

BS - I 型测速管的应用及特性分析

柳冠青¹, 曹文广¹, 张高山², 华亮³, 石战胜¹, 马治安¹, 邹重恩¹

(1. 中国华电集团科学技术研究总院有限公司, 北京 100070; 2. 中国华电集团公司湖南分公司, 长沙 410004;
3. 湖南华电长沙发电有限公司, 长沙 410203)

摘 要:BS - I 型测速管是电力行业标准推荐用于直接测量风粉管道内气流速度的风速测量装置, 测量时不需进行煤粉质量浓度修正、不易积粉, 实际测试表明, 测量性能和精度符合预期。进一步通过计算流体力学 (CFD) 对该型测速管的测量特性进行了数值计算研究, 给出了速度系数受测量时的放置姿态 (旋转、倾斜) 和总压管积粉程度的影响规律。研究表明, BS - I 型测速管的速度系数对前述因素不敏感, 建议在制粉系统性能测试、测量中推广使用。

关键词:BS - I 型测速管; 风粉流动; 计算流体力学; 速度系数; 放置姿态; 积粉

中图分类号:TK 313 **文献标志码:**A **文章编号:**1674 - 1951 (2018) 01 - 0013 - 03

0 引言

燃煤电厂制粉系统的性能测试和日常监测中, 风速是最为基本和关键的测量对象之一。与单相介质中的风速测量不同, 制粉系统粉管中由于颗粒 (煤粉) 的存在, 常用的标准皮托管和 S 型靠背管的结构和原理导致其测量的动压值包含了煤粉的贡献, 因此必须根据煤粉的质量分数进行修正以获得实际风速值^[1-2]。然而实际情况下煤粉质量分数通常都是未知量, 而且相比流速测量来说, 其测量难度更大, 不确定性更高, 因此, 有必要采取不受气流中煤粉影响的测速方法, 以将风速测量与煤粉质量分数测量解耦。行业标准^[1]推荐在含尘质量分数大于 10% 时采用 BS - I 型测速管进行风速测量而不需进行煤粉质量分数修正 (但其速度系数需事先标定)。BS - I 型测速管的实际应用不多, 而且关于其性能特点的文献报道十分少见。部分学者研究了与 BS - I 型形式相似的测速管, 但其具体结构参数与 BS - I 型差别较大^[3] 或未给出确切数值^[4-5]。本文对 BS - I 型测速管进行了现场应用, 并基于计算流体力学 (CFD) 方法研究了其性能特点。

1 BS - I 型测速管基本结构

BS - I 型测速管属于靠背式结构, 俗称劈头靠背管, 由 2 根 $\phi 10\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 的钢管组成, 2 根钢管的头部以 75° 斜切, 形成朝向气流和背向气流的尖头楔形结构 (如图 1 所示)。分别测量总压 p_t 和静压 p_s , 根据二者的差值即差压 Δp 可计算来流速度 u_0 。

$$u_0 = k \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}},$$

式中: k 为测速管的速度系数, 主要取决于测速管的结构形式和相对于来流的姿态; ρ 为来流气体的密度, kg/m^3 。

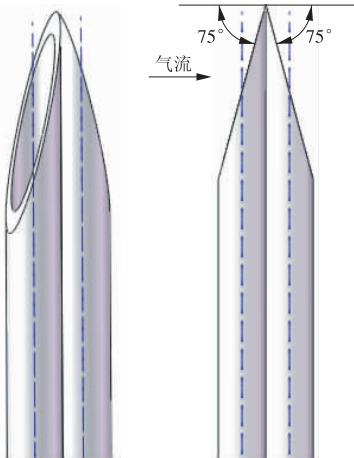


图 1 BS - I 型测速管的结构形式

2 BS - I 型测速管实际应用

本文根据标准结构^[1]进行了 BS - I 型测速管的定制加工, 出厂标定的速度系数 $k \approx 0.82$ 。采用该测速管在华电长沙发电有限公司 #1 机组制粉系统分离器多根出口粉管上 (带粉状态下) 进行了风速测量, 并与粉管上固定安装的测速装置即分散控制系统 (DCS) 表盘显示的风速进行了比对, 见表 1。由表 1 可以看出, BS - I 测速管实测值与 DCS 示值偏差不大, 相对偏差的绝对值平均约为 5%, 对于现场测试来说, 无论从准确性还是便捷性方面考虑都是较好的一种测量手段。

