

模拟燃料组件导向管上应变计的粘贴工艺研究

唐 俐¹, 王 军¹, 马文慧²

1. 中国工程物理研究院总体工程研究所, 四川绵阳, 621900; 2. 中广核中科华核电技术研究院有限公司, 广东深圳, 518100

摘要: 燃料组件力学试验需要测试燃料组件不同部位受力点的物理参量。受力点应变的测试需要粘贴应变计来实现测试。然而, 燃料组件的结构复杂且紧凑, 难以实施应变片的粘贴。针对以上问题开发了一种应变计粘贴工艺, 对燃料组件导向管上狭窄空间进行应变计的粘贴。试验结果表明, 应变计测试数据有效、可靠。

关键词: 应变计; 燃料组件; 导向管

中图分类号: O348.5 **文献标志码:** A

Reserach of Bonded Technology of Strain Gage for Fuel Assembly Model Guide Tube

Tang Li¹, Wang Jun¹, Ma Wenhui²

1. Institute of System Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan, 621900, China

2. China Nuclear Power Technology Research Institute, Shenzhen, Guangdong, 518100, China

Abstract: The mechanical test for fuel assembly needs to measure the physical parameters of the stress point in different parts of fuel assembly. The strain test for these stress points only can be realized by sticking the strain gauges. However, the structure of the fuel assembly is complex and compact, and it is difficult to implement the stickup of the strain gauges. In this article, a kind of new strain gauge stickup technique is developed to make the stain gauges easily and reliably stuck on the narrow space of the fuel assembly guide tube. The test results show that the test data of the strain gauge are effective and reliable.

Key words: Strain-gauge, Fuel assembly, Guide tube

0 引言

为了建立具有自主知识产权的燃料组件状态数据库, 需进行燃料组件力学试验。这类试验需要测试燃料组件不同部位受力点的物理参量, 如: 应变、力、位移、加速度。受力点应变的测试需要粘贴应变计来实现测试。然而, 燃料组件的结构复杂且紧凑, 导向管与燃料棒之间只余毫米级间隙, 难以实施应变片的粘贴。

结合燃料组件生产工艺过程以及装配过程中的工序、时间和空间窗口, 研究了一套工艺: 将燃料组件导向管装配过程更改为分 3 层手动控制焊接, 分 3 层依次粘贴各层导向管上应变片。

1 工艺难点分析

1.1 燃料组件结构简介

模拟燃料组件的结构如图 1 所示, 是由 264 根燃料棒、24 根导向管、1 根仪表管、8 层结构搅混格架、3 层跨间搅混格架、上管座、下管座等组成, 外形尺寸为 0.214 m×0.214 m, 总长约 4 m。

1.2 导向管上粘贴位置及数量要求

按照试验要求, 需要在燃料组件的 24 根导向管以及上管座、下管座上共贴 168 片应变片, 其中上管座、下管座上各粘贴 10 片应变片。导向管上应变片典型的粘贴位置如图 2 所示(图

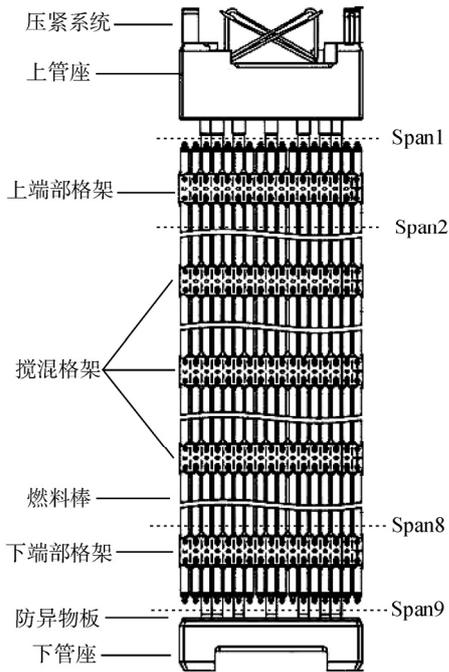


图 1 燃料组件结构示意图
Fig.1 Schematic Diagram of Fuel Assembly

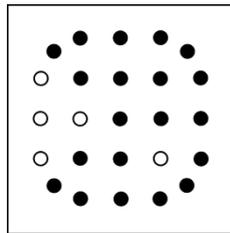


图 2 格架间导向管应变计粘贴位置示意图
Fig. 2 Schematic Diagram of Strain Gage Bond Location in Grid Guide Tube

中黑色部分为需要粘贴应变计的导向管截面，白色部分为不需要粘贴应变计的导向管截面。

1.3 应变计粘贴工艺难点分析

燃料组件侧向弯曲试验用于测试燃料组件在侧向载荷作用下各层跨距导向管轴力及弯矩变化情况。轴向压缩试验用于测试燃料组件在不同轴向载荷作用下各层跨距导向管轴力及弯矩变化情况。轴向跌落试验用于测试将燃料组件提起一定高度后跌落时导向管的轴向应力、变形。因而燃料组件力学试验的应变测试点只能设计分布在导向管上，然而导向管被分散固定在多根燃料棒中，导致工艺存在以下困难：

