

国际采矿设备抗磨损 会议论文集

煤炭工业部科学技术情报研究所

一九八五年十月

出 版 说 明

一九八四年九月在英国召开的国际采矿设备抗磨损会议，是国际上第一次以此项课题为内容的会议，有包括中国在内十九个国家和地区的代表参加。会上宣读论文三十一篇，大体反映了采矿设备摩擦、磨损和润滑技术方面的国际水平。现全文翻译出版，供有关单位参考。

参加此次会议的三名代表高 功 瑜（部情报所）、韩 治 良（太原所）、杨志伊（中国矿院）直接参加了本论文集的译校工作。另外，中国矿院北京研究生部、太原所、中国矿院的有关同志对论文集的译校工作，也作了大量工作，在此表示感谢。

编 者

目 录

采煤工作面的校直控制.....	(1)
〔英〕B·G·D 斯马特, D·H·霍罗斯克, A·K·依赛克	
减少运输固体时产生的摩擦学现象影响的一些实例.....	(10)
〔匈〕S·纳吉, J·凯斯	
选矿用材料的评定与改进.....	
〔美〕R·布里根斯德弗, J·梯扎克, B·W·马德森, J·S·汉森	
作为采金工业材料选择指导的现场试验和实验室试验设计和应用.....	(25)
〔南非〕R·E·诺尔, C·欧林, A·拜尔	
挖掘齿的磨损.....	(31)
〔英〕K·M·马施路, F·C·阿克伯索格鲁, T·S·埃尔	
煤磨料磨损机理研究.....	(37)
〔中〕邵何生、陈华辉、徐晓棣	
摩擦学使印度尼维里褐煤矿运输机系统有效运转与维护.....	(38)
〔美〕卡斯图里	
〔印〕尼维里褐煤公司	
减速器工况监视评述.....	(45)
〔英〕D·C·李维斯	
井下齿轮传动装置运转中磨损残渣的有效监视.....	(52)
〔英〕A·N 贝克尔, G·莫尔顿, E·D·雅德雷	
机械系统的综合管理.....	(59)
〔英〕M·H·约翰斯	
〔美〕R·L·金开德	
影响拉铲挖掘机润滑剂选择的因素.....	(69)
〔澳〕W·斯柯特	
对用作运输机托辊轴承润滑剂的某些抗燃润滑脂进行评价.....	(77)
〔英〕M·G·托尔斯克, P·肯内	
抗燃液压油与润滑剂在采矿工业中的发展趋向.....	(85)
〔英〕汤森德	
高水基液压传动液体用于南非金矿采矿机械中的调查研究.....	(95)
〔南非〕M·H·林塞·斯柯特, D·G·维米尔	
油液的过滤.....	(103)
〔英〕W·埃维齐	
松散物料在贮存、自溜及运送过程中对设备表面的擦摩及磨损.....	(111)
〔澳〕A·W·罗伯茨, M·欧姆斯, O·J·斯柯特	

煤矿车辆用轨道的摩擦学和滑动闸瓦制动器·····	(126)
〔英〕W·G·斯特芬逊, D·沃特霍斯, W·威尔森	
井下机车闸瓦材料评述·····	(137)
〔英〕G·莫尔顿, F·波维尔	
限制提升钢丝绳振动的问题·····	(144)
〔波〕L·M·兹可拉斯基, K·加拉茨	
矿山挖掘机械磨料磨损的预测和降低·····	(151)
〔英〕T·阿特金森, V·B·卡萨皮	
刀齿磨损时掘进的运转参数对其生产能力和效率的影响·····	(161)
〔英〕H·E·斯贝特	
评定矿物切割刀具刀尖材料适用性的快速检定试验的研究·····	(167)
〔英〕D·S·亨森, E·D·雅得雷	
煤矿机械另件的磨损失效与防止·····	(173)
〔中〕高功瑜	
锻造、铸造及堆焊具有超硬相的耐磨料磨损的合金·····	(174)
〔西德〕H·贝尔斯	
事故的断裂力学分析·····	(182)
〔美〕D·E·狄斯贝格, D·J·杜恩	
电渣块状堆焊工艺在土壤、矿石和煤开采设备上的应用·····	(190)
〔捷〕P·布拉斯柯维茨	
磨球成刀及矿浆环境对研磨介质磨损的影响·····	(195)
〔美〕J·J·莫尔, J·依瓦斯基, K·A·那太拉坚, R·佩尔兹, K·阿达姆	
选矿厂设计中的抗磨问题·····	(207)
〔英〕J·D·符赖依, K·W·戴金	
抗环境污染的滚动轴承·····	(216)
〔荷〕A·G·荷拉蒂, J·布拉施	
煤矿用抗磨损金属材料的评价·····	(222)
〔英〕G·莫尔顿, E·D·雅得雷	
工程承包者的抗磨损任务·····	(230)
〔英〕C·J·桑德斯	

采煤工作面运输机的校直控制

[英]斯采茨格拉得大学 B·G·D·斯马特

卡迪夫大学 D·H·霍罗斯克, A·K·依赛克

摘要: 本文叙述由工业界资助的监控液压千斤顶位移用的安全火花型超声波监控系统的设计。用超声波信号测量液体中的距离比较容易作到,但还未达到英国煤矿电气标准所要求的安全火花型水平。

1. 前言

1950年煤矿采用了铠装可弯曲输送机。当时是作为可以促进全部机械化采煤工作面的发展而被采用的。截煤机,运输机和液压支架的相互结合确保获得高的生产率,最优越的地层控制和采煤工作面装备的最长寿命。

圆环链式可弯曲输送机的结构特点是,允许输送机沿长壁工作面波浪型铺设,在输送机前进时,暂时可以不成一直线,在200米长工作面内最大可以到1米的弯曲。实际记录到的输送机的不平直铺设弯曲已大大超过这个数字,大约在200米长的采煤工作面是10米弯曲。在长壁工作面中,输送机这样大的弯曲的直接结果是输送机的溜槽和链条过分的磨损。

