

田湾核电厂棒束组件保护套 功能性恢复及故障分析

张 远, 周 礼, 郑海全

江苏核电有限公司, 江苏连云港, 222042

摘要: 介绍田湾核电厂换料机的功能、棒束组件保护套结构及功能性恢复情况。同时还介绍了在机组换料大修时, 燃料组件、棒束组件在倒换、配插工作过程中发现的一些问题, 以及对问题的分析和处理过程。另外, 还通过对棒束组件保护套解体检查, 探讨问题的综合原因。

关键词: 换料机; 棒束组件; 棒束组件保护套; 棒束组件抓具

中图分类号: TL352 **文献标志码:** A

0 引 言

核电厂换料机是机组大修关键路径上的重要设备之一。棒束组件的倒换、配插是换料机主要工作之一, 此项工作由棒束组件保护套配合换料机来实现。在棒束组件保护套抓取棒束组件时, 对同轴度、同心度、垂直度、准确度等各项技术要求非常高, 因此, 对棒束组件保护套本身的可靠性、稳定性、配合间隙、装配、棒束组件抓具的通过性等组装工艺要求较高。本文介绍了在机组换料大修时, 棒束组件倒换、配插工作过程中发现的一些问题, 以及对问题的分析和处理过程。

1 棒束组件保护套结构及技术要求

田湾核电厂换料机的型号为 MIIC-B-428, 其主要特点是多功能、全自动化, 且可实现远程控制, 和国内和国外的其他核电厂相比都有其先进性。

棒束组件保护套通过吊耳连接到换料机工作杆上, 换料机控制抓取驱动装置及提升装置, 改变棒束组件抓具在棒束保护套中心导向管内的相对位置, 实现完成棒束组件的抓取、倒换、配插工作。

1.1 结构

棒束组件保护套是 $\phi 180 \text{ mm} \times 4510 \text{ mm}$ 的圆柱形筒体, 筒体中上部两侧焊接 2 块导向键(长 $550 \text{ mm} \times$ 宽 $23 \text{ mm} \times$ 高 40 mm)。

棒束组件保护套主要结构由以下部分组成。

棒束组件保护套上部对称焊接 2 个吊耳, 通过吊耳与换料机工作杆连接配合; 在顶端按平均分布 120° 安装固定 3 个闭锁装置, 以防止抓取移动棒束组件工况时棒束组件意外脱落。

棒束组件保护套中部及内部: 内部的导向管通道由 13 块定位星形格板组装固定并氩弧焊焊接而成, 中心孔为 $\phi 48 \text{ mm}$ 的棒束组件抓具导向孔, 棒束组件抓具在导向孔内上、下位移, 实现完成棒束组件的抓取、脱开工作。

棒束组件保护套下部: 安装一个带键槽的导向套 ($\phi 210 \text{ mm} \times 180 \text{ mm}$), 导向套内口有一凸凹台定位的止口, 导向套内为星形件, 倒换棒束组件时, 带键槽的导向套及星形件与燃料组件上管座通过导向键进行导向定位配合, 实现棒束组件的倒换、配插工作。

棒束组件保护套材质: 根据俄罗斯提供的图纸, 棒束导向套零件材质为俄罗斯标准 ГОСТ 5264-72, 08X18H10T 钢制造。

1.2 功能要求

棒束组件保护套主要技术要求为: 棒束组件保护套中心导向孔内径偏差要求为 $\phi 480 - 0.5 \text{ mm}$, 棒束组件抓具在导向孔内位移通过时无卡涩、刮碰现象; 棒束组件保护套上部 2 个对称吊耳的装配焊接后, 要确保与棒束保护套轴向垂直, 垂直度偏差 0.20% , 两吊耳之间的同心度及同轴度偏差 0.10% ; 棒束组件保护套筒体

径向跳动偏差 2‰；内部星形导向管格栅架径向跳动偏差 1‰；顶端 3 个防止棒束组件意外脱落闭锁装置，开、闭无卡涩；导向套内径圆面与基座星形件外圆面装配间隙偏差 0.3 mm；

导向套内径凸凹台定位止口与基座星形件装配面要组装到位；导向套、基座星形件、棒束组件保护套圆柱形筒体组装时，为定位销定位，氩弧焊接固定，孔销配合要求 8 级孔、7 级轴基孔（H8/h7）；换料机抓取棒束组件时，导向套基座星形件接触面与燃料组件上管座顶部“O”型环面（外径 ϕ 170 mm、内径 ϕ 158 mm）充分接触；

棒束组件在棒束保护套内星形导向管内为滑动配合，无卡涩、划碰现象，滑动间隙 0.5 mm；

基座星形件与棒束保护套内星形导向管组装定位氩弧焊焊接后，同心度、同轴度偏差 0.3‰。

2 异常情况及分析判断

田湾核电厂大修中期，棒束组件倒换、配插工作过程中，出现了棒束组件抓具不能正常抓取棒束组件及抓取后棒束组件不能正常脱开的异常情况。在整个棒束组件倒换、配插工作过程中，此类相同的故障发生了 3 次。