(1) 未安装燃料棒时，导向管之间的间隙小于 2.54 mm，安装好燃料棒后，燃料棒与导向管之间的间隙小于 1.8 mm，导致粘贴应变片的

操作空间十分狭小。

(2) 对应变片基底尺寸和引线的特殊要求，现有定型应变计难以满足。

(3) 导向管需先焊接再贴应变片，导向管上分布有 8 层结构搅混格架，导致粘贴应变片的位置难于准确定位。

(4) 导向管总长 4 m，应变片引线需穿过各层格架外带条与弹簧片间缝隙，导致应变片的引线走线长、数量多、容易混淆、引线的线号标记难做。

2 工艺改进方案研究

针对上述燃料组件的结构和导向管应变片粘贴难点的分析，结合传统应变片的粘贴工艺，将燃料组件导向管应变片粘贴工艺流程设计为：

采用专门设计的微小尺寸应变计和超长长度的微细双绞引线；更改导向管焊接装配工序；分层粘贴应变计，先粘贴内层导向管层上的应变计，再焊接外层导向管层，再粘贴外层导向管上应变计，最后焊接角导向管层，然后粘贴角导向管层上应变计；设计表示应变计位置唯一、试验用途及测试方向的尾线编号。

2.1 导向管焊接装配工序

由于燃料组件的特殊结构和特殊装配工艺，使得导向管装配后，导向管被分散焊接在多根燃料棒的中间，应变片的粘贴操作变得不可能，为此，根据应变片粘贴操作需要，更改导向管焊接装配工序，将原本 24 根导向管 1 次自动焊接完成的工艺更改为 3 次手动控制焊接完成，具体是根据导向管分布位置划分为 3 层：内层导向管层、外层导向管层、角导向管层，这样导向管管距扩展到 25.4 mm，借助划线工装和粘贴工具，可完成应变片的粘贴操作。各层导向管位置如图 3 所示。

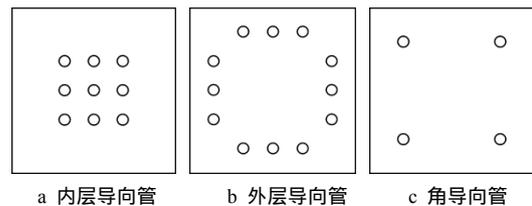


图 3 各层导向管位置示意图
Fig. 3 Schematic Diagram of Different Level Guide Tube Location

2.2 粘贴专用定位画线工装设计方案

为解决应变片在导向管上的粘贴精确定位,需事先在导向管上画好贴片定位线,为此针对导向管及组件结构,设计了专门的画线工装。由于导向管约束固定在11层固定的格架中,导向管外径小,管间间距小,在导向管粘贴部位需要画应变片粘贴定位线,包括轴向定位线、径向定位线和45°定位线,并保证每根导向管粘贴的应变片与格架之间位置的准确性,在工装的设计上必须考虑狭窄空间中工装的可装、可拆卸、可换格架层位置、可夹持画针、水平画线、45°画线和径向画线等的可操作性,于是画线工装的结构设计为图4所示的结构。

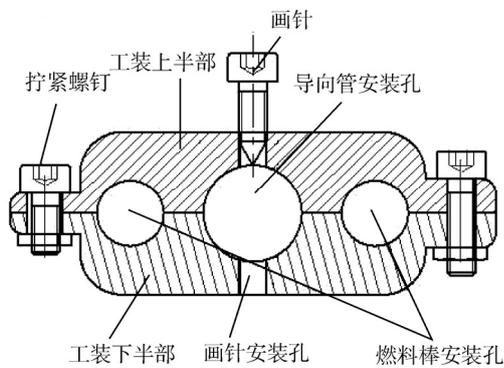


图4 画线工装示意图

Fig. 4 Schematic Diagram of Line Assembly

2.3 应变片粘贴方向

为了使导向管上应变片粘贴后多根引线顺利引出燃料组件而不发生混淆,将位于Span1、Span2、Span3跨间的应变片引线方向朝上管座方向粘贴应变片,应变片的长轴方向与导向管的轴线方向一致。位于Span5、Span8、Span9跨间的应变片引线朝下管座方向粘贴应变片,应变片的长轴方向与导向管的轴线方向一致。

2.4 应变片布线方案

位于Span1、Span2、Span3跨间的应变片引线穿过格架,导向管同一位置外圆径向上的180°对应粘贴的2片应变片的4根引线从各自附近的格架缝隙处穿过,向上管座方向走线引出

并用绝缘胶将导线固定在导向管表面;位于Span5、Span8、Span9跨间的应变片引线分别穿过格架,导向管同一位置外圆径向上的180°对应粘贴的2片应变片的4根引线从各自附近的格架缝隙处穿过,向下管座方向走线引出并用绝缘胶将导线固定在导向管表面,导线的固定采用同时点胶和胶带2种方式。

2.5 应变片编号方案

由于粘贴好应变片的燃料组件可用于多个力学试验中,每种试验使用的应变片不同,为了方便试验中的应变片选择及接线,需对每个应变片进行独立的位置编号设计。应变片编码定义考虑了组件Y角定义及加载方式影响,编码格式为:导向管编码、跨距数、Y(轴向压缩)或者W(侧向弯曲)或者G(公共片)、1(离Y角近)或者2(离Y角远)。如:A1Y1,其中,A表示导向管位,1表示第一层跨距,Y表示轴向压缩,1表示离Y角近。

3 结论

(1) 由于燃料组件装配工序的不可逆性,本应变计粘贴工艺建议将导向管的焊接装配工艺更改为分内外3层导向管进行分步焊接装配,以便为应变计的粘贴提供操作空间。

(2) 本工艺设计了可拆卸、可旋转、可换格架层位置、可夹持画针、水平画线、45°角画线和径向画线的专用划线工装,可实现粘贴应变计的准确定位。

(3) 本工艺采用的应变计引线走线方式、应变计引线的编号方式,达到了对每个应变片进行独立的位置编号设计而不混淆的效果。

(4) 整个正式应变测试试验完成后,评审结果表明:测试数据接近理论预算,数据真实有效。因此,采用本燃料组件应变片粘贴工艺可以推广至燃料组件的其他测试应用中。

(责任编辑:王中强)