

## 科里奥利原理在测量散粒料流量中的应用

杨小昆<sup>1</sup>, 刘小球<sup>1</sup>, 马 健<sup>2</sup>, 郑海勇<sup>3</sup>

(1.合肥水泥研究设计院,安徽 合肥 230051 2.江西赣珠水泥厂,江西 宜春 330811 3.浙江省委办公厅网络信息中心,浙江 杭州 310025)

**摘 要:**介绍了利用科里奥利原理测量固体物料流量的方法,以及实现这个原理的典型测量装置——科氏质量流量计。为了使测量达到较高精度,必须解决两个关键问题:力矩的精确测量和转速恒定。文中对科氏质量流量计和其他测量系统(如冲板系统、溜槽系统)进行比较,指出其特点为测量精度不受物料特性(颗粒度、容重)影响,并且可以锁住逆向空气流,不用添加锁风装置。利用科氏质量流量计测量固体散料、粉体只要物料不凝聚和粘着,量程范围可达 1~150 t/h,测量精度优于 1%。

**关键词:**科里奥利式质量流量计,散粒料,流量测量

**中图分类号:**TF068.23 **文献标识码:**A

**文章编号:**1008-5548(2004)05-0043-05

## Application of Coriolis Principle in Flow Rate Measurement of Granules

YANG Xiao-kun<sup>1</sup>, LIU Xiao-qiu<sup>1</sup>, MA Jian<sup>2</sup>, ZHENG Hai-yong<sup>3</sup>

(1. Hefei Institute of Cement Research and Design, Hefei 230051;

2. Ganzhu Cement Plant of Jiangxi Province, Yichun 330811; 3. Network Information Centre of General Office of Zhejiang Provincial Party Committee, Hangzhou 310025, China)

**Abstract:** The method of flow rate measurement of granules with Coriolis principle is introduced and the Coriolis mass flowmeter is a typical measurement device based on this principle. Two key points must be solved in order to achieve higher measuring precision, such as accurate measurement of torque and the constant speed. Compared with other measuring systems, the Coriolis system has its characteristics as follows: the measuring precision doesn't be affected by materials' characteristics, and it can be prevented retrorse air with no additional device. The Coriolis system can measure range from 1 t/h to 150 t/h, its precision can excel 1% as long as the materials are not too moisture.

**Key words:** Coriolis mass flowmeter, accurate measure with torque, process for constant speed

利用科里奥利原理测量物料流量的方法,在液体的物料流量测量中已属众所周知。利用这一方法来测量固体物料流量也有二、三十年的历史。早期

的利用科氏原理测量固体流量的测量装置,因受到当时技术水平的制约(如检测技术、微电子技术),并没有得到很好的应用和推广。科氏测量装置在水泥工业中被认可和应用,也只是近几年的事。这主要得益于现代科技水平的发展,特别是传感器技术和计算机应用技术迅猛发展,使得过去难以解决的技术问题——如测力、速度处理——变得十分简单和轻而易举。由于科氏测量原理与其他力学方法(如冲板系统、溜槽系统)相比,具有不受物料性质影响等独特的优点,得以在应用领域得到更加广泛的使用。

## 1 测量原理

科氏测量原理的实现需要一个以恒定角速度转动,并装有导向叶片的旋转圆盘(测轮),如图 1 所示。物料从中心冲击进入测轮,经过锥形的转向装置,物流方向发生偏转,形成被测的料流,进入导向叶片之间的导流槽内,并被以角速度  $\omega$  旋转着的测轮的导向叶片捕获,物料流由于受到离心力的加速,向测轮的外缘运动,并沿导向叶片的抛物缘离开测轮,由于物料流在测轮内受到导向叶片的限制而运动,物料流沿导向叶片运动时产生科氏加速度以及科氏力。这个力对测轮转动中心形成一个力矩,方向与测轮旋转方向相反,此力矩由测轮驱动电机来补偿,并被我们利用作为测量效应,即  $M=$

