

国家质检公益行业科研专项项目（201510067）资助

锅炉炉管泄漏 检测方法及装置研究

彭小兰 刘志强 张建智 等编著

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



国家质检公益行业科研专项项目 (201510067) 资助

锅炉炉管泄漏 检测方法及装置研究

彭小兰 刘志强 张建智 廖伊丹 黄 霄 编著



机械工业出版社

本书较全面地研究了锅炉炉管泄漏声学检测技术及其应用方式,包括声学检测的基本概念与原理、锅炉炉管泄漏特性研究、锅炉声发射与传播特性、声信号的数字化处理与分析、锅炉炉管泄漏声源定位方法、便携式锅炉炉管泄漏噪声检测系统、系统检测实例、锅炉炉管泄漏声学检测规程等,以及相应装置开发和应用成果。本书反映了当前最新的锅炉炉管泄漏定位技术,具有较强的新颖性、系统性、实用性。本书介绍的装置开发和应用内容填补了领域内的空白,对后续装置的设计和改良有重要借鉴意义。

全书共9章,递进式地从锅炉特性、声学检测技术介绍至检测装置的实现方法,理论研究与实际应用紧密结合,既可供工业无损检测领域人员学习,也可供锅炉设计、使用、维护的工程技术人员和现场操作人员参阅;亦可动力工程、电子与通信工程等专业师生作为参考。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉炉管泄漏检测方法及装置研究/彭小兰等编著. —北京:机械工业出版社,2018.9

ISBN 978-7-111-60740-3

I. ①锅… II. ①彭… III. ①火电厂—锅炉—炉管—泄漏
IV. ①TM621.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第194197号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:沈红 责任编辑:沈红

责任校对:潘蕊 封面设计:陈沛

责任印制:张博

北京东方宝隆印刷有限公司印刷

2018年9月第1版第1次印刷

169mm×239mm·11.25印张·211千字

标准书号:ISBN 978-7-111-60740-3

定价:98.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工微博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前言

锅炉是重要的热能动力设备，是电力行业的核心。我国锅炉生产量和在用量均居于世界首位，且随着能源需求的增加，其数量仍将持续增长。电站锅炉是火力发电站三大主力设备之一，受国家“上大压小”的政策影响，一般都有着容量大且参数高的特点。目前我国火电站的主力机组为 600MW 超临界锅炉，达到世界先进水平的超超临界锅炉容量可达 1000MW，这些大型供能设备的安全运行变得更加不容忽视。但是电站锅炉的炉管工作环境恶劣，长期处于腐蚀、磨损、高温的运行状况，最易出现水汽泄漏甚至爆管事故。在管道泄漏的初期，传统的水质监测、水化学监测等方法都难以感知微小水汽泄漏，并且锅炉体积大，管道复杂，停炉检修时间周期长。面对保障锅炉这一重要特种设备安全高效运行的需求，本书作者在认真总结声发射检测技术的原理和研究电站锅炉这一应用对象的特性的基础上，结合声学、数学、现代信号处理等知识实际测试经验完成此书。

本书全面、系统地介绍了声学检测技术基础、锅炉本体特点、锅炉管泄漏的声学及物理学特性、管道漏点定位方法及独创性的装置开发和应用成果。全书内容涉及学科广泛，不仅将锅炉管泄漏声学检测技术紧密联系实际需求，还特别对装置的研发、测试数据、使用步骤做了详尽的记录，因此具有很强的实用性。

尽管本书针对锅炉进行介绍，但对包括油/气等压力管道、电梯/起重机等大型机械设备、游乐设施在内的其他特种设备的检测同样具有参考价值。

总之，作者希望能够为读者奉献一部全面、实用的著作，以此抛砖引玉，对我国的特种设备检测检验技术的研究和应用起到促进作用。

在成书过程中，作者搜集了大量参考文献并进行整理，在此对本书参考文献及被引用文献的作者表示感谢。由于本书涉猎领域广、技术更新快，以及作者水平有限，书中出现的不当或错误之处，敬请读者批评指正。