表 1 BS-I 测速管实测值与 DCS 示值对比

DCS 示值/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	测速管测量值/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	相对偏 差/%
33.0	32.0	-3.0
28.0	26.0	-7.1
28.5	28.7	0.7
24.0	26.1	8.8

3 BS-I 型测速管特性的数值计算和分析

现场测试时,测试结果会受到诸多外界因素的影响,包括测速管未完全正对来流、测速管内有积粉导致开口截面形状发生变化等。本文采用 CFD 方法,研究了 BS-I 测速管在放置姿态不同和粉管积粉两种情况下的测量特性。

3.1 CFD 计算设置及工况

在计算模型中,BS-I 测速管总长约 200 mm,放置于截面尺寸为 300 mm × 400 mm、流动方向长 1200 mm 的矩形流道中。如图 2 所示,气体从矩形流道左侧入口流入,从右侧出口流出,流道中主流速度为已知的设定值。采用 Realizable $k-\varepsilon$ 湍流模型和增强的壁面函数。BS-I 测速管的总压管和静压管中空结构的底部为壁面边界条件,该处的压力数值即分别为测得的总压 p_t 和静压 p_s 。测速管及周围区域采用加密的非结构网格,典型的网格尺寸为 1 mm,主流区域采用结构化网格,典型的网格尺寸为 8 mm,计算区域总网格数为 40 万~60 万,并进行了网格无关性验证。

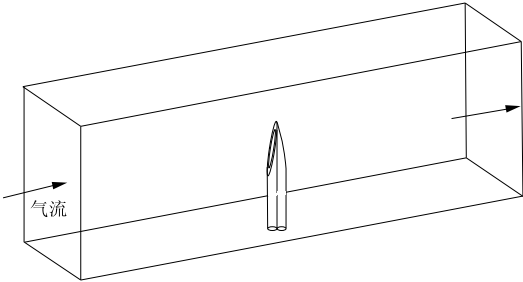


图 2 计算域示意

本文研究了图 3 和图 4 所示工况下的测速管特性:(1)标准工况,即测速管严格正对来流(如图 2

所示);(2)测速管绕对称轴扭转一定角度 θ ,模拟测试时测速管垂直于管道中心线插入流体,但总压口没有完全正对来流(即总压管和静压管轴线所在平面与来流方向不平行)的情况,如图 3a 所示;(3)测速管前倾或后仰一定角度 β ,模拟总压管和静压管轴线所在平面与来流方向平行但测速管对称轴与来流方向不严格垂直的情况,如图 3b 所示;(4)总压口形状为部分“堵塞”的椭圆,模拟总压管内积粉导致总压口形状发生变化的情况,如图 4 所示。

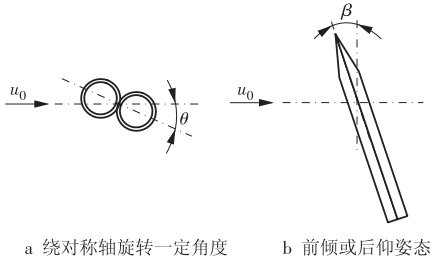


图 3 测速管的不同放置姿态

3.2 计算结果与讨论

测速管的性能指标和特性主要指其速度系数 k 以及 k 随流速、测速管放置姿态和积粉等情况的变化。通常情况下, k 对前述因素越不敏感越好。

3.2.1 速度系数随流速的变化

粉管风速 u_0 常在 20~35 m/s 的范围内,本文分别计算了标准工况下 u_0 为 20,30,35 m/s 时的速度系数 k ,结果分别为 0.805,0.808,0.809,差别不显著,且与本文现场实测所用测速管的速度系数 0.820 偏差不大(-2% 以内)。后文计算中均设定 $u_0 = 30 \text{ m/s}$ 。

