

火电厂锅炉一/二次风速测量技术的现状与发展

Current Situation and Development of the Measuring Techniques for Primary and Secondary Air Speed in Boiler Control of Fossil-fired Power Plant

程启明 程尹曼 汪明娟 王映斐

(上海电力学院电力与自动化学院, 上海 200090)

摘要: 火电厂锅炉一/二次风速的准确快速测量对锅炉的燃烧调整和安全经济运行起着极为重要的作用。一/二次风速测量技术种类繁多,其中差压式风速测量技术应用较为广泛。全面介绍了当前基于多种风速测量技术的测量仪器的工作原理、优缺点和适用范围,阐述了风速测量技术的发展趋势与测量仪器选用原则;同时,指出在实际应用中,应根据实际情况做合理的选择。这对风速测量技术的选择和研究具有一定的参考价值。

关键词: 火电厂 锅炉 风速 气体流量计 在线测量

中图分类号: TK313; TK223.7 **文献标志码:** A

Abstract: Accurate and rapid measurement of the primary and secondary air speed for boiler control in fossil-fired power plant is very important to combustion adjustment and safety and economical operation of the boiler. The techniques for measuring the air speed are in a great variety, while among those; the differential pressure air speed measurement is in wider use. The measuring instruments operational principles, merits and demerits as well as the applicable scopes of various measuring techniques commonly used at present are introduced comprehensively. The developing trend and the selection criteria of the measuring instruments for air speed are described. In addition, specific and reasonable considerations in practical application under actual situation are proposed. These are valuable reference in selecting and researching the air speed measuring techniques.

Keywords: Fossil-fired power plant Boiler Air speed Gas flow meter On-line measurement

0 引言

一/二次风速作为电站锅炉燃烧调整的重要参数,在锅炉的安全、经济运行中起着重要作用。准确的风速测量有助于选择最佳燃烧工况和风量调节,提高系统的安全性和经济效益。多年来,司炉一般通过肉眼看火、风道静压显示、风门挡板开度调节等传统监测手段来调整锅炉燃烧。这种方法虽然简单、直观,但不能直接、准确地监测到锅炉一/二次风的风速,燃烧调整仍处于靠感觉、凭经验的状态,无法有效地监测和调整炉膛内燃烧工况。因此,可能会使锅炉配风不均,甚至引起火焰中心偏斜,燃烧不稳,从而导致熄火放炮、局部结焦及炉管爆漏等后果,降低锅炉热效率。所以,可靠、实时的监测锅炉风速是十分重要的。

火电厂风速测量存在直管段短且风道空间布置复杂、返料风流速较低且管径较小等缺点,并受气流性

质、管路系统以及流动状态多样等多种影响因素,因此电站锅炉风速测量难度较大。目前测风技术种类很多,特点各异,本文将分析比较当前国内电站锅炉风速在线监测技术,介绍各种技术的特点、应用情况以及锅炉风速测量技术的发展趋势。

1 常用差压式风速测量技术

目前,流量计有 100 多种,其中差压式流量计在工业应用较为广泛,锅炉风速测量也普遍采用在风道中安装差压式流量计来测量风速。这种仪器是利用风速与压差间的关系间接计算出风速。

1.1 喷嘴

标准喷嘴由二段圆弧形收缩段和圆筒形段组成^[1],它是一个孔径逐渐减小的流道,孔径最小的流道部分称为喷嘴的喉部。文丘里喷嘴的喉部后有孔径逐渐扩大的流道,临界流文丘里喷嘴的喉部气流速度达到临界速度(即音速),其流速只与上游压力有关而与下游压力无关,流出系数只与雷诺数有关。喷嘴测量仪经典成熟且已标准化,无需实流校准;结构简单、体积小;没有可动部件,准确度较高、性能稳定、重复性好;喷嘴入口为光

上海市教委重点学科建设基金资助项目(编号:J51301);

