

# 核电站主管道过渡段组对调整装置的开发与应用

刘琪琳 裴永旗 乾龙 谢崇富 陈晨 张媛

(中国核工业二三建设有限公司(深圳)核反应堆分公司 广东 深圳 518124)

**摘要:**核岛主回路管道(下称主管道)过渡段连接蒸汽发生器和主泵,是一回路管道,属于核安全一级、抗震Ⅰ类设备,该设备具有尺寸大、质量大、调整组对空间受限、组对精度要求高等特点。已建及在建核电项目的主管道组对调整工装主要采用手拉葫芦、顶丝等,施工过程需钳工、起重工和焊工配合协作,受工装结构及功能限制,需多点同时进行手拉葫芦或顶丝操作,存在人力投入多、人因失误容错率低、劳动强度大、安全质量风险高等缺点。此外,其组对精度直接影响后续主管道自动焊焊接质量,为此,本文对自动化精密组对装置的开发和应用进行研究。

**关键词:**核电站;主管道;过渡段;组对调整装置

## 0 引言

随着核电安全质量的管控形式变得更加严格,为更好地保证三代堆型主管道施工质量,在对以往核电主管道组对调整工具特点进行分析的基础上,通过对主管道过渡管段质量、几何特征、安装空间尺寸及现有施工工艺的系统分析,并结合主管道窄间隙自动焊组对间隙、错边量的控制要求,融入现有先进技术,本文研发了一种既能够符合现阶段核岛主设备安装要求,又能够满足主管道过渡段施工需求的自动化精密组对调整装置,用以改进现有施工工艺,提升施工质量。

## 1 工作条件及功能需求分析

主管道过渡段位于反应堆厂房标高+1.2m的房間,水平管道中心线标高为+2.41m,其特征参数见表1,环境条件见图1。

表1 主管道理论参数表

主管道	长度/mm	外径/mm	壁厚/mm	质量/kg	需组对焊口
过渡段组件(主泵侧)	2773.5	904	72	4949	U3、U4
过渡段组件(SG侧)	2730	904	72	5983	U2、U4

鉴于主管道的自身质量较大,在对整套装置进行设计时,应保证其具有足够的安全系数,初步设计安全系数 $\geq 1.5$ 。

主管道下母线到地面的距离不足0.5m,结合主

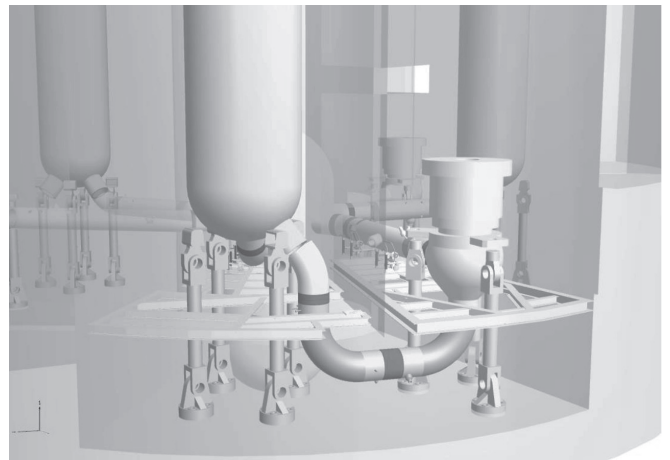


图1 主管道组对调整环境条件

管道自身特征参数和环境条件,组对调整装置的尺寸要尽量小,载荷和本体尺寸两方面要统一协调、达到平衡,且需要避开管道上的接管支座,同时还需给自动焊机留足运转空间。

主管道焊接组对时,与其连接的蒸汽发生器、压力容器、主泵已安装完成,管道调节量较小,但需进行多个方向调整,自由度要求较高。

主管道的自动焊组对精度要求需满足<sup>[1]</sup>:间隙 $\leq 1\text{mm}$ ,内错边 $\leq 1.5\text{mm}$ 。过小的间隙精度要求使得管段调整时容易碰伤设备,调整装置的动力选择要多从精度及可控度等方面进行考虑。

