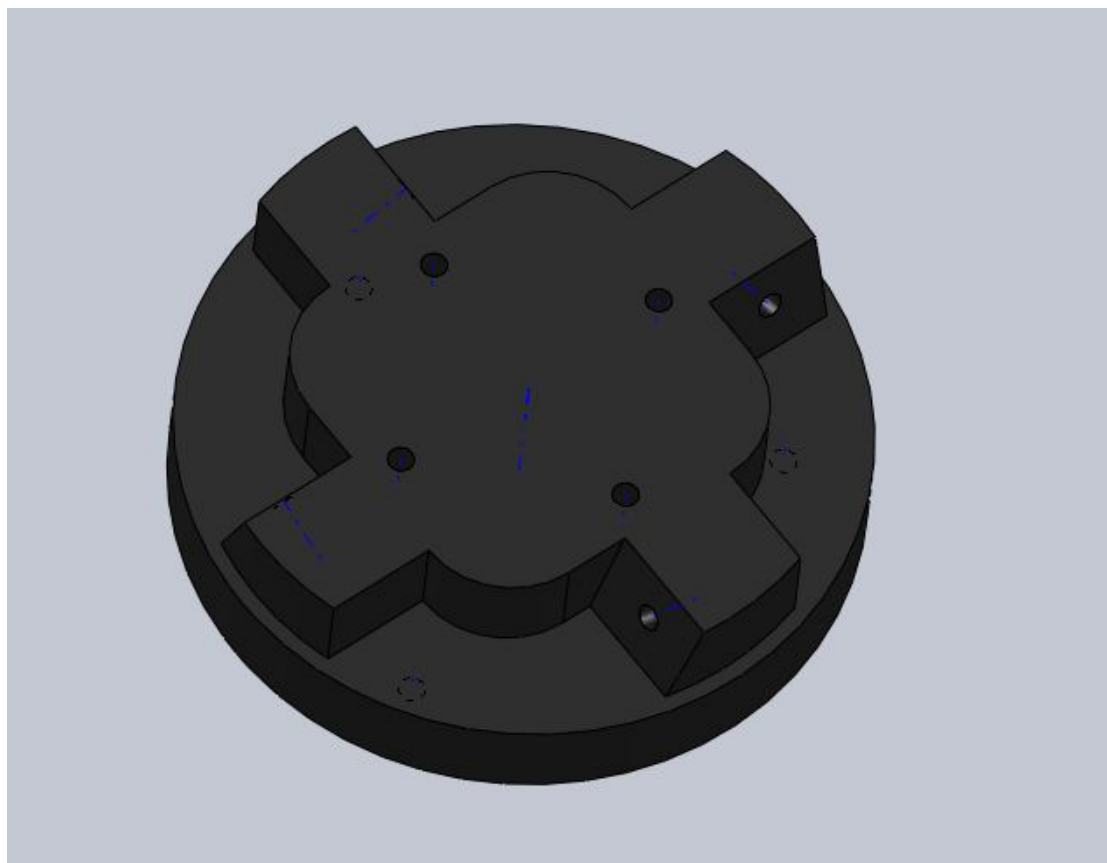
大学生活即将匆匆忙忙地过去，但我却能无悔地说：“我曾经来过。”大学四年，但它给我的影响却不能用时间来衡量，这四年以来，经历过的所有事，所有人，都将是我以后生活回味的一部分，是我为人处事的指南针。就要离开学校，走上工作的岗位了，这是我人生历程的又一个起点，在这里祝福大学里跟我风雨同舟的朋友们，一路走好，未来总会是绚烂缤纷。