上海市教委重点科研基金资助项目(编号:06ZZ69)。

修改稿收到日期:2010-04-23。

第一作者程启明,男,1965年生,1988年毕业于浙江大学电子工程系,获硕士学位,教授;主要从事智能控制、电厂自动化等方面的研究。

滑曲面,不易磨损,流出系数非常稳定;压损比孔板小一半多;对测试气体的洁净度要求不高。但它制造成本高;安装较难、工艺复杂;压损较大;负压侧的取样孔因局部涡流的影响易堵塞;需要直管段较长。因此,此测量仪很少直接应用于电厂现场,常用作气体流量的传递标准或标定其他气体流量的仪表。

1.2 孔板

标准孔板是一块加工成圆形同心的^[2]、具有锐利直角边缘的薄板。充满管道的气体在流经管道内的节流孔板时,流束将在节流件处形成局部收缩,使流速增加,静压力降低,孔板前后产生静压力差。通过测量此差压,就能确定流过孔板的流速。孔板测量仪经典成熟且已标准化,无须实流标定;结构简单、便于制造、方便维护;通用性强、性能稳定可靠;价格低廉、使用寿命长。但它易积污、磨损、压损很大,且由流体冲刷引起的边缘磨损会导致测量精度下降,需要定期维护;加工精度和安装要求较高,安装费时费力;量程较小;测量重复性和精确度一般;要求直管段较长;易产生泄漏、堵塞、冻结及信号失真等故障。因此,此测量仪难以在电厂现场长期使用,常用作气体流量的传递标准。

1.3 毕托管

毕托管利用垂直装在支杆上的圆筒形测量头^[3],正对流向的端部孔测出流体全压,再由环绕其圆周的多个侧面孔测出流体静压,根据此差动压便可推算测点流速。毕托管测量仪结构简单,使用、制造方便;抽样标定容易,可用于标定仪表;价格便宜,坚固耐用;测量较高流速时精确且分辨力好。但由于其属于接触式测量,全压孔需正对风向,且其静压孔尺寸较小,所以仪器本身对风场影响较大;结构脆弱,不宜在工业现场长期使用;压差较小,不宜远传,当流速较低时,压差更小,灵敏度低,难以精确测量;不适合测量含烟尘气体的风速;要求测量截面上下游直管段较长,上游 $\geq 5 \sim 7D$ 、下游 $\geq 2 \sim 3D$ (D 为测量管内径);属于单点测量,至少要测20点才可求出较高精度的均速,工作量大。此仪器适用于气体流量实验室或工业流量计定期检定标准,尤其适合利用网格法大管道气体的大速度测量。

1.4 靠背管

靠背管由两根端面与水平面成 75° 的管子背靠背焊接而成^[4],两开口面成 180° 对称布置,一面迎向气流作为全压感压孔,另一面背向气流作为静压感压孔。将靠背管安装在管道或风箱上,其探头插入管内,当管内有气流流动时,通过计算迎风面管内的全压和背风侧管内的静压之间的差压,可算出管内风速。靠背管测量仪结构可靠、安装方便、维护容易、调节整定简单;

靠背管开口较大,不易堵粉,且对气流的偏斜敏感度很小,不会引起明显的误差。但它属于单点测量,无法解决流场不均匀性造成的测量误差,至少需要测量20点才可求出较好精度的平均流速;要求测量截面上下游直管段较长,上游 $\geq 8 \sim 10D$ 、下游 $\geq 1 \sim 3D$;属于非标准测压管,它的结构型式和加工精确度各不相同,使用前必须逐个标定。此仪器适用于含尘气体及大管道气体的速度测量,可用于电厂一/二次风速测量。