3.2.2 速度系数随旋转角度 θ 的变化

图 5 给出了测速管绕对称轴旋转角度 θ 从 0° 变化至 87° 时的总压 p_t 、静压 p_s 和速度系数 k 的变化曲线。随着 θ 的增大, p_t 单调减小,而 p_s 绝对值先增大(即负压程度增强),之后在 $\theta > 80^\circ$ 后又减小。 k 在 $\theta = [0^\circ, 30^\circ]$ 的范围内从 0.808 单调增加至 0.812,相对增加 0.5%,变化不明显,说明 k 对测速管的旋转角度不敏感,但这并非因为 p_t 和 p_s 在该区间内不随 θ 变化,而是二者变化的方向和程度相

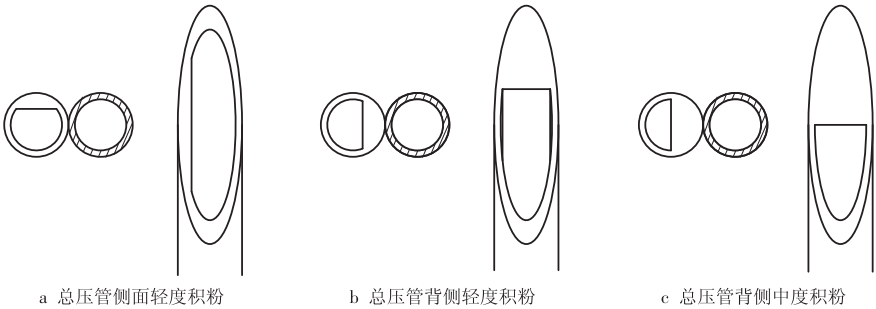


图 4 测速管的不同积粉情况

近,导致差压 Δp 变化不大。但 k 在 $\theta > 80^\circ$ 后急剧增大,这是因为此时 p_t 和 p_s 逐渐接近,当 $\theta = 90^\circ$ 时二者几乎相等,此时 k 将为无穷大。利用该特性,可以在实际应用中较准确地确定来流速度平面,方法是使测速管绕对称轴旋转,直至差压 Δp 接近为 0,此时来流方向所在平面一定垂直于总压管和静压管轴线所构成的平面,这有助于研究粉管中是否存在不均匀流动,特别是残余旋转。

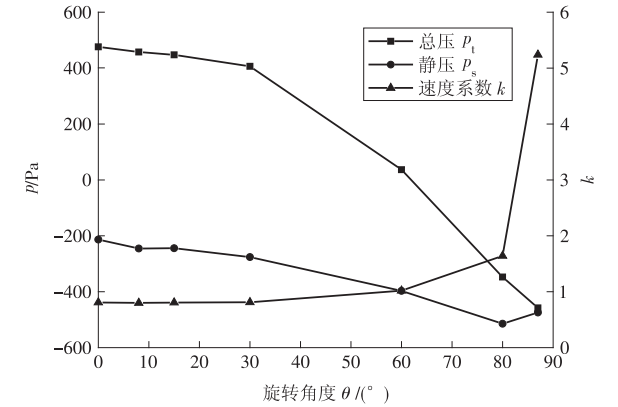


图 5 总压、静压和速度系数随旋转角度的变化

3.2.3 速度系数随倾斜角度 β 的变化

图 6 为测速管倾斜角度 β 从 -20° 变化至 $+20^\circ$ 时的总压 p_t 、静压 p_s 和速度系数 k 的变化曲线。 β 为负值时测速管呈前倾状态,为正值时测速管呈后仰状态。总压随倾斜角度变化不大,最大值出现在 $\beta = [-10^\circ, -5^\circ]$ 区间。在略前倾的状态下,总压管的开口椭圆面相比未前倾时更接近于垂直来流,因此总压值反而更大,但其最大值并不出现在 $\beta = -15^\circ$ 开口椭圆面严格垂直来流的状态下,这可能与测压管本体圆管对附近流场的影响有关。静压则随倾斜角度单调变化,测速管呈前倾状态时静压值较高,后仰时静压值较低,极端情况下,即 $\beta = -90^\circ$ 时总压和静压值将相等。

