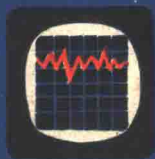




锅炉测试技术



电站锅炉行业技术情报组

上海锅炉厂研究所

目 录

锅炉测试技术最近发展概况	(1)
立管式炉膛热流的研究	(19)
热流的简易测定法	(32)
过热器管壁温度测量	(40)
锅炉蒸发管金属温度的测量及酸洗标准	(47)
嵌入水冷壁管的辐射温度计	(60)
用电接触法测量煤粉流量	(68)
利用放射性同位素测量管道中的煤粉浓度	(74)
锅炉炉膛中的黑度与积灰的吸热性能	(83)
用氩跟踪测量大型锅炉漏风	(89)
红外线气体分析器	(97)
蒸馏油燃烧烟气中碳浓度测定(第一部分)	(114)
残渣油燃烧烟气中碳浓度测定(第二部分)	(120)
新型积灰取样器	(126)
一种值得使用的氧气测量系统	(133)
燃油锅炉机械未完全燃烧损失 g_4 的确定	(138)
蒸汽含量的电阻和电容测量法	(144)
测定蒸汽含氢量的简易方法	(155)
瞬时温度测量	(165)

锅炉测试技术最近发展概况

现代大型锅炉的有关测试仪表所包括的测量范围是很广泛的，有时是十分复杂的。这些测试仪表可以分成三大类(图 1)，即研究、试验与运行，而运行又可以根据其主要的的作用再行划分为：例如锅炉运行、提高效率或者防止意外停炉等类别。

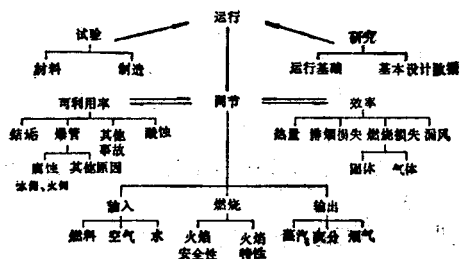


图 1 锅炉测试技术的有关领域

图中，单箭头表示原来是用于试验或研究的仪表，而一旦有价值时，可以在运行中并用。双箭头表示主要是通过调节锅炉而获得的较佳的效率和可用率(即设备可以利用的时间比例)。

许多锅炉的测量简单，采用普通的仪表就行了，不需多作考虑。然而，近几年来另外还有些测量产生了许多新观点、新技术，提出了不少问题，因而 1969 年 10 月由英国物理学会、物理协会和电力中心试验室莱瑟黑德 (Leatherhead) 联合举办召开了一次会议，为这些新发展的提出和讨论提供了一个极好机会。

由于时间有限，会议不可能很全面；而且在这有限的篇幅内只能限于综述会议上所提出的论文，并简述其背景。

调 节

煤粉位 用于制备煤粉的球磨机的运行并不严格取决于粉位的高低，但是过满了会产生堵塞现象，当燃烧器内少煤时，磨损会增大，如果球磨

机内空了的话，则有发生爆炸的危险。长期以来，运行人员根据所产生的噪音来估计球磨机满溢的程度，虽然根据噪音概念已经发展了一种具体的系统，但是没有在电站方面大量推广使用。有关声波控制方面的研究，D. Tonge 曾作了叙述(4)*。

在频率大于1~2千赫芝时，声级随着球磨机内干煤量的增加而平稳地下降，因而可以在给煤机的操作中，配置一个简易的控制系统。用一防护装置来防止外界的噪音干扰是不困难的。

问题可能产生于湿的煤。模拟试验表明假若球磨机内煤的含水量上升至6%左右，则声级会因为煤粘附于球磨机壁而增大。在实际运行时，这就会导致过满。球磨机出口温度可用来作为高水份值的警报信号。

煤的特性 燃料输入的测量最好应该包括质量流速和发热量的测量，相对地说，这两者对于燃油锅炉很简单而对于燃煤锅炉却是个很困难的问题。虽然曾考虑过许多办法用连续量热计监察热值(Levy 1969)或者测定有关参数如灰分等(见，例如，Mitchie 和 Roughton 1968)，但是始终没有找到满意的方法。

煤粉粒度也是很重要的，因为煤粉粒度过大可能引起不完全燃烧和管子的积灰，而过细则浪费磨煤机功率。但是值得注意的是粉粒细度的分配不能以单一的参数来说明。在筛孔谱的大直径一端(留在200号筛上的百分比)的一小部分细度常常视为最重要的特性。在任何细度筛分新技术得到广泛推广使用之前，须注意是否测到了最有用的数量。

