

反应堆压力容器导向柱拆装的工艺优化

Process Optimization of Disassembly and Assembly of Reactor Pressure Vessel Guide Column

刘中伍 刘坤 吴小飞 陈治宏 刘翔瑜

Zhongwu Liu Kun Liu Xiaofei Wu Zhihong Chen Xiangyu Liu

中广核核电运营有限公司 中国·广东 深圳 518000

China Nuclear Power Operations Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

摘要: 反应堆压力容器顶盖开关涉及多项吊装作业, 反应堆导向柱是为压力容器、假封头及堆内构件等大件设备吊装提供导向的专用设备, 导向柱重约 900kg, 长 5551mm, 直径 162mm。拆除及安装导向柱存在较大的人员坠落风险, 故研究导向柱自动脱连钩工具有很重要的意义。论文主要对导向柱自动脱连钩装置的机械结构、设备功能、操作要求以及现场的优化进行介绍、总结。

Abstract: The reactor pressure vessel top cover switch involves a number of lifting operations. The reactor guide column is a special equipment that provides guidance for the lifting of large equipment such as pressure vessel, false head and reactor internals. The guide column weighs about 900kg, is 5551mm long and 162mm in diameter. The removal and installation of the guide column has a great risk of falling, so it is of great significance to study the automatic uncoupling tool of the guide column. The paper mainly introduces and summarizes the mechanical structure, equipment functions, operation requirements and field optimization of the automatic decoupling device of the guide column.

关键词: 反应堆; 顶盖; 导向柱

Keywords: reactor; roof; guide column

DOI: 10.12346/peti.v4i3.6708

1 引言

导向柱拆装时工作人员需要借用竖梯攀爬 5m 高进行连钩、摘钩工作, 移动竖梯无固定, 靠两人辅助配合扶梯, 人员攀爬竖梯, 落差约 5m, 潜在的人员坠落风险较大。每次大修中都要多次拆装导向柱, 常规大修和十年大修检修工艺不同, 拆装时的现场作业环境和次数也不尽相同, 常规大修拆装共 6 次, 非常规大修拆装导向柱共 14 次。集团每年大修数量约 18 个, 集团每年导向柱拆装工作的次数不低于 108 次。

目前, 拆装导向柱是采用人员通过单梯上下导向柱, 进行导向柱脱钩和连钩操作, 期间由专人扶梯和操作人员挂防坠器等安全防护措施。此项工作属二级高风险作业, 并占用大修关键路径时间。国内外均是采用人工的方式进行导向柱的脱连钩操作, 鉴于该操作工业安全风险高, 人员工作量大,

占用关键路径时间长等问题, 开发了导向柱自动脱连钩专用工具, 以减少人员高风险操作、集体剂量和大修关键路径时间。

2 方案研究

根据电站现场使用的实际需要, 旨在研发一种导向柱拆装专用工具, 利用环吊将导向柱全自动连钩工具, 吊至导向柱上方, 使用遥控装置, 远程操作导向柱自动连钩工具, 让导向柱自动连钩工具自动旋转对中导向柱上方吊耳, 远程操作导向柱自动连钩工具, 实施自动连钩操作, 消除人员坠落风险、降低人员受辐照剂量, 提升工作效率^[1]。