附录 A

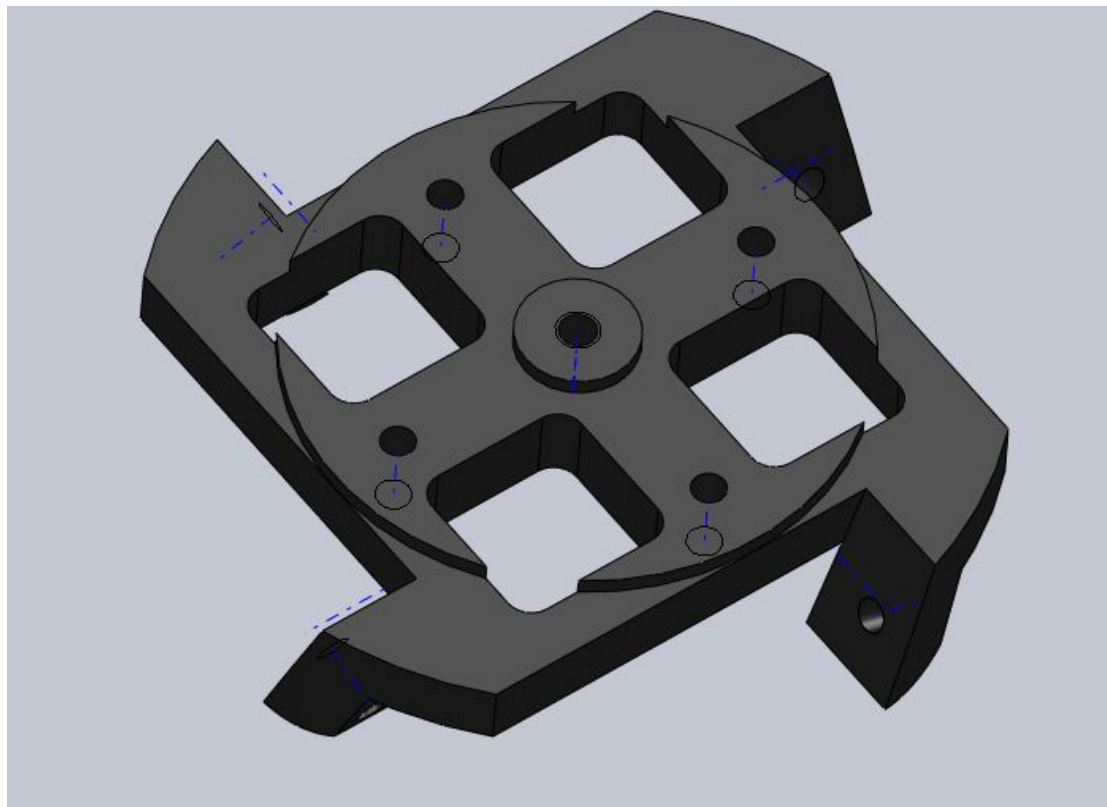
solidworks 软件绘制的电磁振动盘电磁振动部分零件三维实体如下



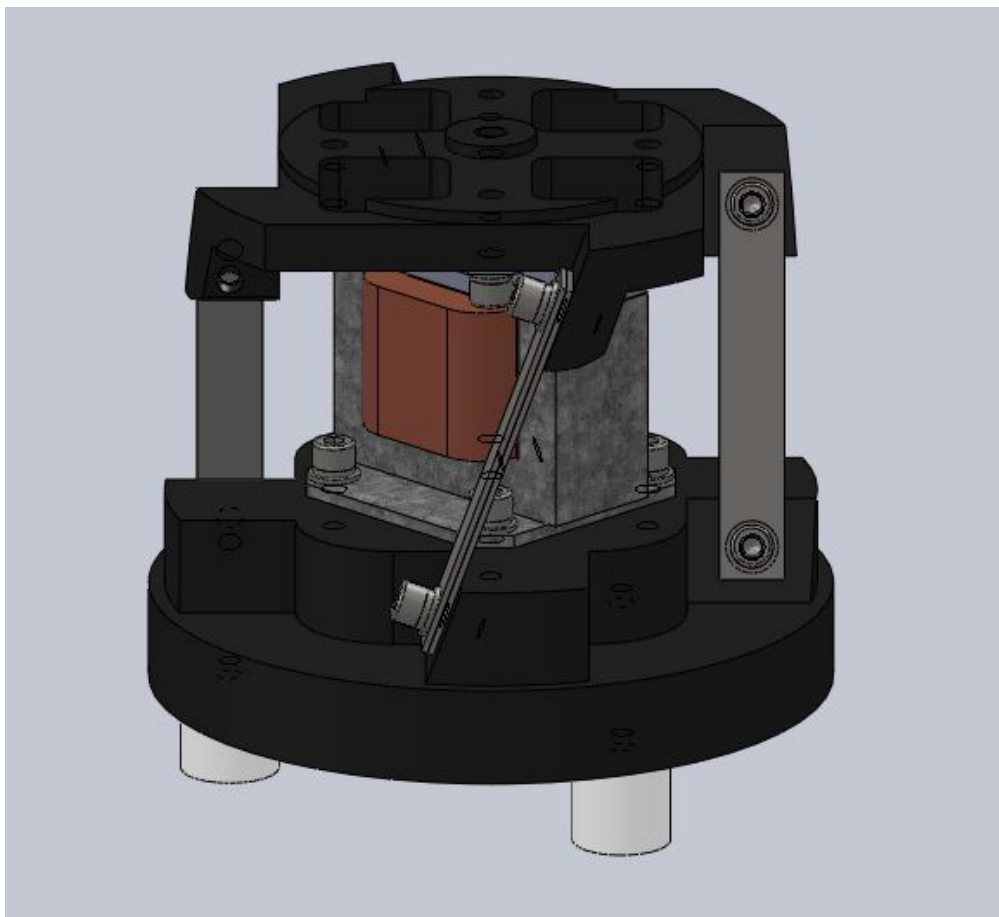
附录图 1：振动盘板弹簧



附录图 2 振动盘底座



附录图 3 振动盘上座



附录图 4 电磁振动盘振动电磁振动部分装配图



附录图 5 振动盘实物图



附录图 6 振动盘实物图



附录图 7 振动盘实物图

附录 B 外文资料翻译

Advanced Powder Technol., Vol. 7, No. 1, pp. 51-58 (1996)
© VSP and Society of Powder Technology, Japan 1996.

Original Paper

Precision dosing of powders by vibratory and screw feeders: an experimental study

GABRIEL I. TARDOS and QUINGYANG LU

Department of Chemical Engineering, The City College of the City University of New York, New York, NY 10031, USA

Received for *APT* 20 September 1995; accepted 21 October 1995

Abstract—The addition of small amounts of very precisely dosed powdery ingredients into bulk powders and/or liquid mixtures is important in such industrial operations as mixing, granulation and crystallization. The general practice is to use a screw, vibration or belt feeder combined with a loss by weight device and an appropriate controller. The present work concentrates on two vibratory feeders, one with and the other without vibration control, and a screw feeder which were used to feed a wide variety of powders. The main goal of the present work was to quantify the *goodness* of feeding, i.e. constant rate of powder flow as a function of time, using different powders with vastly different characteristics. It was found that both vibration feeders are generally well suited for precision feeding operations, yielding a more or less linear relationship between flow rate and vibration amplitude, especially for the larger sized materials. The feeder with vibration control proved to be somewhat more reliable, ensuring a much wider range of feed rate with a smaller variation in time. Both feeders exhibited somewhat larger variation in feed rate when used with the fine, more cohesive materials such as zeolite and cement powders. From the work with the screw feeder it was found that the presence of the vibrator on the hopper had a significant role in improving both the overall flow as well as the precision of feeding.

1. INTRODUCTION

Vibratory feeders are extensively used in industry for dosing of powder materials. These are relatively simple devices which are equipped with a conical hopper and an inclined, vibrated tray which delivers the material. Assuming that the powder freely discharges from the hopper, the flow rate is controlled by the amplitude of the vibration applied to the tray. In a more recent development, an automatic control loop attached to the tray was added to change the frequency of the applied electric power in order to keep the system close to resonance as the weight of the tray changes during operation; this was done in an effort to both reduce power consumption, improve controllability and keep the amplitude at a constant, set value. During the present program, both kinds of feeders were used to study feeding precision and repeatability.

The way in which a powdery material moves on a vibrated tray is known empirically for a long time but only recently have theoretical studies been undertaken to understand the process in a more fundamental way. A review of some recent studies in this field is presented by Pak and Behringer [1]; these authors show that a vibrated bed of powder behaves very much like a fluidized bed even to the point of producing bubbles under the appropriate conditions. Obviously, in a vibrated bed there is no gas 'blown' through the powder but, as shown by the above authors, gas is entrapped by the 'saltation' of the particles and gives the bed the appearance of fluidization. Recent measurements by Warr *et al.* [2] showed that particles flow and roll on the tray in a similar fashion as in a fluidized bed or in a pneumatic conveying line. The main conclusion from these studies is that as long as the vibration induced particle motion traps enough gas between the granular layer

and the wall so as to create a 'fluidized' bed, flow of the powder will resemble a solid-gas two-phase system [3]. Pak and Behringer [1] also found that 'bubbling' of the vibrated layer starts at a well defined value of a dimensionless number, $\Gamma = A\omega^2/g$, where A is the amplitude, ω is the frequency and g is the acceleration of gravity. In view of this new knowledge, the addition of the control loop to maintain near resonance conditions on the tray is a useful step in the direction to insure uniform two-phase flow during feeding by providing a large enough value of the dimensionless parameter Γ under all varying conditions.

While a study of the theory of forward motion of granular material on a vibrating surface is beyond the scope of the present study, experiments were performed to observe particle motion and measure the flow rate of the material as a function of many variables such as vibration amplitude and frequency, particle size and size distribution, particle shape, and material density. In the present paper these later results are reported in some detail, leaving the more fundamental study for a future effort.