由于燃烧器间的燃料平均分配是获得良好的火焰形状、有效燃烧和防止结渣的一个重要因素，所以对质量流速的测量，特别是对悬浮状态下的煤粉测量，长期以来是作为提高煤粉锅炉效率的重要条件。煤粉流量计在使锅炉启动和运行中保持平衡工况是非常起作用的。另一些应用包括磨煤机动态研究和锅炉效率的测定。有几种测试仪表取得了某种程度的进展并已有所报道(Stephens, Glass and Westcott 1962, 未出版, Sasiadek and Teisseyre 1968)，在会议上介绍了三篇。这些测试仪表中有两种是采用文丘利管原理的，叫做环形文氏管(图2)，它具有对上游气流扰动不敏感的优点。要测量煤粉流量，必须测出喉部进口处的压差和总压差(ΔP 和 ΔP_2)的值。正如 Graczyk 最早提出的那样(1961)：对于一定的文丘利管装置， $\Delta P_1/\Delta P_2$ (原文为 $\Delta P_1/\Delta P_1$ 有误——译注)仅仅是煤粉浓度的函数，

* ()参阅所附的会议论文目录；下同。

而流速则也可取决于这些相同压差的另一函数。因此气体和固体颗粒的质量流速都可以求出来。实际上 在煤粉炉通常的细度范围内, 读数与混合粉粒的细度没有关系。

R. Somerset(1) 主要研究了影响仪表校准的有关因素, 特别是中心元件的几何形状、支承件的作用以及中心锥体的位置, 以及在高度浸蚀情况下的仪表寿命这一实际问题。若采取适当的预防措施, 仪表寿命可达一年。Somerset 得出结论: 将中心锥体尽量放前, 则可获得较高的灵敏度, 他建议采用一种中间环形段可以省去、并在锥体结合处只有一个支承件的新结构。

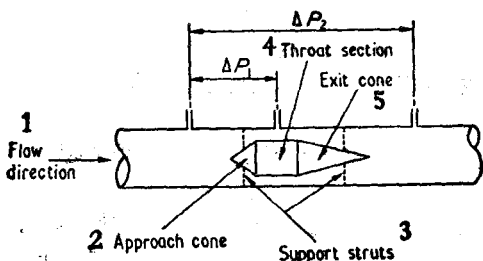


图2 环形文氏管

1-气流方向; 2-接触锥; 3-支承件; 4-喉部; 5-出口锥。

在第二篇论文中, Prasher(2) 阐述了一种同时测量流量和细度的测试仪表, 仍然采用环形文氏管, 细度按有关的参数, 即粉粒表面积而定, 表面积的求法是采用 Guyton 于 1946 年提出的原理即采用一对电绝缘的空间充电荷的栅极。在上游的栅极上充以数千伏电压, 下游栅极所收集的电荷与通过的煤粉总表面积成正比, 电荷由接地的微安表测得。由于流速可以单独测得, 故比表面积可以用简单的除法计算而得。目前, 这种栅极装于文氏管的喉部, 并以小型计算机直接读出流量及比表面积, 其设计精度为 $\pm 5\%$ 。

这一装置在实验室试验完成后, 正在工业部门用一根直径为 390 毫米的管子做长期实验, 有迹象表明, 由于浸蚀损坏的缘故, 将栅极从喉部的高速区移至管子的全截面上是必要的。

另一些测量煤粉流量和细度的方法是如 Parkinson(3) 所述的那样用超声波测速仪测定流速而用 β 射线吸收仪测定浓度。用一台模拟计算机直接给出流速, 煤粉浓度、温度和质量流的数值, 据称测质量流的精度为

±3%。

粒度组分仪是为了监视煤粉粒度是否“超尺寸”而开发的。它是将一块具有压电晶片的探针置于通道中与煤粉流相接触，每颗撞击晶片的粉粒会产生一个脉冲；其振幅与粉粒的动量成正比。流速用超声波测速仪测定以致可以从脉冲的振幅来推出粉粒的重量。仪器把超过整定振幅值的脉冲数记录下来，大于90微米粉粒的粒度分配可以照整定振幅值的变化而求得。质量流量计和粒度组分仪都尚处于工业性试验阶段。

综上所述，显然在这些仪表用于日常工作以前尚有大量工作需做。诚然，他们代表着测试仪表领域里的显著进展并必将有可能作多方面的应用，特别是在科研工作和工厂研究方面的应用。

空气和水 空气和给水本身的测量是无可非议的，这里主要的问题是测量锅炉汽包的水位。

至今用肉眼观察锅炉水位仍是个法定的要求，但是这种水位表对于大型高压锅炉来说有着很大的局限性。汽包内水和水位表的温差可以引起较大的“密度”误差（约等于150毫米）；有时，保护水位表的云母层损坏得很快（寿命约为2000小时），遥控显示需要用电视机，而且警报或调节装置又很缺乏。