综上所述,主管道过渡段组对调整装置需要避开管道上的接管支座,保证自动焊机正常运行过程中能够自动实现三个方向的位置调整;减少对施工人员施工经验及高技能水平的依赖,实现调节过程的具体量化,确保主管道窄间隙自动焊的组对间隙、错

边量等组对精度满足要求；减少人力投入，降低人工成本、提高工作效率；降低施工过程中质量安全风险，实现安装机械化、调节自动化。

### 2 整体结构设计布局

过渡段管道调整装置具备尺寸小、质量小的特点，其由三维顶推调平系统、滚轮支撑、底部支撑、辅助支撑、回转支撑、液压支撑及支撑抱箍组成<sup>[2]</sup>，如图2所示。

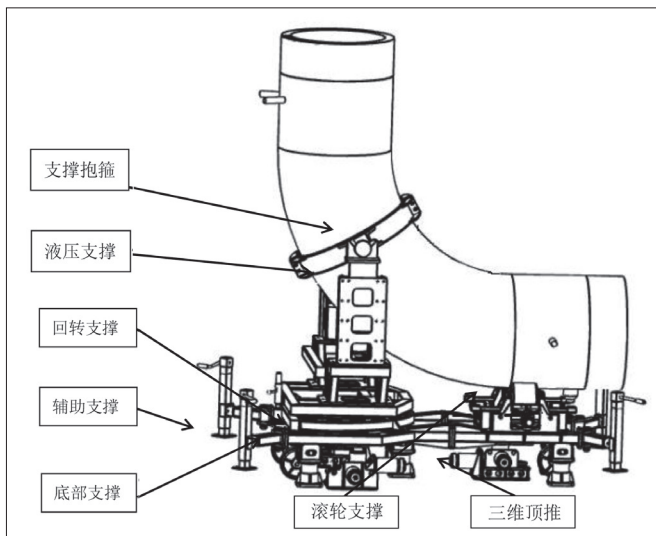


图2 过渡段管道自动调整装置示意图

过渡段调整装置主要布置在设备间内，标高为+1.2m，承载面为混凝土地面。其使用的区域条件如图3和图4所示，考虑到蒸汽发生器和泵体支撑立柱的条件限制，设计时要考虑避让，避免发生干涉与碰撞。相关夹紧装置、支撑装置等设计应确保焊口两端周向至少300mm×220mm的空间内无障碍，以满足焊机机头的运行要求。

### 3 工作原理说明

#### 3.1 三维顶推调平系统

三维顶推调平系统主要由三维顶升液压缸(图5)和控制系统组成<sup>[3]</sup>，采用伺服电动机驱动液压油泵输出高压液压油，从而控制液压缸动作，通过PLC的PID实时纠偏模块闭环与顶推油缸传感器闭环，实现伺服控制器速度、进给量控制功能，从而实现位置及同步运行控制。实际操作时在触摸屏上设置目标值，按下启动按钮，程序闭环运行至目标位置，并进行保持检测，如因外力或液压阀门自身泄漏使其