由于输送机的维修费用高,和为了朝着工作面的自动化迈进,正在进行输送机推进的连续监视的设计。工作面校直控制的途径之一是监视推进输送机的液压千斤顶的位移。安装在支架里的千斤顶具有一个设备号,这是用于千斤顶的位移监视,并能通过信号传输传到数据处理装置。

建立在绕线电位器基础上的千斤顶监视系统,受到指令精度低的限制,并且不可靠。根据超声波原理,另一种设计具有如下优点:

(1) 液压千斤顶的设计比较简单,

(2) 更高的精度;

(3) 更大的可靠性。

2. 超声波传感器的设计

2.1. 压电效应

超声波传感器的有效元件最通常是一种极化陶瓷片,该陶瓷片显示压电效应——即,当在陶瓷片两表面间加上一电压时,在陶瓷片的厚度上产生一个正比的机械变形。因此当使用交流电压时在陶瓷片中将产生变形波或振动波,并传递到周围的介质。相反,如果通过周围的介质把一个外力施加于陶瓷片上,产生机械变形,就将在陶瓷片的两表面之间产生一个正比的电压。所以,机械振动通过周围的介质施加于压电陶瓷片上就将产生特有的交流电压。

因此,与介质接触的压电陶瓷片可用于:

(1) 使用适当的交流电压加于压电陶瓷片两侧,就在该介质中产生振动或冲击波。

(2) 根据所监测的陶瓷片产生的任何交流电压,检测出最初振动波的反射波。在超声波应用于千斤顶位移的监测中,千斤顶中的液压流体是介质,在此介质中产生振动波,并由千斤顶的活塞反射产生振动的反射波。

2.2. 设计的约束条件

在给定的介质中,整个超声波传感器可

以被认为是产生和监测与介质相应振动的冲击波和反射波，而其波形由施加的交流电压和压电陶瓷片的机械阻尼性能来确定。在陶瓷片的安装位置里，由于磨擦的能量损耗产生的阻尼是为了防止在共振频率下过分地连续振荡，或者是在加了交流冲击电压以后陶瓷片产生“抖动”。如果抖动过大，可能掩盖了最初波形的反射波，这样就影响了分辨率。为了改进分辨率，而增设阻尼。它具有降低传感器灵敏度的反作用。

压电陶瓷片对于交流电压的反作用，可以看成与有一个初始力，和一个由弹簧与减振器合成作用的阻力，作用在物质M上相似。

物质经受强迫振动，运动方程是：——

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + R_m \frac{dx}{dt} + \frac{X}{C_m} = F_0 \sin \omega t$$

式中：M = 悬挂物的质量；

R_m = 阻尼常数；

C_m = 弹簧的可塑性（即每单位恢复力所对应的位移）。

$F_0 \sin \omega t$ = 具有频率为 $\omega/2\pi$ 的周期力。

在稳态条件下，速度u（即 dx/dt ）以下式表之：

$$u = \frac{F}{R_m + j(\omega M - C_m/\omega)}$$

式中： $j = (-1)^{\frac{1}{2}}$

这个方程式表示物质的振荡频率与作用力的频率相同。而且，阻尼常数 R_m 增加，运动速度u或者是在给定时间内物质的反作用力就降低，即系统的灵敏度下降。

因此，在应用于千斤顶监测中时，没有一个简单的稳定的答案。在这种情况下，作用力不是单一的连续正弦函数，而代之以许多分离的脉冲。因而陶瓷片在固有频率处经受谐波振荡。通常的结果是增加阻尼降低灵敏度。在通常用约200伏电压施加于通用的传感器的地方，降低灵敏度是没有什么问题。而现在的应用场合，仅用12伏电压给传

感器供电，任何进一步降低灵敏度是不可取的。因此，在千斤顶监测传感器的设计中，须妥善解决传感器的灵敏度和分辨率之间的矛盾。

灵敏度比较低的12伏传感器发生另一个设计问题，即，为了使传感器能满意地工作，传感器的分界面必须直接与液压流体接触。因此，传感器的外侧与陶瓷片的安装双方必须进行压力密封。

扼要地说，在设计用于千斤顶位移监测中的12伏传感器时，其主要约束条件是：

（1）在始终保持灵敏度的情况下，规定压电陶瓷片的适当的阻尼；

（2）规定传感器的压力密封；

（3）根据千斤顶的几何形状选定合适的传感器的几何形状。

2.3. 传感器的结构

把200伏电压激励的通用传感器用于所研制的电路最初是能够工作的，并且还作为以后的传感器结构的标准。只是这些传感器的尺寸不可能实际用于千斤顶的监测。

这样的传感器的典型结构如图1(a)所示。各部件的功能如下：

弹 簧——使所有的部件紧密地接触，主要是为了有效地传递振动，以及给出一个阻尼力。

衬垫物质——吸收从陶瓷片向反方向辐射的松动，并阻尼陶瓷片，由环氧树脂-锯木屑和/或钨粉末混合物组成。

陶 瓷 片——压电陶瓷片，具有涂银表面作为电极。

耦 合 件——把陶瓷片与被试验的介质结合在一起。

在标完试验台上，这种型式的12伏电平的传感器的特性由图2(a)、(b)，曲线表示。这些是输入到传感器和由传感器输出的

示波器光迹图。

图2(a)表示8个不连续的12伏脉冲(用接收电路中的二极管限幅)输入到传感器。——注意瞬变的不足。

图2(b)表示,当引起反射的目标在水中190毫米距离时,传感器的输出信号。这个信号的电平大约是50毫伏峰-峰值。

传感器里的陶瓷片是完全密封在环氧树脂中的,这种传感器的早期工况表明,其设计的明显的优点是:

