

# 核电站一回路泄漏检测技术研究

曹绳全 杨继材 李建军 董志娟 任菊艳 张品源

(中国原子能科学研究院反应堆工程技术研究所, 北京, 102413)

对核电站反应堆一回路采用湿敏法进行泄漏事故监测, 以便尽快给出泄漏规模及位置。采用专门研制的湿敏元件, 并以此组合设计成监测探头。测量数据采集、处理及报警系统采用单板机进行巡回监测, 并进行本系统所定义的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  参量处理。 $B$ 、 $C$  值同时超过预先设置的限值后, 系统发出泄漏报警。参量设置考虑环境湿度及温度的影响。在  $320^{\circ}\text{C}$ 、 $12.2\text{MPa}$  下, 水的泄漏率为  $0.3\text{g}/\text{min}$  时,  $5\text{s}$  内发出报警。

**关键词** 反应堆 泄漏 湿敏元件 巡回监测

核电站一回路系统的机械接口以及材料的应力松弛、焊缝的晶间应力腐蚀等可能造成系统内水泄漏。

对于一回路系统的泄漏监测, 除具有高度可靠性外, 在功能上还应当能够在早期微小泄漏阶段就能迅速给出泄漏程度及泄漏位置的信息, 特别是当设备或管道产生裂纹时, 应当在裂纹扩展尚未达到失稳破裂之前及早给出警告。管道裂纹与泄漏速率的关系表明, 使用我们研制的湿敏传感器测量泄漏率可以满足上述要求。

## 1 湿敏元件

SD 湿敏元件是一种吸湿引起电阻改变的元件, 它是经过筛选各种组份的配方以及经过高温和  $\gamma$  辐照等试验后确定的一种适用于核电站一回路泄漏监测用的比较理想的元件<sup>[2]</sup>(图 1)。该元件以多种氧化物及辅助功能材料混合烧结而成。元件经过老化处理之后具有良好的长期稳定性。元件电阻对数值与环境的相对湿度关系曲线呈线性, 感湿范围  $RH$  为  $30\%—95\%$ , 其间阻值变化大约 4 个量级, 具有较高的灵敏度。元件直径为  $4.2\text{mm}$ , 长  $8\text{mm}$ , 体积较小适用于多点组合测量。元件生产工艺稳定, 元件一致性偏差  $\Delta RH$  小于  $5\%$ 。在  $250^{\circ}\text{C}$  蒸汽喷射条件下感湿性能良好, 该元件经过  $10^5\text{Gy}$   $\gamma$  辐照后仍具有良好的感湿能力(图 2)。

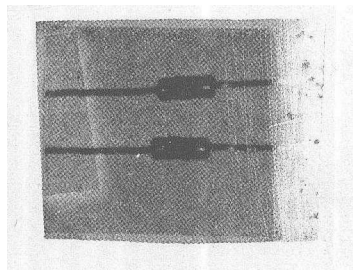


图 1 SD 湿敏元件

Fig. 1 SD-type humidity sensor

## 2 测量探头

为了减少湿敏元件的一致性误差以及提高测量的可靠性,探头采用多个湿敏元件并联组合方式。考虑到耐高温及高湿绝缘问题,探头内部元件均采用机械连接,并用聚四氟乙烯绝缘。湿敏元件外有栅栏状保护套,以防机械损伤。探头外部轮廓尺寸为 $\phi 20 \times 250$ ,该尺寸的探头是本监测系统的主要探头形式。为了提高泄漏监测灵敏度,设计研制了一种强迫吸风式探头,内装微型电机,作为单点监测探头性能良好。其他3种探头可分别用于不同测湿环境。各种探头形式示于图3。

## 3 数据采集处理与报警

为对核电站复杂的一回路系统进行泄漏监测,研制了100点智能数据巡检仪。该数据采集系统具有对100个探头测点进行测量数据采集处理与报警能力。在应用时还可根据实际需要增加测量点数。每10个测量点为1组,每组设2个温度测点,1个标准湿度测点,7个湿度监测点。用铂热电阻(BA-2)作为温度测量元件,测量范围 $0 \sim 400^\circ\text{C}$ 。用湿敏元件组成探头作为湿度探测器,测湿范围RH为 $30\% \sim 95\%$ 。该巡回监测系统的巡回周期为32s,具有显示测点号、温度和湿度值等功能,并可设置定时打印和随时召唤打印。为了提高该巡回系统的可靠性,在软件上对采集的数据按定义的A、B、C3种参数进行处理。参数A是测量点的湿度值,B是测量点的湿度值与标准点湿度值之间的差值。标准点安装在工作条件与测量点相同但不可能有水蒸汽泄漏的地方。只有测点本身的变化才能引起B值改变。C值为本巡回周期测值与上巡回周期测值之间的差值,即同一测点2次测量之间的增值。当B、C值同时越限时,系统发出声光报警,同时显示报警点序号和超限性质,并启动打印机打印出超限时间、超限点和超限性质。采用这种智能信息报警,有效地防止了工艺间内湿度正常改变及环境湿度的影响而导致的误报。在测量探头内采用8只湿敏元件并联,确保个别元件损坏后仍能继续使用。巡检系统具有线路断路及短路自检功能,可随时提醒值班人员及时排除故障。智能数据巡检仪示于图4。

## 4 模拟试验

为了模拟核电站一回路高温高压工况,在高压釜的放气阀后面装一小孔直径为0.8mm的喷嘴。将高压釜内去离子水加热到 $320^\circ\text{C}$ 、12.2MPa后打开放气阀,水蒸汽从小孔喷出。为了保