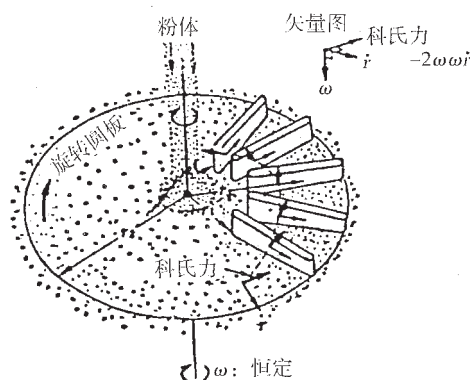


图1 旋转圆盘示意图

收稿日期 2004-02-09,修回日期 2004-04-26

第一作者简介 杨小昆(1955-)女,工程师。

$m \times \omega \times R^2$  ( $M$  为科氏力对测轮转动中心产生的力矩;  $m$  为瞬时通过测轮的质量流量;  $\omega$  为侧旋转角速度;  $R$  为测轮半径。从式中可以看出,  $M$  在角速度恒定时, 转矩  $M$  正比于质量流量  $m$ , 式中没有其他的不定参数(因素), 只要能精确地测定转矩  $M$  和保持角速度的恒定, 那么就可准确地测量出物料的质量流量。因此可以简单地利用科式原理的测量方法, 实现以较高的准确度直接测得质量流量。

## 2 测量原理的实现

利用科氏原理制造的测量装置形式多样, 测量散粒料粉体流量有科氏皮带秤和科式质量流量计, 科氏皮带秤因其结构复杂, 体积较大, 在实际应用中受到限制, 比较典型的应用是科氏质量流量计。科式原理用于测量看似简单, 但真正实现测量目的, 并使其独特性能得到充分发挥, 就必须对其结构、实现测量的方式加以仔细的考虑。以科氏质量流量计为例, 要使测量达到较高准确度, 必须利用现有技术条件, 解决以下两个重要的技术关键。

### 2.1 力矩的精确测量

按照科氏原理, 在角速度恒定时, 转矩  $M$  正比于质量流量  $m$ , 只要精确地测定转矩  $M$  就可以测量出物料质量流量。对于一个绕固定轴转动的系统, 测定它的动态转矩比较困难, 早期测量这一系统的动态转矩时是通过测定电机电流方法间接获得转矩大小, 但这种方法准确度太差, 转矩值是一个大概的数值, 不能满足测量准确度的要求。传感技术的发展使得测量动态转矩变得容易和准确, 目前利用传感器测定动态转矩有两种基本形式: 一种是利用动态力矩传感器, 如图 2 所示。这种传感器直接

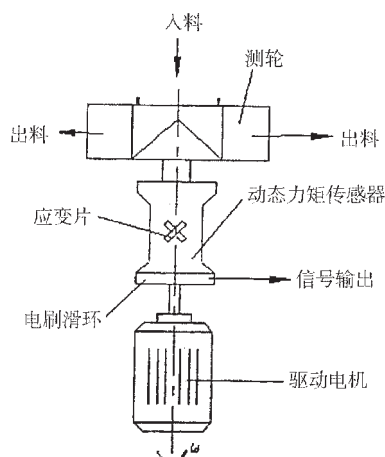


图2 动态力矩传感器示意图

与转动系统的转轴相连, 并与转轴同时转动, 转矩的大小通过传感器上的应变片产生的电信号输出, 有专门的仪表来测量。这种力矩传感器如是静态测量则毫无问题, 但系统在不停地连续运转, 其电信号的输出变得比较复杂, 必须加装电刷滑环装置。电刷滑环带来的问题是信号的损失和使用寿命的减少, 有资料表明, 电信号通过电刷滑环输出会有大约 $\pm 5\%$ ~ $\pm 1\%$ 误差, 而且随着电刷滑环的磨损, 这种误差还将更大。目前, 国外这种类型传感器的准确度为 $\pm 1\%$ , 价格比较昂贵。国内也有同类型的传感器, 但其准确度较低, 一般在 $\pm 2\%$ ~ $\pm 5\%$ 之间。

另一种方式是用静态测力求得转矩。原理如图 3 所示。将驱动电机两出轴端用轴承支撑, 使电机定子“悬浮”起来, 当电机驱动测轮旋转时, 电机转轴(转子)施加给定子一个作用力矩, 这个力矩使得定子以两个支点轴承之间连线(实际就是转动系统转轴)为转轴转动, 通过固定在定子上的力臂, 对测力传感器施加一个作用力, 由传感器测得的该力乘以力臂长度即可获得力矩。根据力学原理, 该力矩与电机转轴力矩大小相等、方向相反, 即所求的科氏力矩。这种利用静态测力求得动态力矩的方法非常巧妙, 它使得动态力矩的测量变得简单、可靠, 测量准确度高, 静态测力传感器的准确度可达 $\pm 5\%$ ~ $\pm 8\%$ , 这一结果是令人满意的。实际应用中的科氏质量流量计转矩的测量大多使用这种方式, 但它的测力机构较复杂, 转动支点(轴承)摩擦以及长时间灰尘对轴承的作用, 都将对其测矩的准确度产生影响。