- (1) 这种传感器是很紧凑的;
- (2) 结构简单;
- (3) 跨接在陶瓷片安装座上的密封可以做得比较简单。

图1(b)表示的结构是由几个试验得出的,它可以获得满意的结果。虽然陶瓷片的安装给出了满意的阻尼和灵敏度,然而进一步改进设计仍是所希望的。图3(a)表示一个与图2(a)相似的阻尼试验曲线,图2(a)是商业上的传感器阻尼试验曲线。比较这些图线得出,相对无阻尼的密封设计的特性。图3(b)表示与图2(b)相似的灵敏度试验曲线,图2(b)是商业上的传感器的灵敏度试验曲线。在此情况下进行比较表明,密封型设计的灵敏度更高,至少要乘上系数3。

这种传感器被证实可以工作到15兆帕压力。关于绕线电位器,它的外形尺寸根据千斤顶上的现有安装结构来确定。图4(a)表示装在千斤顶中的传感器。

3. 超声波收发机的设计

3.1. 设计的约束条件

超声波收发机的工作程序在图4(b)中作了简要的说明。实际上,超声波收发机有三个不同部分,即:发射机,接收机和信号调节电路。对于有关电子线路的设计有如下的约束条件。

适用于煤矿的电子线路要求在安全火花功率电平下工作,即通常电压为12伏或小于

12伏,并带有最大分电流和充电电流的限制。并且电流的限制还必须防止电源的表面漏电过大。

在研制的最初阶段,要求超声波系统的输出等于打算代替的绕线电位器的输出,这样可消除对数据处理系统的调整。

最后,电子线路必须密封包装。

扼要地说,对于超声波千斤顶位移监测,在电子线路的设计上,主要的约束条件是:

- (1) 在安全火花电平条件下工作;
- (2) 最小的功率消耗;
- (3) 输出与绕线电位器的输出相同;
- (4) 尺寸。

3.2. 发射机

发射机提供一束8个0.5微秒长的脉冲,每一个脉冲之间的间隔为0.5微秒,这些是用于激励传感器。这种脉冲每4毫秒给传感器提供一次。每束脉冲之间的时间允许每一束输出的脉冲返回到传感器。

目前的发射机形式经过了三个发展阶段。MK.1型发射机主要结构形式是分立式半导体电路,并初步证明在安全火花型电平下工作是可行的。那末,MK.Ⅱ型和MK-Ⅲ型发射机具有改进的特性和较低的功率消耗。

MK-Ⅱ型发射机几乎全部是用低功耗的CMOS集成电路(IC_s)组成的。但是,在输出级加入了一个三态门,它增加了高功率的消耗,这是不可接受的。MK-Ⅲ型发射机(图5(a))取消了三态门,而用一个CMOS门直接驱动传感器,并且用一个并联二极管以使在传输发射时具有一个低阻抗电路,而在接收时,具有一个高阻抗电路,结果在12伏电压下总的平均电流为10毫安。

MK-Ⅲ型发射机由8个CMOS集成电路组成,并包括如下部分:

时钟:由三块CMOS集成电路组成,标称的频率为1兆赫兹,但是可以调节频率,

设计出具有不同谐振频率的各种传感器。

十二级二进制脉冲计数器：该计数器由时钟脉冲驱动，用于产生脉冲波束之间的4毫秒时基间隔，这相当于计数器的第12级和包括每一波束之间的8微秒间隔（相当于计数器的第4级）。

译码器电路：译码器用于检测计数器的零态，那每一个4毫秒间隔的开始点，并且推动双稳态触发器。这个译码器是由CMOS（互补型金属氧化物半导体晶体管），NOR（或非门）和NAND（与非门）组成的。

双稳态触发器：双稳态触发器在由译码器设定的时间内产生一个8微秒长的脉冲，并且由计数器第四级复位，即每4毫秒，双稳触发器产生一束脉冲。

为了产生脉冲束的与非门：双稳态触发器和时钟的输出，通过与非门输入到反相器，这样，每4毫秒产生由8个脉冲组成的所要求的波束。与非门和反相器的这种结合降低了噪声电平。

3.3. 接收机：

接收机的功能是测量发射的脉冲波束和这个波束的第一个反射波之间的时间间隔。这个时间间隔表示千斤顶伸展的距离。

与发射机一样，接收机也受到以下的限制，改善精确度，功率消耗低和必须使用单一电源。

MK-I 和 MK-II 型接收机是由分立的半导体晶体管部分和CMOS（互补型金属氧化物半导体晶体管）集成电路组成的。这些型号的接收机大约消耗40毫安电流，并要求双电源供电（+12伏，+9伏）。而且，在输出电路中使用了一个非常简单的低通滤波器，这在系统中产生了固有的不精确性。

MK-III型接收机（图5(b)）几乎全部由CMOS（互补型金属氧化物半导体晶体管）集成电路组成，包括如下部分：——

单电流供电的比较器：比较器的功能是把小幅度的接收信号与CMOS逻辑门进行比

较。电容器 C_1 用于防止低频在比较器输入端引起的干扰，而电容器 C_2 是为了消除7兆赫茨以上频率的干扰。比较器的门限由 R_1 给定，其值在10毫伏范围以内。

反射和传送脉冲空隙：在千斤顶完全伸展时，第一个反射波束大约是200毫伏幅值，并离开发送波束1毫秒。而当千斤顶缩回时，反射波束接近发送波束，并且最终混入了传感器的反射波中。而且，在寻找反射波束中，接收机必须首先忽略发送波束。所以要求有一种装置去消除反射波束和发送波束。这个目的是由单稳态电路和CMOS，NAND与非门来达到的（互补型金属氧化物半导体晶体管与非门电路）。这个单稳态电路是由它自身的两个互补型金属氧化物半导体晶体管与非门电路组成的，并由发射机的双稳态触发器来调整。此单稳态电路保持一个稳定时期，这一时期由改变电阻 R_2 来控制，典型的稳定期为30微秒。单稳态电路和比较器的输出同时输入到与非门，这样，当单稳态电路的输出为高电平时，就防止了比较器的输出输出到接收机的下一级双稳态触发器。

