

核燃料组件骨架自动化检测方法研究

高明月,盛国福,段德龙,冯亮,陈兵兵
(中广核铀业发展有限公司,广东 阳江 529500)

摘要:根据核燃料组件骨架技术条件要求,完成三坐标测量机测针配置、工装夹具设计和测量程序设计,建立了一套高效、准确的骨架自动化检测方法。通过对测量系统进行重复性和再现性分析及人工检测结果比对,证明该检测方法能高效、准确地完成骨架检测。

关键词:核燃料组件骨架;测针配置;工装夹具;测量程序

中图分类号:TP206 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)03-0209-03

Research on Automatic Detection Method of Nuclear Fuel Assembly Skeleton

GAO Mingyue, SHENG Guofu, DUAN Delong, FENG liang, CHEN Bingbing
(CGNPC Uranium Resources Co., Ltd., Yangjiang 529500, China)

Abstract: According to the requirements of skeleton technical specifications, the probe options, fixture tools and measuring program are designed. A high efficient, accurate and automatic detection method is established. Repeatability and reproducibility analysis of the measurement system and comparative analyses with manual detection are carried out to prove the efficiency and accuracy of the automatic detection method.

Keywords: fuel assembly skeleton; probe options; fixture tools; measuring program

0 引言

三坐标测量机作为一种精密测量仪器,具有通用性强、测量范围广、测量效率高、测量精度高等优点。近30年来,三坐标测量技术已发展成为获得零部件尺寸和相互位置数据最有效的测量方法之一,在机械、汽车、仪表、电子及航空航天等行业广泛应用^[1]。

长期以来,国内核燃料组件企业主要通过花岗岩平台、标准方箱、测长标准器等人工完成骨架检测。这种测量方法受人工因素影响大,在测量过程中需要对骨架进行3次手动翻转,导致安全风险增加。本文基于三坐标测量机开展研究,实现了骨架自动化检测,提高了生产效率和安全性。

1 骨架检测技术要求

典型的压水堆核燃料组件骨架呈方形,由1个下管座部件、24根导向管部件、1根仪表管、11层格架、24个套管、24个轴肩螺钉组成^[2]。构成骨架的导向管(或仪表管)与格架之间采用压力电阻点焊连接,导向管上端与螺纹套管胀接,导向管下端与带螺纹孔的下端塞焊接后通过轴肩螺钉与下管座连接^[3]。

根据骨架技术条件,需要检测的尺寸包括总长度、Rb面垂直度、套管端面平面度、每层格架位置和相对于骨架轴线的垂直度,主要技术参数见表1,骨架结构示意图见图1。

表1 骨架主要技术参数

序号	参数	值
1	长度/mm	3 972.5±1
2	格架位置偏差	见表2
3	套管端面平面度/mm	≤0.15
4	Rb面垂直度/mm	≤0.25
5	每层格架相对骨架轴线的垂直度/mm	≤0.50

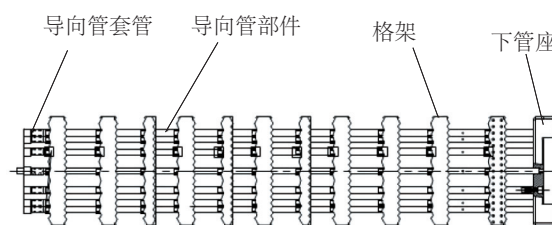


图1 骨架结构示意图

2 测针配置

配置三坐标测针时,在不影响采集特征的前提下,应以测针尽可能短、连接尽可能少、球半径尽可能大为原则,以减小测量误差^[4]。考虑骨架整体尺寸及薄壁特征的测量要求,测针配置方案为:短测针、长测杆,同时配备球形测针(3号针)与柱形测针(2号针)以及水平测针和竖直测针(1号针),详见图2。

