

核燃料组件的垂直度返修工艺研究

李万普 冯亮 江海洋

中广核铀业发展有限公司

DOI:10.12238/ems.v4i2.5064

[摘要] 随着中国经济的高速发展,需要消耗的能量也随着水涨船高。但中国承诺在2030年要实现碳达峰,为了实现碳达峰,需要大力发展清洁能源,其中核电是最主要的清洁能源之一。中国核电使用最多的燃料为12英尺压水堆核燃料组件,在燃料组件制造过程中,燃料组件的垂直度会出现超差,需要一种高效、安全且方便实施的燃料组件垂直度返修工艺。

[关键词] 压水堆核燃料组件; 垂直度; 尺寸; 组件翻转平台; 返修

中图分类号: TL27 **文献标识码:** A

Research on Verticality Repair Process of Nuclear Fuel Assemblies

Wanpu Li Liang Feng Haiyang Jiang

CGNPC Uranium Resources Co., Ltd

[Abstract] With the rapid development of China's economy, the energy that needs to be consumed has also risen with the tide. However, China has promised to achieve carbon peaking by 2030. In order to achieve carbon peaking, it needs to vigorously develop clean energy, of which nuclear power is the most important clean energy. The most used fuel in China's nuclear power plants is the 12-foot pressurized water reactor nuclear fuel assembly. During the manufacturing process of the fuel assembly, the verticality of the fuel assembly will be out of tolerance, thus an efficient, safe and convenient repair process for the verticality of the fuel assembly is required.

[Key words] pressurized water reactor nuclear fuel assembly; verticality; size; assembly turning platform; repair

引言

核电是高效、清洁、安全和经济的能源,具有资源消耗少、环境影响小和供应能力强等许多优点。发展核电是我国社会经济不断发展和人民生活水平不断提高的需要,也是优化我国能源结构、缓解环境污染和保证能源安全的需要。

1 核燃料组件的介绍

核燃料组件主要由骨架、264根燃料棒和上管座组成,其中,骨架是脊梁,对整个组件起支撑作用。264根燃料棒是发热单元,在电站运行过程中,为发电提供热源。上管座主要与核电反应堆的上栅板进行配合,将整个燃料组件固定在反应堆里。燃料组件的结构示意图见图1:

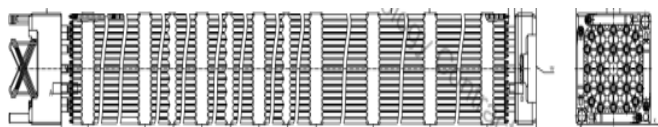


图1 燃料组件结构示意图

燃料组件整体为长方体结构,它的横截面积尺寸为214mm×214mm,高度大约为4000mm。

在燃料组件的制造过程中,要求4m长组件的垂直度在X和Y两个方向上都不能超过3mm。其示意图见图2:

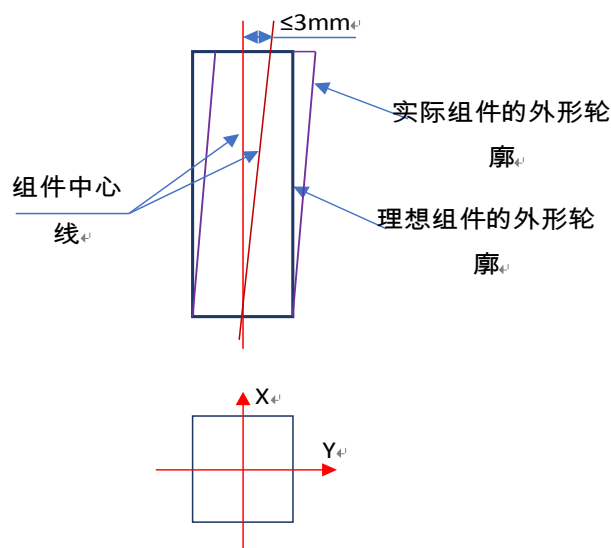


图2 燃料组件垂直度示意图

2 燃料组件生产设备的简介

燃料组件生产过程中, 需要使用一个关键的设备——组件翻转平台, 它的主要作用是在燃料组件组装过程中, 对组件进行定位和固定作用, 组件制造完后, 翻转平台可以翻转到垂直位置, 便于组件的转运。国内燃料组件制造厂家使用的组件翻转平台结构基本一致, 没有大的区别。组件翻转平台的结构图见图3。



图3 组件翻转平台结构图

3 国内返修方法的介绍

国内垂直度返修方法主要分为两种, 其中一种垂直度返修设备见图4, 返修方法1为: 将组件直立在底座上, 对下管座进行固定, 返修装置移动到上管座位置, 对上管座实施相应的推力, 达到对组件垂直度返修的目的。