速度系数 k 随倾斜角度 β 的增大呈现先减小后增大的趋势,最小值出现在 $\beta = -5^\circ$ 附近,约为 0.806。 $k - \beta$ 曲线并不关于 $\beta = 0^\circ$ 对称,测速管前倾和后仰对流场和压力场分布的影响不存在“镜像”对称性。在图示范围内, k 的最大值约为 0.861(此时 $\beta = 20^\circ$),相比未倾斜状态的 0.808 大了约 6.6%,这是当气流方向无法准确获知但偏离管道或烟道中心线不超过 20° 时可能引起的测速误差绝对值的上限。当粉管来流方向明确时,建议实际测量时将粉管后仰 5° 左右,这时引起的测速误差仅为 -0.4% 左右,但有利于减缓或避免总压管积粉,使得将 BS-I 型测速管作为半固定式的粉管测速手段成为可能。

3.2.4 速度系数随总压管积粉状态的变化

表 2 为总压管不同积粉情况下的测速管性能参

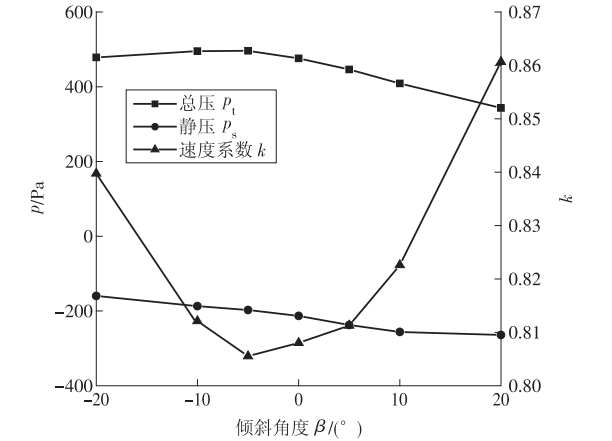


图 6 总压、静压和速度系数随倾斜角度的变化

数。从表 2 可以看出,总压管无论是侧面轻度积粉还是背侧轻度、中度积粉,测速管的速度系数变化很小。这与一些学者对 S 型靠背管入口形状变化对速度系数影响的研究结果具有一定的相似性,但 S 型靠背管在流速为 15 m/s 时对入口形状的敏感性偏大^[6]。根据笔者的使用经验,S 型靠背管在测量粉管风速时堵塞迅速,不会如文中设想的仅出现总压管入口的局部堵塞。S 型靠背管发生堵塞后,差压值往往单调变化,而不是围绕均值上下波动,此时的测量值已经无效,不再是测量精度高低的问题。

表 2 总压管积粉状态对速度测量的影响			
积粉情况	p_t/Pa	p_s/Pa	k
未积粉	476	-213	0.808
侧面轻度积粉	469	-211	0.814
背侧轻度积粉	469	-211	0.814
背侧中度积粉	476	-216	0.806

图 7 给出了总压管未积粉和背侧中度积粉 2 种工况下,总压管中心纵剖面(平行于来流方向)上的压力分布:总体呈现中间大于边缘区域的情况,最大

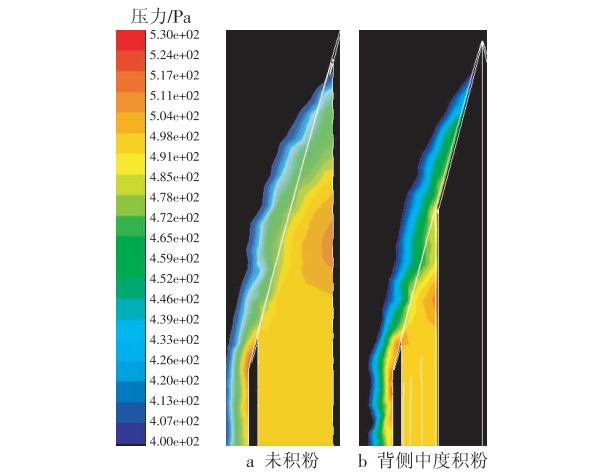


图 7 总压管未积粉、背侧中度积粉时的压力分布

控制屏过壁温,在余量 50℃ 时进行干预调整,异常工况时就应将监视区间扩大到 70℃ 以上,在余量达到 70℃ 时就应进行干预调整。

(4)空预器恢复后应充分暖透空预器(以空预器运行电流是否稳定为参考),切勿过早快速带负荷,带负荷速率应以实际运行参数为准,参数异常应及时汇报值长降低负荷变化率或缓带负荷。