2. APPARATUS AND PROCEDURE

A picture of the experimental set-up is given in Fig. 1. The feeder discharges material into a container situated on a precision balance connected to a computer (PC, not shown). A special program was written in Basic to acquire weight gain of the container as a function of time and a set of data for the case of a fine sand is shown in Fig. 2; different curves were obtained for different amplitudes of vibration. The flow rate was obtained subsequently by taking the local slope of the experimental curve shown in Fig. 2 while the standard deviation, σ , of these values around the local average was calculated using the equation [4]:

$$\sigma = [\sum(X_i - \bar{X})^2/(n - 1)]^{1/2} \quad \text{for } i = 1, \dots, n \quad (1)$$

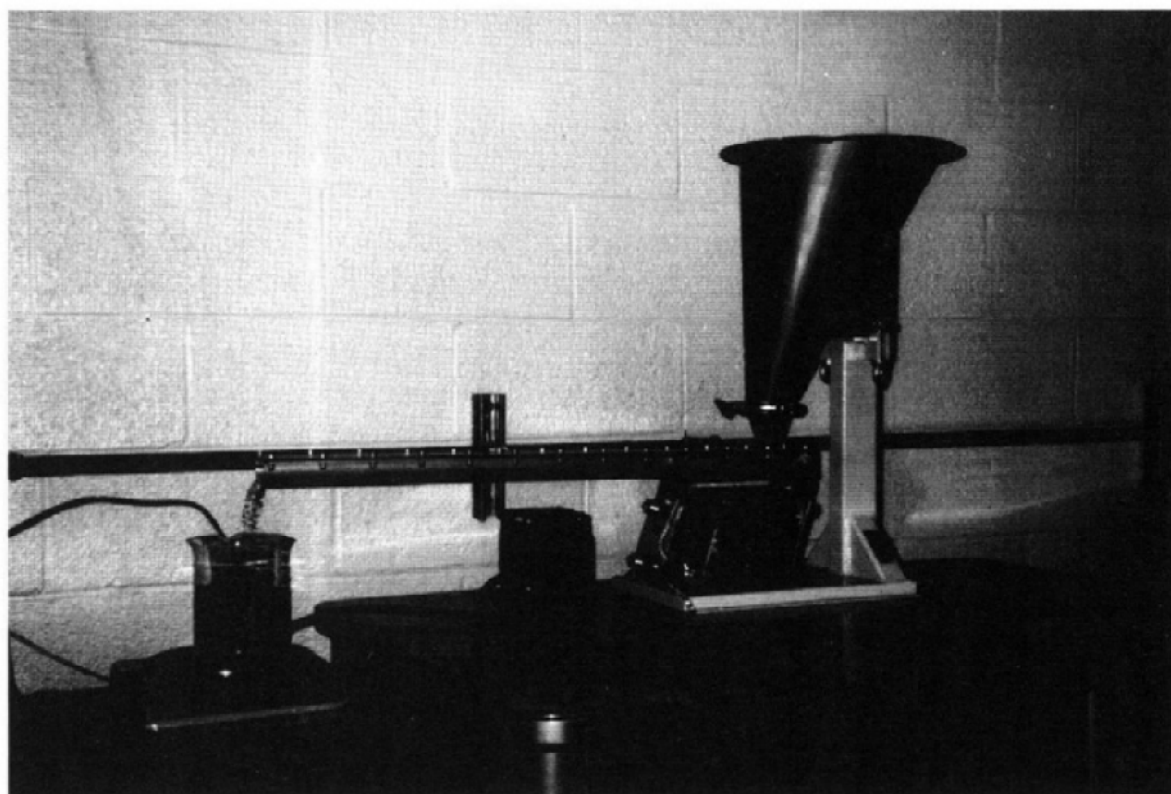


Figure 1. Picture of experimental set-up.

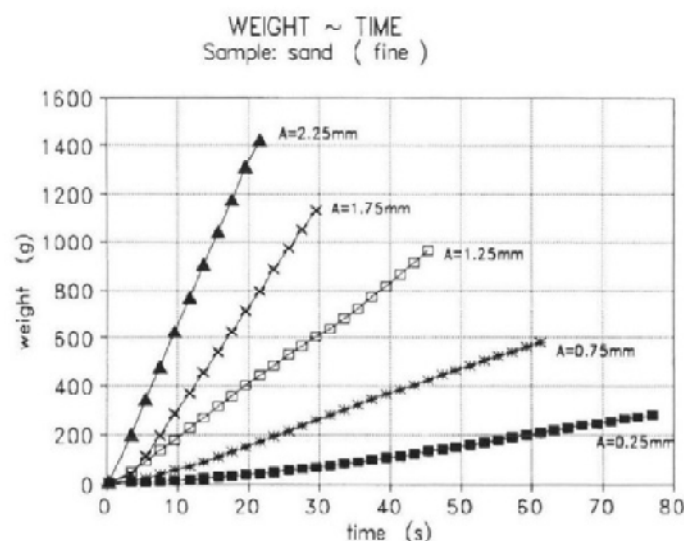


Figure 2. Weight versus time for different amplitudes.

where n is the total number of measurements, X_i is the value of a measurement and \bar{X} is the average value.

Different powders used during the experimental program are characterized in Table 1. The size distribution of the finer sized materials such as fine sand, zeolite and cement was obtained using a Malvern Laser Particle Size Analyzer and both, the Rosin–Rammler (RR) as well as the Gaudin–Schuhmann (GS) coefficients are given in Table 1. The equations used for these distributions are also given in Table 1; here C is the cumulative distribution

Table 1.
Size distribution of powder samples

	Rosin–Rammler		Gaudin–Schuhmann	
Sample	d_{63}	m	X_{\max}	n
Sand				
fine	565 μm	1.144	1190 μm	0.866
coarse ^a	$a_{\text{avg}} = 1990 \mu\text{m}$		$a_{\text{max}} = 2380 \mu\text{m}$	
Seed ^b		$w \times l = 1 \times 4 \text{ (mm)}$		
Fiber-glass ^b		$w \times l = 0.5 \times 5 \text{ (mm)}$		
Zeolite	6.23 μm	3.504	25.65 μm	1.903
Cement	143.45 μm	1.837	428.5 μm	3.78

Gaudin–Schuhmann distribution: $C(X) = (X/X_{max})^n$, where X is the particle diameter.
Rosin–Rammler distribution: $C(d) = 1 - \exp[-(d/d_{63})^m]$, where d is the particle diameter.

^a Irregular shape.

^b w is the width of particle, l is the length of particle.



Table 2.
Bulk density of sample materials

Sample	Bulk density ρ (g/cm ³)
Sand	
fine	1.568
coarse	1.518
Seed	0.363
Fiber-glass	0.734
Cement	1.384
Zeolite	0.361

and $R(d)$ is the residue, m and n are the indexes of the RR and the GS distributions, respectively, while d_{63} is the diameter below which 63% of all particles are situated (X and d are particle diameters for the two distributions). The coarse sand (small stones), grass seed and fiber-glass chips were measured by hand using a micrometer, and some characteristic dimensions are shown in the table; w and ℓ are the width and the length of the particles, respectively. Bulk densities of all powders used during this study are given in Table 2.

The procedure to evaluate dosing characteristics of a feeder were described in detail by Johnson [4] and will not be repeated here. It essentially consists of measuring the flow rate of the powder at different amplitudes of vibration and the evaluation of the standard deviation according to (1). All results in this paper are presented as volumetric flow rate versus fraction of maximum amplitude; the absolute maximum amplitude was measured for each feeder and found to be approximately 2.5 mm.

Two feeders were tested: a Vibra-flow feeder manufactured by Syntron (Homer City, PA) and another with frequency control manufacture by ARBO Engineering, (North York, Ontario, Canada). The Syntron feeder was equipped with an additional vibro-mechanism mounted on the hopper while the ARBO feeder did not have such an attachment. The two feeders were equipped with conical hoppers of nearly the same size (large diameter 350 mm, small diameter 38 mm and a height of 580 mm) while the tray in the first case was 400 mm and in the second 700 mm long. The shape of the tray was almost rectangular 50 mm wide for the Syntron feeder and semicircular for the ARBO device of 50 mm in diameter. The screw feeder used during this study was a BIF device with adjustable screw velocity and with a vibrational device mounted on the hopper. The hopper of the screw feeder was rectangular in shape, 400 × 300 × 300 mm with a wedged shape discharge inclined at 60° from the horizontal. The feeder was equipped with a spiral screw of 51 mm in diameter with a rotation rate of approximately 10 r.p.m.