3 自动脱连钩工具介绍

自动脱连钩工具设计, 采用无线远程控制方式, 通过无

【作者简介】刘中伍(1976-), 男, 中国重庆人, 工程师, 从事核电反应堆本体检修智能化工具研发的研究。

线视频观察以及无线控制操作，即可轻松完成导向柱的脱挂钩工作。

3.1 自动脱连钩主体结构

自动脱连钩主体结构如图 1 所示。

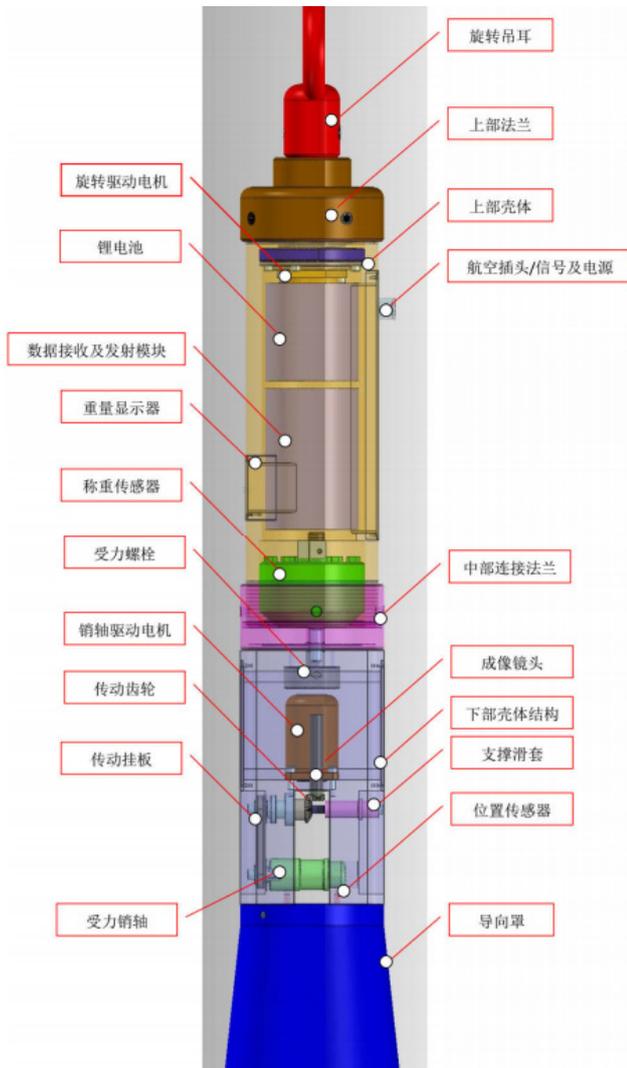


图 1 自动脱连钩主体结构图

其技术参数如下：

- ①最大有效承载：3T；
- ②驱动电源：24V；
- ③电池容量：30mAh；
- ④外形尺寸：600×250×130；
- ⑤重量：24.5kg。

3.2 主要功能及构成

3.2.1 圆周转动功能

①导向柱脱、连钩工具在进行连钩操作时，当导向柱顶部吊耳与工具不在配合位置时，工具就进行圆周转动，确保工具筒体与导向柱顶部吊耳在相互配合位置。圆周转动功能运动功能上来讲，可分为三部分：大吊环、T 型拉杆固定在一起，为上部转动部件；大磁盘、上管帽、长管段、驱动齿轮、

电机、减速器连接在一起，为下部转动组件；传递齿轮与大 T 型拉杆连接，分别与驱动齿轮、大齿盘啮合。

②圆周转动功能工作时由电机转动来带动减速器及驱动齿轮运动、传递齿轮运动、大齿盘 + 上管 + 长管运动（大吊环与大 T 型杆为相反运动）。

3.2.2 销轴插拔功能

①导向柱脱、连钩工具落到配合位置后，电机驱动销轴插进，实现连钩功能；电机驱动销轴拔出，实现脱钩功能。

②销轴插拔功能工作时：由电机转动→带动驱动伞齿转动→带动随动伞齿 + 丝杆转动→带动挂板 + 导向杆 + 受力销轴直线运动。

③控制电机的正反向转动，即可完成受力销轴的插拔动作。

3.3 无线控制盒

控制盒主要功能及构成：无线控制盒集图像、数据及控制于一体，通过无线控制盒发出相应指令，执行机构实现脱、连钩功能，同时无线控制盒能实时监测执行机构载荷、承载销轴状态等信息^[2]。

3.4 锥形衬套

锥形衬套主要功能及构成：导向柱从堆芯拆除后，将锥形衬套套入导向柱底部，在导向柱吊至水池边存放架时起导向作用。导向柱锥形衬套是由聚四氟乙烯材质加工而成的。

4 自动脱连钩工具 RPV 导向柱移位期间现场应用情况

非常规大修中 RPV 检查期间，因配合 RPV 检查，需进行多次导向柱移位操作。RPV 检查期间导向柱移位操作，风险最高，占用关键路径时间最长，论文主要通过介绍 RPV 检查期间，未改进现场导向柱移位操作和使用导向柱自动脱连钩工具进行移位操作对比分析优缺点。