著 者

目 录

前言

第 1 章	绪论	1
1.1	引言	1
1.2	声学检测技术发展史	2
1.2.1	国外研究进展	3
1.2.2	国内研究进展	4
1.3	锅炉炉管泄漏检测装置中的关键技术	7
1.4	国内外先进声检测仪器简介	9
1.5	本书的主要内容	11
第 2 章	声学检测的基本概念与原理	13
2.1	声学检测的物理基础	13
2.1.1	声发射的产生	13
2.1.2	连续波和脉冲波	15
2.1.3	宽脉冲和窄脉冲	16
2.1.4	声波的传播	18
2.1.5	声源与声场的数学模型	24
2.1.6	影响声发射特性的因素	28
2.2	声信号分析与处理方法	29
2.2.1	声信号类型	29
2.2.2	信号特性参数	30
2.2.3	噪声的排除	33
2.3	声学检测原理	34
第 3 章	锅炉炉管泄漏特性研究	37
3.1	过热器爆管失效研究	37

3.1.1	过热器长期过热爆管的机理、形式与特征	38
3.1.2	过热器泄漏防范	40
3.2	再热器爆管失效研究	41
3.2.1	再热器爆管的直接原因	41
3.2.2	再热器爆管防范措施	42
3.3	水冷壁爆管失效研究	42
3.3.1	水冷壁爆管现象	43
3.3.2	水冷壁爆管直接原因	43
3.3.3	水冷壁爆管主要原因	43
3.3.4	防止水冷壁爆管采取的措施	44
3.4	省煤器爆管失效研究	45
3.4.1	省煤器爆管现象	45
3.4.2	省煤器爆管原因	45
3.4.3	预防省煤器泄漏的对策	46
3.5	判定“四管”泄漏的方法	47
3.5.1	“四管”泄漏后的现象	47
3.5.2	不同受热面爆漏后的参数变化比较	48
3.5.3	总述	50
第4章	锅炉声发射与传播特性	52
4.1	锅炉炉管泄漏声音特性分析	52
4.1.1	泄漏发声模型	52
4.1.2	泄漏蒸汽流速计算	54
4.1.3	泄漏噪声声压级、频率计算	54
4.1.4	泄漏喷流实例	55
4.2	炉内背景噪声特性分析	56
4.2.1	炉内燃烧噪声	56
4.2.2	吹灰器噪声	57
4.2.3	燃烧器喷流噪声	57
4.3	炉内声传播特性分析	58
4.3.1	声音在炉内的衰减	58
4.3.2	声音在炉内的混响	59
4.3.3	管阵列对声线的影响	61
第5章	声信号的数字化处理与分析	64
5.1	声信号数字处理基础	64

5.1.1	信号的数字化	64
5.1.2	DFT (离散傅里叶变换)	66
5.1.3	数字化分析处理中的若干问题	69
5.1.4	FFT (快速傅里叶变换)	73
5.2	时频分析与传输理论	74
5.2.1	声信号的时域分析	75
5.2.2	声信号的频域分析	76
5.2.3	信号传输理论基础	80
5.3	滤波器	82
5.3.1	滤波的基本原理	82
5.3.2	滤波器设计	85
第 6 章	锅炉炉管泄漏声源定位方法	88
6.1	定位方法综述	88
6.1.1	基于最大输出功率的可控波束形成方法	88
6.1.2	基于高分辨率谱估计的定位方法	92
6.1.3	基于时延的声源定位方法 (TDOA)	98
6.1.4	不同定位方法比较	103
6.2	基于时间延迟的定位方法	103
6.2.1	传感器阵列模型	103
6.2.2	时间延迟估计方法	104
6.2.3	定位方程解算方法	108
6.3	互相关函数求取时延的研究	112
6.4	定位误差的度量	117
6.4.1	概述	117
6.4.2	定位误差	117
6.4.3	概率定位误差	119
6.4.4	几何精度稀释	122
6.4.5	克拉美-罗界	123
第 7 章	便携式锅炉炉管泄漏噪声检测系统	124
7.1	系统概述	124
7.2	系统组成	124
7.2.1	声音传感器	126
7.2.2	电缆	129

