



排烟含氧量测量中的不确定度分析

吴晓武¹, 刘树昌², 陈勇³, 齐延伟³, 綦守荣⁴, 刘金元⁴

(1. 山东电力研究院, 山东 济南 250002; 2. 山东里彦发电有限公司, 山东 济宁 273517;

3. 华能辛店发电厂, 山东 淄博 255414; 4. 山东沾化发电厂, 山东 沾化 256800)

摘要: 排烟氧量测量的可靠性对炉窑的经济运行和环境保护具有重要意义, 在影响测量结果可靠性的诸多因素中尤以取样系统的影响为最。本文着重阐述这一因素对测量过程和测量结果的影响, 给出一种符合 GB10184 标准要求的新颖取样系统, 并对这一取样系统进行全面分析。

关键词: 排烟含氧量; 测量误差; 取样系统; 可靠性; 浓度梯度; 氧化锆测量系统

中图分类号: TK314

文献标识码: A

文章编号: 1004-9649(2004)03-0095-03

1 正确测量与控制烟气中含氧量的重要性

在火力发电、石油、化工、钢铁工业、玻璃制造、冶金、轻工等领域中, 通过对锅炉、炼焦炉、煅烧炉、玻璃陶瓷烧窑、水泥窑、均热炉、渗碳热处理炉、退火炉等炉窑烟气中含氧量的准确测量与控制, 可节约能源、减少环境污染和延长炉窑寿命。氧量偏高时, 高温下氧易与燃料中的硫和空气中的氮发生化学反应, 生成对换热设备和环境具有不良影响的 SO₂ 和 NO_x; 氧量偏低时燃料燃烧不充分, 降低了燃烧的经济性。因此需对烟气中的氧进行准确可靠地测量与控制, 保证氧量在合理的范围。

锅炉运行中氧量的自动控制是为最大限度地实现燃烧最优化, 合理调整风煤比。其中, 实现排烟氧量可靠、准确地在线测量是实现这一过程的必要前提。目前烟气中氧量测量方法有多种, 用于在线实时测量时多为氧化锆氧量测量系统。现针对由氧化锆组成的氧量测量系统进行分析。

2 氧量测量偏差对运行经济性的影响

排烟氧量测量的正确性对锅炉机组的效率和辅机能耗具有较大影响。对于目前的氧量测量技术水平, 氧量在线检测使用的氧化锆氧量计的基本误差: $\pm 2\% \sim 3\% \text{FS}$ (满量程); 重复性: $\pm 1\% \text{FS}$; 稳定性: $\pm 1\% \sim 2\% \text{FS/月}$; 响应时间 (达到 90%) 小于 5 s; 测量系统不确定度约为 4%。从现场标定结果看^[1], 单点取样测量时由于取样引起的绝对误差约为 $1\% \sim 2\% \text{O}_2$, 综合测量误差按 $2\% \text{O}_2$ 计算, 由于氧量测量不准确将对机组

产生下列影响 (以 460 t/h 锅炉为例): (1) 送风量增加 $81\,221 \text{ m}^3/\text{h}$; (2) 引风量增加 $89\,537 \text{ m}^3/\text{h}$ (漏风率按 10% 计); (3) 排烟温度升高 $5\text{ }^\circ\text{C}$; 锅炉效率降低约 1%。

3 氧量测量系统的不确定度

氧量测量系统由取样系统、氧量传感器和二次仪表 (或变送器) 等组成。在线实时测量中影响氧量检测结果可靠性的因素较多, 除传感器和二次仪表自身的精度外, 测量结果的可靠性很大程度上取决于取样系统的合理性, 现作如下分析。

3.1 测量中的基本误差

在测量系统自身的检测与评定中, 系统所表现出来的误差就是基本误差。该误差由传感器和二次仪表自身的误差造成, 取决于各自的制造方法和制造工艺, 与微电子技术和传感器生产工艺的发展水平密切相关。从使用过程看, 测量系统一般均能达到规定的误差范围。

3.2 测量中的附加误差

3.2.1 重复性和稳定性误差

对氧量测量影响的诸多原因中, 传感器探头所处环境的温度场的稳定性、探头表面被污染及内部中毒程度等是引起测量结果重复性和稳定性误差的直接原因, 同时也会对测量系统的另一重要指标——响应时间产生负面影响。重复性和稳定性误差是构成附加测量误差的一部分。