前期根据棒束抓具抓取棒束组件的行程及卡涩位置，结合现场实际情况分析认为：卡涩的原因是工作拉杆槽由于受钢滚珠的作用力产生了压痕，所以不能正常抓取、脱开棒束组件，认为是棒束抓具本身缺陷造成的。为了验证分析结果的合理性，采取人为在换料机上拉动棒束抓具的提升驱动控制机构的钢丝绳，通过对钢丝绳实施机械外力，改变棒束抓具在棒束组件保护套内的相对位置进行抓取、脱开棒束组件。如果拉动换料机棒束抓具的提升驱动控制机构的钢丝绳仍不能消除异常，必须更换棒束抓具。

大修结束后，通过对故障抓具解体检查、维修，发现棒束抓具内起闭锁作用的钢滚珠定位拉杆槽上有被钢滚珠滚压的压痕（压痕长 15 mm、最深处 0.8 mm）。分析认为：形成压痕的原因是棒束抓具在往复抓取、脱开棒束组件行程工作时，受到机械外力的钢滚珠多次滚压、冲击拉杆及拉杆工作槽造成的，因此，当压痕达到一定深度时，钢滚珠不能正常从拉杆槽内平稳滚动滑出，因而产生卡涩、卡绊现象。

3 功能性恢复

为确保换料机稳定、可靠地运行，对棒束组件保护套及棒束抓具进行解体检查。在检修厂房对棒束组件保护套进行解体检查并维修回装，然后在燃料厂房进行模拟验证；验证结果符合工艺要求。在消缺处理过程中发现以下问题并进行针对性处理。

3.1 设备组装定位销实际定位尺寸位置与图纸不符

导向套、基座星形件、棒束组件保护套圆柱形筒体组装定位销（共 3 对）定位时，定位销的实际定位尺寸位置与俄罗斯所提供的图纸不符。

解体及回装时，3 对定位销尺寸位置具体情况如下。

（1）导向套凸凹台定位的止口与基座星形件法兰装配面没有组装到位（错位误差 10 mm）。

（2）导向套、基座星形体、棒束组件保护套筒体上的销孔（ ϕ 8.5 mm），通过定位销 ϕ 8.5 mm \times 30 mm（2 个相互对称）定位连接。

（3）导向套上 8.0 mm 的销孔，通过定位销 8.0 mm \times 19 mm（2 个相互对称）直接顶至基座星形体外圆表面上，没起到定位固定作用；而在图纸上，定位销应位于导向套上的角度分别为 75°和 255°距导向套上边沿距离 42 mm 处。

（4）基座星形体、棒束组件保护套筒体上的 8.0 mm 销孔，没有与之相配合的定位销定位固定，因此销孔没有起到定位作用。

回装情况：

（1）导向套凸凹台定位的止口与基座星形件法兰装配面组装到位，在抓取棒束组件时，使基座星形件配合接触面与燃料组件上管座顶部“O”型环面接触配合，减少棒束保护套与燃料组件之间的同心度、同轴度的配合偏差，提高棒束抓具抓取棒束组件的精度。

（2）8.5 mm 销孔，位置在棒束组件保护套上的角度分别为上 75°和 255°上，导向套上 8.5 mm 销孔距离导向套上端面 4 mm；8 mm 销孔，位置在棒束组件保护套的角度分别为 135°和 315°上。

（3）导向套上 8 mm 销孔，距离导向套上端面 52 mm。

（4）基座星形体、棒束组件保护套筒体上的

销孔(8.5 mm),通过定位销 8.5 mm×14 mm (2个相互对称)定位连接,定位销顶端铆固。

(5) 由于导向套的止口与基座星形件法兰装配面组装到位,导向套上 8.5 mm 的销孔向上位移(与解体前相比)10 mm,该孔已无实际作用,故用 8.5 mm×17 mm 的销轴(2个相互对称)堵上,轴销上顶面略低于导向套外圆面 1~2 mm,用氩弧焊点焊,焊面抛光处理。

(6) 导向套、基座星形件、棒束组件保护套筒体上的销孔(8 mm),通过定位销 8 mm×30 mm(2个相互对称)定位连接,定位销上顶面略低于导向套外圆面 1~2 mm,用氩弧焊点焊,焊面抛光处理。

(7) 将导向套组装到位,调整导向套内径圆面与基座星形件外圆面间隙,使其均匀后,导向套上端面与棒束组件保护套筒体用氩弧焊点焊后,测量间隙 0.18 mm。

本次解体发现,由于导向套凸凹台定位的止口与基座星形件法兰装配面没有组装到位(错位误差 10 mm),造成导向套上的导向键槽顶面与基座星形件接触面比组装到位时的距离要大 10 mm;而燃料组件上管座上的导向键上顶面与上管座顶部“O”型环面距离是 5 mm;因此,在抓取棒束组件时,导向套上导向键槽顶面与燃料组件上管座导向键的上顶面接触受力,造成基座星形件配合接触面与燃料组件上管座顶部“O”型环面不能接触配合,使受力面变为一对极其不稳定的受力支撑点,引起棒束保护套与燃料组件之间的同心度、同轴度偏差增大,从而影响棒束抓具抓取棒束组件的精度。所以,在本次解体回装时,导向止口与基座星形件法兰装配面须组装到位。