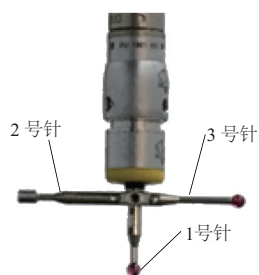


图2 骨架三坐标测量机测针配置

3 工装夹具设计

工装夹具需确保骨架每次放置的位置偏差尽可能小^[5],避免与测量系统干涉,尽量保证柱形针与三坐标测量机轴平行(尽可能在同一断面内进行测量)^[6]。综合考虑以上因素,骨架三坐标测量机工装夹具设计见图3-图4。

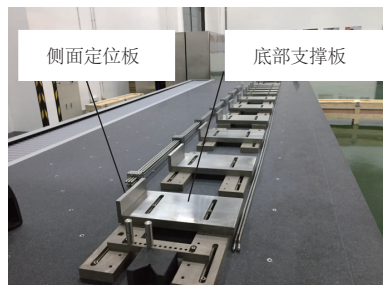


图3 支撑定位板

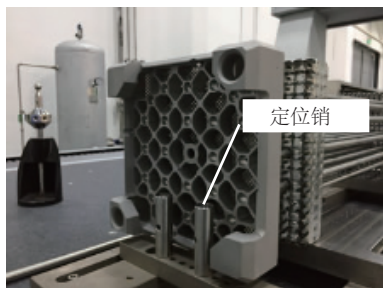


图4 定位销

整套工装夹具由10只支撑定位板和2只定位销组成。2只定位销与下管座裙边按图4方式靠紧,起纵向定位作用。底部支撑板对骨架提供支撑,使骨架与大理石平台之间保持一定间距。第1块和第10块侧板是侧面定位板,与三坐标测量机机器坐标系的 y 轴平行,使骨架长度方向与机器坐标系的 y 轴平行,提高柱形针测量精度。

4 测量程序设计

4.1 建立工装坐标系

工装坐标系使三坐标测量机粗略确定骨架所在位

置,在批量化检测时避免了手动采点,提高了检测效率^[7]。工装坐标系编程思路:在底部支撑板上表面采点构造平面1,设置为 z 轴0点,其法线方向为 z 轴正方向。在第10块和第1块侧板上依次各采1点,构造直线1,将直线1围绕 z 轴正旋转至 y 轴正方向。在定位销上各采4点,构造2个圆,用2个圆的圆心连线的中点作为 x 轴、 y 轴原点。切换成自动模式精建工装坐标系:在10块底板上各取4点,构造平面2,设置为 z 轴0点,其法线方向设置为 z 轴正方向。其他与粗建工装坐标系方法一致。将以上程序保存成坐标系文件,命名为“工装坐标系”,在主程序中回调。

4.2 测量A基准和B基准

骨架放置在工装夹具上如图5所示,A、B面是骨架生产的加工基准,用于模拟骨架轴线。

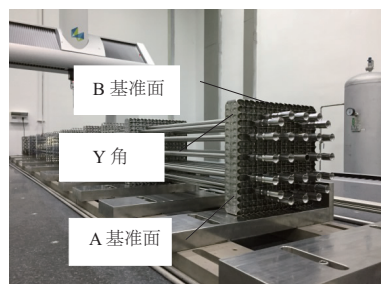


图5 骨架放置在工装夹具上

用1号针在格架B基准面上采点,拟合成平面B。注意采点位置尽量平整,不要在焊缝、凹坑位置采点。将平面B设置为 z 轴原点,其法线方向设置为 z 轴正方向。用3号针在格架A基准面上采点构造平面A,将平面A设置为 x 轴原点,法线设置为 x 轴负方向。

4.3 测量Rb面

Rb面是下管座支腿构成的平面。在每个支腿上采4个点,尽量覆盖支腿的最大面积,拟合成Rb面,将Rb面设置成 y 轴0点。至此,建立了以下管座Y角为0点、以A基准法线为 x 轴负方向,以B基准法线为 z 轴正方向,以Rb面法线为 y 轴正方向的零件坐标系。在此坐标系下,格架的 y 坐标即是格架位置,测量结果更为直观。

4.4 采集格架位置

选用柱形针在每层格架内条带上采集4个点,拟合成平面。平面的 y 坐标为格架位置,相对于A、B基准的垂直度为该层格架相对于骨架轴线的垂直度。为了提高测量精度,在靠近格架4个角的内条带上采点(最大程度覆盖整个格架),要避开焊点、刚凸和弹簧,注意探针不要与导向翼、导向管或工装夹具发生干涉。