双稳态触发器：此双稳态触发器用于产生一个脉冲，这个脉冲宽度正比于发送脉冲波束和此波束反射回来的时间间隔，即正比于千斤顶的伸长量。这就完成了用第一束发送脉冲和用第一束反射脉冲来驱动和复位这个双稳态触发器。要求双稳态触发器输出一个稳定的电压，因此它的电源取自一个9伏的齐纳二极管。

3.4. 信号调节器：

从接收机来的是一个脉冲信号。脉冲的长度表示千斤顶的伸长量。此脉冲每4毫秒出现一次。这种信号必须进行调节，即转换成直流电压（或者是平均电压）。这种电压类似于从绕线电位器获得的电压。这样就使得超声波系统与现存的计算机输入电平相适应了，即在输入电压从7.15伏到9伏直流电压

范围为线性变化。这个电压对应于千斤顶从最小伸长量到最大伸长量。

图 6 中所示的第五种有源滤波器可实现此种功能。使用此系统有两个造成误差的原因：——

(i) 由于滤波不完整造成的误差：

(ii) 由于滤波器的时间延滞造成的误差（即瞬态响应时间）。

因此，滤波器的设计使输出的联合误差小于最低可接受的误差，即 ± 1 厘米。

在公开出版的著作中，尚未研究这个滤波问题。计算表明，第五种滤波器有价值的频响曲线具有每秒83弧度的截止频率，满足参考文献（6）中所说明情况。这样的频响理论导致最大误差为1.3%，即等于1厘米，紧接着当千斤顶开始移动以后，误差很快降到0.2%，即0.15厘米。

可调电阻 R_7 和 R_8 分别用于调节仪表的零点和满刻度读数， R_5 和 R_6 用于校准滤波器的输出，当千斤顶从完全收缩移动到全部伸展相应给出7.5伏到9伏输出电压。

4. 系统的性能试验

如图4(a)所示，性能试验是把传感器装到千斤顶的端部。图7(a)表示发送脉冲和反射脉冲的示波器波形图，以及对应于千斤顶全部伸展时比较器的相应输出波形。

光迹（1）——发送脉冲和反射脉冲：

因为千斤顶全部长度大约是800毫米，声音在油/水混合液中的速度约为1400米/秒。在经过时间 t 以后获得预期的第一束反射脉冲，时间 t 由下式得出：

$$\begin{aligned} t &= \frac{2 \times \text{千斤顶的长度}}{\text{声速}} \\ &= \frac{2 \times 0.8}{1400} \text{秒} \\ &= 1.14 \times 10^{-3} \text{秒} \end{aligned}$$

* 译注：原稿有错在翻译中作了改正。

r — 改成 t ；

2.08 — 改成 0.8。

这个时间的计算值 t 与检测到的值相符。

光迹（2）——比较器的输出：

比较器使这个反射脉冲与CMOS门进行比较，把200毫伏峰—峰值信号转换成12伏信号。

光迹（3）——在扩展的时基线上的反射脉冲。

光迹（4）——在扩展时基线上的比较器的输出。

图7(b)表示发送脉冲和反射脉冲的示波器显示波形，以及接收机双稳态触发器的相应输出波形。

光迹（1）——发送脉冲和反射脉冲。

光迹（2）——双稳态触发器的输出。

脉冲长度相当于千斤顶的伸长量。

标定试验是把超声波收发机的输出电压与精密测量的千斤顶伸长量进行比较。图8中显示的结果表示线性度大大的好于 ± 1 厘米。

5. 总 结

许多实验室试验表明，在安全火花功率电平下，超声波监测液压千斤顶伸长量）是可行的，并且可以产生一个输出，这个输出与数据处理和实验结果分析系统的结果是一致的。这个结果可认为是在最初的目标 ± 1 厘米的技术规范以内。

地面试验必须保证，已经设计出来的工作系统能在每一方面直接代替绕线电位器系统，例如，在有反向冲击伐的情况下，把超声波传感器安装在千斤顶的端部，以及接收机的输出与现在的模拟形式相同。

今后工作的要求是，保证把超声波装置应用于现场，以及改进装有传感器的千斤顶和微处理器，为使此装置能够收到充分的效益。

本文作者非常感谢英国、维根、伽力

克·多勃逊有限公司对这项工作的赞助，并且允许印刷成小册子。同时也非常感谢帮助设计的A·S·M·开玛·优丁先生和T·B·爱文斯先生。

对于卡洛夫大学的全部工作人员的支持及提供设备，以及在煤矿开发部一起工作的同事们和电气及电子学工程师们的大力帮助，我表示十分感谢。

参考文献：

(1) 开玛·优丁，A·S·M·用于测量液压千斤顶伸展的安全火花型超声波系统。理科硕士论文，卡洛夫，威尔士大学，煤矿开发部，1977年。

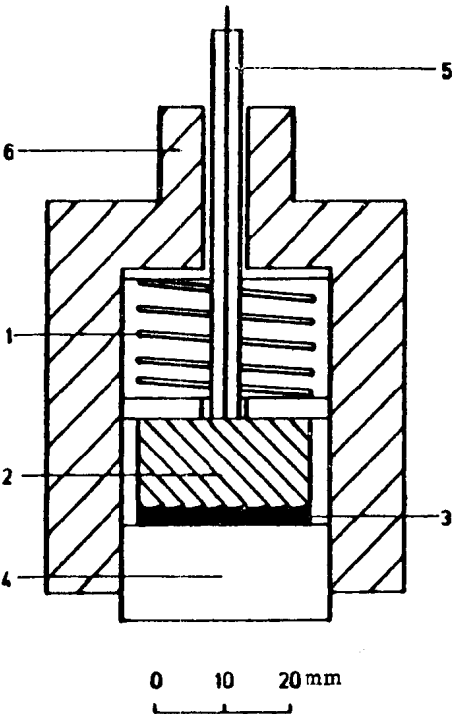
(2) 伽力克·多勃逊有限公司。用于先进工艺开矿的伽力克·多勃逊控制系统。伽力克·多勃逊技术文献索引，1976年。