为了解决上述问题，Hasler和Martin(15)发明了一种叫做“Hydrastep”的多级装置，目前已经获准以替代直观水位的方法。

该法是利用水和蒸汽间的电阻率之差别，如图3所示。在100~360℃温度范围内，它们相差至少100倍。正如普通水位表一样，在汽水联通管上装有一只水位筒，但是其尺寸的大小应能使“密度”误差降至25毫米左右。沿水位筒垂直方向布置有一系列电极，每个电极分别与各电子线路相连以确定不同高度水位是水还是其它。每个电极控制一只红灯或者一只绿灯，用以表示水或蒸汽。

这种设计观点是整个系统即使出了事故，监视水位的系统也仍然可以工作：交流电极电路由分隔的电源来馈给，因此一条线路出了事故只产生一级误差，典型的为25毫米。其余的信息多余度则由有关的检波器、逻辑电路和相应的转换显示灯之间的接头单独相连。在电平指示值矛盾时，逻辑电路则显示加倍。由于一般总是只装有两只或两只以上的仪表，信息多余度可能会扩展，如有一种四只仪表的多级装置，它可以用分隔的水位筒的罩壳电极在交流或同一电平时进行多次比较。

这种多级装置经历了30,000多小时的运行考验,其单个水位筒的故障期平均为4,000多小时,没有一次故障对指示的安全性具有危害性。

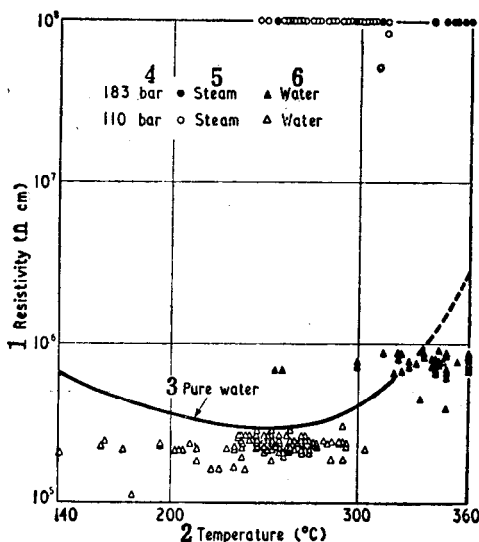


图3 不同温度时的炉水电阻率

1-电阻率; 2-温度; 3-纯水; 4-巴; 5-蒸汽; 6-水。

燃 烧

火焰及安全 燃烧的基本要求在于建立或者保持稳定的火焰,因为甚至简单的点火失败都容易产生严重的爆炸事故。对锅炉安全和火焰监察装置, Featham等和Prior于1961年、Coykendal于1964年(未出版)曾做了大量的工作。Burt和Zawadski于1968年采用了闭路电视对直接观察做了进一步工作。然而,尚没有一个自动控制装置获得好评,至少是对燃煤锅炉的自控装置而言。因此,会议没有这方面的论文。

空气-燃料比 其次重要的是空气-燃料比的适量控制。大型锅炉一般都是用烟气中的含氧量作为调节参数的。烟气是以一组(通常为1~4只)探针在锅炉管道内取样,混合流流经一台顺磁式氧量分析仪。

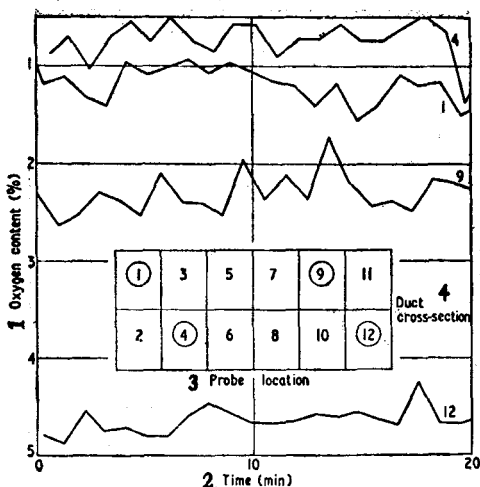


图4 锅炉管道中的气体分层情况

1-含氧量; 2-时间(分); 3-探针位置; 4-管道截面。

鉴于大管道(典型的是 12米^2)存在着较严重的分层现象(stratification), 如何使取样更有代表性, 长期来是个引人思索的问题, 现在由Ounsted(11) 阐述的一种有用的新技术得到解决了。他设计了一种可以依次连续和单独的取样装置, 例如 12 只探针依次进行并且送入标准顺磁式分析仪(经稍微改进) 然后变换至分析和记录, 每取一个样只需 5 秒钟。对这种设备进行的调查清楚地表明了其范围和气体分层的稳定性, 如图 4 中是在 5×10 米管道上, 用 12 只探针作试验所选得的曲线。因此必须强调在分析任何大型锅炉的烟气组成前应进行仔细调查。