1.5 均速管

均速管由全压管和静压管组成^[5]。全压管上的测压孔是迎着来流方向布置,而静压管上的测压孔是背着来流方向或与之平行,测出平均动压(差压),就可计算出平均流速。按取压方式的不同,均速管可分为笛型管、双笛型管和阿牛巴管等几种。其中笛型管是一根或数根横穿管道截面的中空细金属管,在管子的迎风面开一排全压感压孔。双笛型管是将全压侧管和静压侧管点焊在一起,全压管的迎流面开有一排全压测孔,静压管背面开有一排静压测孔。阿牛巴管是一种沿直径方向插入圆形、菱形、椭圆形、扇形和机翼形等断面管道的均速管。威力巴管采用了根据空气动力学原理设计的子弹头外形,具有良好防堵能力。均速管测量仪用于多点测量,即一次测量沿一直线或曲线上多点流速的综合值来确定平均流速,准确度较点测量方式好;压损小,仅为孔板的 $1/10$ 左右;结构简单、制造容易、价格低廉;安装简单、维护方便;由于多个检测孔的均压作用,降低了对直管段的管径要求,一般 ≥ 25 mm;在充分发展紊流的流场中,准确度及稳定性较好;早期产品易堵塞,后期的威力巴管解决了易堵塞的弊端,威力巴管具有防堵塞、低压损、高精度、易安装、免维护及长寿命等特点。但它测量截面前后要有一定长度的直管段,直管段 $\geq 7 \sim 25D$;感压孔易堵塞,被测流体应是不含污秽、沉淀物的洁净流体;属于非标准型节流装置,产品需单独标定;差压较小,精度较差,特别是流速较低时,误差更大,对变送器的要求很高;受安装精度、流场的脉动和不均匀性影响较大。此仪器适合测量于安装在较小管道或矩形管道中,常被用于电厂返料风量的,也用于锅炉一/二次风量及蒸汽流量的测量。

1.6 文丘里管

经典文丘里管由入口圆筒段^[6]、收缩段、喉部、扩压段和出口段五部分组成。文丘里管的流道截面形状是一个先收缩后扩张的圆形管子,空气由左向右在管内流动,由于管道的截面不同,气束将在节流件处形成局部收缩,因而流速增加,静压力降低,在节流件前后间产生压差,由

压差的大小就可计算出流速。文丘里管分为风道式、单管、变管、内管及双管等多种文丘里管。其中,风道式文丘里管把整个风道做成文丘里形式,从入口及喉部分别引出静压测点,取其压差进行流速测量。该装置作为风道的一部分,成本低、安装方便、压差稳定可靠,对气流条件适应性强,但尺寸较长、占用空间大,且信号放大较小、压损大,增加了风机电耗。单文丘里管就是普通的标准文丘里管,它分为收缩段、喉部和扩压段部分,负压测点就是从喉部引出,与风道内的静压或全压形成压差进行风量测量。单文丘里管属于点测量,体积小、阻力小、安装方便,但对风道气流条件要求较高,直管段需较长,放大倍数低。文丘里管出现过矩型、Dall 型等多种改进外型,矩型有良好的特性,但压损过大,管很长,而 Dall 型虽比标准文丘利管短、压差大、压损小等,但要求更长的直管段。内文丘里管是由特型芯体与测量管内壁间的环形间隙形成节流通道^[7],其节流件设置在标准管段内,其圆锥收缩段可以均衡流速并减少压损。此仪器测量稳定性好,不确定度优;对被测介质适应能力强,可测量各种流体;不积污、不易堵塞;测量范围度宽,不用二次修正;适用雷诺数范围宽;对上下游直管段要求低,一般上游 $\geq 1.5D$ 、下游 $\geq 1D$;压损为孔板的 $1/3$ 。但加工要求高,价格较高,流量系数受加工精度和实际磨损程度影响大;属于点测量,要求流场稳定或流动相似;如要求高测量精度,则必须配置高性能的差压变送器;分流严重。

双文丘里管是由两只大小不同^[8]、型线相似的圆形文丘里管同心套装在同一轴线上,小文丘里管插在大文丘里管中,能够使差压信号增大,其负压测点取在内文丘里喉部,通过该信号与风道内气流的静压或全压比较产生压差进行测量。它的输出差压大、灵敏度高;差压与流速的线性关系较好,准确度较高;压损小,只占差压 1% ;结构简单、体积小、重量轻、安装方便;对测量直管段要求不严格。但它属于点测量,要求流场稳定或流动相似;一般所处位置并非管内平均流速点,准确度难以达到 3% ;压差波动大,要求流场更加稳定;设计和加工较难,成本较高;粉尘及黏稠物在其取压管内沉积结垢,难以清除,维护量大。文丘里管已越来越多地在电厂的一/二次风量测量和大口径管道的风速测量中采用。

1.7 机翼型测速装置

机翼型测风装置是由多个全机翼^[9]、取样传压管及一段矩形风道构成。当气流流经机翼测量装置时,在翼型表面形成绕流而产生压差。该压差与风道内的流速之间有一定的关系。常用的机翼型装置有平板型、三曲线型、流线型三种不同截面型式。其中,平板型由翼头半个圆柱体与两块平板相切组成;三曲线型