As mentioned earlier, no control loop was employed with either feeder and instead the uniformness of feeding of each device at constant vibration rate was studied as a function of time. For the screw feeder, all measurements were performed at a constant rate of screw rotation (10 r.p.m.), varying, however, the amplitude of the vibrator mounted on the hopper. Additional experiments are in progress with constant amplitude and varying rotational speed of the screw, but these results are not presented here.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Manufacturers of vibrational feeders seem to believe that the feed rate in this kind of device is directly proportional to the vibration amplitude. Results obtained during this work show that this is true for only a few materials and that, in general, two regions of linearity exist:

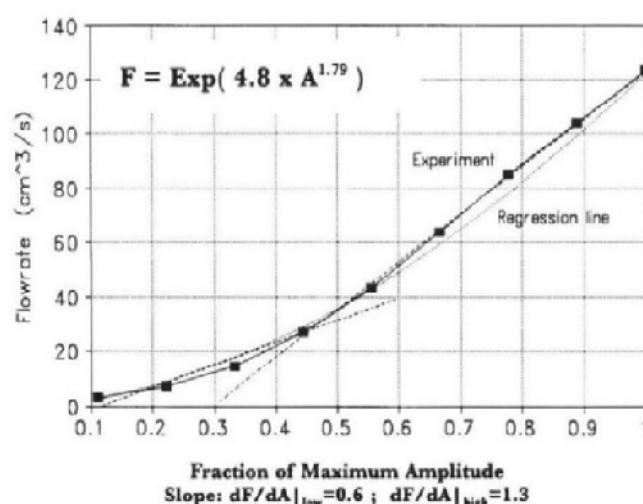


Figure 3. Flow rate versus amplitude for fine sand ARBO feeder. Maximum amplitude 2.5 mm.

one at low and another at high flow rates. A typical result of flow rate versus *fractional amplitude* (actual amplitude divided by the maximum amplitude of 2.5 mm) for the ARBO feeder for the case of fine sand, is given in Fig. 3. The data was fitted by a least-squares method (the function is given on the figure as $F = \exp[4.8 \times A^{1.79}]$, where F is the flow rate) and by two linear regressions at *low and high flow rates*, respectively. The slopes of the two fitted lines are also given as $dF/dA|_{\text{low}} = 0.6$ and $dF/dA|_{\text{high}} = 1.3$.

Standard deviations for the above feeder as a function of volumetric flow rate, again for the case of fine sand, are given in Fig. 4. Data from Fig. 4 has to be read in the following way: a standard deviation of $\sigma = 2$ at a flow rate of $80 \text{ cm}^3/\text{s}$, for example, means that at this average flow rate, 68% of all measurements will fall between the values of $78\text{--}82 \text{ cm}^3/\text{s}$ (80 ± 2), 95.5% of measured values will fall between 76 and $84 \text{ cm}^3/\text{s}$, 99.7% will fall between 74 and $86 \text{ cm}^3/\text{s}$, and so on.

Similar experiments were performed with all powders and both feeders, and results are given in Tables 3 and 4. In Table 3, the slopes of the flow rate versus amplitude curves

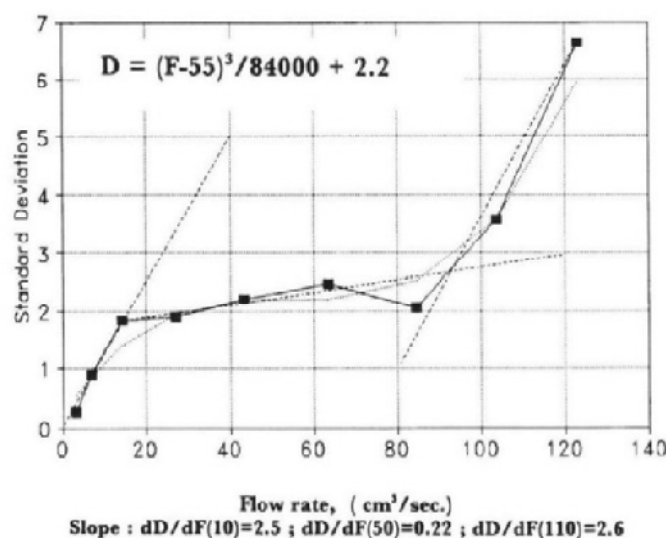


Figure 4. Standard deviation versus flow rate for fine sand—ARBO feeder.

Table 3.
Flow rate versus amplitude data for powder samples

Material	Feeder			
	SYNTRON	#	ARBO	#
Sand				
fine	0.18 ^a 1.9 ^b	84.3	0.6 1.3	123.1
coarse	0.44 1.5	80.5	0.19 2.9	122.7
Seed	1.1	57.9	1.4	80.6
Fiber-glass	0.33 1.3	19.4	0.91	388.8
Cement	1.2	4.64	0.19 1.1	101.7
Zeolite	0.33 1.6	23.9	2.4 0.18 3.0	315.2

= Maximum flow rate (cm³/s).

^a dF/dA at low amplitude (less than 30–40%).

^b dF/dA at high amplitude (above 40%).

are given; one value per powder is an indication that the feed rate was found to be directly proportional to the amplitude, while two values indicate, as explained above, that two linear curves were fitted to the data at low and at high flow rates. In order to make the data presentation somewhat easier, the slopes in Table 3 are given in relative units, i.e. actual flow rates divided by the maximum flow rate obtained at the highest relative amplitude. These maximum values are also given in the third column for each feeder (denoted with the symbol #): to obtain a specific feed rate, one has to multiply the relative frequency with the given value of the slope in the table and with the maximum feed rate. When two values of the slope are shown, the first value should be used for between 30 and 40% of the maximum relative amplitude while the second value for larger flow rates. Since all data were fitted with appropriate functions by the least-squares method, such as, for example, those shown in Fig. 3, interested parties should contact the authors for more detailed information concerning each material.

It was also found that it is quite difficult to feed zeolite with the ARBO feeder and for this case three linear regressions were necessary to fit the data. It is likely, however, that this difficulty is due to the fact that this machine did not have a vibro-mechanism attached to the hopper and therefore the feed rate was determined by the inability of the powder to flow out of the hopper and was not due to a deficiency of the feeding system.

