废弃物转化生物质粉体燃料准确计量技术研究

高健[1]，郭强[1]，张勇[2]，李刚[2]，杨天亮[2]

（1.国能寿光发电有限责任公司，山东寿光262700；2.烟台龙源电力技术股份有限公司，山东烟台264006）

摘要：在人类生产和生活中产生大量有机废弃物，将有机废弃物转化为生物质粉体燃料耦合燃煤锅炉发电是一种有效的处理方式。为了保证燃煤锅炉掺烧生物质粉体燃料能够稳定燃烧，需要对生物质粉体燃料进行准确称量。文章针对现有粉体物料计量技术进行分析，选取转子秤作为生物质粉体燃料最佳计量技术。通过自行搭建转子秤称量试验系统，得到转子称最大计量精度偏差为0.141%，满足项目要求。

1背景

生物质在替代煤燃烧过程中产生的碳排放与其生长过程中吸收的CO2可视为相互抵消，因此燃煤电厂耦合生物质发电是降低碳排放的一种有效方式[1]。

为避免生物质粉体燃料掺烧过多影响燃煤锅炉稳定燃烧，需要对生物质粉体燃料进行准确测量。生物质粉体燃料的计量与控制一直是个难题。由于粉体燃料的形态、粒度分布以及表面形态等原因，导致粉体燃料的物理特性在固态和液态之间转换。粉体燃料在储存过程中容易产生气体，在粉体燃料间静电和水分作用下，随着气体排出，粉体燃料间内摩擦增加，导致团聚和板结，粉体燃料表现为固体特征。在运输过程中由于螺旋输送机叶片的搅动，导致粉体燃料发生膨胀，粉体燃料间的内摩擦急剧下降，表现为液体特征。

粉体燃料的流量控制计量与固体、液体的流量控制计量存在比较大的差异，在工艺和装备上，需要分别考虑。单纯采用绞刀秤、流量计、失重秤或皮带秤等传统的计量技术，存在计量不准、给料不稳、冲料、跑料等问题[2]。

文章主要针对现有粉体计量技术进行分析，选取出生物质粉体燃料最佳计量技术。通过自行搭建转子秤称量试验系统对该技术计量精度进行验证，保证生物质粉体燃料准确计量。

2生物质粉体燃料计量方式

流量测量技术是一种迅速发展的科学技术，广泛应用于工业、交通和商业等领域。流量测量技术主要分为传统流量测量技术和直接计量质量流量技术。传统流量测量技术主要针对流体体积流量进行测量，随着工业的迅速发展，人们对流量测量的精度要求越来越高，传统的流量测量技术已无法满足需求。直接计量质量流量技术的出现突破了传统流量测量的局限，满足人们对流量测量的精度要求，近年来得到广泛应用[2]。

目前，粉体固体质量流量测量仪器主要包括失重秤、皮带秤、转子称和冲击式流量计等。失重秤流量测量技术起源于传统称重料斗技术。传统称重料斗主要用于称量料斗中的物料重量，失重秤在传统称重料斗原有功能上进一步升级，对料斗中物料的质量流量进行测量和控制。失重秤的测量精度可以达到0.5%～1.0%。皮带秤称量技术是一种对物料进行连续自动称重的流量计量技术。在皮带输送物料过程中，皮带输送机对输送物料进行连续自动称重计量，通常不需要操作人员干预。转子秤称量技术通过载料转子对物料质量流量进行测量，具有较高的计量精度。冲击式流量计通过测量物料对挡板的冲击力对物料的质量流量进行计量。冲击式流量计冲击力有多种测量方式，主要包括铅锤分力测量、水平分力测量以及法向分力测量等。目前，水平分力测量拥有较好的测量效果为主要应用方式，部分采用法向分力测量。冲击式流量计的测量精度优于±2%[2]。

皮带秤的使用精度容易受到秤架结构形式、传感器精度和性能、电压和载荷波动、物料附着、皮带磨损、张力变化以及振动等因素影响，其实际使用精度很低。失重秤容易受到间歇填充计量斗、动态称量、安装和周围环境等因素影响，精度无法保证。冲击式流量计的测量方法定量分析比较复杂，具有较多影响测量精度的不确定因素，并且其理论计算公式与实际标定时的参数具有较大的差异，在实际使用过程中以物料实际标定参数为准，经验公式作为参考。冲击式流量计在短时间内无法突破原理上的缺陷。

转子秤主要由上下滑板、减速箱、机壳、计量装置、料口和传动装置等组成。转子秤通过吊装轴承（起到称量轴作用）和称重点（起到称重作用）悬吊在机壳上。吊装轴承位于出料口和进料口的中心线上，采用软接头将进出料管与系统中其他相应部位进行连接。在管道上安装弹性补偿器防止外力影响转子秤称量。转子的主轴与减速机的出轴连接，电机前端通过齿形皮带连接减速机，编码器安置在电机后端。