由三条具有一定比例关系的弧线相切组成;流线型由翼头圆柱体与两块符合流线曲线的凸形拱板相切组成。此机翼型测速装置压差大、灵敏度高和稳定性好;压损较小;上下游所需直管段较短,一般上游 $\geq 0.6D$ 、下游 $\geq 0.2D$;制造容易,安装维护方便。但它测压孔多、结构复杂,造成一定的压损,运行成本较高;易堵塞,导致测量不准;属于非标准装置,产品需要做标定;属于风道型设备,体积大、造价高、搬运困难。此法适用于低流速、大管径、矩形截面、纯净流速测量,可用于大容量锅炉大截面一/二次风风速测量。

1.8 弯管测速装置

弯管测速原理是流体通过弯管时^[10],由于受弯管的约束被迫在弯管内作近似圆周运动,流体在作圆周运动时产生的离心力作用于弯管的内外两侧,这时外管壁的压强大于内管壁的压强,在弯头的内外圈产生静压差,由压差与流速间的关系可得到流速。弯管测速装置对上下游直管段的要求较低,上游 $\geq 2 \sim 3D$ 、下游 $\geq 1D$;弯头法直接焊接在管道上,安装简单可靠;弯头角度对测量结果无影响,可充分利用现场已有弯头,节省安装费用;可靠性和精度较高;由于测量的是静压,解决了测量元件的磨损问题,且静压测管简单可靠、成本低、寿命长;适应性强,可在高温/高压/高浓度及其它恶劣环境下使用。但它输出差压小,测量精度不高;属于非标准测量,流量系数很难统一,难于标准化;属于点测量,要求流场稳定或流动相似;压损大,易泄漏,维修困难。此装置完全适应一次风速测量环境的需求,适用于各种送粉系统的风速在线监测。

2 新型的风速测量技术

随着传感测试技术发展,一些新型的气体流量计在风速测量中有着越来越广泛的应用。新型风速测量技术主要采用横截面式、热式质量、涡轮气体、涡街气体和超声波气体等流量计来测量风速。这些测量技术也都各有特点,它们已开始用于火电厂一/二次风速测量,但由于技术不成熟且成本较高等原因,目前还没有被广泛应用于风速测量中。随着技术的成熟和成本的降低,这些新的风速测量技术也会在风速测量上逐步推广应用。此外,还有插入式多喉径文丘利、V型锥、科里奥利及示踪法等新型流量计都有其特点,也可用于包括风速在内的气体流速测量。

3 风速测量技术发展及选用

风速测量技术的发展趋势可归纳为结构从繁、重到简、轻,向一体化发展;功能从单一到多种,向智能

化、数字化、网络化发展;准确度从低到高,向高精度发展;量程从小到大,向量程自动调节发展;安装从繁到简,向免安装发展;校验从实校到干标,向自动校准发展;压损从大到小,向节能方向发展;现场测试条件从高向低;直管段从长到短;流体从单相到多相;测点从单点到多点;装置从接触式到无接触式;显示从模拟到数字;易堵性从易堵塞向自动清堵发展;可靠性和寿命从低到高;产品从共性向个性,向专用化发展。

用户选择测速装置时需要考虑的因素有测量装置的性能、流体的物理化学特性、现场安装条件及维护、寿命与成本费用等。尽管风速测量装置种类很多,但每种技术都各自的优缺点。因此,用户在选择时,不可能面面俱到,而应该针对电厂的风速测量特点,权衡利弊,最后的抉择一般是在成本与性能之间做平衡。

4 结束语

准确的电站煤粉锅炉风速测量有助于进行最佳燃烧工况和风量调节,提高安全性和经济效益。由于锅炉风速测量受到诸多因素影响,目前的测量技术还无法满足所有理想测量要求,每种技术各有特点和适用范围,因此这就要求技术人员首先必须熟悉各种技术的特点,并综合考虑相关影响条件,选择最合适的测量