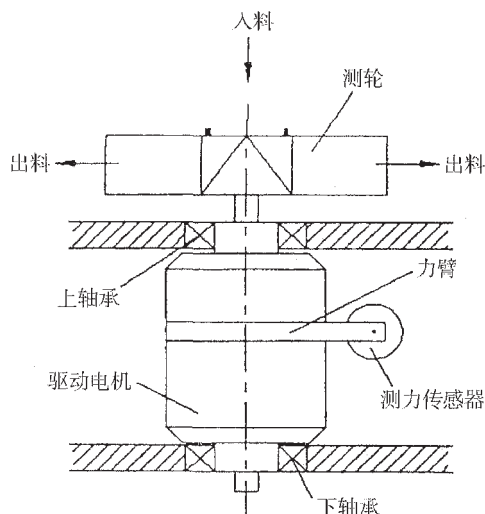


图3 静态测力原理图

目前,科氏质量流量计转矩所使用的方法基本上就是上述两种,比较而言第二种方式因其测量精度高,长期稳定性好而被普遍采用,第一种方法随着技术的发展,解决了精度和稳定性的问题,也可能应用前景更广。

## 2.2 转速处理

根据测量原理,若想得到转矩正比于质量流量这一结果,测轮旋转的角速度必须是恒定的,它不随负荷流量的变化而变化,恒定的角速度是测量质量流量的前提条件。这就对驱动电机提出要求:负荷变化,转速不变,要满足这一要求,人们首先想到同步电机。同步电机有着良好的恒转速的特性,但同步电机转速较高,高转速会带来一系列不利测量并难以克服的后果,如振动、通过测轮流体(空气)的速度、物料通过测轮极短的时间,都影响到测量的准确性,显然同步电机直接驱动测轮是不合适的,必须减速,这就意味着在同步电机与测轮之间必须增加减速装置(减速机)。这种减速装置会给测量结果带来附加的损失,并且这种损失是随机的。同时,增加减速装置会使流量计体积变大,结构复杂,不能令人满意。早期的科氏质量流量计均采用同步电机加减速装置来驱动测轮恒速转动,也许这是早期科氏流量计得不到良好应用和推广的原因之一。随着变频技术在工业领域的应用,用变频装置控制电机,使得电机“恒速”转动变得简单易行。电机不需要特殊制造,用普通电机进行变频控制即可达到要求,虽然这种用变频控制电机恒速转动也会因负荷的变化而使转速波动,但这种波动极为微小,系统中增加测速装置,并对速度进行校正,对保证测量准确度是必要的。由于变频器可控制电机在其额定转速范围内以任意一个速度转动,因而电机可直接驱动测轮,不需要增加减速装置,这是变频恒速的主要优点之一。另一种获得“恒定”转速的方法,就是对转速变化进行补偿,其原理是对旋转测轮的转速在线检测,当负荷变化引起转速偏离预先确定的“恒定”速度时,实时地将这一偏差修正补偿到测量结果中,虽然控制系统和软件比较复杂,但可以得到较为满意的结果。这种方式所用的电机不是普通的电机,需要专门设计制造。

从理论上讲,系统获得不随负荷变化的恒定转速,只有采用同步电机,但随着技术的发展,也使得“变频恒速”和“补偿恒速”成为可能。几种方式都

可使得系统转速“恒定”,比较而言,变频恒速方式更容易被设计者和使用者认可和使用,这是由于它简单可靠,易于实现。不难看出,采用静态测量求得转矩和变频恒速是目前科氏质量流量计的主要技术特点,更适合在工业环境下应用。

## 3 科氏质量流量计结构

科氏质量流量计一般被设计成防尘密封的扇形结构,如图4所示。物料从中心进料口进入流量计,被锥面转变方向后进入测轮,测轮由电机驱动,以一定的转速恒定旋转,物料在旋转测轮的驱动下,向测轮外缘运动,离开测轮后撞在挡板上并下落,从中心出料口离开质量流量计。这是科氏质量流量计的基本结构形式,它将电机、测力机构置于流量计壳体的内部,称为内置式,其特点是结构紧凑,体积小,便于安装。电机出轴短,抗来料冲击能力强,不足之处是不易调整、维护,电机的散热必须加装辅助风扇。科氏质量流量计除基本结构形式