(3) 格鲁勃曼，G·L· 超声波的原理及应用英国综合性大学新闻报导有限公司。伦敦，1968年。

(4) 勃利茨，J· 超声波的方法和应用 伯脱活斯。伦敦，1971年。

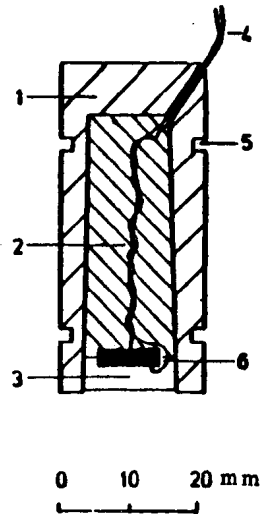
(5) 先尔智，J·P· 压电效应基础 福尔希姆有限公司，斯牢，1966年。

(6) 布罗，P·和斯底芬松，F·W· 用于通讯和测量仪表的有源滤波器。伦敦，麦克劳山。1979年。



(a) 通用传感器

1—弹簧；2—衬垫物质（传导物）；3—陶瓷片；4—耦合件；5—电气联接件（带屏蔽）；6—外壳



(b) 密封传感器

1—黄铜外壳；2—衬垫介质（环氧树脂加钨）；3—耦合件（环氧树脂）4—电气联接件；5—O型密封圈槽
6—陶瓷片

图 1 传感器的两种结构

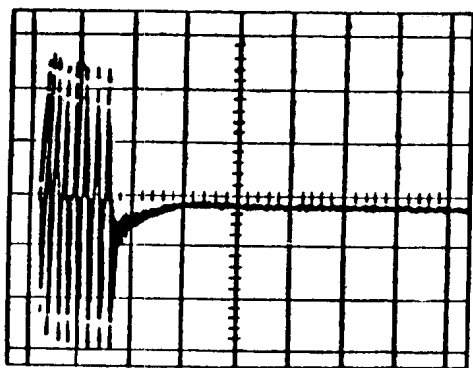


图 2 (a) 阻尼试验曲线

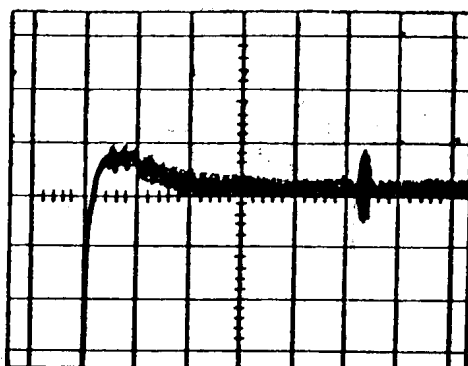


图 2 (b) 灵敏度试验曲线

图 2 通用的传感器

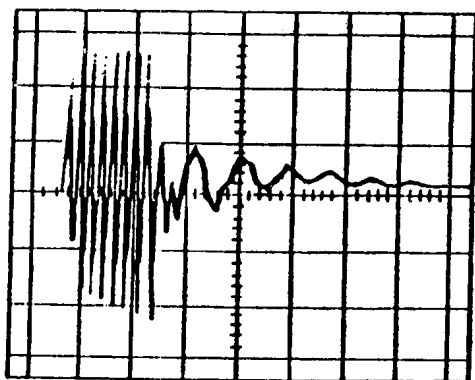


图 3 (a) 阻尼试验曲线

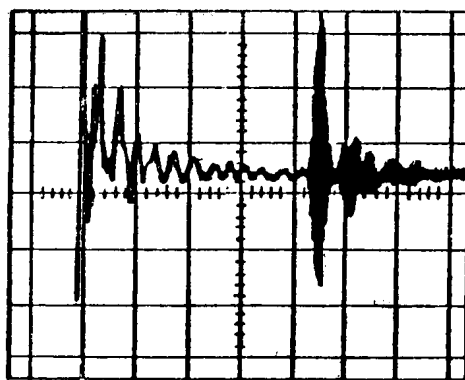
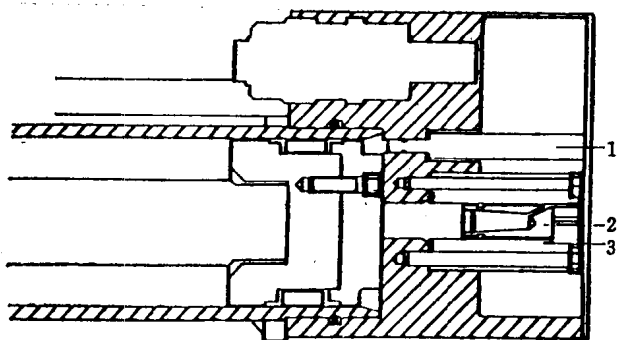


图 3 (b) 灵敏度试验曲线

图 3 密封型传感器



1—临时插头；2—传感器；3—传感器外壳
(a) 安装在千斤顶端部的传感器

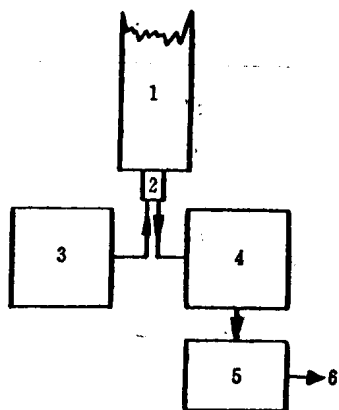
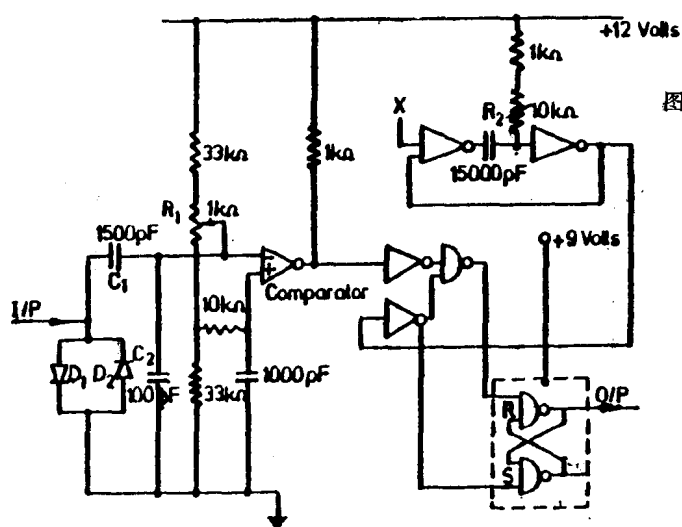
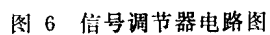