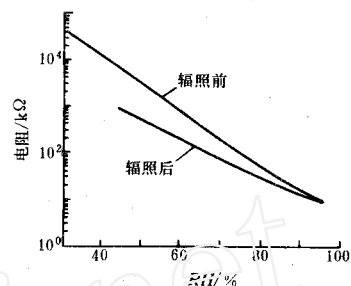


图2 湿敏元件 $\gamma$ 辐照前后的性能

Fig. 2 Behaviour of humidity sensor pre-and post- $\gamma$  irradiation

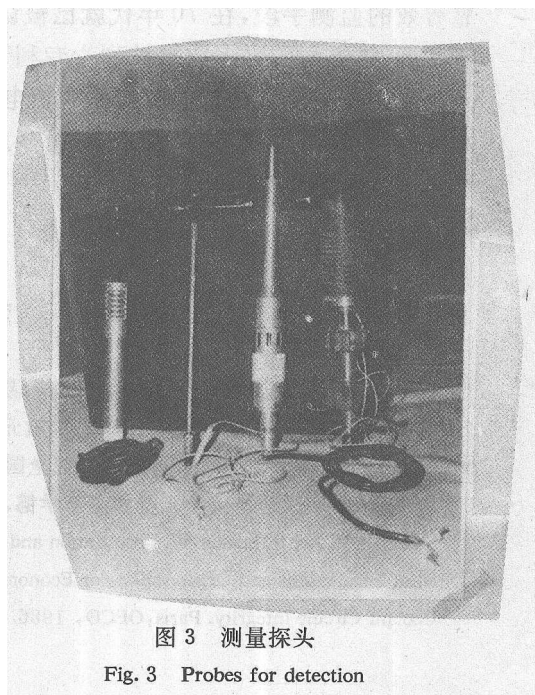


图3 测量探头

Fig. 3 Probes for detection

证喷出的是高温蒸汽,在喷嘴周围加热并用绝缘材料保温。喷嘴温度在 250℃ 以上时,通过调节阀门得到不同漏率。用冷凝水分收集器测量漏率。当漏率为 0.3/min 时,巡检仪 5s 内发出报警,漏点定位准确。

## 5 讨论

对核电站一回路泄漏监测,目前使用的方法有多种<sup>[3,4]</sup>,如尘埃探测器、安全壳内使用放射性气体监测器及冷凝水蒸汽法、水槽水位法以及取样测氚等。它们的灵敏度及响应时间还不能满足管道或设备微小裂纹泄漏的测量。近年来出现的声发射法,其技术复杂、成本较高,是一种有希望的方法,但许多实际使用问题仍有待于研究解决。

湿敏法监测核电站反应堆一回路泄漏早已在一些反应堆上进行试验使用和研究,成为可靠有效的监测手段,在 70 年代就已被认为是一种有前途的方法。近年来,湿敏传感器技术迅速发展,这方面的许多成果被列为专利予以报道,并已在一些动力堆上开始使用。

采用测量漏点周围湿度变化的核电站一回路泄漏检测技术能够直接及时地反应出一回路水的泄漏情况,反应快、灵敏度高、可多点定位检测,为反应堆一回路安全运行提供了一种新的可靠的监督预报手段。

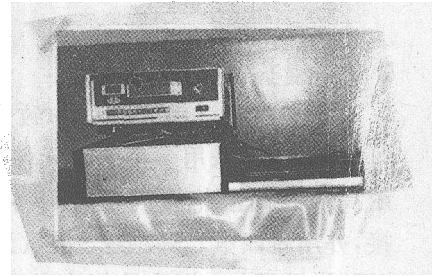


图 4 智能数据巡检仪

Fig. 4 Intelligent scanning-detection instrument

## 参 考 文 献

- 1 村主进(日). 反应堆安全工程学. 李学德,易敬源译. 北京:原子能出版社,1980. 108.
- 2 曹绳全,杨继材,李建军,等. SD 型湿敏元件研制. 见:中国仪器仪表学会分析仪器学会湿度与水分专业委员会. 90'湿度·水分·气体. 第三届全国湿度与水分学术交流会. 呼和浩特. 1990. 79.
- 3 村主进(日). 反应堆安全工程学. 李学德,易敬源译. 北京:原子能出版社,1980. 111.
- 4 Streicher V, Jax P, Leuker W. Localization and Singing of Leak by Special Techniques In: Committee on the Saffty Nuclear Installations and Organisation for Economic Co-operation and Development, Continuous Surveillance of Reactor Coolant Circuit Integrity. Paris:OECD, 1986. 143.

## RESEARCH ON LEAKAGE DETECTION OF NUCLEAR POWER STATION PRIMARY LOOP

CAO SHENQUAN YANG JICAI LI JIANJUN  
DONG ZHIJUAN REN JUYAN ZHANG PINYUAN

*(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275, Beijing, 102413)*

### ABSTRACT

The paper describes a system concerning the leakage of nuclear power station primary loop. The sensor of leak-detection system is a special humidity-sensitive element. In this system, the collection and treatment of detected data, and the alarm of leakage are controlled by a simple board computer. The three parameters  $A$ ,  $B$  and  $C$  are set up in this system, and the alarm will give out when signal surpasses values of  $B$  and  $C$  at the same time. The effects of environment humidity and temperature on collection of detected data are considered, and the alarm of leakage is reliable. When the leakage rate of water at  $320^{\circ}\text{C}$  and  $12.2\text{ MPa}$  is  $0.3\text{g}/\text{min}$ , the alarm signal will sent out within  $5\text{s}$ .

**Key words** Nuclear power station Leakage detection Humidity-sensitive element