本研究成果中有价值的副产品是发现氧量浓度与特殊燃烧器或燃烧器排列的燃烧工况有关。因此, 提出了单一燃烧控制的可能性。这对于大型锅炉必须在低过量空气时运行以防空气预热器酸腐蚀的情况特别有用。

测定氧量的另一种仪表是由 Cutler 和 Raask(19) 提出的, 它包括一只固态电化学电池, 电池是由经石灰稳定化了的锆管, 内外均有铂极组成(图 5)。含有一定氧量浓度的参考烟气由管子中心的环形通道中流过。在温度大于 800°K 时, 锆具有可观的离子电导率, 并按下式于电极间产生了一个电

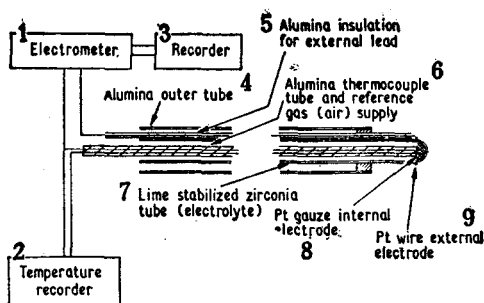


图5 固体锆电介氧元件

- 1-毫伏计；2-温度记录仪；3-记录仪；4-氧化铝外管套；
5-外引线的氧化铝绝缘层；6-铝热电偶管及参考烟气(空气)；
7-锆管(电介质)；8-铂网内电极；9-铂丝外电极。

动势：

$$E = 4.96 \times 10^{-5} T \cdot \lg(P/P_0)$$

式中 T 为绝对温度 $^{\circ}\text{K}$ ，而 P 和 P_0 为测量和参考烟气中氧的分压。

这种元件反应迅速，可测量浓度的范围广泛，并具有另一优点即电动势可直接用来调节燃烧空气。

由于必需在很低的过量空气值以下运行，使得 Anson(10) 对燃烧控制的设想进行了研究并提出建议：在这种情况下， Co 应比 O_2 更成为一个首要的控制参数。氧量值并不是燃烧时所有的氧的指示，因为漏入少量空气就可能造成比例失调的大误差。相反地， Co 含量则受漏进空气的影响甚少，对于一定的装置，它与系统状态下烟气中的氢气、焦碳和灰垢也是有关系的。如果对 Co 和氧气都进行测定，他们之间的关系会把装置的工况都指示出来，而有助于保持高性能。这样，自动保证了 SO_2 值低至实用数值，因此尽量减少了锅炉冷端的酸腐蚀问题。

这种有意义的提议，与 Ounsted 的成果一起，为改进和完善现有的燃烧控制技术提供巨大的可能。

出 力

蒸汽 精确地测量相当大股的蒸汽流的方法，只是近来才有可能：见 1969 年 Gardner 和 Young 的著作。蒸汽出力的测定，从试验目的来说，

通常是用孔板测定给水来推断而得的。其它与蒸汽有关的测试仪表问题是蒸汽品质的测量和锅炉携带水的测定，但是对于这一课题，除了偶尔提及到以外，没有进行讨论过。

飞灰和烟气 要达到最高效率、可利用率以及减少大气污染的需要，致使对锅炉的“废”输出——飞灰和烟气进行严格控制。为了保持高效率飞灰中未燃烬碳宜保持在允许水平上(通常为 2% 以下)，曾作过许多尝试发展一种在线操作使用的测试仪表来监视这种损失(Soltan和Rapson于1964年写过文章,未出版。而Denoyers和Roy, Starnes和Clark以及Popov和Titov均于1965年有过研究)。Roughton和Cockram(5)现在正在为此而研究一种测试仪表，其原理是用一热态沸腾床，将空气中灰分的试样连续燃烧以使之完全燃烧而无灰熔，含碳量由燃烧气体中 CO_2 含量而得。

曾生产了一种试验性监视器，它是由一只 $\phi 10$ 厘米的不锈钢反应器组成，反应器外面加热并装上一只多孔陶瓷筐。沸腾床层靠用 10~25 升/分的风量来产生适当的过量使之保持在 45 厘米厚，飞灰给入量约为 10 克/分。所产生的 CO_2 用普通的红外烟气分析仪测得。