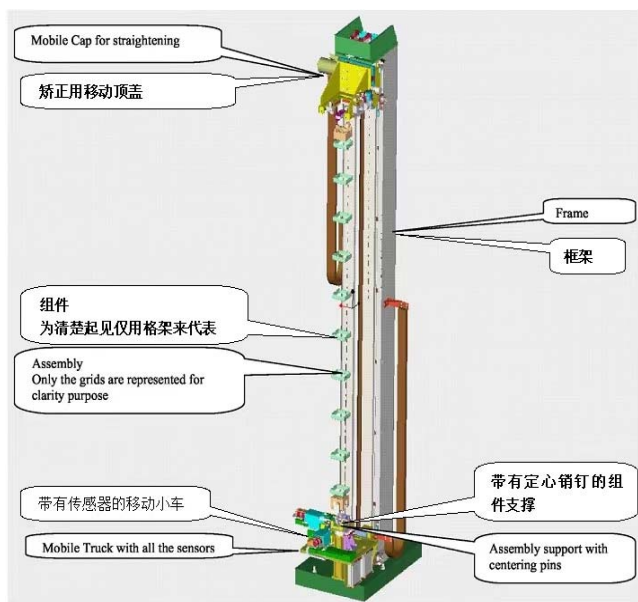


图4 返修1返修设备

另外一种返修设备见图5, 返修方法2为: 将组件直立在底座上, 使用砂轮对下管座进行打磨去除材料, 进而达到组件垂直度

返修的目的。



图5 返修2返修设备

返修方法1返修装置由一个框架和两个驱动电机及相应的控制程序组成, 返修设备整体从法国进口, 它的优点是自动化程度高, 缺点是加工复杂, 目前尚未国产化, 价格高, 大约需要人民币100-120万。

返修方法2返修装置由一个大理石、底座和磨削装置组成, 优点是结构简单, 完全实现了国产化。缺点是, 在垂直度返修时, 效率低, 且对下管座进行了磨削去除材料, 改变了产品的原始状态。

4 新的返修方法的介绍

结合返修方法1和返修方法2的优缺点, 本文新创一种燃料组件垂直度返修方法。新的返修方法是在组件制造过程中使用的关键设备组件翻转平台的基础上建立的, 示意图见图6:

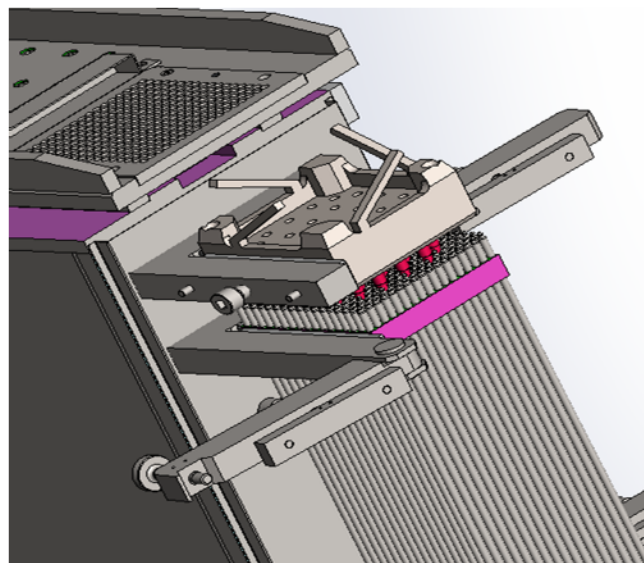


图6 返修方法示意图

返修过程为:

(1)将组件吊运到组件翻转平台上,如图7:



图7 组件在翻转平台放置图

(2)使用专制螺栓(见图8)将下管座固定在组件翻转平台的角座上。



图8 专制螺栓

(3)移动上管座推动工装的活动板按照图6中方向推动上管座。

(4)保持一定的时间,从而达到垂直度返修的目的。

该返修方法在没有新增设备的基础上,仅仅增加了四个专用螺栓和上管座推动工装就完成了燃料组件垂直度返修。仅仅使用1万元的工装代替了返修方法1(100多万)和返修方法2(50多万)的设备。

5 垂直度返修过程中的数据统计和分析

在组件返修过程中,由于对组件施加一个横向的推力,为了监测返修是否影响组件翻转平台设备本身的精度,使用百分表对组件翻转平台的横向位移进行监测,见图9:



图9 监测组件翻转平台

组件垂直度返修前后翻转平台横向位移统计表见表1:

表1 组件垂直度返修前后翻转平台横向位移统计表

上管座位移量(mm)	10	10	20	20	30	30	40	40	50	50
百分表数据(mm)	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.05

从表1可以看出,组件翻转平台的横向位移最大变化为0.05mm,满足设备本身重复定位精度小于0.1mm的要求。垂直度返修效果见表2:

表2 组件垂直度返修效果数据表

上管座位移量(mm)	20	20	30	30	40	40	50	50
保持时间(min)	3	2	3	2	3	2	3	2
垂直度变化量(mm)	0.35	0.34	0.58	0.55	0.8	0.75	1.05	0.98

从表2的统计数据可以看出,组件垂直度的变化与上管座位移量的变化基本为0.02倍的关系。

6 结语

从组件制造经验数据可以得出,每生产100组组件,会存在大约5个组件的垂直度超差,如果报废垂直度超差的组件,每个组件会造成大约150万的损失。该垂直度返修工艺操作简单,可以对垂直度超差的燃料组件进行返修,从而使组件的垂直度满足技术条件要求,形成可观的经济效益。

[参考文献]

- [1]成大先.机械设计手册(第六版)[M].北京,化学工业出版社,2017.
- [2]中国核电发展中心,国网能源研究院有限公司.我国核电发展规划研究[M].北京,中国原子能出版社,2019.
- [3]李冠兴,武胜.核燃料[M].北京,化学工业出版社,2007.

作者简介:

李万普(1982--),男,汉族,山西运城人,本科,高级工程师,从事核燃料制造研究。