Table 4.
Relative standard deviation data versus flow rate

Material	Feeder			
	SYNTRON		ARBO	
Sand				
fine	0.14	0.24	0.11	0.046
coarse	0.12	0.28	0.1	0.022
Seed	0.017		0.007	
Fiber-glass	0.13		0.018	
Cement	0.18		0.2	
Zeolite	0.026	0.04	0.018	

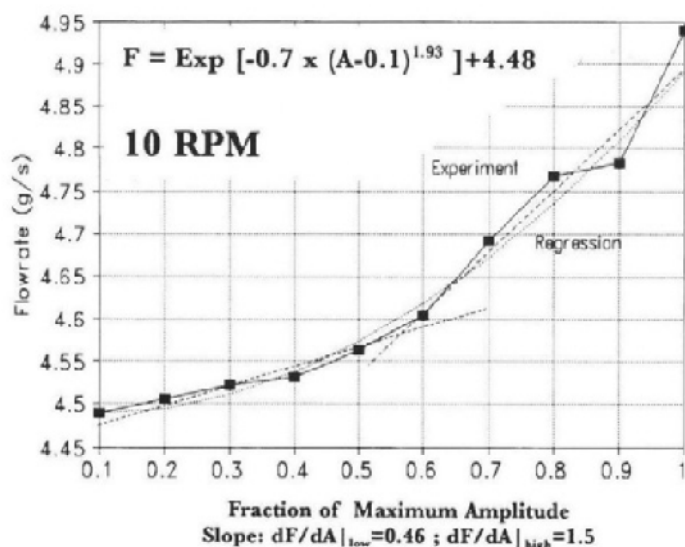


Figure 5. Flow rate versus amplitude for fine sand screw feeder. Maximum amplitude 1 mm.

In Table 4, values of the average relative standard deviation (standard deviation divided by the average flow rate, σ/X') are given for all powders and both feeders. A single value of the relative standard deviation indicates a linear dependency on the flow rate and hence absolute values can be obtained by multiplying this number by the actual flow rate. For the case when two or more values are shown, the value to the left is for low flow rates, up to about 30–40% of the maximum, while the other values should be used for larger flow rates. Clearly, larger values of this coefficient indicate larger variations in feed rate.

Figures 5 and 6 and Table 5 show similar results obtained with the screw feeder; Fig. 5 gives the flow rate versus the relative maximum amplitude (measured as being 1 mm), while Fig. 6 gives the standard deviation versus the relative amplitude for the case of fine sand. One has to note that, as mentioned above, these results were obtained using a constant rotation rate of the screw (10 r.p.m.) and hence represent the influence of the

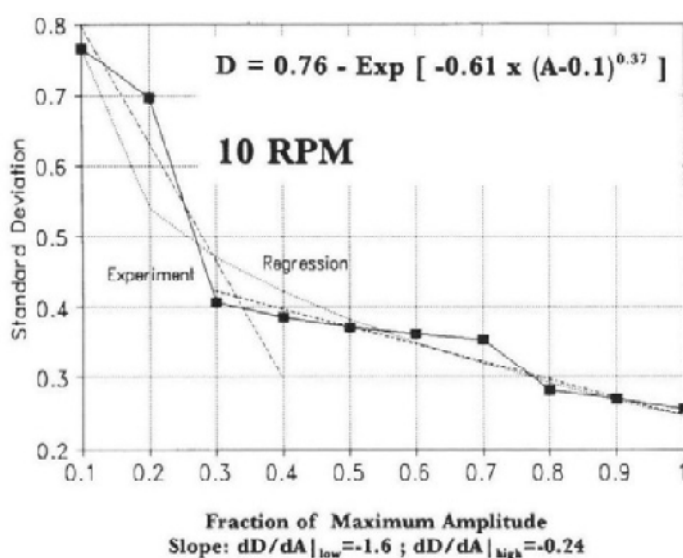


Figure 6. Standard deviation versus amplitude for fine sand screw feeder. Maximum amplitude 1 mm.

Table 5.
Flow rate and relative standard deviation data for screw feeder

Material	Flow rate vs. amplitude		Range ^a	SD vs. amplitude		
Sand						
fine	0.47 ^b	1.5 ^c	4.45–4.95	–1.7 ^d	–0.24 ^e	
coarse	0.044	7.4	4.55–5	–0.18	–1.3	
Seed	0.31	1.4	1.05–1.25		–0.19	
Fiber-glass	0.049	0.29	2.3–2.65	–0.11	–1.0	–0.14

^a Range of flow rates studied.

^b dF/dA at low amplitude (less than 30–40%).

^c dF/dA at high amplitude (above 40%).

^d dD/dA at low amplitude (less than 30–40%).

^e dD/dA at high amplitude (above 40%).

vibrator mounted on the hopper on the goodness of flow. One can see that the flow rate increases and the standard deviation decreases as the amplitude of vibration is increased. Again, the slopes of the fitted linear regression lines are given on the figures and also reproduced in Table 5; in the same table, results for other powders are also given and, as seen, the slopes of the standard deviation are negative, indicating that flow characteristics improve at higher amplitudes. The cohesive, fine powders, cement and zeolite could not be fed with the screw feeder and hence these results are not given.

4. CONCLUSIONS

It was found during this experimental study that vibratory feeders are well suited for precision dosing of a variety of powders provided that material is allowed to flow freely out from the conical hopper. Different granular materials with different properties are fed at different rates and with different precision by the same device depending on such properties as cohesiveness, particle size and shape, and density.

From previous theoretical work on vibrated beds [1–3] it was concluded that the key to uniform feeding is to entrap appropriate amounts of air in the vibrated layer and hence to impart ‘uniformness’ to the fed material; this conclusion was borne out by the above findings. The feeder equipped with frequency control yielded both a better precision or lower standard deviation as well as a higher span in feed rates (sometimes an order of magnitude higher), especially for non-cohesive materials. Regarding the screw feeder, both precision and flow rate enhancement was obtained at higher amplitude of the vibrator (mounted on the hopper) at constant rotation rates of the screw.

Acknowledgements

The authors wish to thank ARBO Engineering, North York, Canada, for lending the Feeder to CCNY for the duration of this study.

REFERENCES

1. H. K. Pak and P. R. Behringer, Bubbling in vertically vibrated granular materials. *Nature* **371**, 15 September, 1994.
2. S. Warr, G. T. H. Jacques and J. M. Huntley, Tracking the translational and rotational motion of granular particles. *Powder Technol.* **81**, 41–56, 1994.
3. H. M. Jaeger and S. R. Nagel, Physics of the granular state. *Science* **255**, 1523, 1992.
4. N. R. Jonson, How to test your gravimetric feeder’s performance. *Powder Bulk Eng.* **7**, December, 1993.

对高对精度粉末物料振动给料和螺旋给料机的 实验研究

GABRIEL I.TARDOS and QUINGYANG LU

化工系, 纽约大学城市学院, 纽约, NY10031, USA

摘要-少量的需要非常精确控制计量的粉末状配料变成散装的粉末和液体混合物在工业经营中最重要的步骤是搅拌, 造粒和结晶。一般的做法是使用一个螺旋振动或皮带给料机, 结合重型设备和适当的控制器。目前的工作集中在两个给料机上, 一个有振动控制, 另外一个没有。和一个用于供给各种粉末的螺旋给料机。目前的工作主要目标是更完美的送料, 粉流的恒定速率为时间的函数。使用各种不同的类型的粉末。发现共同振动给料机一般适合精密的送料操作。流量和振幅之间产生了或多或少的线性关系, 特别是针对较大尺寸的材料, 这个给料机的振动控制被证明是比较可靠的, 确保在较小的时间变化内, 有更大范围的进给速度。当使用更细更紧密结合的材料如沸石和水泥粉末时, 给料机的进给速度变化有些大。在提高整体流量和进给精度时, 螺旋振动给料机有明显的作用。