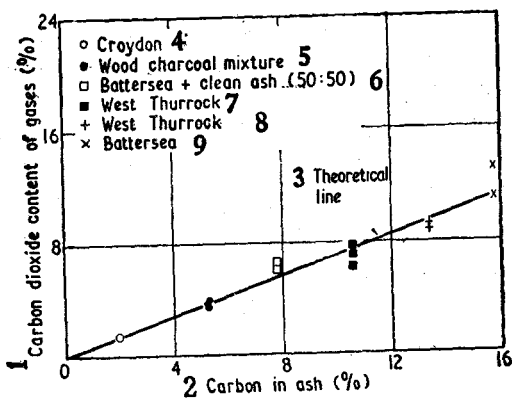


图6 飞灰中含碳量监视器的特性

- 1-烟气中 CO_2 含量(%); 2-飞灰中的含碳量(%); 3-理论线;
 4-克劳伊顿煤; 5-木炭混合物; 6-巴特西+洁净灰(50:50)
 7-西索洛克煤; 8-西索洛克煤; 9-巴特西煤。

系统的实验室试验在床温为 700~850° 下进行,是采用电站中 4~20%

含碳量的各种飞灰做的。由试验结果而见：温度为 770~800℃ 时的燃烧最完全。测试仪表的精度为 ±1% (含碳量)。如图 6 所示，读数与其它电站所得的飞灰作过比较。

虽然说相当大比例的飞灰由机械除尘器或者静电除尘器从烟气中除掉了，但是仍有必要对飞灰尘粒进行监视作为防止误操作的措施。长期来一直采用光学测烟计，但是总有“漂移”现象，而且对较小的粒子过分敏感。Luca 和 Snowsill 于 1970 年撰文叙述了一种自校核排烟密度的装置来克服“漂移”问题。同时还搞了一台特殊式样的烟气粗粒监视器(参阅 Crosse、Lucas 和 Snowsill 于 1967 年和 1964 年的论文)。

另一种必须减少的污染物是 SO_3 ，它会引引起酸腐蚀和空气预热器堵灰，而且也是一种会引起烟囱外面不清洁的污染危害物。有时采用特殊的露点仪来估计烟气中 SO_3 的含量 (Flint 在 1948 年、Corbett、Flint 和 Littlejohn 于 1952 年曾发表过文章)，现在已经发展了一种自动记录仪，但目前这方面消息几乎没有报道过。Jackson 介绍了一种适用于工业环境的远方操作的自控化学测试仪表^[18]，其操作原理是在如水样的异丙醇溶液中吸收 SO_3 ，硫离子与氯再酸酐反应而氯再酸离子由光电计来测定。应用范围为 0.02~250ppm，英国中央电力局 (CEGB) 的锅炉在正常的运行工况下则为 0.1~3ppm。

爆 管

热应力 过热器管必须避免金属温度过高以防止不适宜的热应变和孕育机械破坏事故。新的锅炉过热器都装有热电偶以便于测定有代表性管子的温度。但如何安装好测点则是锅炉测试领域里多年来的难题。法国电力公司将热电偶置于蒸汽管内并插入管壁上的钻孔内可能是精确而寿命长的较好方法，但是需要熟练的技术而且价格昂贵。Crawford 和 Virr 在论文 (6) 和 (7) 中所阐述的外置法如操作仔细的话可以获得良好的精确度和合理的使用寿命。

过热器和再热器集箱也可能受热应力而遭到破坏，Procter 和 Mitchell (8) 对于高温应变片的最新发展作了叙述，对于这一问题的研究是颇有益的 (也可见 1968 年 David、Procter 和 Mitchell 的著作)。最普通的装置即将镍铬应变片置于垫片上，然后点焊至被研究的部位，它只能在应变和温度的开始几个循环以后才获得可靠的结果。采用另一种方法来取而代

可能可以解决这一问题——以差示热电偶补偿胶接的 Pt-W 应变片温度。

水侧腐蚀 锅炉管子的水侧腐蚀是爆管的主要原因，因此必须严格控制给水纯度，某些杂质的浓度必须真正地保持在相当低的水平。以氯离子为例，几台现代大型锅炉推荐采用自动监视给水，防止氯离子超过 $120\mu\text{g l}^{-1}$ 。

Torrance(16) 介绍了一种适用的监视装置，范围为 $0\sim 150\mu\text{g l}^{-1}$ 。其原理如下：氯化银电极的电位与其周围溶液中的含氯量通过氯化银的溶解度乘积成一定的关系。