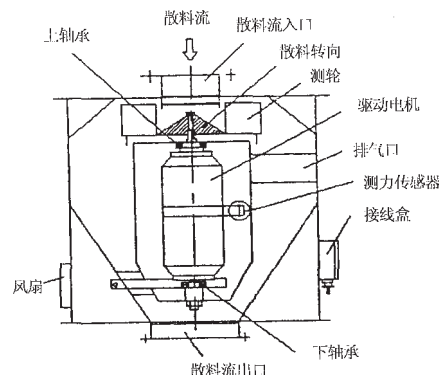


图4 科氏质量流量计结构图

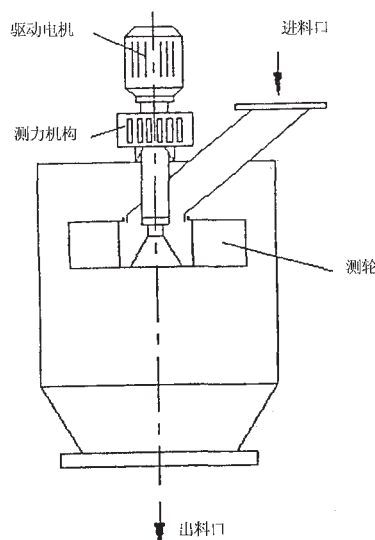


图5 上置式科氏流量计示意图

## 工程应用

(内置式)外,还有多种的结构形式,图5所示的科氏质量流量计是将驱动电机和测力机构置于壳体的上方,称为上置式,其优点是便于调整和维护,电机散热好,缺点是电机“出轴”过长,测轮安装在长旋臂转轴上,进料时会对测轮产生较大的冲击,严重时会出现测轮抖动。由于电机上置,占用空间较大,可能会给上一级喂料设备的安装带来困难。

图6所示的科氏质量流量计是将驱动电机和测力机构置于流量计壳体的下方,称为下置式,其优点是维护、调整方便,抗来料冲击能力强,缺点是测轮转轴需要加装辅助支撑,整机占用空间较大。目前上述几种结构形式的科氏质量流量计都有应用的实例。目前下置式结构的科氏质量流量计似乎应用多一些,但据此还很难做出此种结构最佳的结论。

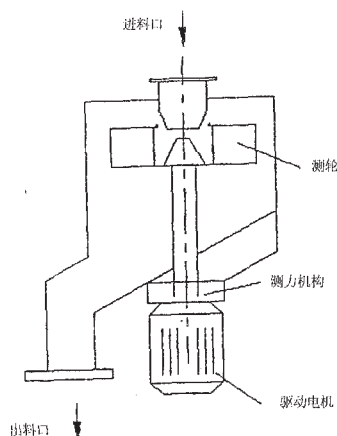


图6 下置式科氏流量计示意图

## 4 特点及应用

### 4.1 特点

根据科氏测量原理,当角速度恒定时,物料通过测轮产生的科氏力矩正比于质量流量,物料微粒所受的离心力和测轮之间的摩擦,或者是不同速度的物料层(层流)之间的摩擦对测量结果都没有影响,其他与物料性质相关的物理量也不会影响测量结果。被测力矩从理论上可以被确定,这是与冲板系统和溜槽系统不同之处,后者的被测力在理论上不能完全确定,很多因素如物料的特性(颗粒度、容重)都会影响测量准确度,测量结果要靠经验的办法加以考虑和确定。由此可见,科氏质量流量计有着极高的测量准确度,这是它突出的特点之一。其

测量准确度,只要在它的量程范围以内,可优于 $\pm 1\%$ ,其它流量计的测量准确度很难超过 $\pm 2\%$ 。

科氏质量流量计旋转的测轮可以近似看做“离心泵”,被测物料进入旋转测轮,获得能量被抛出,而气流决不会逆向穿过测轮,逆向气流不会影响测量的准确度,这就意味着它可以锁住逆向的空气流,并不受它的影响,这是科氏流量计的另一个突出的特点,这也是其它类型的流量计难以做到的。许多类型的流量计测量准确度对逆向气流特别敏感,有时变得无法使用,需要在其出口口处加装阻止逆向气流的装置(如叶轮给料机、螺旋喂料机),有时即使加装锁风装置,结果也不令人满意。科氏质量流量计具有的独特特点,就可以使用在有逆向气流存在的输送线,不需要特别的锁风装置,大大简化了系统,减少了投资。