7.2.3	前置放大器	130
7.2.4	数据采集卡	130
7.2.5	便携式工控机	132
7.3	功能	133
7.3.1	信号采集	133
7.3.2	频谱分析	133
7.3.3	滤波	134
7.3.4	互相关分析	135
7.3.5	定位	136
第 8 章	系统检测实例	137
8.1	传感器支架设计	137
8.2	区域定位试验	138
8.2.1	系统校准	138
8.2.2	系统定位精度实验	139
8.2.3	定位精度影响因素分析	141
8.2.4	试验结论	151
第 9 章	锅炉炉管泄漏声学检测规程	153
9.1	声学检测程序	153
9.2	设置与校准	154
9.2.1	检测门槛设置	154
9.2.2	传感器一致性校准	154
9.2.3	传感器间距	155
9.3	传感器的安装布置	155
9.4	预检测	155
9.5	检测方法	155
9.5.1	噪声的控制与抑制	155
9.5.2	现场校准	156
9.5.3	正式检测	156
9.6	数据解释与评价	157
9.7	检测标准与规范	158
9.7.1	GB/T 12604.4—2005《无损检测 术语 声发射检测》	158
9.7.2	GJB 2044—1994《钛合金压力容器声发射检测方法》	158

9.7.3	QJ 2914—1997 《复合材料结构件声发射检测方法》	161
9.7.4	JB/T 7667—1995 《在役压力容器声发射检测评定方法》	162
9.7.5	其他国内外标准方法目录	163
参考文献		165

第 1 章

绪 论

1.1 引言

锅炉的“四管”（通常指省煤器、水冷壁、过热器、再热器的管道）处于高温、高压腐蚀、磨损的恶劣环境中，容易发生水汽泄漏，是电厂安全经济运行的重大障碍。若能对炉管状态进行在线监测、诊断泄漏的程度，及时判断炉管泄漏位置，则一方面能有效地防止事故的扩大并减小损失；另一方面能使电厂及时申报停机缩短检修周期。

目前，炉管泄漏早期监测技术主要有运行人员监测技术、水质量平衡监测技术、锅炉水化学监测技术、X 射线检测技术和声学监测技术等。声学检测技术较于其他方法精度高、迟滞性低、结果更为可靠，因此国内、外先进的监测炉管泄漏的方法都是依靠声学技术完成。国际上大型电站锅炉检测管道泄漏、预报锅炉“爆管”事故方面最常用、最有发展潜力的手段是利用现代声学技术监听炉内管道早期泄漏声信号。该技术具有实时性、可远程检测、可应用于炉内高温高压环境的优点。然而，现行的锅炉炉内管道泄漏的声检测系统存在以下几个突出问题。

1) 结构复杂、体积庞大。其大量的采集数据线和笨重的后台数据采集处理系统加剧了锅炉炉管检漏工作的复杂程度，并且在运输搬动过程中易造成设备损坏，会给计量部门带来极大的经济损失。

2) 检测与定位精度不高。装置普遍依靠区域性定位原理，即通过比较各个声探头采集信号的能量大小，只能粗略估计声发生源所在区域，误差在 5 ~ 10m。

3) 造价较高。如应用区域性的定位原理进行检测，需要设置传感器数量多达 48 ~ 128 个，致使系统造价昂贵。

如何解决现有锅炉炉管泄漏检测系统的弊端，以及如何对锅炉炉管泄漏点进行准确可靠的现场检测和定位，对锅炉炉管检测工作提出了新的挑战，且亟须特种设备检测部门对锅炉炉管泄漏检测装置的开发与应用进行研究。

为了解决上述问题，国家质量监督检验检疫总局启动了“国家质检公益行

业科研专项项目（201510067-03）”，旨在完成便携式锅炉炉管泄漏检测装置的研究。其中包括高度集成炉管泄漏检测系统、编制优化运行软件、降低检验检测成本、实现锅炉炉管泄漏的检测和准确定位等内容。该项目完成后，即便便携式锅炉炉管泄漏检测装置能成功为锅炉进行定期检漏，从而可以有效地预防锅炉炉管漏爆，进而减少财产损失和人员伤害亡。