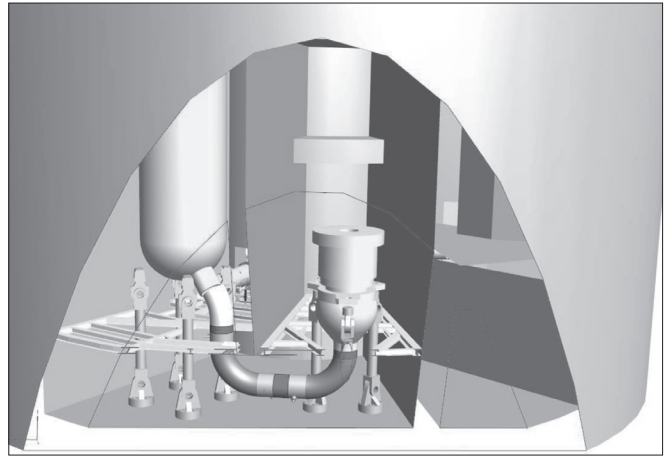


图3 反应堆冷却剂管道过渡段调整装置布局图

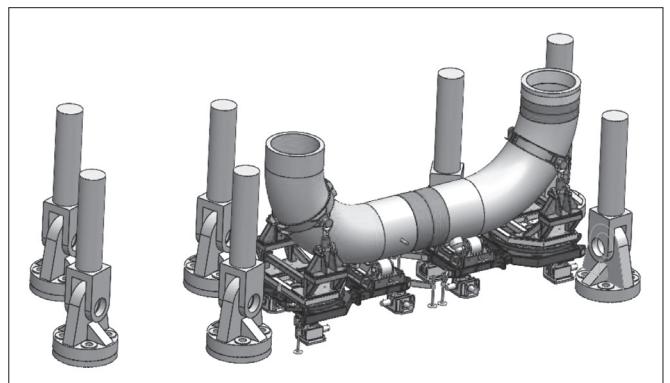


图4 反应堆冷却剂管道过渡段调整装置布局图

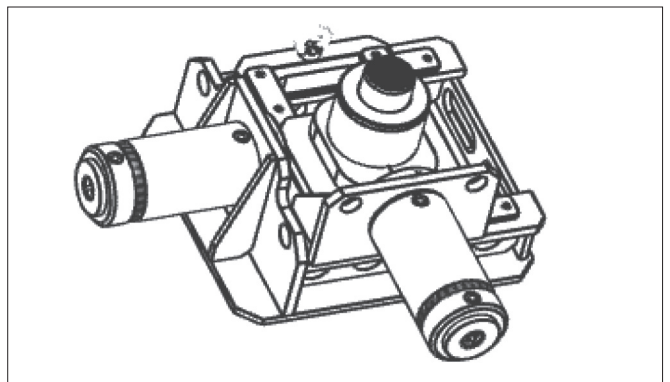


图5 三维顶升液压缸示意

超出保持范围，程序将自动运行纠偏至目标值。

#### 3.2 滚轮支撑装置

如图6所示，滚轮支撑装置主要由滚轮、滚轮支架、万向球轴承和缓冲装置组成。滚轮内部为金属材质，外表面包覆聚氨酯层，可以防止对管道的损伤。万向球轴承支撑滚轮支架，调节左右丝杠可使滚轮支架移动和摆动，移动范围为±40mm。缓冲装置在空载时可以起定位(居中)作用，其前端为球头结构，保证滚轮支架在移动和摆动的过程中不受影响。

此外，滚轮支撑装置距离焊缝的最短距离应大于300mm，焊口底端距离地面的最小距离为220mm，以确保满足焊机机头的运行空间要求。

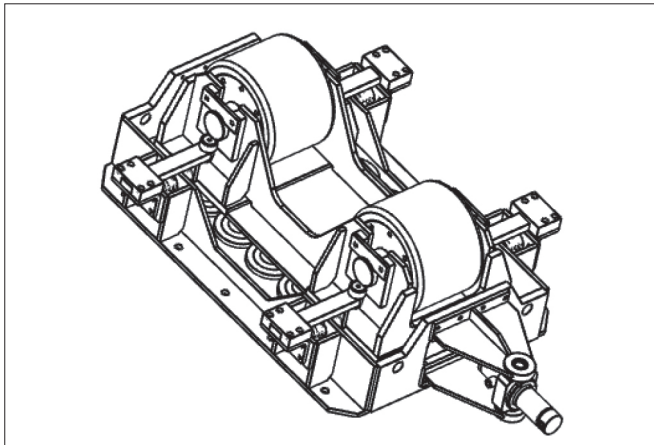


图6 滚轮支撑装置示意图

### 3.3 底部支撑和辅助支撑装置

如图7所示，底架支撑装置为分体式结构，使用时通过高强螺栓连接成一体，可以合理地避让泵体支撑立柱及地脚。底架支撑装置四角分别设置了一套辅助支撑装置。辅助支撑装置采用折叠形式，可有效避免与其他物体干涉或碰撞。辅助支撑装置是一套安装保护装置，受力主要由三维液压顶推来承受。