锅炉水样和酸缓冲剂按一定的比例以两导体间的比例配合泵进行混合。经缓冲后的水样在进入电位计电极以前，通过一台热交换器，其温度可以控制在 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 左右。电位计电极由一根氯化银管状电极和一根恒电位的硫酸汞对比电极(作为参考标准)组成。对电极电动势进行了监视并按线性校验图表与炉水含氯量成一定关系。结果，其标准误差为 $\pm 3\mu\text{g l}^{-1}$ 而其反应时间(90%左右)则少于 5 分钟。

尽管锅炉腐蚀过程是复杂的，但 Ashford, Castle 和 Masterson 确信他们已经掌握了有关基本机理(见 Masterson, Castle 和 Mann 于 1969 年发表的文章)；他们致力于一种错综复杂的新型测试仪表，它是专为评定在任何给定部位或锅炉部位情况下，炉水的潜在腐蚀性(17)。问题在于钢材表面的腐蚀在水质较差的离子浓度中实际上是难以检测出来的。现在知道，当表面所覆盖的多孔颗粒层上，好象在管内壁的氧化层一样地产生沸腾现象时，盐浓度可以大大地增加，这样就使腐蚀程度大幅度增加。在腐蚀度的监视器中，这一浓度增加机理已结合应用在一只试验性的电池元件中，而且预先形成了沉淀物。电池元件的容积仅 30 立方厘米，但是却能使锅炉任何位置，在正常压力和温度下，进行热通量和沉淀层厚度的模拟试验。腐蚀率由从电池元件而流出来的水中的含氢量来监视，可以产生一种信号。这种信号可以被用来改变进入电池元件的水的成份。此种仪表目前尚处于发展阶段。

火侧腐蚀和积灰 管外积灰和火侧腐蚀造成机组可用率的降低是大量著作所涉及的研究课题。虽然主要问题在化学方面，但是除了各种测定腐蚀或沉淀率的探讨之外，对于测试仪表开发得很少(只是 Kear, Anson 在 1959 年以及 Jackson 和 Raask 于 1961 年发表了一些文章)。

漏气 如果只有一根锅炉管子漏汽而检测不出来的话，就会迅速造成侵蚀邻近管子以致破损。因此，正在探索解决的办法。曾经对 Taylor 和

Nairne(23)所提出的声波技术进行了讨论,并且对压力为 6.34MNm^{-2} 和温度为 480°C 时,在从特殊喷口($\phi 0.8\sim 6.4$ 毫米)喷出的蒸汽流的不同距离上测定了声压级和频率特性。将这些与周围噪音相比的结果示于图7。可以得到一些能否测得一定泄漏的指示。由泄漏而产生的噪音,在这种情况下,在10米距离上、偏离轴向1米处测得。

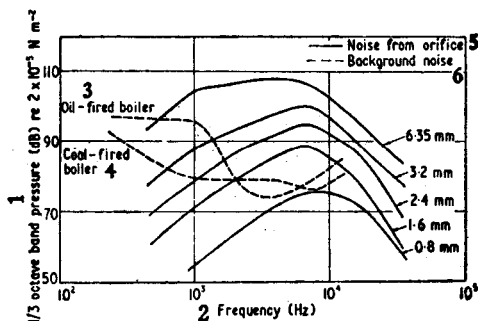


图7

1- $\frac{1}{3}$ 八度音频带声压(分贝)表示 2×10^{-5} 牛顿·米⁻² 2-频率 赫兹
 3-燃油锅炉 4-燃油锅炉 5-来自喷口的噪音 6-环境噪音

为了完善这一成果,计划对炉膛中的声衰减进行研究以致可以预测出一种特殊传声器的泄漏灵敏度。

Bincer(22)提出了一种示踪技术以取而代之。他认为在锅炉某一部分不断地慢慢注入氙化水并能精确、按时地和烟气取样相配合,这种设计观点是行得通的,但主要涉及到操作经验问题。

漏水 少量水漏进快中子反应堆的钠加热锅炉可能引起邻近管子迅速爆管,从而钠水激烈地起反应。为了防止这种现象,需要有一种保护装置来操纵隔离阀。

Horn和Hayes(20)研究了影响检测装置的选择和性能的因素。较好的方法是将泄漏位置处所产生的氢气泡收集进一只特殊气袋,因热扩散膜隔开并用改进型导热析气计进行检测,它能检测氢气的分压至 10^{-4} 毫米水柱。装置可以设计成总反应时间在一分钟以下。在讨论研究中,建议采用质谱仪替代鉴别器,实际上Lannou在1967年已经作了报道。