1. 介绍

振动给料机广泛应用于在工业生产中工业粉状物料的投加, 这些相对简单的得设备是有一个锥形料斗和倾斜的振动盘来上料地设备。如果粉末从料斗自由的排出, 流率受振动盘振动幅度的控制。在最近的发展, 自动控制回路附加到料盘上改变施加的电压, 以保持系统在运行过程中料盘的重量接近共振频率。这样做是在努力的降低功耗, 提高可控性, 并保持在一个恒定的, 被设定的幅度。在目前的方案, 被用来研究两种给料机给料的精度和可重复性。

粉状物料在在振动托盘中的移动方式在很长一段时间内是凭经验来了解的, 但是在最近通过理论研究有一个更基础的了解。回顾在这一领域最近的一些研究, Pakand Behringe 提出, 这些作者指出这种粉末状物料振动床的运转很像流化床, 甚至在相应的情况下产生气泡。

显然, 没有空气通过振动机床“吹向”粉状物料, 但是上述作者表示, 气体是被“跳跃的”粒子带入的, 从而使床身流态化。最近的测量是由 Warret.al 来完成的, 指出粒子流在料盘上的流动方式和流化床或在气力输送中的粒子的流动方式时类似的。从

这些研究中得出的主要结论，只要振动能够引起粒子运动，在颗粒层和颗粒壁捕捉到足够的气体，从而创造“流化”床，粉末流将类似于固气两相体系。Pak 和 Behringer 还发现“冒泡”的振动层是以一个被定义的无量纲常熟开始的。 $\Gamma = A\omega^2/g$, 振幅表示

为 A, 频率表示为 ω , 重力加速度表示为 g。在这个新的领域当中，除了控制环路附近的共振条件，保持托盘上是一个有用的指导送料过程中的步骤，以确保均匀两相流 Γ 下都提供足够的无量纲参数值大不同的条件。虽然颗粒状物料在振动表面上向前运动的理论研究是在本研究的范畴之外，在实验进行中观察粒子的运动和量度材料的流量等很多变量的函数，如振幅和频率，粒径和粒度分布，粒子的形状和材料的密度。在论文报告中这些结论会在后文进行详细的解答，为今后的基础研究提供了方向。

2. 装置和程序

实验装置的示意图在图 1 中给出，这个这个振动给料机将物料输送到一个精确平衡且与电脑相连的容器中（电脑在图中未画出）。有一个特殊的程序是用来表示容器重量的增加和时间的函数关系如图 2 所示；不同的曲线获得了不同的振幅。在图 2 中的实验斜线的斜率可以得出物料的流速，然而标准偏差， σ ，这些局部的平均值会带入到方程式中，“n”是测量的总数， X_i 是测量值， X' 是平均值。

$$\sigma = \left[\sum (X_i - X')^2 / (n - 1) \right]^{1/2} \quad i=1, \dots, n \quad (1)$$

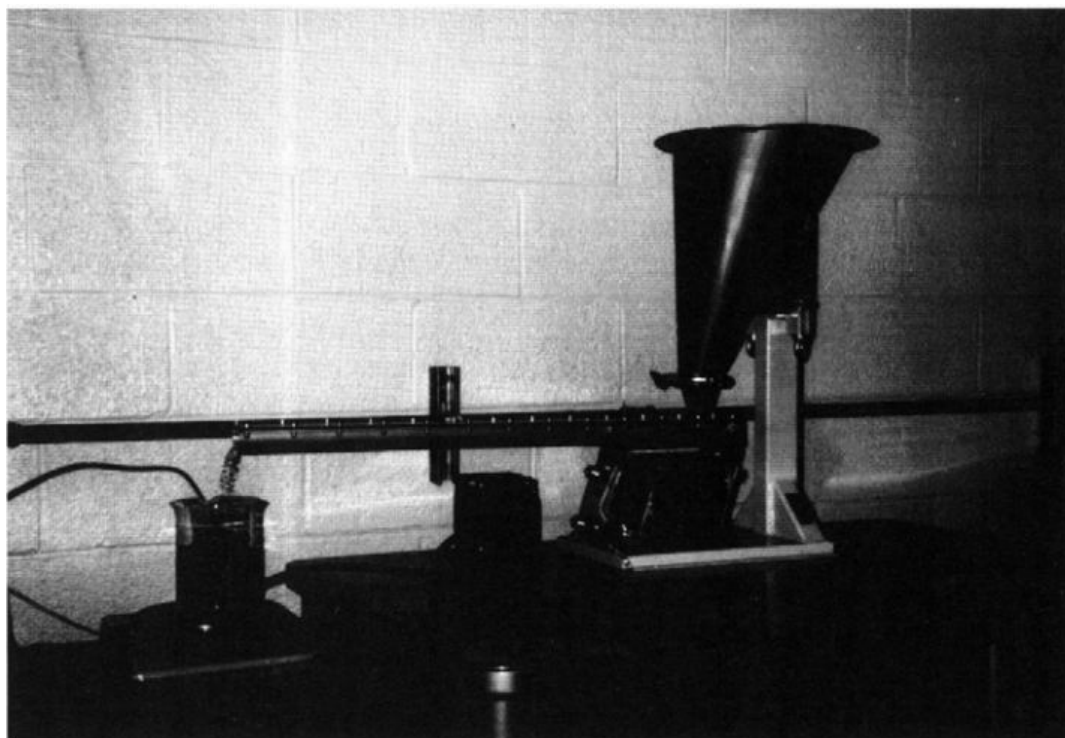


Figure 1. Picture of experimental set-up.

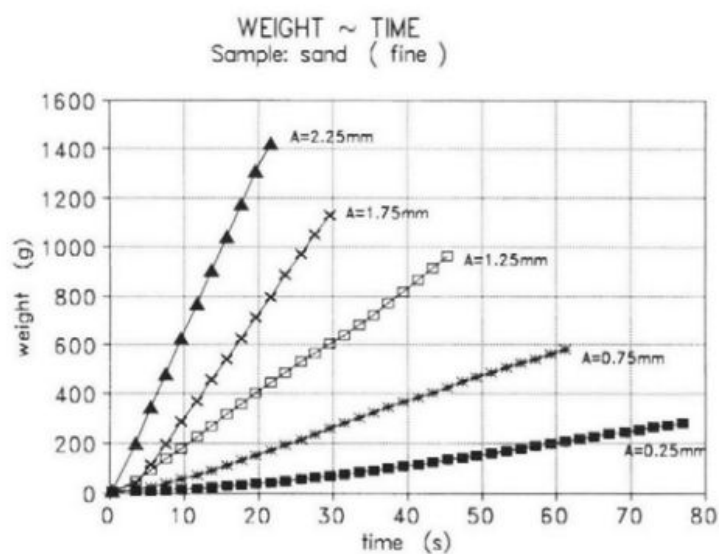


Figure 2. Weight versus time for different amplitudes.