3.2 设备缺陷及其处理

解体检查发现的主要缺陷及其维修如下。

(1) 棒束组件防意外脱落闭锁装置棘爪弹动不灵活。维修方法:解体清理内部硼结晶,修复损伤工作面,研磨抛光划痕。各零部件回装后配合灵活。

(2) 内部星形导向管格栅架径向跳动偏差较大(3‰)。出现的原因是:棒束组件保护套内部星形导向管格栅架为不锈钢(ГОСТ 5264-72, 08X18H10T)焊接件,焊接变形较大,运行环境是在 50°左右的硼酸溶液中,会造成内部焊接应

力释放较快,引起内部星形导向管格栅架变形,从而使径向跳动发生变化。维修方法:找出内部星形导向管格栅架高点,通过施加机械外力进行校正,校正后径向跳动偏差 1‰。

(3) 棒束组件保护套中心导向孔(第 11、12 定位格板处)内径偏小(<47.5 mm)。其原因是:不锈钢件的焊接变形较大,造成定位格板焊接处收缩变形,引起中心导向孔内径偏小。维修方法:扩孔并检测销钉的通过性,顺利通过第 11、12 定位格板,无卡涩、刮碰现象。

(4) 棒束组件保护套上部 2 个对称吊耳同心度、同轴度偏差较大(>0.1‰)。形成的原因是:棒束组件保护套上部 2 个对称吊耳同心度偏差较大,根据测量计算,棒束组件保护套基座星形件配合接触面轴向偏移 2.8 mm,从而使工作配合误差发生变化。

维修情况:锉削高点至符合配合要求后,打磨抛光,使吊耳的上下偏差控制在 <0.04 mm 以内。

4 综合原因分析

经过对棒束组件保护套解体检查后,综合其原因如下。

由于解体导向套与原加工图纸不符,在抓取棒束组件时,导向套上导向键槽顶面与燃料组件上管座导向键的上顶面接触受力后,基座星形件配合接触面与燃料组件上管座顶部“O”型环面不能接触配合,使受力面变为一对极其不稳定的受力支撑点,造成棒束组件保护套与燃料组件之间的同心度、同轴度偏差增大,影响棒束抓具抓取棒束组件的精度。

焊接造成内部星形导向管格栅架变形,引起径向跳动偏差较大,在抓取时内部星形导向管格栅架与燃料组件之间的同心度、同轴度偏差增大,增加了棒束抓具在抓取棒束组件的难度。

由于棒束组件保护套中心导向孔(第 11、12 定位格板处)内径偏小,棒束抓具在导向孔内的滑动配合间隙减小,棒束抓具在抓取棒束组件时,自我调节纠正余量变小,使抓取范围减小。

棒束组件保护套上部 2 个对称吊耳同心度、同轴度偏差较大,将会造成棒束保护套基座星形件轴向偏移,使棒束组件保护套与棒束组件棒束的同轴度、同心度偏差加大,影响了棒束抓具的抓取精度。棒束抓具本体缺陷也是引发问题的原因。

综上所述，棒束组件在倒换、配插工作过程中，棒束抓具不能正常抓取、脱开的异常情况，促成缺陷的原因是多方面的，多个缺陷造成误差变化累计增大，致使棒束抓具的抓取棘爪张开、闭合不顺利最终导致棒束抓具不能正常抓取、脱开。所以，在换料大修工作中，应根据具体异常故障状态进行分析处理。

5 结束语

本文对田湾核电厂棒束组件保护套功能性恢复进行了详细的描述，针对导向套从设计到加工进行故障原因分析，并在保护套的功能性恢复过程中，获得与该设备相关的重要数据信息，对后续的维修工作有借鉴意义。

Functionality Recovering and Failure Analysis of Rod Cluster Assembly Protective Jacket in TNPS

Zhang Yuan , Zhou Li , Zheng Haiquan

Jiangsu Nuclear Power Corporation, Lianyungang, Jiangsu, 222042, China

Abstract: This paper introduces the function of TNPS refueling machine, the structure of rod cluster assembly protective jacket, and the condition of functionality recovering. It also describes some problems found when fuel assemblies and rod cluster assemblies are rearranged and replaced during refueling outage, as well as the analysis and processing of problems. In addition, it investigates the general causes of problems by disassembling inspection on rod cluster assembly protective jacket.

Key words: Refueling machine, Rod cluster assembly, Rod cluster assembly protective jacket, Grab of rod cluster assembly

作者简介：

张 远（1979—），男，高级工程师。2002年毕业于沈阳电力高等专科学校热能与动力工程专业。现从事核电站维修工作。

周 礼（1979—），男，工程师。2002年毕业于重庆电力高等专科学校热能与动力工程专业。现从事核电站维修工作。

郑海全（1985—），男，工程师。2007年毕业于哈尔滨工程大学机械设计制造及其自动化专业。现从事核电站装卸料工作。

（责任编辑：刘胜吾）