3.2.2 探头两侧的气体氛围

从目前探头安装和取样方法看, 锆管两侧气体处于非流动状态。图 1 所示为氧化锆探头实际测量中的安装方法。

收稿日期: 2003-09-16; 修回日期: 2003-11-26

作者简介: 吴晓武 (1966-), 男, 山东济宁人, 高级工程师, 从事锅炉设备节能技术研究。E-mail: liushuchang@sina.com

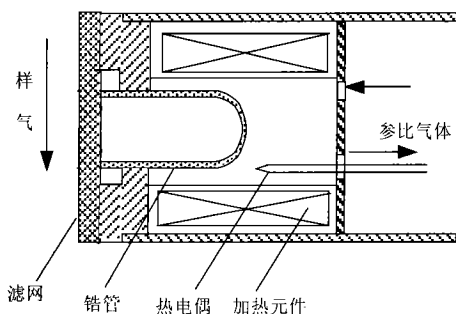


图1 锆管的安装示意

在测量过程中,参比气体中的氧分子不断地通过锆管壁扩散到样气中,在锆管两侧,从参比气体到锆管表面和从样气到锆管表面都要产生氧量浓度梯度,即两侧的氧量场不均匀。由于两侧气体基本上处于非明显流动状态,传质过程主要靠扩散作用实现,这就在锆管两侧形成相对稳定的氧量场,对实时测量极为不利。由于新鲜样气不能及时到达锆管表面,造成测量结果与样气中实际含氧量值一定的偏差,这也是构成附加测量误差的一部分。

氧化锆测量原理可用下式表述:

$$E = \frac{RT}{nF} \ln \frac{P_0}{P}$$

式中, E 为氧浓差电势,mV; R 为理想气体常数,8.314 kJ/(K·kg); n 为参加反应的电子数,4; T 为锆管温度,K; P_0 为参比气体中氧分压(或体积分数),Pa(或%); P 为被测烟气中氧分压(或体积分数),Pa(或%); F 为法拉第常数,95 600 C/mol。

锆管温度恒定时,探头的输出电势与两侧的浓度有关。若锆管两侧表面的气体与所对应的样气或参比气中的含氧量不符,就会产生测量误差。

锆管两侧的气体流速小,气体不能及时更新,使两侧气体氧浓度趋于一致,氧浓差电势减小,产生测量误差。这是锆管两侧气体要保持一定流速的主要原因。在许多应用实例中,氧量测量系统的失效在很大程度上都与此有关,而并非锆管或二次仪表出了问题。

3.2.3 取样点的局限性

测量结果应能实时正确地反映运行中烟气的含氧量,这是对氧量测量系统最基本的要求。要做到这一点,必须首先保证取样系统的可靠性和合理性,即从取样点取出的被测样气要有代表性,能实时正确地反映整个烟道中的烟气组份。一般大型发电机组锅炉单侧烟道截面积约为10 m²(200 MW机组),测量中多采用单点测量方法,即在每侧烟道上安装1套氧量测量系统。从局部取样进行测量很难保证样气具有很好的代表性,也难以保证测量结果的可靠性。由于取样代表性失准也要造成测量的附加误差,其大小与运行方式、负荷大小等很多因素有关,其值

也不固定^[1]。

综上所述,测量的不确定度或可靠性误差指测量结果与实际运行烟气中氧含量的差,它由测量系统的基本误差和附加误差组成,综合反映出测量系统的设计、运行水平,是测量系统最重要的考核指标。

4 GB10184 标准对取样的要求

国家标准《GB10184—88 电站锅炉性能试验规程》中对锅炉烟气的取样作了如下规定:原则上要做到等速取样,保证样气具有良好的代表性和分析结果的可靠性。

图2为规定的测点分布方法,将烟道按其截面尺寸分割为多个等小矩形,在虚线的每个节点上进行取样测量。若按此方法布置测量取样点,从目前的取样系统和探头安装方式看基本上是不可能实现的,它需要多支氧化锆探头共同组成一个庞大的测量系统,系统造价高,运行不可靠,也难以实现。GB10184标准对此也作了补充说明,允许通过代表点法进行测量,即先在整个烟道截面上对代表点进行标定,给出一个修正值。应当看到,代表点法有其局限性,当运行工况、运行操作人员、运行方式和燃料发生变化时,修正值本身也在变化,不存在一个恒定不变的修正值。因此代表点法难以达到GB10184标准中的要求。

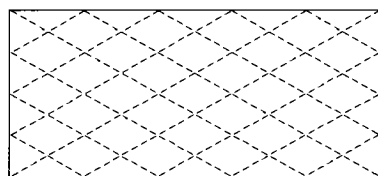


图2 GB10184 标准规定的测点分布

5 一种新型的取样方法

根据多年的实践经验,设计了一套新型的烟气取样系统,并已申请了国家专利保护。

5.1 采样系统组成

该系统由取样管、集气箱、过滤器、泵和联接管路等组成,如图3所示。取样管的数量根据所测烟道的宽度确定,待测烟气经取样管在集气箱中混合后至过滤器,去除其中的尘粒和有害气体后经泵排出系统。氧传感器置于过滤器中。

