

CNIC-00341

IAE-0868

CN 9200554

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

堆芯测量传感器发展现状及其在燃料元件考验
中的应用

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF
INCORE TRANSDUCERS AT IAE

(In Chinese)



原子能出版社

中国核情报中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00341

IAE-0068

**堆芯测量传感器发展现状及其
在燃料元件考验中的应用**

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF IN-CORE
TRANSDUCERS AT IAE**

(In Chinese)

黄玉才 钱顺发 贾国珍 等

(中国原子能科学研究院, 北京)

中国核情报中心

原子能出版社

北京·1989.10

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF IN-CORE TRANSDUCERS AT IAE

Huang Yucai Qian Shunfa Jia Guozhen et al.

(Institute of Atomic Energy, Beijing)

ABSTRACT

The development of in-core transducers at IAE and their applications in in-pile fuel assembly test are mentioned. These transducers include mainly tubed tungsten-rhenium thermocouple assembly, displacement transducer of linear variable differential transformer, pressure transducer of membrane type, gamma thermometer, turbine flow meter, self-powered neutron detector etc.

堆芯测量传感器发展现状及其在燃料元件考验中的应用

黄玉才 钱顺发 贾国珍 等

(中国原子能科学研究院, 北京)

摘 要

简单介绍了发展堆芯测量传感器的重要意义, 我国近年来各种堆芯测量传感器的研制和发展现状以及某些堆芯传感器在秦山核电站燃料元件考验中的初步应用。这些传感器主要包括测量燃料中心温度的套管式高温W/Re热电偶组件, 测量燃料壳伸长的差动变压器型位移传感器, 测量裂变气体内压的膜片式压力传感器, 测量燃料棒相对功率分布的 γ 温度计, 测量辐照燃料元件中子通量和通量分布的自给能探测器和测量燃料包壳温度和考验元件出入口冷却剂温度的铠装热电偶等等。

关键词 堆芯测量传感器 仪表化燃料组件 燃料元件考验

一、概 述

燃料元件是反应堆的关键核心部件之一, 动力堆燃料元件的性能与动力堆的运行特性, 安全性和可靠性有着直接的关系。以前动力堆燃料元件的辐照试验研究是以工程验证为主, 即燃料元件在堆内辐照到一定的燃耗, 出堆后再在热室中拆卸检验, 以了解燃料元件的性能。但随着核动力堆的发展, 对燃料元件的各种性能和行为的研究也逐步深入, 因为燃料元件在反应堆运行过程中会发生各种复杂的动态变化(例如热工、水力和化学等行为的变化), 为掌握这些行为的变化规律, 一些先进的核国家发展各种堆芯测量传感器, 并开展带测量仪表的辐照元件在堆内的辐照试验。通过各种单项性能研究的堆内试验(从稳态、瞬态到事故工况), 积累了大量的试验数据, 以建立燃料元件行为的分析手段, 用来分析燃料元件堆内行为, 评价其运行的安全性和可靠性以确保反应堆的安全。

我国从70年代末, 80年代初开始筹建堆芯测量传感器的研制工作, 先后研制了高温W/Re热电偶测温组件, 差动变压器型伸长测量传感器、涡轮流量计, 裂变气体压力传感器, γ 温度计等几种主要堆芯测量传感器。表1列出了这些传感器的性能和堆内外试验的进展概况。

下面简略介绍几种主要传感器的性能和研制概况:

· 高温热电偶测温组件

为测量燃料芯块中心温度, 研制了一种带金属包壳的高温W-Re热电偶测温组件, 芯线为W-3%Re/W-25%Re, 热偶外径 $\phi 1.64\text{mm}$, BeO绝缘体, 钎包壳。在堆外对热电偶组件进