由于被测的物料必须从测轮内部通过,与其它类型的流量计一样,存在着阻碍物料流动的因素,有发生堵塞的危险,如物料粘着在测轮上,这一点限制科氏流量计的应用,由此也产生了对物料的要求,要求它能自由流淌。科氏质量流量计与其它类型流量计一样,就其本身来说,只能测量流量,而实际应用中往往需要控制流量,这就需要合适的可控的喂料设备,与科氏流量计组成一个喂料控制系统,通过科氏流量计流量测量值来控制喂料设备的喂料量,实现流量控制。

### 4.2 应用

图7是科氏质量流量计在实际生产线典型的

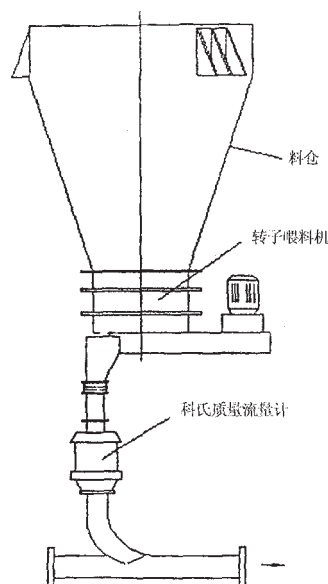


图7 科氏质量流量计实际应用示意图



应用。从图中可以看出,科氏质量流量计安装在转子式喂料机的下面,物料瞬时流量由科氏流量计测量并根据其测量值大小,控制速度可调的转子式喂料机喂料量,实现流量可控和定量喂料,这种喂料系统对水泥厂入窑煤粉、入窑生料粉的流量测量和控制非常合适。

## 5 结束语

现代技术使得科氏原理在测量散料流、粉体质量流量中的应用成为现实,并得到令人满意的结果。利用科氏原理测量固体散料、粉体的装置,即科

氏质量流量计可以以较高的准确度直接测得质量流量,只要物料能够自由流淌而不凝聚、不粘着,如各种颗粒状物料,流动性好的粉体、谷物等,都可以直接由它来计量,它的量程范围为1~150 t/h,在这个量程内其准确度优于 $\pm 1\%$ 。这种测量装置也不是十全十美的,一些因素(如粘性物料、大流量的测量)也使它的应用受到限制。由于这种利用科氏原理的测量装置具有其它测量装置(如冲板、溜槽测量装置)所不具备的优点,可能会使它在诸如水泥厂入窑生料和入窑煤粉的流量测量和控制领域得到更加广泛的应用。

信息之窗

## 欢迎订阅 2005 年《粮食流通技术》杂志

把握行业脉搏 浓缩技术精华 满足读者需求 指导企业生产

邮发代号 36-53

《粮食流通技术》是国家粮食局主管,国家粮食储备局郑州科学研究设计院主办的全国唯一以粮食流通为主题的科学技术性期刊。旨在及时准确地宣传党和国家有关粮食流通的方针政策 and 法律法规;广泛报道国内外粮食流通行业的新技术、新成果;全面反映粮食流通行业的发展现状;深入探讨粮食流通行业的发展趋势和发展动向;是一本融可读性、实用性、技术性和服务性为一体的粮食流通行业的综合性期刊。本刊为河南省优秀期刊《中国学术期刊检索与评价数据规范》执行优秀期刊;是《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和科技部《万方数据—数字化期刊群数据库》全文收录期刊;是《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中国学术期刊评价数据库》和《中文科技期刊数据库》的来源期刊。

《液流通技术》杂志面向全国各地的大中型粮库、油厂、面粉厂和饲料厂发行,得到全国各地广大读者朋友的支持、认可和厚爱。杂志现辟有粮食流

通专论、工程设计、工艺设备、粮食储藏、制粉工业、饲料工业和食品加工等栏目,内容丰富详实、新颖实用,是粮食、食品、油脂、饲料等行业研究、设计、生产、制造、管理和教育等有关人员及大中专院校学生的得力助手和理想读物,是广大读者朋友学习、交流、收藏的理想媒体。

《粮食流通技术》杂志为大16开本,双月刊,内容丰富,印刷精美。国内外公开发行,国内统一刊号CN41-1241/TS,国际标准刊号ISSN1007-3582,邮发代号36-53,每期定价10元,全年定价60元(免邮费)。欢迎广大读者订阅,来稿和联系刊登广告事宜。

联系地址:河南省郑州市南阳路153号

邮 编 450053

联系电话 0371-3731409 3753609

传 真 0371-3721015

E-mail lsltjs@periodicals.net.cn