5.2 系统特点

(1)可实现全烟道内取样。取样点布置可与GB10184标准的要求相一致,做到等速取样。取样更具代表性,增加了测量结果的可靠性。(2)集气箱

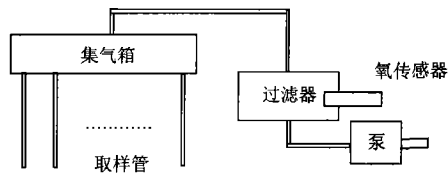


图 3 新型烟气取样系统

一方面可实现对烟气初级过滤的作用；另一方面，通过专门的计算和设计可起到均匀取样的目的。(3)烟气经过滤后可增强对传感器的保护作用，延长其使用寿命，保证氧量计测量的稳定性、准确性和可靠性。(4)采用泵使样气强制流动，保证了测量结果的可靠性。

6 新方法对测量响应时间的影响

氧化锆的安装和取样方法也有采用抽气式的应用例子，使用中发现系统的响应时间大大增加，并出现系统失效的情况，于是就怀疑到这种测量系统的可行性，而实际情况却并非如此，多数情况是由于抽气回路安装和使用不正确、不合理或设计不合理等因素造成样气不能流通所致。

目前氧量计生产厂商给出的响应时间（达到 90% 响应）一般均小于 5 s，这仅是在试验室测定的结果，实际数值都远大于 5 s。采用抽气式取样方法，

只要保证一定的样气流速，则可实现 5 s 内达到 90% 响应，这是实现氧量自动控制的基础。所以抽气式取样方法不仅不是使响应时间延迟的原因，而是达到规定响应时间的最可靠保证。

7 结语

测量结果与运行中实时测量值的误差代表了一个氧量测量系统的优劣，只追求测量仪器的试验室精度（静态测量精度），忽视实时在线测量的精度（动态精度）是非常片面的。只有动态测量结果的不确定度控制在某一范围内，测量结果才是有效的，才能作为一项控制指标参与相关系统的控制与调节，锅炉机组也才能真正实现氧量的自动控制。因采样而引起的测量误差在测量的不确定度中占很大比重，甚至起决定作用。而一般情况下对取样系统安装考虑较少，由此而引起的误差也容易被忽视。许多被废弃的氧量计拿回试验室校验时仍能正常工作，问题往往出在取样部分设计不合理，因此必须对烟气取样系统的设计和安装引起足够重视。

参考文献：

[1] 吴晓武. 锅炉机组性能试验报告[R]. 山东电力研究院, 2001.

(责任编辑 吕玲)

Uncertainty of oxygen measuring in flue gas

WU Xiao-wu¹, LIU Shu-chang², CHEN Yong³, QI Yan-wei³, QI Shou-rong⁴, LIU Jin-yuan⁴

(1. Shandong Electric Power Research Institute, Jinan 250002, China; 2. Liyan Power Co. Ltd., Jining 273517, China;

3. Huaneng Xindian Power Plant, Zibo 255414, China; 4. Shandong Zhanhua Power Plant, Zhanhua 256800, China)

Abstract: The oxygen measuring reliability in the flue gas flow has important significance for the economical operation and environment protection of furnaces, the sampling system has the most important influence among the factors affecting measuring precision, This paper emphatically explains the influences of this factor on the measuring process and results gives a new type sampling system satisfying the requirements of GB10184 standard and carries out the overall analysis of this sampling system.

Key words: oxygen content in flue gas; measurement error; sampling system; reliability; concentration gradient; zirconium oxide measuring system

电力科技信息

▲ 土库曼增加对赫拉特的电力供应 最近由于 Serkhetabad(土边境城市, 旧称库什卡)到赫拉特输电线路的完工, 由土库曼斯坦往赫拉特市的电力供应增加了 1 倍。该输电线路工程由土电力工程公司承建, 在阿境内约 100 km, 合同金额 650 万美元。今后通过该输电线路每年可从土 MARY 水电站向赫拉特供应 2 亿 kW·h 的电力。目前土库曼还通过另一条输电线路, 每年向马扎里沙里夫供应 2 亿 kW·h 电力。上述工程是土阿两国 2002 年 3 月签

订的能源供应协议的具体实施。今后还将考虑向喀布尔和坎大哈送电的可能性。

▲ 锅炉冷态试验自动测试系统通过鉴定 江苏徐州发电厂的“锅炉冷态试验自动测试系统及试验方法的研究”项目已通过了该省科技厅组织的鉴定。该项成果以自动系统取代了人工进行锅炉冷态试验工作, 成功地解决了传统冷态试验中工作人员劳动强度大、工作环境差的难题, 测量快速准确, 工作时间不足原来的 1/10, 且能做到多点实时同步采集相关信号, 实现在线分析调整。经测算, 1 台 200 MW 级发电机组冷态试验时采用该项成果, 每次可创造直接经济效益 240 余万元。