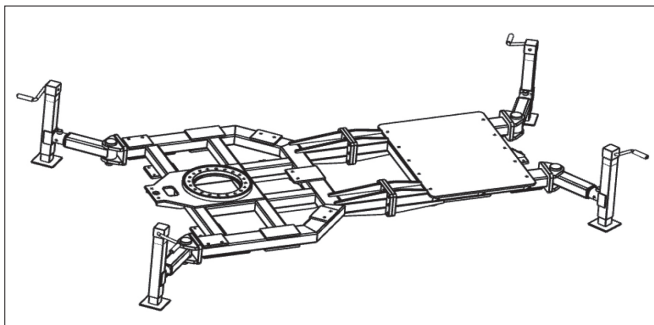


图7 底架支撑装置示意图

### 3.4 回转支撑装置

如图8所示，回转支撑装置主要由回转支承、万向球轴承和结构架组成。回转支承的轴线与垂直管段轴线重合。万向球轴承为重型万向球轴承，用于过渡段的左右摆动。

### 3.5 液压支撑装置

如图9所示，液压支撑装置主要由液压缸、支座及摆动支座组成。液压缸端部采用开口叉式结构，方便管道（带抱箍）落入工装，调整之后也方便撤离。在进行X轴水平方向调整时，抱箍支撑点会出现左

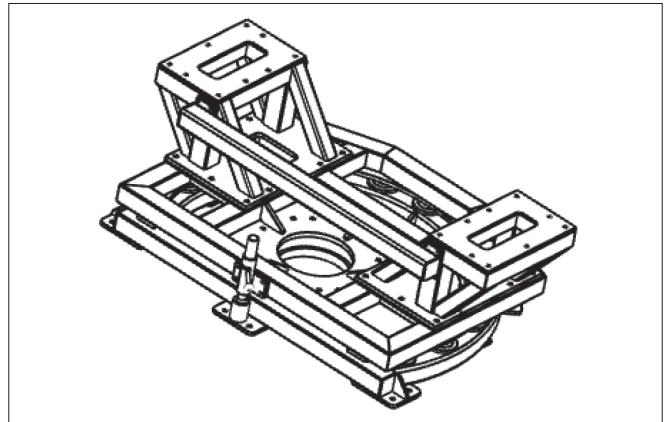


图8 回转支撑装置示意图

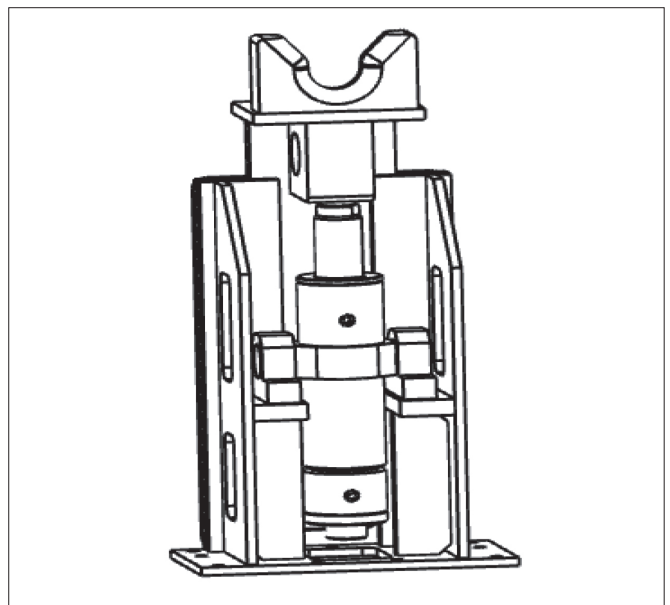


图9 液压支撑装置示意图

右高低不一致的现象，为了使抱箍始终垂直作用于油缸，设置摆动支座使液压缸随抱箍摆动。

### 3.6 焊缝收缩随动装置

如图10所示，焊缝收缩随动装置初步设计由SP-76万向球轴承和50t手动液压千斤顶组成。管道对接完毕后用此随动装置替换三维顶推机构，可避免焊接过程中焊缝收缩导致管道水平轴线发生位移。随动装置采用两端挡边设计，底架落入槽内，可在焊缝收缩过程中带开工装一起在槽内滑动。