在实验方案中使用不同的粉末特征见表 1。材料的型号，如细砂, 水泥, 沸石的更精细的粒度分布, 用马尔文激光粒度分析仪和, Rosin-Rammler(RR)以及 Gaudin-Schuhmann (GS) 系数都在表 1 中给出。用于这些计算的得方程式也列在表 1 中。在这里 C 是积

Table 1.
Size distribution of powder samples

Sample	Rosin-Rammler		Gaudin-Schuhmann	
	d_{63}	m	X_{\max}	n
Sand				
fine	565 μm	1.144	1190 μm	0.866
coarse ^a	$a_{\text{avg}} = 1990 \mu\text{m}$		$a_{\text{max}} = 2380 \mu\text{m}$	
Seed ^b		$w \times l = 1 \times 4 \text{ (mm)}$		
Fiber-glass ^b		$w \times l = 0.5 \times 5 \text{ (mm)}$		
Zeolite	6.23 μm	3.504	25.65 μm	1.903
Cement	143.45 μm	1.837	428.5 μm	3.78

Gaudin-Schuhmann distribution: $C(X) = (X/X_{\max})^n$, where X is the particle diameter.
Rosin-Rammler distribution: $C(d) = 1 - R(d) = 1 - \exp[-(d/d_{63})^m]$, where d is the particle diameter.

^a Irregular shape.

^b w is the width of particle, l is the length of particle.



Table 2.
Bulk density of sample materials

Sample	Bulk density ρ (g/cm^3)
Sand	
fine	1.568
coarse	1.518
Seed	0.363
Fiber-glass	0.734
Cement	1.384
Zeolite	0.361

累分布， $R(d)$ 是残渣， m 和 n 是 RR 和 GS 的分配标准，各自的，而 d_{63} 是直径低于所有粒子直径 63% 的总和，用千分尺测量的粗砂（小石头），草籽，玻璃纤维做的芯片数值，和一些在表中所示的特征尺寸， w 和 l 所示为粒子的宽度和长度。在这项研究中使用的粉末体积和密度在表 2 中给出。这个由约翰逊编写的程序详对给料机剂量特征的评估进行了详细的阐述，这里不再重复。它实质上是由测量粉末的流量在不同幅度下的振动，并根据（1）标准差所作出的评估。本文中所有的结果都是为体积流

量与最大振幅的比值;发现每个给料机的最大绝对振幅为 2.5mm。

对两种给料机进行测试:其中之一为 Syntron 制造的振动流给料机,另一种的频率控制器为 ARBO 制造。Syntron 的给料机在料斗上配备了一个额外的振动振动机械装置,而 ARBO 的设备却没有这样一个附件。两种振动给料配备了几乎同样大小的锥形料斗(大直径 350 毫米,小直径 38mm 高度为 580 毫米)而第一个托盘为长为 400 毫米,第二个托盘为 700 毫米长。Syntron 给料机的托盘的形状近似为变长为 50mm 的正方形,ARBO 的料盘为一个直径 50mm 的半圆形。在这项研究中使用的螺旋给料机是一个拥有可调螺杆速度的 BIF 装置和并且在料斗上安装有振动设备。螺旋给料机的料斗为长方形,是 400X300X300 mm,有一个楔形,边框与地面呈 60°。给料机上装配了一个旋转速度约为 10. r. p. m 直径为 51mm 丝杠。

如前所述,给料机是没有装配有控制回路的,相反的,每个设备的进料是不均匀的,被随着时间而改变的振动频率影响的。关于这个螺旋给料机所有的测量是在丝杠以固定速率运行且安装在料斗的振动机的振幅的变化来进行的。附加的实验为恒定的振幅和变化的丝杠速度,但这里就不介绍这些结果了。

3. 结果与讨论

振动送料器制造商似乎认为,在这种设备的进给速度与振动幅度成正比。结果表明,在此工作条件下只有少数材料在一般情况下存在两个线性区域:一个是低速另一个是高速的。

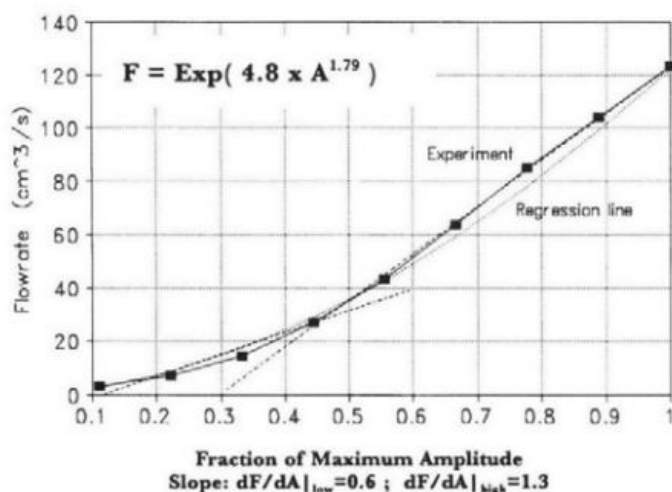


Figure 3. Flow rate versus amplitude for fine sand ARBO feeder. Maximum amplitude 2.5 mm.

一个典型的结果, ARBO 给料机速度与振幅的比值的图表在图 3 中给出。用最小二乘法将数据拟合(是用此函数 $F = \exp[4.8 \times A^{1.79}]$, F 为流速), 线性回归一个为高流速另一

个为低流速。两个拟合曲线的斜率的为 $dF/dA_{low} = 0.6$ 和 $dF/dA_{high} = 1.3$ 。

上述给料机的标准偏差是容积流量的函数，如图 4 中所示。用如下的方法从图 4 中得到信息：标准差为 $\sigma \sim 2$ 在 $80\text{cm}^3/\text{流量速率}$ 下，例如，也就是说，在这个平均流速，68% 的所有测量值属于的 $78\text{--}82$ 立方厘米/秒 (80 ± 2)，95.5% 的测量值将属于 76 和 84 立方厘米/秒之间的，99.7% 的测量值属于 74 和 86 立方厘米/秒之间的，等等。

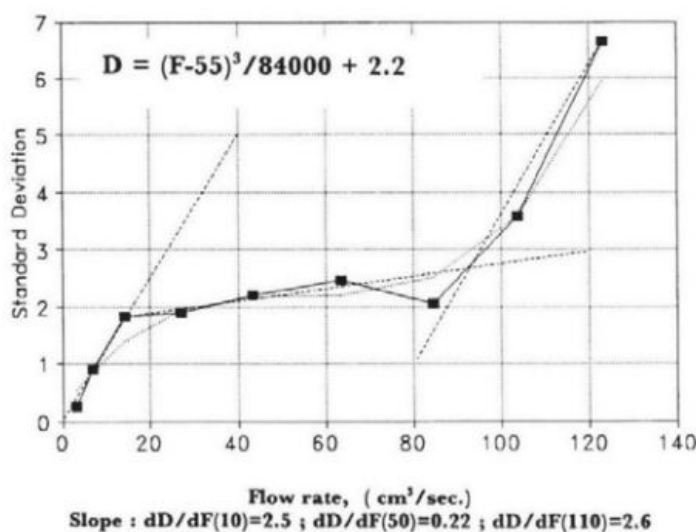


Figure 4. Standard deviation versus flow rate for fine sand—ARBO feeder.