1.2 声学检测技术发展史

除了基于经验进行“四管”泄漏的判断之外，技术人员也常借助一些专业方法对锅炉炉管的泄漏状况进行判断。这些方法按时间先后顺序大致可以分为以下几个阶段。

在早期，由于科学技术水平、计算机技术等因素的限制，炉管泄漏检测仅能依靠工作人员的经验进行现场巡视、监测，这是最早也是最传统的炉管泄漏检测方法。这种方法的缺点是：能否检测到锅炉炉管泄漏的发生与工作人员的经验、炉管泄漏的时间点发生在检查前后有很大关系，不具有实时性；同时，由于锅炉背景噪声的干扰，使普通人很难发现泄漏。

随着技术的发展，出现了水质平衡监测诊断技术。该技术的主要原理是：当炉管发生泄漏时，会导致炉内工质的流失，从而造成水质失衡。该技术的主要特点是：当锅炉正常工作（即没有泄漏发生）时，保存炉内工质的流量数据，并以此为标准对之后采集的数据进行分析、对比，从而确定是否有泄漏发生。该技术的主要缺陷是：对流量装置的精确度要求较高，且为了提高检测的准确性，对流量装置的数目有一定的要求。

之后又出现了水化学检测方法和 X 射线检测法。水化学方法主要是在炉内工质中添加一种化学药剂，当有泄漏发生时，化学药剂的含量会随着泄漏的发生而减少，此方法虽然能够对泄漏做出判断，但是分析时间较长，不利于及时发现泄漏，且该技术对锅炉排污测量系统的要求也较高。而 X 射线检测法则是利用 X 射线的穿透能力对锅炉进行的泄漏检测，该技术虽然属于无损检测，但是其检测结果可靠性差，且存在劳动强度大、效率低等缺点。因此，X 射线检测法也不适用于锅炉炉管泄漏的检测。

现阶段采用的主要检测方法是声谱分析法。这种方法利用声波传感器采集锅炉炉膛内的噪声信号，并对采集的噪声信号进行频谱分析，结合互相关时间延迟估计方法和声波传感器阵列完成对锅炉炉管的泄漏检测。该方法具有灵敏度高（可检测出直径小于 2mm 的泄漏）且系统设备体积小，以及可实现实时监控等优点，已成为现阶段各大电厂广泛使用的泄漏检测方法。

当前，锅炉炉管泄漏检测系统的定位方法根据不同的声波传感器阵列可分

为以下几种：线形阵、平面阵和立体空间阵。首先声波传感器对炉膛内部的噪声信号进行采集，通过滤波器滤除其他无关噪声后再经放大器放大；将放大后的信号送入数据采集卡进行 A/D 转换后由上位机进行处理；最终判断炉管泄漏是否发生。

国外首次将锅炉炉管泄漏检测系统应用于电站始于 20 世纪 80 年代，早期的产品主要包括声波传感器、放大器、信号处理柜、主控室显示等组件。后来，随着科学技术的发展和计算机技术的不断提高，信号处理柜逐渐被替代，并最终形成了以声波传感器、放大器、主控室显示系统等构成的锅炉炉管泄漏检测系统。如英国的 PHONALEAK 系统等，该系统结构简单、操控性好。国内电厂出现使用锅炉炉管泄漏检测系统的时间始于 20 世纪 90 年代，该系统主要仿照国外 20 世纪 80 年代初期的泄漏检测产品的相关技术，其结构与国外 20 世纪 80 年代初期的系统组成基本相似。目前，国内锅炉炉管泄漏检测设备采用主要方法是声谱分析法，且在许多电站都得到了广泛的使用。