4.1 目前导向柱移位操作介绍

未使用导向柱自动连钩工具导向柱移位如图 2 所示。

目前大修中为优化路径，不落假封头导向柱移位操作流程，人员坠落风险增加。

4.2 自动脱连钩工具应用导向柱移位操作

采用导向柱自动脱连钩工具进行导向柱移位操作，消除了人员攀爬单梯的坠落风险，不落假封头的流程，具体流程如图 3 所示：

4.3 新旧导向柱移位方案对比

使用导向柱自动脱连钩工具有效优化了导向柱移位工作。

①人员坠落：使用前人员在假封头上摘钩，落差 5m，无假封头时，人员使用 6m 一字单梯攀爬摘挂钩，坠落风险很高；使用后使用自动脱连钩工具脱连钩，堆坑侧、水池壁侧都无需使用 6m 一字单梯进行脱连钩操作，无人员坠落风险，减少 5 次该项操作。

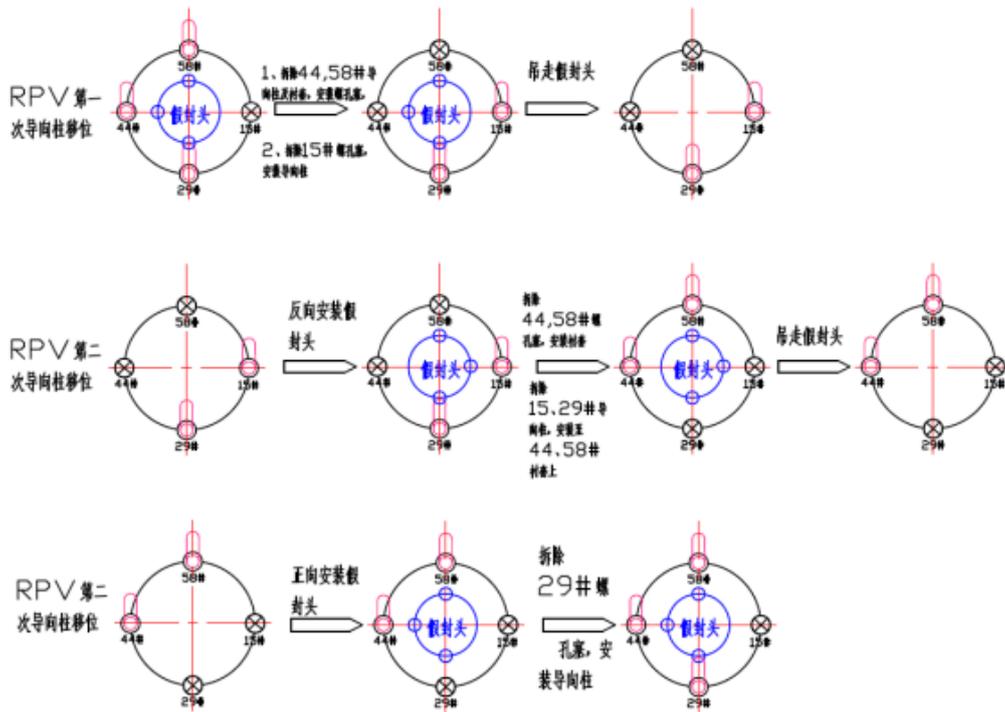


图 2 原始导向柱移位操作

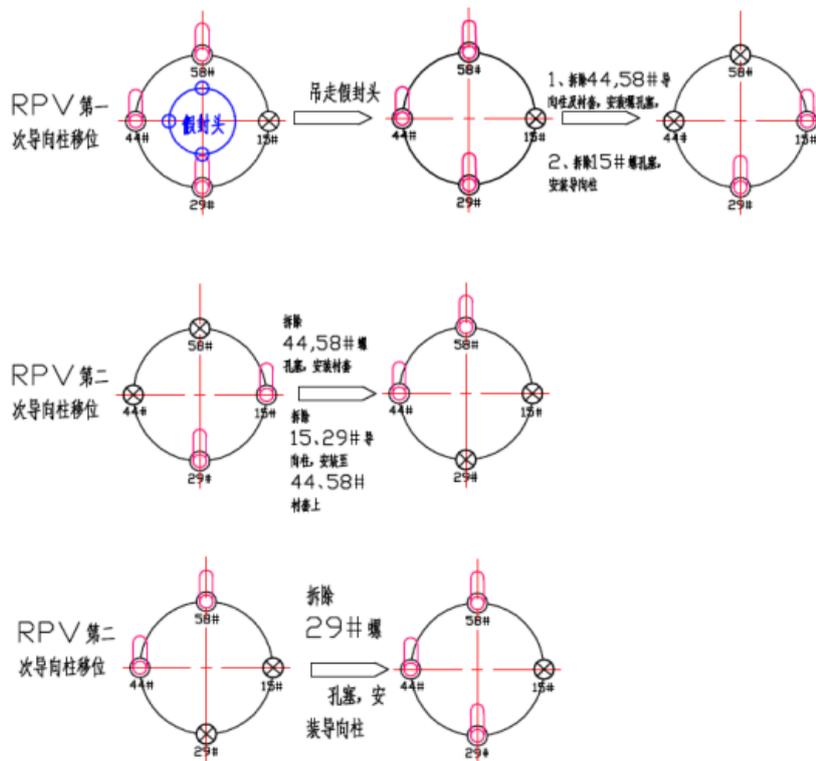


图 3 自动脱连钩工具应用导向柱移位操作

②集体剂量：使用前导向柱摘钩、连钩需要3人配合，增加人员集体剂量；使用后减少3人次进行反应堆水池作业，有效降低人员集体剂量。

③设备刮碰：使用前第一次移位及第二次移位拆除假封头时，假封头只有一根导向柱导向，假封头拆装时摆动可能性高，刮碰压力容器风险高；使用后无需假封头，无设备刮碰风险，减少假封头5次吊装。

④关键路径时间：使用前需要拆装5次假封头，占用关键路径时间约9h；使用后不安装假封头，无假封头拆装时间，无需占用关键路径。

5 自动脱连钩工具非导向柱移位期间现场使用情况

使用导向柱自动脱连钩工具，利用环吊将导向柱自动脱连钩工具，吊至导向柱上方，使用遥控装置，远程控制导向柱自动连钩工具，让导向柱自动连钩工具自动旋转对中，实施自动连钩操作，不需要人员攀爬单梯进行摘、连钩，减少人员坠落风险、物品坠落风险、减少人员剂量照射，提升工作效率^[3]。

6 总结