行了多次刻度试验,热稳定性试验以及热冲击试验等,在1800℃以下取得了较好的试验结果^[1]。

· 元件伸长测量传感器

为测量燃料元件的轴向伸长,研制了一种差动变压器型位移传感器。该传感器由三个线圈共绕在同一骨架上,初级线圈在中间,两个次级线圈呈反串连接,初级线圈通以交流电。当铁芯在中间位置时,二次线圈电压输出值为零。当元件伸长推动磁芯偏离中间位置时,二次线圈将感应出电压,其值大小和磁芯偏离中心位移量成正比^[2]。该传感器进行了刻度试验,温度影响试验、零点漂移及稳定性试验等堆外试验。为提高测量精度,消除从堆内引出长距离引线电缆的影响,试制了一台位移测量仪^[2]。

· 膜片式压力传感器

为测量裂变气体内压,研制了一种膜片式压力传感器。其测量原理是利用压力传感器膜片的位移,用堆外平衡气体压力平衡被测量气体内压,将膜片的位移量转变为电信号输出。在堆外进行了温度影响试验,寿命试验和碘腐蚀试验^[3]。

· 涡轮流量计

该传感器用于测量辐照燃料元件的冷却剂流量。涡轮流量计在堆外高温高压回路上进行了刻度及稳定性等项试验,主要性能指标达到了设计要求^[4]。

· Y温度计

它可用于测量考验元件功率变化,考验元件轴向功率分布及堆芯Y发热量。Y温度计是基于结构材料在堆芯中吸收Y发热而设计的。用热电偶测量发热件与周围环境的温差,即可得到正比于裂变功率温差的信号^[5]。Y温度计进行了堆内辐照考验,热中子注量达 $5.3 \times 10^{18} \text{ n/cm}^2$,测量的稳定性和重复性较好。

二、堆芯传感器在秦山核电厂元件考验中的应用

在秦山核电厂燃料元件考验中,用自给能探测器和铠装热电偶测量了考验组件热中子通量及温度等参数。所测数据为考验组件堆内安全运行,监督考验参数及组件堆内运行工况分析提供了一些有价值的参数依据。

采用堆芯传感器直接连续监测堆内考验燃料元件运行参数是研究元件辐照行为的较先进的技术,为满足秦山核电厂燃料元件堆内辐照考验各项参数指标及保证考验装置安全运行,为研究元件堆内行为,并为发展堆芯传感器测量技术,对堆芯传感器性能进行随堆长期考验,首次在秦山核电厂燃料元件堆内辐照装置及考验组件上装设自给能探测器和铠装热电偶,用以测量组件热中子通量(包括瞬时通量值和注量值),轴向相对通量分布及考验组件出口冷却剂温度。

根据组件考验参数的要求,考验组件零功率测定的通量分布及在考验组件结构上实现的可能性,沿轴向设计安装了五付铀自给能探测器,用于连续监测组件轴向热中子通量分布,瞬时热中子通量值和注量值。在考验组件出口部位装设了兩付因科镍包壳($\phi 1.0\text{mm}$)的镍铈-铈铍铠装热电偶,连续监测组件冷却剂出口水温,用于监督组件运行参数,分析组件功率并监督当小回路主泵停转后剩余功率对组件温度的影响。为监督压力管和绝热管工作状态,兩付不锈钢包壳($\phi 1.0\text{mm}$)的铠装热电偶贴敷在压力管外壁上。堆芯传感器测量系统自1984

年12月26日入堆,至1987年3月23日出堆,共在堆内放置约765天,运行二十二个周期,净运行378天,热循环104次,最长连续运行时间665小时,共收集数据970组约19400多个,在整个运行过程中,系统示值正常,干扰小,输出信号稳定。

组件平均能耗达25010MW·d/t·U,5付铀自给能探测器测得平均热中子注量为 $1.90 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$,通量最高点注量为 $2.46 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$,当大堆运行功率为1379kW时,5副探测器热中子瞬时通量平均值为 $7.73 \times 10^{13} \text{ n/(cm}^2 \cdot \text{s)}$,最大值为 $8.59 \times 10^{13} \text{ n/(cm}^2 \cdot \text{s)}$ 组件出口冷却水温度运行范围 $302^\circ\text{C} \sim 306^\circ\text{C}$,测温平均值差为 0.89°C 。