效 率

要对效率测定进行详细讨论的范围太广泛了，但是值得指出，由于缺乏必要精度和（或）反应时间的测试仪表，锅炉效率的测定则至少需要六小时的试验期和大量人员。从锅炉最佳化角度来说是太慢了，而且浪费人力。目前已经对为此目的而改进测试仪表予以重视。

特性的基本公式是： $\text{输出} = \text{输入} - \text{损失}$

因此，效率（输出/输入）可以根据上述所测得的三个变量中的任意二个而确定。输入的测量问题已经简述过了，至少可足以说明为什么在现阶段电站实践中，“输出和损失”是可取的变量。在各主要的损失中，灰分中的含碳量已经在未燃烬的烟气损失和因烟囱排气显热而产生的损失，即排烟损失中加以考虑。未燃烬烟气损失，主要是指 CO，当然可以用烟气分析法来测定。测定排烟损失问题主要是确定大量的有关烟气流，这不可能从输入的燃烧空气量来估计得准确，因为还有从锅炉炉墙漏过的风量。这样的泄漏可引起很大的效率损失。

漏 风 Read 和 Umpleby⁽¹¹⁾于会议上提出了如何有效地测定漏风（亦可用于测定排烟损失）的论文。将一定已知量的氦气引入到进风口处，沿着锅炉系统各个不同点不断地进行稀释，然后产生相应量的漏风，用一通常用于示踪真空泄漏的简单频谱仪，但须改装成能产生定量指示，就可有效地作为鉴谱器，可达到百万分之五。一般来说漏风可测到 2%（通过锅炉的烟气流不足的情况下），但须小心注意混淆示踪。由于要求漏风达到“零”，但往往却高达 30%，故目前技术水平决定了锅炉特性尚有大大改善的余地。

试 验 及 研 究

对用于锅炉材料及制造，特别是无损探伤时检验焊缝和管件的一些新仪表作了介绍。在 1969 年有 Turner 等人提出的“超声波圆环（ultrasonic bracelet）”，Pulfer 于同年提出的用微型照相机进行直接射线照相，或者采用 Wetherley 于 1968 年建议的电视机，它可直接伸入管内对内部作光学检查。1968 年，物理展览会曾展出一种评定水侧腐蚀的方法，即先把管子加热一会，当冷却时用红外照相机观察，腐蚀痕迹随着不同的冷却速度而显现出来。

火焰及热流的研究 火焰的科学测量——对于燃烧的基础研究或者炉膛模化的研究本身就是一种研究的对象也包含着广泛范围测量的问题，包括温度、黑度、热流、烟气流速、粒子和灰的浓度以及烟气分析等。除了烟气分析以外，会上只介绍了两种与这一领域有关的测试仪表。

一种是由 Wilkinson 和 Slaney(9) 介绍，用于测定局部火焰亮度的辐射式高温计，其灵敏度高，但价格昂贵。可以用热敏电阻测热器的透镜把辐射聚焦成 1° 的夹角。灰尘不是用排尘窗口，而是用氮气连续清洗高温计罩壳的方法予以排除。这种仪表用于对试验炉煤粉燃烧火焰的研究，可能还要进一步发展使之适于工业锅炉。

第二种仪表是 Virr(7) 提出的热流计，价廉而简易，可以大量装在锅炉炉膛管子上以获得瞬时的热流值及其型谱。它是由一只内装差示热电偶系统的特殊形状的“垫块”来测得通过热流的热阻的温差。近年来，Northover 和 Hitchcock 以及 Anson 和 Godridge 为了达到同样目的在 1967 年介绍了另外两种热流计。对于这种仪表的结果评判，特别是在通常情况下积灰不一样而且又不知道其厚度时，是有些困难的 (Morgan 于 1966 年发表的文章)，因此可能还需进一步研究以建立一种完善的合格标准。

水速 现代火力或原子能电站锅炉的水流系统往往是十分复杂的。要使各通道能得到设计流速，对于锅炉的理想运行和高的可用率是极需要的。Termeat 曾撰文例举过(12)，近来 Vogel 也论述了对 Dodewaard 和 Holland 原子能电站的 5 万千瓦沸水堆下降管内流速的测定。这种流动决定了堆芯的冷却，并且是计算中子流“型”、汽水空间和堆芯区域热强度的重要因素。Bentley 和 Dawson 于 1966 年，Ashton 和 Bentley 于 1968 年提出采用对水温波动进行瞬时分析测定，根据交叉关系求出数值的方法。在下降管的各个不同的轴向及径向位置处布置有三十对 $\phi 0.5$ 毫米，外面包有鞘壳的热电偶。经过滤波和放大后，信号馈给至单极偶合乘积检波器 (a polarity coincidence correlator)，然后把输出记录了下来。由结果可见，除了总回流以外，径向和轴向的速度场都可求得。估计其测量精度为 $\pm 5\%$ 。

