

方家山 ANDRITZ 型主泵油密封拆装装置研发及应用

顾为柏 马梦璇 杜岩松

(中核核电运行管理有限公司 浙江 嘉兴 314300)

摘要: 本文结合方家山 ANDRITZ 型主泵(反应堆冷却剂泵)油密封组件结构、工作原理、安装工艺及维修历史,探讨、分析了油密封拆装卡涩、咬死原因,通过对油密封组件拆装时极限夹角计算、拆装作用力计算,重新设计了拆装装置功能及结构,使新设计拆装装置具备同轴度、水平度调整、状态可知等一系列新功能,解决了油密封组件拆装时卡涩、咬死情况发生。

关键词: 主泵;油密封;卡涩;咬死

0 引言

方家山核电厂曾出现油密封与轴卡涩咬死的情况,造成靠背轮、连接键、轴头局部严重损伤,存在电机轴报废风险,后经修复及在线动平衡,成功消除缺陷。在以往的检修过程中还发现现有部件拆装装置操作难度大,对维修人员操作经验及技能要求较高,具有较高的培训和维护成本。因此,设计研发一种新的使用便捷,功能可靠的油密封组件拆装装置,可以提高主泵油密封组件安装可靠性,节约人力物力和时间资源,减少人员辐射剂量,减少维修成本,提高维修效益。

1 油密封组件卡涩、咬死原因分析

方家山 ANDRITZ 型主泵(反应堆冷却剂泵)轴承箱油密封组件位于轴承箱底部(如图1所示),为动摩擦式机械密封,重500kg,与轴头配合间隙较小,拆装风险大。油密封承担主泵整个润滑油系统的循环工作,若油密封安装质量不佳,可能会导致泄漏油泵频繁启动甚至轴瓦烧毁,

而且油密封安装不到位还可能使润滑油泄漏进入主系统,导致停机停堆的严重后果。

主泵电机轴直径 $\phi 195\text{mm}$,油密封联轴器内孔 $\phi 195.02\text{mm}$,配合间隙只有 0.02mm ,原拆装装置使用时,将支撑组件旋入主泵电机轴头中心孔内,再将梯形丝杆组件和手轮组件上部顶在支撑组件中心孔内,下部顶在泵联轴器中心件孔内,再通过锁紧螺母使丝杠与上下半轴头形成刚性连接。在工作时将星形盘与油密封联轴器用联结螺栓紧固在一起,然后通过转动手轮使丝杆旋转,带动星形盘上下移动,从而推上和拉下油密封。该装置虽然可以保证丝杠的刚性以保证油密封在拆装过程中不发生角度的偏移,但是无法对已经产生的角度偏移进行修正,因此对装置的初始安装要求较高,要求工作人员有较高的技能和经验。

初步分析油密封组件卡涩、咬死原因为夹角偏差、不同轴、不水平、无监测手段。原装置拆装示意图如图2所示。

1.1 电机轴、油密封轴线夹角偏差大

安装允许初始最大偏角计算:

油密封联轴器与星形盘刚性联结,无相对位移。联轴器移动时,除支撑组件、丝杆组件、泵轴联轴器制造误差造成联轴器轴线与轴头轴线有偏角外,星形盘与丝杆间的螺纹传动间隙也会使星形盘轴线与轴头轴线产生夹角。

不考虑制造误差,仅考虑星形盘与轴头轴线夹角的影响来计算:

以星形盘为圆心转动,当联轴器上口轮廓线与轴头相交时,产生的夹角就是轴头无阻力初始插入时的极限夹角,如图3所示。

通过计算,夹角为 0.0017910 ,星形盘允许的最大高低差为 0.006096mm ,由于现场工作条件有限,初始角度和高低差极大程度上依赖工作人员的经验,无法进行有效验证,难以控制安装的初始状态,容