## 4 工作原理

过渡段调整装置整体组装图如图11所示，过渡段90°弯头组装和位移示意图见图12。

### 4.1 X轴水平方向调整

如图13所示，X轴水平方向调整通过两侧液压



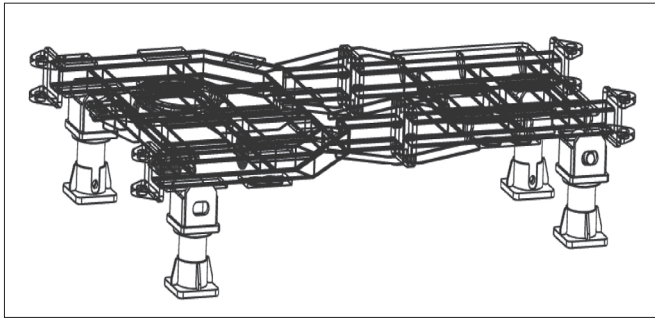


图 10 焊缝收缩随动装置示意图

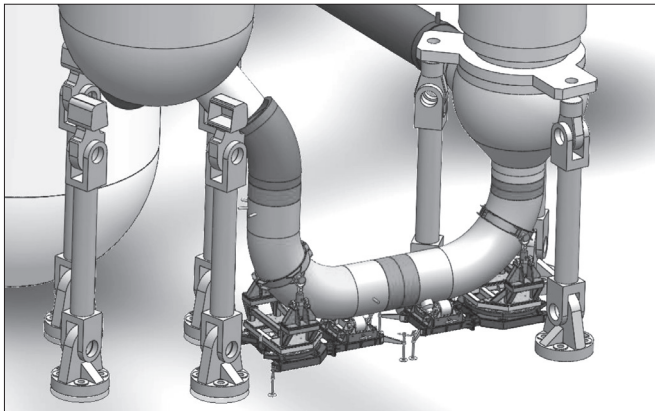


图 11 过渡段调整装置整体组装图

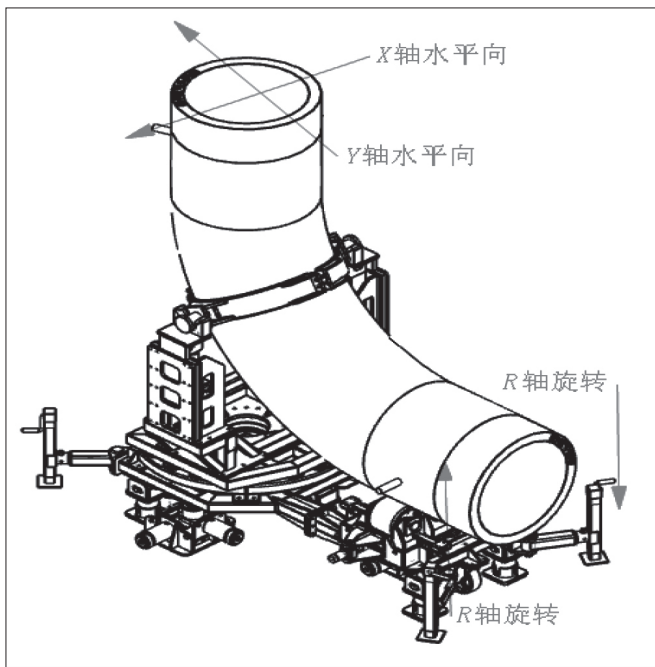


图 12 过渡段 90° 弯头组装和位移示意图

缸的升降来实现，具体如下：

(1) 当左侧液压缸上升、右侧液压缸下降时，垂直段管口水平面向右偏转；

(2) 当左侧液压缸下降、右侧液压缸上升时，垂直段管口水平面向左偏转；

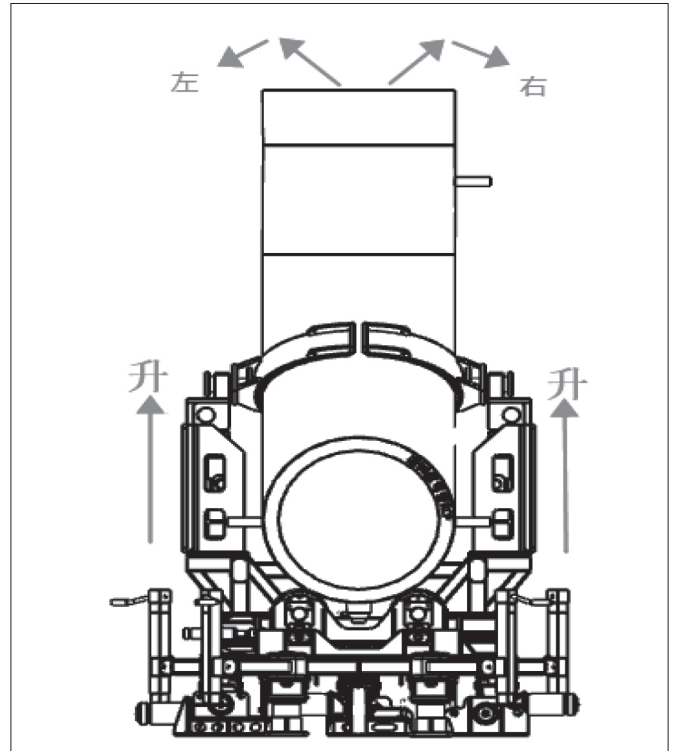


图 13 X轴水平方向调整示意

(3) 进行 X 轴水平方向调整时，水平管段由滚轮支撑，水平管段旋转方向与滚轮转动方向一致。