本项目研究出了一套完整的，可通过远程操作实现反应堆导向柱自动脱连钩专用工具，无需人员攀爬单梯进行连钩，消除了人员坠落风险，减少了人员高风险操作，优化了人员集体剂量，节约了大修关键路径时间，实现现场工作智能化，提升公司品牌。

①导向柱自动脱连钩工具开发应用后的收益如下：

避免人员爬竖梯进行吊具的脱连钩操作，每个常规大修减少3次高风险操作；十年大修（含首修）减少8次高风险

操作。

避免操作人员3人×1小时在堆水池工作，每个常规大修减少3次×3人次进入反应堆水池作业，十年大修（含首修）减少8次×3人次人员受照剂量，减少常规大修人员剂量0.6mSv；减少十年大修人员剂量4.8mSv；

减少大修关键路径时间，常规大修减少关键路径操作时间约1.5小时（每次0.5小时×3次），十年大修（含首修）减少关键路径操作时间约4小时（每次0.5小时×8次）；

若按每年完成18个常规大修计算（全年18次常规大修×每次大修节约1.5小时=27小时），该项改进将为大修节省27小时工期。

EPR机组T201大修首次应用，RPV检查导向柱移位期间不落假封头，节约关键路径约9H，减少假封头吊装起重2级高风险5次和高处2级高风险5次。

②此专用工具实现了拆装导向柱脱、连钩工作自动化，省去工作人员攀爬5米高的单梯去脱连钩，有效消除人员坠落风险，降低人员受辐照剂量，提高工作效率，提升反应堆压力容器检修自动化水平。

③分析对比两种导向柱移位方案，从安全、人员集体剂量、工作量及大修关键路径角度考虑，建议将导向柱自动脱连钩工具推广至各电厂，优化大修关键路径，减少高风险作业。

参考文献

- [1] 石猛,程琳.工程机械技术现状与智能化信息化趋势[J].花炮科技与市场,2020(3):269.
- [2] 朱亚松.工程机械设备智能化管理初探[J].化工管理,2020(2):150.
- [3] 孙岳.工程机械智能化发展趋势研究[J].内燃机与配件,2019(18):226-227.