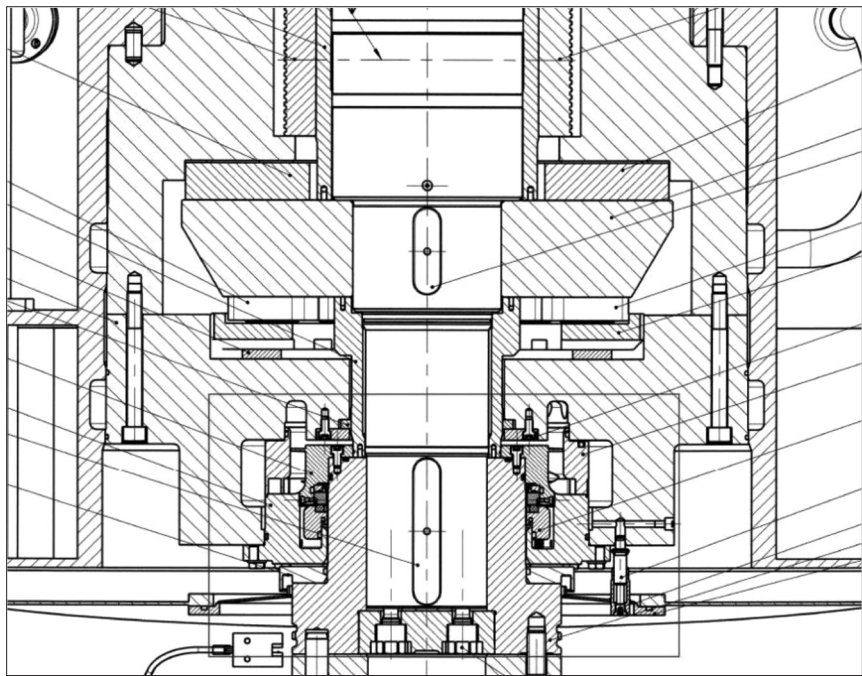


图1 油密封组件位置

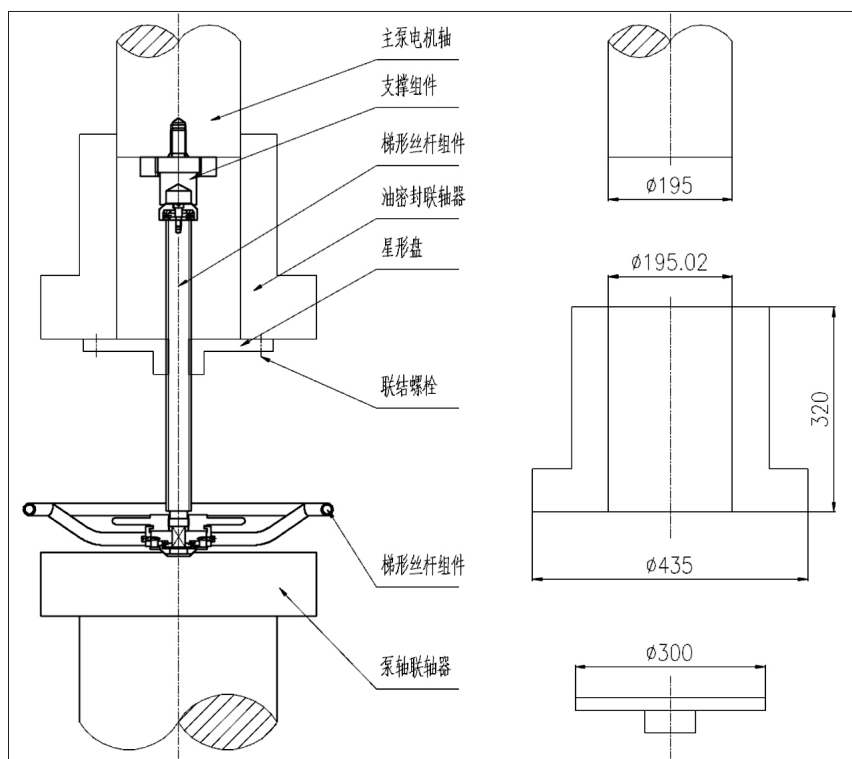


图 2 原装置拆装示意图

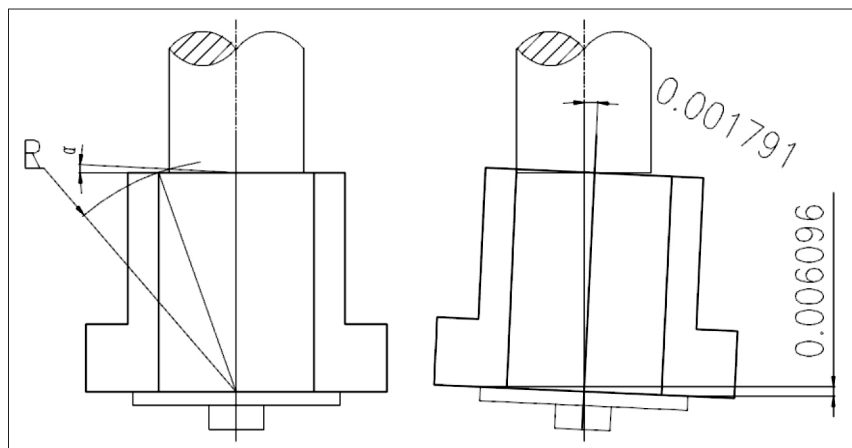


图 3 联轴器与轴夹角

易导致卡涩、咬死。

1.2 油密封组件与电机轴同轴度偏差

主泵停运时, 转子部件状态比较随机, 无法保证处在中心位置, 且联轴器脱开后, 泵转子落于检修密封上, 会产生倾斜, 导致电机轴与泵轴不同轴, 进而使拆装装置与电机轴不同轴, 影响油密封组件与电机轴同轴度。连接方式与示意图如图 4、图 5 所示。

1.3 水平度无法保证

丝杠与星形盘螺纹存在传动间隙, 星形盘易发生倾斜, 使油密封组件水平度无法保证, 易发生卡涩。

1.4 其他待改进项

(1) 油密封组件拆装过程中是否发生倾斜或卡涩, 基本依靠工作人员的经验与手感, 不够可靠。

(2) 梯形螺纹丝杠为滑动摩擦, 手轮操作阻力大, 且工作空间较为狭窄, 盘转手轮操作不便, 费时费力, 工作人员很难在工作中始终保持恒定的力度和速度。

(3) 油密封组件上升到一定高度时需要人员手动对正键槽位置, 由于肉眼无法直接观察, 需要靠手指触摸对正, 对人员技能要求极高, 且存在夹手的安全风险。

2 详细数据分析

2.1 油密封拆装作用力

(1) 油密封与泵轴的最大配合间隙为 0.02mm, 泵轴平键与油密封配合为间隙配合。因此, 安装油密封件的作用力主要克服油密封重力和油密封外圆的密封圈与轴承室的摩擦力的合力。

(2) 油密封件重量为 500kg, 考虑油密封外圆密封圈与轴承室的摩擦力, 综合作用力的安全系数初步选择 3。