运行结果参数和考验组件出堆后的观察都说明:在压水堆条件下,该测量系统所采用的高温高压引线密封技术和传感器固定技术是可靠的,同时有效地解决了弱信号远距离传递问题。

三、结 束 语

发展传感器开展堆芯测量是燃料元件性能研究的关键。目前为止,所研究的比较成熟的可以用于堆内测量和实验的堆芯传感器主要有下面几项:

- (1) 用于堆芯中子通量测量的自给能探测器及其测量系统;
 - (2) 用于燃料元件包壳温度和冷却剂温度测量的铠装热电偶及其测量系统;
 - (3) 用于燃料元件芯块中心温度测量的带金属包壳的高温W-Re热电偶组件;
 - (4) 用于考验元件功率变化,轴向功率分布及堆芯 γ 发热量的 γ 温度计及 γ 温度计组件;
 - (5) 用于燃料包壳伸长和元件芯块堆积高度测量的伸长传感器及其测量系统。
- 其他各种类型的堆芯传感器的研制工作也正在逐步深入地。

表1 堆芯传感器研究现状

名 称	用 途	堆外主要性能指标	堆内实验结果
W-3%Re/W-25%Re 高温热电偶组件	测量燃料元件中心 温度	热电偶段外形尺寸 $\phi 1.64 \times 200 \text{ mm}$, 钨包壳, BeO 绝缘, 堆外 1800°C 以下热稳定性及热冲击性能良好	未进行
SH3, SH5型 高温差动变压器	1. 测量元件包壳伸长 2. 测量燃料芯块堆积高 度(密实)	外形尺寸 $\phi 11.5 \times 60 \text{ mm}$, 工作温度 320°C , 工作压 力 15.8 MPa , 线性范围 $0 \sim 6 \text{ mm}$, 精度 $\pm 1.5\%$	SH3型堆内实验600小 时, 电压输出稳定, 再 现性好
膜片式压力传感器	测量元件内腔裂变气体 压力	工作温度 350°C , 工作压力 15.8 MPa 测量范围 $0 \sim$ 10.9×10^6 灵敏度小于 $\pm 0.03 \text{ MPa}$	未进行
TFM-II型 高温涡轮流量计	测量考验元件流道流量 以确定考验元件功率	外径 $\phi 32 \text{ mm}$, 工作温度 350°C , 工作压力 15.8 MPa , 测压范围, 最大 $14 \text{ m}^3/\text{h}$	未进行
HFT-II型 γ 温度计	1. 测量考验元件功率分 布 2. 测量堆芯 γ 发热量	外形尺寸 $\phi 10 \times 60 \text{ mm}$, 工作温度 400°C , 灵敏度 $210^\circ\text{C} \cdot \text{g/W}$	堆内实验1100小时, 注 量 $5.3 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 性能稳定
自给能 中子探测器	1. 测量堆芯瞬时通量和 注量 2. 测量堆芯通量分布	发射体外径 $\phi 1 \text{ mm}$, 探头外径 $\phi 2.4 \text{ mm}$, 引线外径 $\phi 1.5 \text{ mm}$, 工作温度 450°C , 发射体材料Rh, Co, 绝缘体材料 Al_2O_3 粉	已在堆内应用

参 考 文 献

- [1] 贾国珍等, «铂铑W/Ra热电偶元件研制及堆外性能实验», 1968年8月30日。
- [2] 黄玉才, «SH5型元件伸长测量传感器», 1968年8月9日。
- [3] 刘运祥, «膜片型压力传感器的研制及堆外性能研究», 1968年8月9日。
- [4] 黄玉才等, «高温涡轮流量计研制及堆外性能实验», 1968年8月9日。
- [5] 张述诚等, « γ 温度计设计和堆内实验» 1968年8月10日。

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



书号: 15175-00341

P.O.Box 2103

Beijing, China

China Nuclear Information Centre