1.2.1 国外研究进展

20 世纪 70 年代，英国率先开展了炉管泄漏监测与诊断研究的相关工作，到 70 年代中期进入实际应用阶段。20 世纪 80 年代已在 20 多个火电厂 70 多台锅炉上采用了锅炉泄漏监测预报装置。试验表明，蒸汽泄漏时，会产生一个很宽范围的噪声频谱。英国所采用的泄漏监测装置中，其一次元件为压力传感器，传感器将接收到的声压信号转换为电压信号，放大这一信号传送到主控室的显示、报警装置。如今已有数十个国家的许多大机组在使用该装置。该产品的系统由波导管、传感器、前置放大器、电子间信号处理柜（含带通滤波器）、主控室显示组件构成。以上系统中需要有“电子间信号处理柜”，其中有许多通道插卡件（一个测点需要配置一块插卡件）。每一卡件负责处理该通道泄漏噪声与背景噪声信号的区分，并判断是否发生泄漏。系统诊断方法主要是基于时域分析，即根据泄漏声强的变化趋势进行炉管泄漏的诊断。图 1-1 为 20 世纪 70 年代中后期成形的国外典型检测装置结构。

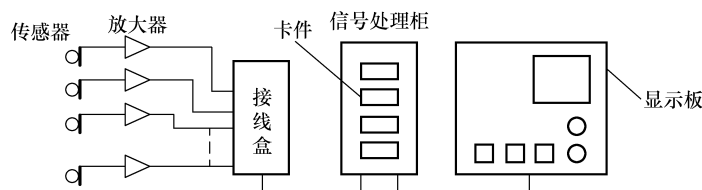


图 1-1 国外典型检测装置结构

如在英格兰诺丁汉郡 CEBG 系统的 Ratcliffe on Sour 电站共有 4 台 500MW 锅炉，1974 年为每台锅炉配备了 2 个监听通道。1983 年 10 月，又增加至 10 个通

道。在使用这一检漏系统的电厂中，经不断改进与完善后，因炉管泄漏导致的总停机时间及每次泄漏后检修所用的平均停机时间逐年稳步减少。以 CEGB 的某电厂为例，1978 年与 1982 年比较，1978 年炉管泄漏的总数是 36 次，而 1982 年因锅炉泄漏导致的总停机时间和每次检修所用的平均停机时间，分别比 1978 年减少近 1000h 和 33h。由此可见，泄漏检测装置给电厂带来了巨大的经济效益。又如意大利声学泄漏监测系统已在数十个电厂投入使用，这种系统不仅可以用于锅炉本体，还可以用于高压加热器的在线泄漏监测。

之后英国研制的锅炉泄漏在线监测技术转让给了美国 Windsoy Conn 的燃烧工程公司和 Baberton Ohio 的 B&W 公司。进入 20 世纪 80 年代，由于工业微电子技术的迅猛发展，可以用更可靠的集成技术来取代原先复杂的“电子间信号处理柜”设备，因而国外的炉管泄漏监测系统出现了第二代监测系统。该系统结构为传感器、前置放大器、低通滤波器和主控室计算显示系统，使装置系统简捷、维护方便，而且避免了原复杂结构带来的可靠性问题，且实现了炉管泄漏报警、泄漏位置显示、监听和自检等功能。

美国电力研究院 EPRI (Electrical Power Research Institute) 是美国最大的电力工程技术研究与发展机构。EPRI 与美国及其他西方国家的政府电力部门、私营企业、动力设备制造运行厂家有着广泛而密切的联系，负责发起、组织、协调、管理和实施数以万计的研究开发计划。自 1973 年建院以来，以研究开发成果先进、实用而著称，科研总投资 35 亿美元。可以说 EPRI 所反映的水平是目前电力工程技术界国际最先进的水平，包括锅炉泄漏在线监测在内的火电厂在线监测与诊断是美国 EPRI 的重要研究方向。美国研制的系统由若干通道组成，各通道硬件构成相同：声传感器提取波导管传递的声信号，经前置放大器、信号处理机和转换后送入工控机。

南非 Instrotech 公司也开发了“Inspeeta FFT”系统，这一系统主要由波导管、声传感器、放大电路、A/D 板和工控机组成。

1.2.2 国内研究进展

目前，国内、外检测锅炉炉管泄漏技术的原理基本相同，即通过声频传感器捕捉锅炉“四管”泄漏产生的一定强度和频率范围的噪声，区分泄漏声源和背景声源后，即可检测锅炉管的泄漏状态。