图 4 传感器的机械和电气布置图

1—千斤顶；2—传感器；3—发射机；4—接收机；5—信号调节器；6—到计算机的输出
(b) 传感器原理示意图



(a) 发射机 (b) 接收机



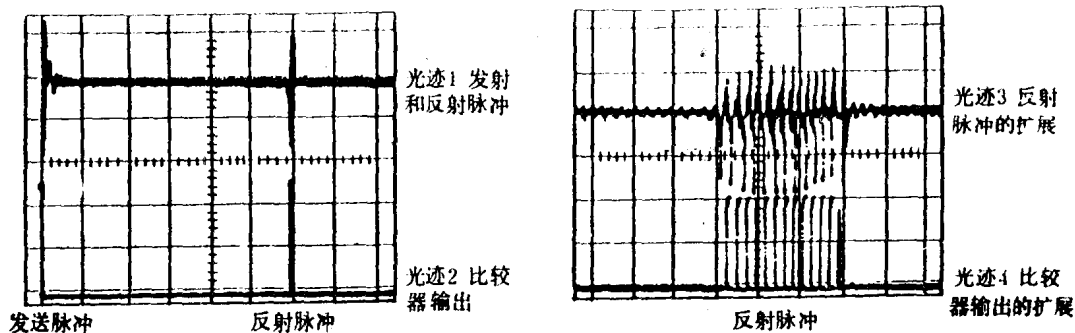


图 7 (a)在比较器输出的情况下,发送脉冲和反射脉冲的示波器波形图

光迹 1	光迹 2	光迹 3	光迹 4
标尺:	标尺:	标尺:	标尺:
垂直50mv/格	垂直5v/格	垂直50mv/格	垂直5v/格
水平0.2米/秒/格	水平0.2米/秒/格	水平扩展	水平扩散

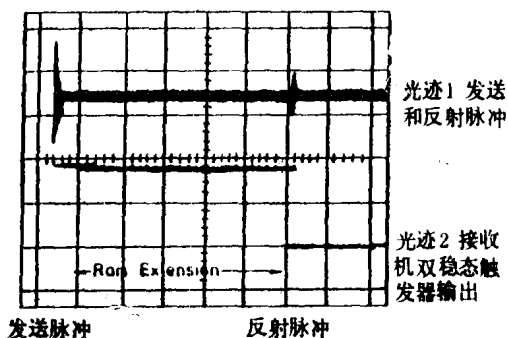


图 7 (b)在接收机双稳态触发器输出情况下,发送脉冲和反射脉冲的示波器显示图

图 7 发送脉冲和反射脉冲的示波器光迹图

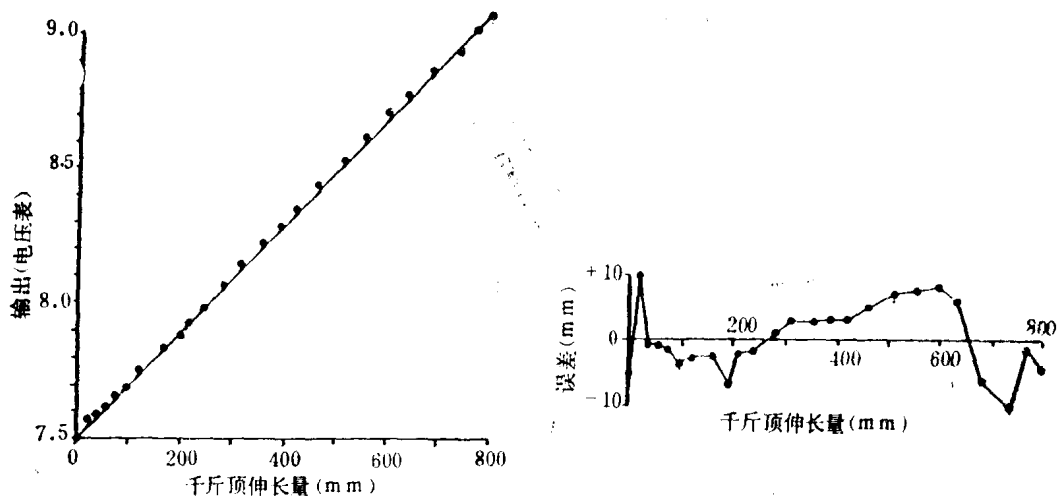


图 8 标定试验

(袁乐乎译 张家录校)

减少运输固体时产生的摩擦学现象

影响的一些实例

[匈]采矿研究院S·纳吉 J·凯斯

提要：在运输固体时发生了各种形式的摩擦学现象。它们取决于运输的地点，方法和工具。在空间和时间上，人们努力寻找价格最便宜，能量消耗最低的最佳方案。为了得到这样一种最理想的性能，本文提出了一种技术上的解决办法，并用一些例子进行了描述。这种解决办法要考虑两个基本的要求。第一，要大大地减少摩擦阻力和运动静止物质的阻力；其结果，在水平运输中比传统的输送机运输节约80%的运输能量。这一点的实现是根据水运原理使用了液体，而没有使用支撑输送带的传动辊。这种方法只需考虑液体内部的摩擦。第二，减少投资费。用上面段落中提到的解决办法，除了呈现出其它技术的优点之外，投资费能够减少50%。

引言

如果我们接受了这一定义：“摩擦学是一门研究相互作用和相对运动表面的科学和技术，以及与此有关的实际应用。”我们可以说：基于物质各种典型运动的所有技术都属于摩擦学的范畴