隔仓中存在一定数量的叶片，叶片将隔仓空间划分为一定数量旋转的扇形空间。物料在高压风嘴和自身重力作用下由入料口进入隔仓。变频器调节电机带动减速机和转子主轴转动，随着转子转动物料填满隔仓中的扇形空间。当物料转动至出料口时，在风管和重力作用下被送到下一个工序。

在转子秤运转的整个过程中，称量轴将隔仓一分为二，一半作为物料下料仓时刻充满物料，另一半与出料口相连，在出料口时已经进入下一道工序。因此，转子秤内部物料不平衡，导致称重点受力，对秤体内部的物料质量可以进行实时监测，并且监测结果与转子秤设定值相比可得到转子速率。

采用控制仪表对转子速度以及物料测量进行调节。物料质量通过实时测量反馈到控制仪表中，控制仪表对物料质量信息进行储存。为了保持物料流量的准确性和稳定性，转子的转速通过测量的质量信息进行不断的调整，避免了其他称量技术中具有的通用弊病，增强了瞬时流量的稳定性，提高了物料计量的精度和准确性。工业生产需求得到满足，产品质量得到保证，生产效率得到提高。

转子秤定量给料和物料计量系统主要由稳料仓、转子秤、变频器、控制仪表和流量阀等几部分构成。稳料仓是一个过程稳流储料设备，由粉体物料特性决定，用来保证下料稳定和隔仓中料量充足。自稳料仓至入料口的物料流量即转子秤秤体的流入物料量采用流量阀进行控制。阀门开度和通过阀门的物料量为非线性关系，因此流量阀实现了转子秤预给料控制。

编码器用于检测电机转速安装在电机轴尾部。随着电机转速变化，编码器产生相应比例关系的脉冲数，采用控制仪表对脉冲数进行采集并通过仪表内部进行计算得到转子角速度大小，从而实现了速度反馈。控制仪表是整个系统的核心，主要用于现场数据采集、数据处理、故障监测以及物料量控制等。称重传感器用于将采集到的重量信号转化为电信号，并且将电信号发送至控制仪表，通过控制仪表对电信号进行进一步处理，计算出物料质量。变频器通过控制仪表给出的电信号，对电机转速进行调节。工作人员通过与控制仪表相连接的中控DCS在控制室对控制仪表进行远程操作，监测控制仪表数据。

转子秤利用转子叶片将物料分隔至不同的扇形区域内，随着转子转动物料做圆弧运动。转子秤采用水平转子和重力检测技术，利用杠杆原理对扇形区域内的物料进行称量，通过传感器对转子转速进行测量，进一步求出物料流量的角密度。由于转子秤的秤体由刚性材料构成，物料重量产生的冲击对其影响很小，保证了转子秤的稳定运行。

由于转子秤中的物料种类和气流对称量精度没有影响，因此转子秤可以通过称重传感器对隔仓内的物料质量进行直接称量。在转子秤叶片的推动下，隔仓中的物料传输速度和转子角速度保持实时一致，有利于提高测量精度。转子秤计量技术可以有效地稳定物料喂料量，具有可靠性高、控制范围宽以及运行稳定等特点，校验容易，标定校验后不需要再次标定[3]。因此，转子秤相比于皮带秤、失重秤、冲击式流量计等称量设备，具有更高的精确度。选用转子秤对生物质粉体燃料进行称量。

3试验设备及方法

为满足项目对生物质粉体燃料称量精度要求，通过自行搭建转子秤称量试验系统进行转子称精度试验研究。

3.1试验设备

试验设备主要包括生物质暂存仓、转子秤、皮带输送机、电子吊秤及料斗。

生物质暂存仓主要用于储存生物质粉体燃料，储仓容积3m^3，内部配有搅拌装置，用于对生物质燃料进行搅拌，增加系统下料均匀性。储仓下部配有电动插板门，用于系统试验前后物料关断。

转子秤设计出料为20m^3/h，生物质粉体燃料密度0.35t/h，实际测试质量流量为0～7t/h，设计计量精度±0.5%。

皮带输送机主要用于将转子秤称重之后的生物质粉末由转子秤下部输送出。

电子吊秤采用上海友声衡器有限公司生产的设备，吊秤最大称量3t，实际及检定分度值为1kg，计量准确度等级III级。电子吊秤主要用于对转子秤称重前后生物质粉末进行静态称重。

组装好的试验装置如图1所示。

图1　试验装置图

3.2试验方法

采用电子吊秤静态称量料斗重量并将电子吊秤归零。启动生物质暂存仓内搅拌装置，保证生物质粉末在仓内呈流动状态，满足下料要求。开启转子秤和皮带输送机，保证转子秤和皮带输送机运转并显示正常。打开电动插板门，使生