在实际应用中，有两种捕捉泄漏声源的检漏技术：①泄漏声源通过空气传播到声频传感器的检漏技术；②泄漏声源通过固体传播到声频传感器的检漏技术。这两种技术都应用在了实际生产中，从技术成熟和应用效果来看，第一种检漏技术目前更可靠、实用，且国内外应用的时间长、范围广，经验也丰富得多；第二种检漏技术有其独特之处，但还需进一步发展完善。

下面着重讨论第一种检测锅炉炉管泄漏的应用技术。

国内在 20 世纪 80 年代中期便有锅炉炉管检漏产品在电厂应用,投用后出现过一些反复,也存在一定的漏报和误报炉管泄漏的情况,产品大都局限于研究性的规模。20 世纪 90 年代随着国内基础产业的技术进步及国内、外技术的交流,锅炉炉管检测产品的技术水平得到了较大提高。

最早研制投用产品的系统结构为传感器、前置器和现场报警。早期产品由于在区分背景噪声与泄漏噪声的技术上有一定缺陷,而且关键设备的抗高温、抗灰尘及使用寿命等性能指标不稳定,系统不具备自检功能,因而在实际应用中效果不是很理想。在电厂全套投用的国内第一代产品是在 20 世纪 90 年代初期出品的,该产品主要参照国外 70 年代末期同类产品的技术,同时也借鉴了国内早期产品的经验。该产品的系统由传感器、前置放大器、电子间信号处理柜、主控室显示柜等构成。

国内第一代产品与国外 20 世纪 70 年代产品的结构相同,在显示设备上将原“显示板”改成具有计算机显示功能的“显示柜”形式。国内第一代产品的特点如下:①产品利用“带通滤波”的方法区分锅炉现场的背景噪声和泄漏噪声,故对一些临界状态的炉管泄漏反映不很灵敏;②因参照国外 20 世纪 70 年代产品,装置主设备“电子间信号处理柜”中大量处理卡件、电源卡件接插维护烦琐,则存在可靠性问题;且系统本身的电路设计存在相互干扰现象;③装置波导管采用简单“直三通”连接传感器的方式,在处理声波驻波问题上存在缺陷,故会造成对泄漏的误报;④对运行过程中波导管的堵灰状况不能自动测报,可能造成设备漏报泄漏的缺陷。此外,第一代产品的兼容性较差,不能方便增减测点数量和检测范围。但是其作为检测炉管泄漏的产品,比国内早期产品已经有了很大的改进提高,因而在电厂仍具有相应的应用价值。

第二代产品由传感器、变送器和显示与报警组件等构成(图 1-2)。其特点是:①该产品采用频谱分析和滤波处理相结合的方法对锅炉“四管”泄漏进行诊断,比原产品仅靠滤波处理判断泄漏更可靠准确;②除第一代产品中主设备“电子间信号处理柜”及相应通道卡件外,克服了原产品接点多(1000 多个接点)和处理卡件不可靠的缺陷、故障,不仅提高了可靠性,而且设备维护、调试也更简单方便,系统各测点之间信号相互干扰的问题也可以消除;③第二代产品波导管进行了专业声学设计,能不失真地将炉内噪声信号传递给传感器;④具有独特的“波导管堵灰判断”技术,可正确向运行人员报告波导管堵灰情况,克服了国内、外产品存在的因探头堵管而漏报泄漏的缺陷;⑤装置系统简捷,能方便增减测点通道数和测量范围,可在单台装置基础上扩容至两台锅炉检漏装置或多台锅炉检漏装置,而不需对设备进行复杂的改造工作。第二代产品的功能有炉管泄漏报警、“泄漏位置显

示”、泄漏趋势、监听、自检和探头堵管判断等。

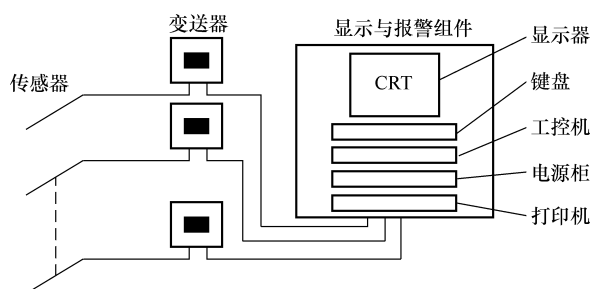


图 1-2 国内改进的“第二代”产品结构图

目前国内第二代产品的系统结构设计合理，省略了原设备中大量容易出问题的中间环节（如电子间信号处理柜），在产品制造中能更好地控制质量，且装置的运行调试和维护都很方便。