#### 4.2 Y轴水平方向调整

如图 14 所示，Y 轴水平方向调整通过两侧液压缸的同步升降来实现，具体如下：

- (1) 两侧液压缸上升，垂直段管口水平面向右偏转；
- (2) 两侧液压缸下降，垂直段管口水平面向左偏转；

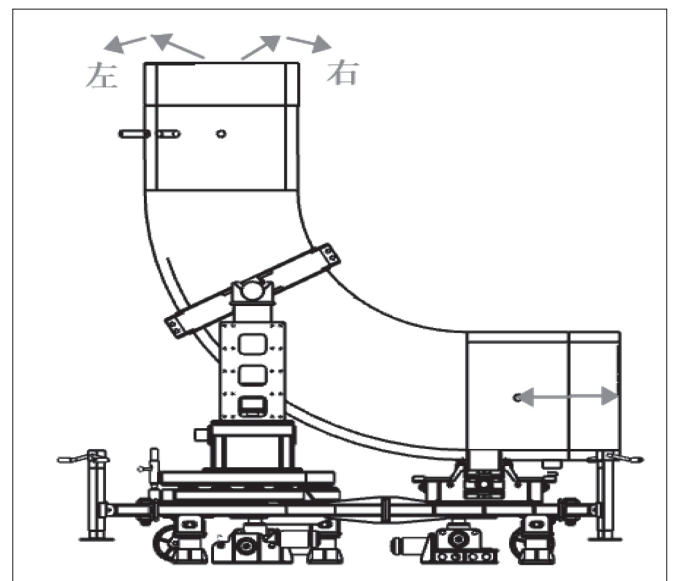


图 14 Y轴水平方向调整示意

(下转第 64 页)

其他情况防回弹装置不触发。开门时，电磁锁不通电。

### 5 结语

华龙一号是我国具有自主知识产权的第三代核电站堆型，人员闸门作为核岛核二级设备，也具备了更高的安全性以及更多的功能。本文全面简述了其工作模式，以及控制系统的要点，并逐一介绍了基于安全性、便捷性的新增功能。

随着科技进步，核电站堆型进一步升级，人员闸门作为安全壳的一部分，将承载更重要的安全功能。在此基础上，其结构形式的优化、工作模式和功能的多元化、控制系统的先进便捷将是未来的发展方向。

### 参考文献：

[1] 马晓荣，薛万勋. 核电站人员空气闸门“零泄漏”密封系

统应用研究 [J]. 液压气动与密封, 2021, 41 (05) :51-53.