物质粉末进入转子秤中开始称量工作，同时将经过转子秤及皮带输送机的生物质粉末送至料斗中。待生物质暂存仓内粉末全部经过转子秤及皮带输送机进入料斗后，关闭转子秤及皮带输送机。通过电子吊秤静态称量获得去皮后生物质粉末重量M0。通过转子秤控制箱上计量转子秤称重生物质粉末重量M1。通过M0和M1计算转子秤计量精度d，如公式（1）所示。

$$d = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \qquad (1)$$

3.3试验结果

本次共进行4次重复试验，生物质粉体燃料称量重量范围200～350kg，经统计4次试验结果如图2所示。由试验1至试验4，生物质粉体燃料称量重量逐渐增加，由212kg增加至341kg。由公式（1）计算转子称最大计量精度偏差为0.141%，小于转子称设计计量精度±0.5%，选用转子称作为生物质粉体燃料的计量技术，满足项目要求。

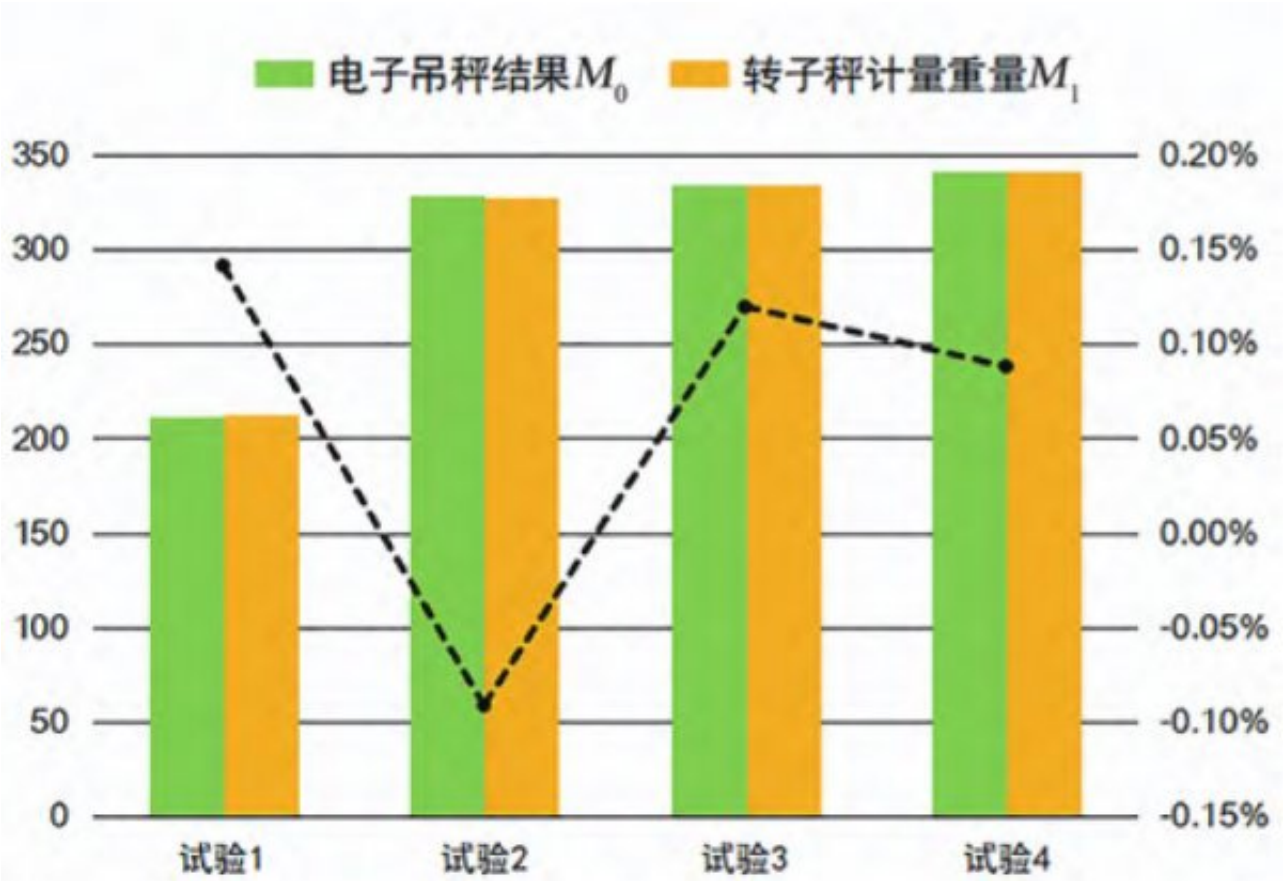

图2　转子称试验测量结果

4结语

文章通过对皮带秤、失重秤、转子秤和冲击式流量计进行分析，选取转子秤作为生物质粉体燃料计量技术。通过自行搭建转子秤称量试验系统对转子称计量精度进行验证，转子称最大计量精度偏差为0.141%，小于转子称设计计量精度±0.5%，满足项目要求。

参考文献：

[1]郭慧娜,吴玉新,王学斌,等.燃煤机组耦合农林生物质发电技术现状及展望[J].洁净煤技术,2022,28(3):12-22.

[2]夏如铁,侯贵斌.几种大流量粉状物料计量控制方式浅析[J].水泥工程,2010(3):78-80.

[3]张晓宁,付永领.粉体质量流量计综述[J].测控技术,2006(12):1-4.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/200573.html