在带式传送的初期阶段，输送带一般用木槽支承。木槽和那时所用的棉织带之间的摩擦系数大约是0.3~0.5；这引起了严重的摩擦和磨损。

后来，人们用辊子来支撑输送带。这些辊子，在上面机架上的间隔为1米，在下面机架上的为2~3米。用这种装置，摩擦系数不能减低到0.02~0.06。不管怎样，人们改变了滑动带运输的简单设计，其结果增加了运动部件的数目（在150米长的运输线上，大约有1000个滚珠轴承）；且在同样运输静止物质时，大量增加了维修备件。

为了消除这些不足之处，人们提出了许多建议，考虑利用气垫或水垫。根据气垫原理，人们做了各种各样的实验装置。实验表明：它们的缺点超过了优点。因此，实际利

用这种方法一般还没有被人们所接受。

提出的建造水垫的解决办法主要可以分成三组。

1 第一组包括目的在于用流体动压水垫代替滚动体的建议。这意味着：一种加压液体沿着整个轨道被送到输送带下面；而且，提供了一种使液体从输送带两个边上流出的装置。这个系统是复杂的，与气垫相似，具有许多缺点。

2 第二组使用流体静压浮力来支承输送带。达到这一点是利用了特别的输送带。这种输送带带有适当的气胎，从而提供了浮力。在很多场地条件下，它们还没有证实能被应用。

3 第三组。那些建议也能归因于利用浮力。用这种方法，输送带的两个边缘被托在位于液面上的辊子上进行传送。这保证了液体不能接触输送机上的物料。这些解决问题的办法实际上不能消除辊子，仅仅改变了它们的作用。

所有三个组有一个共同点，这就是：我们还没有得到它们在实际应用中实际性能的资料。自从这些方法本世纪初期在文献上发

表以来，直到七十年代末期，有理由认为：这些方案中没有一个是提供了能应用于实际，技术上和经济上都便利的解决办法。

在考虑了以上各点之后，我们研究院的工作人员研究了是否通过适当利用静压水垫找到一种尽可能简单设计的解决办法。即使在不同的场地条件下，这种方法也能够可靠应用。

水垫的应用

在实验室实验期间，各种水垫的性能，所必需的水垫的厚度，输送机导轨的最大斜变以及所用的输送带的特性都是确定的。图1基本上表示出了所得到的大略的设计。

在静压水垫的情况下，必须确保漂浮的条件。于是， $G_a < B$ 。因为 G_a ， B 两个力可以认为是分布力， $\Delta G_a < \Delta B$ 也成立。那么，在输送带的每一点上，浮力“ B ”都比载荷“ G_a ”大，因此能够避免侧壁的摩擦。如果平的输送带放置成半圆形，它将与输送槽的表面密切贴合。假设轨道是倾斜的，水经过一个大断面，在低于斜坡上端的地方从水箱里流出来。那么，水箱的最低水位要低于输送带槽的上缘。

当浮力 B 起作用时，它把输送带托起到某一高度，这时就象打开阀门一样；这样就保证了输送带与输送槽之间有一定的间隙，从而使输送带下面的水能够流出来。而且，浮力 B 始终托着整条输送带。通过改变供水量，能够控制水垫的厚度。因此，沿着整条运输带都能确保漂浮的条件。于是，对于一个浮体来说，磨擦阻力是一定的。

水垫型带式输送机的阻力系数：

$$f = a \cdot B \cdot V^2 \text{ 牛顿/米}$$

$$B \text{ 一米； } V \text{ 一米/秒}$$

$$a_k = 0.045 - 0.0072 \text{ 牛顿秒}^2/\text{米}^4$$

当在较高速度，较高温度，光滑的输送槽和输送带的情况下，用水运输时，“ a ”值接近极小值。

这个经验值是从在 50 米长、800 毫米宽的两条输送带上测得的数据中得到的。

输送槽与输送带之间的水垫也将朝着输送带运动的方向运动。使用水平输送带时，水膜运动的平均速度约占输送带速度的一半。

输送带向上倾斜时，这个速度值更低。这是因为重力使液体向相反的方向流动。然而，输送带向下倾斜时，液体膜的速度超过了输送带速度的一半。计算和实验都已证明：虽然使带式输送机的轨道倾斜了，但是输送带上物料的重量与输送带重量的总和总是等于浮力。

在水平运输的情况下，输送槽的形状可以与装满物料的输送带的形状不同，而且这个系统甚至可以在敞开的水面上工作。然而，当使用带式输送机倾斜轨道进行运输时，输送槽的形状必须适合载重输送带的形状。这才能使随着液体膜厚度变化的水垫高度自动地适应对浮力的需要。

输送机的输送带

在成功的实验室实验的基础上，人们根据实际尺寸建造了一个试验性输送机系统。这个系统由两条宽 800 毫米，长 50 米的输送带组成。它们能互相运输物料。其中一台输送机具有 5 % 的坡度，另一台是平放的。水平输送带的两端弯了一个半径 $R = 172$ 米的弯，使得两根输送带能够互相传送。被传送的物料的循环输送保证了能长时间地研究在不同安装条件下带式输送机的性能。这样，我们就可以改变两条输送带的速度。在图 2 和图 3 中，能够看到这一系统。

用 2×50 米试验性的输送机系统进行了一年的研究工作后，对于静压水垫的实际可用性的问题，做出了明确的肯定的回答。这种装置提供了一个良好机会，可以用来核对计算结果，研究颗粒大小和比重不同的物料的可用性，确定最适当的水量，以及了解增加输送带的速度产生的影响。已证实：在载

荷不超过预先估计的大小时，水垫的使用不受载荷大小的影响。事实上，即使当输送带是完全空着的时候，这个装置也是做功的。

对动压水垫和静压水垫基本性能进行的比较，确实表明：只有静压水垫适于铺设输送机的输送带。动压水垫没有能力达到这一目的，这是因为必须沿着输送机的整个轴线提供液体，并把液体注入到输送带和输送槽之间的空间，而且必须沿着整个输送机收集液体。如果要实现这些要求，就必然将使这一系统更加复杂和昂贵，而结果至多可能节省一些液体。