Table 3.
Flow rate versus amplitude data for powder samples

Material	Feeder				
	SYNTRON		#	ARBO	
Sand					
fine	0.18 ^a	1.9 ^b	84.3	0.6	1.3
coarse	0.44	1.5	80.5	0.19	2.9
Seed		1.1	57.9	1.4	80.6
Fiber-glass	0.33	1.3	19.4	0.91	388.8
Cement		1.2	4.64	0.19	1.1
Zeolite	0.33	1.6	23.9	2.4	0.18 3.0

= Maximum flow rate (cm^3/s).

^a dF/dA at low amplitude (less than 30–40%).

^b dF/dA at high amplitude (above 40%).

所有的粉末送料器进行类似的实验，结果在表 3 和 4。表 3 中，给出的流量与振幅曲线的斜率。被发现进给速度正比于振幅，而这两个值表明，如上述所示，两条曲线分别是对低流速和高流速进行拟合。为了使数据比较容易呈现，表 3 中的斜坡相对单位，即实际流量最大流量率最高的相对振幅获得划分率。在第三栏给出的每个给料

机所给出的最大值（记做符号#），获得一个给定的进给率，必须乘以表中给定斜率的相对频率和最大的进给速度。当给出两个值得斜率时，第一个取值应在 30%-40% 的最大相对幅度范围中，而第二个应有较大的流速。所有的数据是通过最小二乘法的函数表达出来的，如图 3 所示。感兴趣的可以联系作者获得每一种材料的详细信息。

还发现使用 ARBO 的给料机输送沸石是十分困难的，在这种情况下用三个线性分析来配合数据时十分必要的。但是这个困难是，这台机器没有与一个有振动机制的料斗相连，因此，流入料斗粉料的进给率是无法确定的，而不是由于上料系统的不足。

在表 4 中，所有粉末给料机的平均相对标准差值（标准差除以平均流速 σ / X' ）。一个单一值的相对标准偏差表示流速的线性依赖关系，因此完全可以通过这个数字乘以实际流量值。当有两个或两个以上显示的情况下，左边的值是低流量，约为最大值得 30%-40%，而其他值采用较大的流速，明确的表示出了，这个系数的值越大表示进给速度的变化越大。

Table 4.
Relative standard deviation data versus flow rate

Material	Feeder			
	SYNTRON		ARBO	
Sand				
fine	0.14	0.24	0.11	0.046
coarse	0.12	0.28	0.1	0.022
Seed	0.017		0.007	
Fiber-glass	0.13		0.018	
Cement	0.18		0.2	
Zeolite	0.026	0.04	0.018	

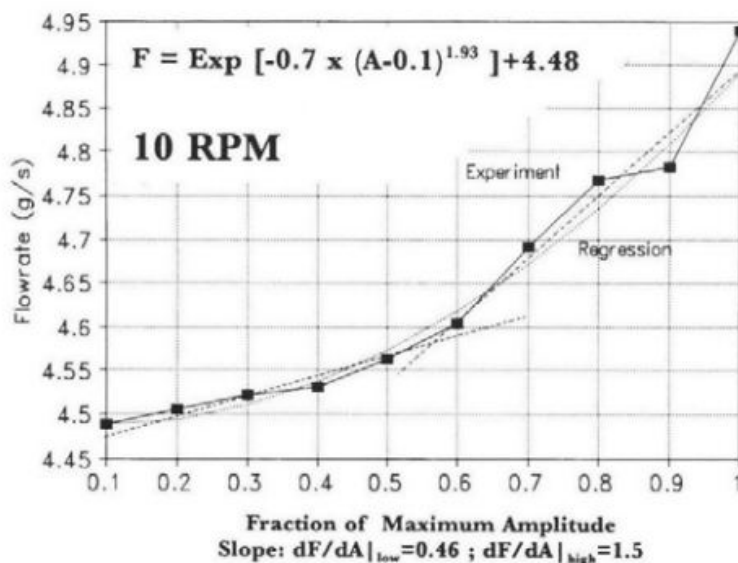


Figure 5. Flow rate versus amplitude for fine sand screw feeder. Maximum amplitude 1 mm.

图 5 和图 6 还有表 5 表示相似的螺旋给料机，图 5 所示为流速与相对最大振幅的关系（计量为 1mm）。图 6 给出了细沙振幅的标准差。一定要注意的是，如上所述，此丝杠需要固定的旋转速度（10. r. p. m）。料斗安装在振动器上有很好的流动。可以看出，流速的增加和标准偏差得降低时由于振幅的增加。线性回归拟合线的斜率也在表格 4 中给出，同样在此表格中，显然标准偏差的斜率是负的，在较大的振幅时，表面流动特性得到更好的改善。混凝土，超细粉，和沸石不能送入旋转给料机。

4. 结论

在本实验研究结果发现振动给料机的锥形精密计量料斗适合各种允许自由流动的粉末材料。不同性质的不同颗粒状物料的不同输速率和不同精度取决于凝聚力，颗粒大小和形状，密度等性质。从以前的振动床[1-3]理论工作得出的结论，关键为给料均匀，适当减少空气的振动层，这一结论证实了上述实验结果。这种给料机采用变频调速，从而获得更高的精度或更低的标准差，以及进给率较高的量程（有时高出一个量级），特别是针对于非粘性材料。关于螺旋给料机。在较高的振动幅度时，能够使精度和流速提高。

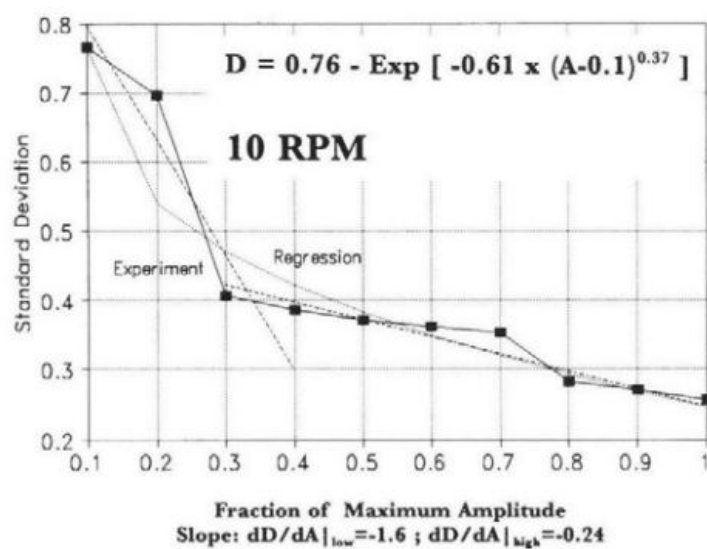


Figure 6. Standard deviation versus amplitude for find sand screw feeder. Maximum amplitude 1 mm.

Table 5.

Flow rate and relative standard deviation data for screw feeder

Material	Flow rate vs. amplitude		Range ^a	SD vs. amplitude		
Sand						
fine	0.47 ^b	1.5 ^c	4.45–4.95	–1.7 ^d	–0.24 ^e	
coarse	0.044	7.4	4.55–5	–0.18	–1.3	
Seed	0.31	1.4	1.05–1.25		–0.19	
Fiber-glass	0.049	0.29	2.3–2.65	–0.11	–1.0	–0.14

^a Range of flow rates studied.

^b dF/dA at low amplitude (less than 30–40%).

^c dF/dA at high amplitude (above 40%).

^d dD/dA at low amplitude (less than 30–40%).

^e dD/dA at high amplitude (above 40%).