手段,以满足电站锅炉工程测量的要求。本文全面地介绍了当前各种风速测量技术原理与特点,对风速测量技术的选择有一定参考指导价值。

参考文献

- [1] 徐英华. 浅谈临界流文丘利喷嘴在气体流量计量中的实际应用[J]. 中国计量,2003(6):59-60.
- [2] 洪梅. 锅炉管路中节流孔板和流量孔板的设计[J]. 锅炉技术,2005,36(5):24-27.
- [3] 何宝林. 以孔板和皮托管为标准器的风速测量装置[J]. 计量学报,2006,27(2):124-127.
- [4] 安国银,边疆,付刚,等. 电厂锅炉含粉气流流速在线监测系统[J]. 中国电力,2003,36(10):46-49.
- [5] 吴海震. 均速管流量计在电厂中的应用[J]. 江苏电机工程,2008,27(3):73-75.
- [6] 杨兴森,尹静. 用文丘里测量风粉混合物的浓度和流量[J]. 仪器仪表学报,2005,26(z1):121-122.
- [7] 李连科,汉卿,庞世强. 内文丘里管流量计[J]. 仪器仪表学报,2001,22(6):556-559.
- [8] 都卫东,王家新. 双文丘里管风量测量装置在电站锅炉上的应用[J]. 中国电力,2000,33(7):35-37.
- [9] 张国庆,潭山,杨建英. 翼型风量测量装置的理论与实验研究[J]. 电力学报,2000,15(1):5-8.
- [10] 段泉圣. 基于弯管流速传感器的送风流量测量方法研究[J]. 华东电力,2008,36(10):131-133.

(上接第82页)

信号频率,选用K波段(24 GHz或26 GHz),从而得到较好的回波信号。

从雷达料位计的测量原理可知,雷达料位计是通过处理雷达波从探头发射到介质表面,然后返回到探头的时间来测量料位的。反射信号中混合有许多干扰信号,因此,对真实回波的处理和对各种虚假回波的识别技术就成为雷达料位计能否准确测量的关键因素。由于液面波动和随机噪声等因素的影响,检测信号中必然混有大量噪声^[8],为了提高检测的准确度,必须对检测信号进行处理,尽可能消除噪声。

调频连续波雷达必须在发射的同时进行接收,如果采用同一天线进行发射和接收,必须有效地防止发射信号直接泄漏到接收系统,因此,可采用环行器隔离发射接收信号。为了保证测量精度的要求,还必须采取有效的措施保证发射信号频率的稳定度和线性度。

5 结束语

近年来,微电子技术的渗入大大促进了新型物位测量技术的发展,新的测量技术促使物位测量仪表产品结构产生了很大变化。电子型物位仪表在品种和产

值上都已超过机械型仪表,成为物位仪表的主流,而非接触式测量技术是发展较快、应用较广的一种物位测量方式。此外,电池供电及无线雷达式物位仪表也开始在市场上出现。所有这些技术上取得的进步以及不断下降的价格正推动着雷达式物位仪表的不断增长。

参考文献

- [1] 李竞武. 物位测量新技术及我国的物位仪表行业概况[J]. 中国仪器仪表,2007(9):21-26.
- [2] 姬晓涂,涂亚庆,任开春,等. 雷达液位仪测量原理的分析及应用探讨[J]. 石油化工自动化,2005(1):68.
- [3] 陈淑珍,谢秋洪,肖柏勋. 时间尺度域匹配滤波器的设计与实现[J]. 武汉大学学报:理学版,2005,51(1):91-93.
- [4] 张贤达,保铮. 非平稳信号分析与处理[M]. 北京:国防工业出版社,1998:32-35.
- [5] 钱云襄,刘渝. 调频连续波雷达信号调制方式识别算法研究[J]. 数据采集与处理,2005,20(3):272-276.
- [6] 郑伟,陆广华,陈卫东,等. 线性度校正的新方法与系统应用[J]. 火控雷达技术,2005,34(4):12-15.
- [7] 胡翔,王东进. 一种提高LFMCW雷达调频线性度的新思路[J]. 中国科学技术大学学报,2001,31(1):63-67.
- [8] 张振宇,王绪本,刘艳. 基于小波变换的探地雷达信号去噪方法[J]. 电子器件应用,2009,11(4):68-70.