目前国内已有几十台锅炉安装使用了炉管泄漏在线检测系统，机组容量（125~600）MW。在上述应用的装置中，存在一些漏报、误报泄漏和设备损坏的问题，这些都涉及装置的关键技术水平。国内第一代与第二代炉管泄漏检测系统的关键内容对比见表 1-1。

表 1-1 国内第一代与第二代炉管泄漏检测系统的关键内容对比

产品类别	系统结构	滤波方法	功能与特点
国内第一代产品	传感器、前置放大器、电子间信号处理柜等	带通滤波	泄漏报警；不具备自检功能；系统维护烦琐；系统可靠性差；有误报现象；性能指标不稳定
国内第二代产品	传感器、变送器、显示与报警组件	频谱分析与带通滤波相结合	泄漏报警；具备监听、自检功能；探头堵灰判断；设备稳定；不能精确定位

传感器的质量在国内、外的装置上都发生过一些问题。由于锅炉现场的环境十分恶劣，高温、寒冻、灰尘、风吹雨打等气候环境要求，传感器应具有很好的工作性能；否则将影响对锅炉“四管”泄漏的准确测报。以前国内装置传感器质量不太过关，一般使用半年就可能出现问题。经过厂家的积极努力，现在第一代、第二代产品的传感器已接近国外传感器的性能水平。尤其第二代产品的传感器的性能更优越，已达到长期运行下对同一测试信号的输出参数基本一致，且偏差限制在 1% 以内。锅炉在运行时有各种各样的噪声源且容量不同，即使相同容量在不同负荷下运行的锅炉及运行的不同时刻都可能使噪声源产生变化。如何区分锅炉运行时背景噪声与泄漏噪声是早期检测“四管”泄漏的重要技术之一。以前国内、外的处理方法是传感器接收的噪声源信号进行带通

滤波处理,为提高泄漏检测的准确性和灵敏度,采用对噪声源信号进行频谱特性分析的方法,已成为国内、外产品的发展趋势。规范系统结构,一定程度上可有效降低设备的故障率,使设备维护也变得简单方便,以及产品质量得以提高。由于国内机电一体化水平较低,若完全按照国外产品的系统结构,就可能因为加工、配合和长期工作的稳定性等问题而产生故障,这在第一代产品的使用中有所反映。为提高锅炉炉管检漏技术的可靠性和设备使用寿命,克服前期产品存在的诸多技术问题,在总结早期和第一代产品技术基础上全新研制的第二代检漏产品也已正式在锅炉上投运。经过多台装置的实际应用,第二代产品已证明能适应电厂恶劣环境要求,设备运行稳定可靠,技术性能比第一代产品更进一步。

检测炉管的早期泄漏需要波导管准确地将炉内噪声传导到传感器。由于锅炉炉型及燃烧方式等因素的不同,波导管可能产生堵灰现象,水冷壁上的波导管还可能产生结焦堵管的情况,这在国内、外装置上都普遍存在。这种现象将导致传感器接收不到或延缓接收到炉内泄漏信号,使装置不能及时报告炉管泄漏事故。解决上述问题除了要采取合理的清灰措施外,还需要有自动判断波导管堵灰状态的技术。这项技术在国内第二代产品中已成功应用,如在堵灰严重的锅炉上,该技术可有效提高装置的泄漏测报准确性,使传感器的投用有效率提高20%~30%。探头安装的位置与方式,对装置捕捉“四管”泄漏事故有一定的影响。这个问题可以通过实际应用过程中不断总结经验来解决。