(5)调整空预器恢复通烟气后,及时投入喷氨运行,严防 NO_x 排放小时均值超标。

5 建议

(1)完善逻辑,当一次风压超过某一速率变化快速上升时,侧壁风调节挡板全开或按照一定比例开大,防止 RB 时一次风压过高、短时过量煤粉进入炉膛引起壁温超限,此次空预器停转 RB 时,一次风压快速上升而侧壁风调门自动没有动作。

(2)完善逻辑,机组 RB 时,为减小两侧壁温偏差,维持底层 4 台磨煤机运行,剩余运行磨煤机强化正塔式燃烧,以一定速率调节,增加下层磨煤机出力,尽量减小上层磨煤机出力,尽量降低壁温超限的条件。

(3)高负荷 RB 时,剩余 3 台磨煤机运行的情况下,为防止壁温偏差大、壁温快速上升超限,除自动执行 RB 外,监盘人员应适当通过综合调节给水、燃煤、省煤器烟气挡板、燃尽风、减温水调门、侧壁风、强化正塔式燃烧等调整手段,以汽温、壁温变化率、负荷与过热度的匹配、负荷与燃料给水的匹配、煤水

(上接第 15 页)值出现在入口截面基部以下的管外壁处。总压管入口朝向来流的背侧中部压力较高,下部次之,上部最低。虽然积粉堵塞区域在 2 种工况下的压力分布差异较大,但 2 种工况下总压管入口流体区域的压力分布却大致相似,因此总压管背侧中度积粉对 p_t 造成的影响比较有限。

4 结束语

现场实测试验验证了 BS-I 型测速管对粉管风速的测量具有较好的精度,且不需要进行基于煤粉质量分数的修正。CFD 数值计算则表明,BS-I 型测速管的速度系数对流速、测速管放置姿态和管内积粉等情况不敏感,具备良好的精度和实用性。基于以上情况,对于燃煤电厂制粉系统风粉管道内的流速测量,建议推广采用 BS-I 型测速管。

比等作为监视,尽一切可能降低参数超限的风险。

6 结论

设备改进后,空预器主电机没有发生跳闸现象,大幅度提高了变频器的可靠性,保证了机组的安全、稳定运行。

参考文献:

[1] 华电莱州发电有限公司集控运行规程:QB/HD-104.1.1601—2015[S].
[2] 李东. 600 MW 空预器跳闸引起的灭火分析与对策[J]. 江西电力职业技术学院学报,2015,28(3):28-29,35.
[3] 杨利忠,任秀勤,赵建军,等. 空预器变频器跳闸原因分析及改进措施[J]. 内蒙古电力技术,2009,27(4):55-56.
[4] 韩安荣. 通用变频器及其应用[M]. 2 版. 北京:机械工业出版社,2004.
[5] 张新闻. 变频器在空预器控制应用中跳闸的原因及对策[J]. 电机与控制应用,2009,36(2):7-9,14.

(本文责编:白银雷)

作者简介:

韩丽娜(1985—),女,山东平阴人,工程师,工学硕士,从事电厂运行方面的工作(E-mail:lina0904@163.com).
李绍刚(1982—),男,山东曲阜人,工程师,工学硕士,从事电厂运行方面的工作(E-mail:15153577692@139.com).

参考文献:

[1] 电站磨煤机及制粉系统性能试验:DL/T 467—2004[S].
[2] 南京热电厂,江苏电力局中试所,西安热工所. 含尘气流浓度对动压头的影响[J]. 热力发电,1976(10):87-95.
[3] 孙志强,郑剑武,张宏建,等. 类 S 型皮托管及其测量特性研究[J]. 传感器与微系统,2007,26(5):40-42.
[4] 张澄,赵秀英. JS 型测速管的研究[J]. 同济大学学报(自然科学版),1995,23(6):706-711.
[5] 张澄,赵秀英. 含尘气流测速管的研究与开发[J]. 通风除尘,1996(4):1-4.
[6] 张见听. S 型皮托管截面受损与皮托管系数变化的实验研究[J]. 环境保护与循环经济,2011,31(3):56-58.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

柳冠青(1984—),男,山东菏泽人,工程师,从事燃煤电厂节能减排方面的工作(E-mail:liugqthu@163.com).