[2] 黄金勇，周晨曦. 降低海南核电人员闸门机械故障率 [J]. 电工技术, 2021 (08) :154-155.

[3] 刘玉梅，赖斌生，倪立航，等. 福清核电人员闸门常见故障处理 [J]. 科技传播, 2016, 8 (12) :219-220.

[4] 马贤德，梁聪聪，廖亮. 人员闸门在福清核电的应用和问题分析 [J]. 科技传播, 2016, 8 (09) :187-188.

[5] 孙文，杨中伟，于光伟，等. 核电站人员闸门传动机构的方案设计 [J]. 机械设计与研究, 2016, 32 (02) :31-34+45.

[6] 施勤，徐小刚，杨林民. 双层安全壳人员闸门力学分析 [J]. 核动力工程, 2015, 36 (05) :144-147.

作者简介：董绪超（1986.06-），男，汉族，江苏徐州人，硕士研究生，工程师，研究方向：民用核电站燃料转运、工艺运输等相关设备。

(上接第 59 页)

(3) 进行 Y 轴水平方向调整时，水平管段由滚轮支撑，滚轮支架下装有万向球轴承，管道带动滚轮支架一起向左或向右移动。

### 4.3 R 轴旋转调整

如图 15 所示，R 轴旋转调整通过手动旋转丝杠来实现，以垂直管段轴线为转轴，水平管段在平面上做左右摆动，具体如下：

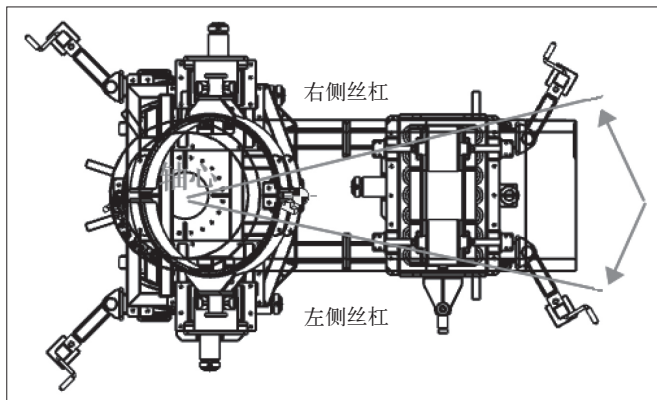


图 15 R 轴旋转调整示意

- (1) 左侧丝杠顶紧滚轮支架，水平管段向右摆动；
- (2) 右侧丝杠顶紧滚轮支架，水平管段向左摆动；
- (3) 水平管段左右摆动时，管道带动滚轮支架一起向左或向右做旋转运动。

### 5 结语

主管道过渡段组对调整装置实现了对三个方向位置的自动精准调节控制，使得主管道过渡段调节过程具体量化，满足自动焊对组对间隙和错边量的控制要求，保证了组对精度及后续的焊接质量。同时，该装置也降低了对成熟技能人员的过度依赖，降低了人工成本，提高了施工效率，降低了施工过程中的质量安全风险，具有针对性强、操作简单、推广价值高等特点，一定程度上实现了安装机械化、调节自动化。

### 参考文献：

[1] 章科，李佳斌，王东. CPR1000 核岛安装主管道自动焊精确组对技术 [J]. 核动力工程, 2013, 34 (06) :121-124.

[2] 中国核工业二三建设有限公司. 大厚壁大管道的焊接组对和水平度调整装置 :CN200920177322.8 [P]. 2010-06-16.

[3] 王亚楠，郑凯. 一种多缸液压升降装置的智能控制系统设计 [J]. 机械制造与自动化, 2023, 52 (02) :189-192.

作者简介：刘琪琳（1986.07-），男，汉族，河北承德人，本科，高级工程师，研究方向：机械技术。