Wratten 及其同事生产了一种不伸入管子内部就可测定管内流速的新型轻便仪表(13)。这种方法是根据热瞬变法将管子外表面小块区域暂时升温，然后使之冷却。对两个预定温度间的冷却时间作了测定，这样得到的“冷却时间”可以由恰当的刻度变换成流速。在现在的试验装置中，冷却时

间是用一只带有仪表指示的电子计时器来测定的。这种仪表最初是用于检测蒸发器和新造好的锅炉过热器的堵塞的是颇有效的。因为它可允许流量测定的再现性达士10%左右。显然,它在流量分配方面另有许多应用,而且不局限于锅炉,也在工业装置上应用。目前,可能正在对带负荷时锅炉水循环系统的测试仪表进行研究。

双相流体系统的空隙 最后,必须谈一下, Miller 和 Mitchie 在 1970 年发表的适于研究双相流体组成比例的光-电子探针(14)。以前大多数拾波是采用电气的,但是由新探针来的一次信号却是光学的,它是根据两相流体折射率不同的原理制成的。由石英-碘灯发出的光沿着光导纤维传至一根锥端面成直角的玻璃锥棒($\phi 2 \sim 0.3$ 毫米)。该玻璃的折射率为 1.62,当外界工质的折射率为 1.15 时,其结果是反射全部在内部进行。然后,当反射回另一光导纤维到光电晶体管时,变化则很大。当简单电路用以指示总时间的分数,而那时的光强大于所选择的临界值,应选择恰当临界值,比如为最大灯光信号的 10%。这可以与探针接触泡沫时的时间分数成方程式,由此产生了空隙百分率。另一种方法是采用检查光电晶体管所发出的脉冲形状,以便将塞状流和膜状流与普通泡状流区别开来。

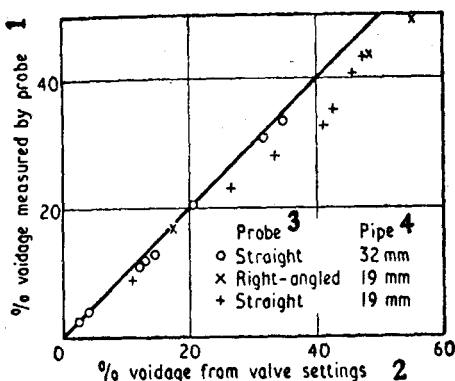


图8 探针测出的平均空隙与所配阀门法的空隙比较
 1-探针测出的空隙(%); 2-由阀门配件而产生的空隙(%);
 3-探针 4-管子 o-直的 x-直角的 +-直的

多次校核证实了图 8 所示的空隙百分率的计算值, 该值系指表面水速为 1 米/秒时的数值。它表明在 $\phi 1$ 毫米的泡沫以 3 米/秒速度流动时, 光灵敏度没有达到。同时, 由一系列电影显微照相可以表明探针由于表面张力作用, 需要一定时间才能渗入泡沫, 但不会引起很大的误差。

该方法是在室温时用水中的空气而发展出来的。应用于高温汽水混合物, 则需采用耐热探针。将三氧化二铝针尖焊于钛管的探针颇有前途, 可以耐温 300℃ 以上。

结 论 本文主要阐述燃化石燃料大型电站锅炉用的测试仪表。可能有人会认为: 由于原子能发电迅速发展, 这些技术可以被淘汰。这种讲法有其对的方面, 但也必须认识到, 至少在英国, 即使今后不再订购燃煤锅炉, 目前正制造和建造的锅炉至少可延长二十五年, 那时如此巨大的耗煤量将超过当前电站的总耗煤量, 因此从获得锅炉运行的最大效率和可用率来考虑, 还是颇有益的。

(上锅厂研究所方健译自《Combustion》1971 年 7 月)

会议论文目录

- (1) 煤粉流量测定用环形文丘里管的发展

R. Somerset, CEGB

- (2) 煤粉流量和粒度测定的联合装置

Prasher, Babcock & Wilcox

- (3) 煤粉流量计和粒度粗分仪

M. J. Parkinson, BCURA

- (4) 声波控制的钢球磨煤机内的煤位

D. Tonge, MEL

- (5) 新型的飞灰含碳量在线监视装置

Roughton & P. R. Cockram, CERL

- (6) 过热器管壁测量

J. N Crawford, Babcock & Wilcox

- (7) 50 万千瓦机组锅炉试运行时的测试技术和数据分析方法的推荐

M. J. Virr, John Thompson