人们使得静压水垫对于铺设输送机的输送带既适合又便利。这是因为：实际只是在某些部位必须提供承载的液体，并把它注入到输送带与输送槽之间的空间。图4表示了一条有几个极值位置的输送机的输送带的轨道。

在输送机开动之前，输送带本身要与输送槽配合好。为了使输送带朝着箭头“V”的方向运动，液体在极大位置1和2处被压入输送带与输送槽间的空间。用泵增压的液体将抬起输送带，并且以0.5~2米/秒的速度向极小位置3和4运动；薄薄的一层液体将最终到达极小位置。从这时起，将有一定数量的液体在极大位置被压进来；同时，相同数量的液体在极小位置被排放出去。而由于水垫形成的缘故，输送带将沿着输送槽浮动。因为有了这种条件，输送带随时都能有效地启动。

由于向箭头“V”的方向驱动输送带，水垫也将随着输送带而运动。这意味着：随着速度的增加，液体（在输送线路上升的部分变得越来越少，在下降部分变得越来越多）将朝着极小位置流动。对于水垫的每一个厚度值，输送带都有一个与之有关的速度值，这个速度值将阻止水垫以一定的速率向相反的方向流动。如果输送带以超过临界值的某一速度运转，那么，不管输送线有多

长，它都足以使在位置1（装物料的地方）输入液体，并在末端位置4收集液体。

当输送带的速度是2.5米/秒的时候，沿着这种水垫输送物料所需要的水平功率比用传统的托辊型带式输送机输送少80%。

这不仅节约能量，而且还有可能建造比以前更长的水平装置。

另一个有利的特点是输送带的荷载最低。没有需要维护的托辊，不仅节约了工时，而且产生了这样的结果：当在地面以上若干米处安装输送带的时候，不需要为了使人员活动便利而增加投资来建造横动桥形台。

这种输送系统对液体的需要量是最低的。所需要的液体的量，首先将取决于输送带的宽度，而且也受到所输送的物料块的大小以及输送带速度的影响。根据测定，液体的消耗量在0.07米³/分钟到0.30米³/分钟范围内。

在冬季运转的时候，必须用防冻水溶液。因此，经过改进的系统将保证液体的循环流动。我们的系统经过改进后（在这一系统中，空载输送带是在输送槽中的水垫上浮着返回的），不用特殊的管线，也不用长距离的泵送，液体就能够循环。

表1和表2对某些传统的托辊型输送机和水垫带式输送机的比较提供了一个基础。水垫输送（特别是用水平的输送机轨道输送）的优点从表中也是显而易见的。

水垫型料斗输送机

当应用静压系统时，应在入料位置的附近处输入承载液体。当用水的时候，是否完全回吸水，还是循环使用液体，还是把液体放掉，这只取决于现场条件。改进了的系统将保证液体没有任何损失，完全地被重新利用。当承载液体的比重比水大，或含有防冻溶液或防冻剂时，它们的无损失的回收或循环将保证这一系统是经济的。

料斗装料系统运行所需要的液体的量等

于 $0.2\sim 1.0\text{米}^3/\text{分钟}$ 。所需要的液体的数量不取决于装料输送带的长度，而是在不大的程度上取决于装料带纵向中心线的倾斜角度。随着输送带有效宽度的增加，需要的液体的数量成比例增加。

如果用宽度较小，即较长的装料带；或选用较厚的输送带；或只有一个不大的倾斜角度，那么，用较少的液体就能装相同数量的物料。

只有当装料带纵向中心线几乎是水平的，或者它用于朝进料口方向上升的输送带轨道上的时候，才可以用静压系统。在料斗几乎是水平的情况下，功率的需要量理论上将不超过1千瓦。就中心线上升的长输送带来说，这个值可能大一些，然而它没有特殊意义（图5）。

应用水垫的优点

在每一个使用传统的输送机的工地上，都能够实际使用水垫型带式输送机。此外，它们也能够用于液压输送已经代替了带式输送的地方。它们还能够用于由于腐蚀或高温等原因，标准的滚柱型带式输送机不能工作的地方。在长距离水平输送的情况下，使用水垫型带式输送机具有更大的优越性。这一优点甚至超过了液力输送。

有可能在管道中铺设输送带，从而为被输送的物料提供了保护。从另一方面来说，当在道路的上或下面交叉的时候，在管道中铺设输送带是方便的。

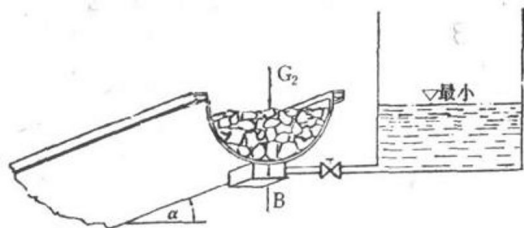


图 1

在潮湿的环境中，使用水垫型带式输送机肯定有益。因为在那种环境中，为了防止滚柱的腐蚀要用特种材料，即要增加费用。由于水垫型带式输送机功率消耗少，所以它们做为料斗装料输送机使用是很有利的。他们还能明显有效地利用空间。所花费的投资能减少40~50%。

最近，对水垫型带式输送机的实用设备进行了讨论。一种水垫型带式输送机（输送机长120米，输送带宽800毫米）将输送河卵石。

为了堆料，这种带式输送机能把物料举起8米高。人们预计这种设备在1984年中期开始正式运行。

以上所叙述的运输系统的发展还没有结束。这些改进工作目的在于：根据实际的工作条件（例如，在化学工业领域中输送有腐蚀性的物料），扩大它的应用范围；研制各种冷却输送带；研究应用线性电机的可能性，等等。

在这方面，我们要感激在互相关心的基础上协同工作的伙伴们。



图 2