由上可见,锅炉炉管检漏报警装置的关键技术主要是设备质量性能、区分、判断泄漏技术和系统合理应用的问题。

1.3 锅炉炉管泄漏检测装置中的关键技术

目前国内、外锅炉上均有锅炉炉管泄漏检测装置投入运行,机组容量从(125~600)MW不等。在上述应用的装置中,存在一些漏报、误报泄漏和设备损坏的问题,这些都涉及装置的关键技术水平。下面就检测系统关键技术进行分析讨论,以期进一步完善检测方法与系统。

1. 传感器的质量

传感器的质量在国内、外的装置上都发生过一些问题。由于锅炉现场的环境十分恶劣,如高温、寒冻、灰尘、风吹雨打等气候环境要求传感器具有很好的工作性能;否则将影响对锅炉“四管”泄漏的准确测报。

第一代、第二代产品配置的传感器已接近国外传感器的性能水平,而第二代产品的传感器的性能更优越,已达到同一测试信号下相隔10年的前后输出参数基本一致,偏差不超过1%。

2. 背景噪声和泄漏噪声的区分技术

如何区分锅炉运行时背景噪声与泄漏噪声是早期检测“四管”泄漏的重要技术之一。以前国内、外的处理方法是將传感器接收的噪声源信号进行带通滤波处理；后为提高泄漏检测的准确性和灵敏度，采用了对噪声源信号进行频谱特性分析的方法，并已成为国外和国内产品的发展趋势。国内第二代产品也已利用该技术进行噪声区分处理，解决了在临界状态下泄漏噪声的判别问题。

3. 系统整体可靠性

规范系统结构，一定程度上可有效降低设备的故障率，设备维护也变得简单方便，产品质量得以提高。由于国内机电一体化水平较低，若完全按照国外产品的系统结构，就可能因为加工、配合和长期工作的稳定性等问题而产生故障，这在第一代产品的使用中有所反映。目前，国内第二代产品的系统结构设计合理，省略了原设备中大量容易出问题的中间环节（如电子间信号处理柜），在产品制造中能更好地控制质量，且装置的运行调试和维护都很方便。

4. 波导管堵灰

检测炉管的早期泄漏需要波导管准确地将炉内噪声传导到传感器。由于锅炉炉型及燃烧方式等因素的不同，波导管可能产生堵灰现象，水冷壁上的波导管还可能产生结焦堵管的情况，这在国内、外装置上都普遍存在。这种现象将导致传感器接收不到或延缓接收到炉内泄漏信号，使装置不能及时报告炉管泄漏事故。解决上述问题除了要采取合理的清灰措施外，还需要有自动判断波导管堵灰状态的技术。这项技术在国内第二代产品中已成功应用，在堵灰严重的锅炉上该技术可有效提高装置的泄漏测报准确性，使传感器的投用有效率提高了20%~30%。取消了三个手动节流阀，并使用电磁式比例阀调节液压缸加载力，实现了磨辊加载力根据磨负荷和磨阻随时可调。令人担心的是，MPS型磨煤机的磨辊具有可摆动和上下浮动的特点，与液压缸相连的拉杆工作时处于横向摆动和上下滑动。那么，高压工况下液压缸的密封圈寿命问题比较严重。这个问题在朝阳电厂运行多年的MPS212磨煤机表现就比较突出，其他类似结构的也有过报道。基于以上原因，考虑采用液压缸同步加载，增设测量加载力装置，再用电动方式固定机械锁紧拉杆位置更为合理可靠，因为机械锁紧可以避免加载液压缸长期运行的弊病。为了实现加载力的监控，必须设置一测量装置。为此，可在拉杆上选一受力接触面，安装荷重传感器，经二次仪表直接显示加载力。类似的测量加载力的方式已在望亭发电厂和秦皇岛热电厂的ZGM95磨煤机上试用，且是比较成功的。再者，需要设计一种电动-机械锁紧装置。采用液压缸加载，在螺杆不受拉力时，用电动执行器转动螺杆，使螺母旋到位；然后液压缸卸压；运行时由螺母锁紧。为了解决螺母行程问题，加载力可采用分级调整的方法，即电动执行器旋转固定的行程，该固定行程对应一个确定的加载