4.5 采集套管平面

共有24根套管,每根套管上取4点,拟合成套管平面。下面以1根套管为例,阐述采点方法。先用3号针在套管外壁上采集4点,构造出套管端面圆,将零件坐标系的 x 轴0点和 z 轴0点平移到该套管端面圆圆心处,切换

2号针在套管端面采点。为了确保2号针在同一断面内进行测量,将套管端面上点的 x 、 z 坐标修改成理论值(图6),该理论值的绝对值与套管外径相等,为7.6mm。第1根套管端面采点完成后,通过坐标运算和阵列完成其他23根套管采点程序编制。

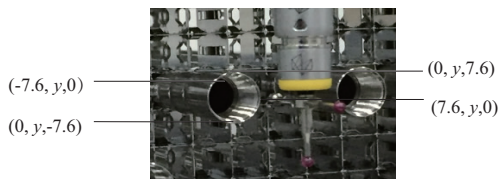


图6 套管端面上点的 x 、 z 坐标

4.6 评价

特征测量完毕后,编辑尺寸评价程序,骨架尺寸特征与评价方法见表2^[8]。

表2 骨架尺寸特征与评价方法

序号	项目	评价方法
1	长度	套管平面与Rb面的距离
2	格架位置偏差	格架平面 y 坐标
3	套管端面平面度	套管端面平面度
4	Rb面垂直度	Rb面相对于A、B基准的垂直度
5	每层格架相对于骨架轴线的垂直度	格架平面相对于A、B基准的垂直度

5 测量结果分析

为证明测量结果的准确性和可靠性,对测量系统进行了重复性和再现性分析,并与采用人工测量结果进行对比。

5.1 测量系统的重复性和再现性分析

采用平均值和极差法分析测量系统的重复性和再现性,3名检测人员用本文所述检测方法对5组骨架进行检测,每人对每组骨架测量3次。经计算,重复性和再现性 $GRR=0.77\%$,测量系统的重复性和再现性可接受。

5.2 人工测量比对

采用人工抽检的方式验证自动测量结果的准确性,抽检项目为骨架长度和格架位置,用两种方法分别测量3次,取平均值比对。两种方法测量结果偏差为0.015mm,测量结果具有较好的一致性。

6 结语

对核燃料组件骨架自动化检测方法进行研究分析,得出以下结论:

- 1) 本文所述的骨架自动化检测方法测量结果准确可靠,能够反映骨架的真实尺寸。
- 2) 工装夹具设计合理,能对骨架实现定位,有利于自动测量;测量程序满足骨架的测量要求,可固化用于批量化检测。
- 3) 该检测方法实现了骨架自动化检测和数据处理,避免了检测过程中对骨架进行翻转,降低了骨架变形风险和安全风险,减少了人工测量和处理数据引入的误差,节约了检测时间,提高了测量精度和生产效率。

参考文献:

- [1] 刘祚时,倪潇娟. 三坐标测量机(CMM)的现状和发展趋势[J]. 机械制造,2004(8):32-34.
- [2] 畅欣,伍志明. 压水堆燃料元件制造文集[M]. 北京:原子能出版社,2005:281.
- [3] 陈宝山,刘承新. 轻水堆燃料元件[M]. 北京:化学工业出版社,2007:234.
- [4] 张斌,潘宇妮. 三坐标测量机测针的校准和选择分析[J]. 科技创新导报,2019,19:93,95.
- [5] 刘红,张云江,曹昆武,等. 三坐标批量测量典型零件的方法[J]. 计测技术,2017,37(6):52-55.
- [6] 杨建风. 三坐标测量机测头的正确使用[J]. 机床与液压,2006(10):245-246.
- [7] 杨柳. 三坐标测量机的坐标系建立[J]. 现代制造技术与装备,2019(7):222,224.
- [8] 罗晓晔,王慧珍,陈发波,等. 机械检测技术[M]. 杭州:浙江大学出版社,2015.

收稿日期:2020-01-20