合力为 $F = m g \times \text{系数} = 500 \times 9.8 \times 3 = 14700 \text{ kgf}$, 即 1470 N

设定初始拆卸油密封速度为 6mm/min. 即 $0.1 \times 0.001 \text{ m/s}$,

则 $P = FV / \text{运动效率系数} = 1470 \times 0.1 \times 0.001 \text{ m/s} \times 30\%$ (机械传动效率) $= 1.47 / 0.3 \approx 5 \text{ kW}$ 。

若使用动力输入电机之转速 $n = 1400 \text{ 转/分}$

则动力扭矩 $T = 9550 \times P / n$ 。

$T = 9550 \times 5 / 1400 = 34.1 \text{ Nm}$

验证查询电机样本, 同等规格普通感应式 5kW 电机, 规格: 4 极, 1400r/min. 输出扭矩约 36.5Nm, 基本符合计算数值。

蜗轮蜗杆减速比为 25, 则蜗轮箱操作输入扭矩约为 $34 / 25 \approx 1.4 \text{ Nm}$

现场可使用表盘式力矩扳手 (1 ~ 6Nm) 进行调整设定扭力数值后边试验边谨慎操作。

(3) 如果操作顺利正常, 当油密封的密封件如 O 型圈部位脱离配合位置后, 为了提高拆卸效率, 建议可以选用合适的电动工具来进行操作。

2.2 极限夹角计算

如图 6、图 7 所示, 当联轴器入口与轴头左侧相切时, 有下列关系:

$$(R-X)^2 + A^2 = R^2 \quad (R=195)$$

$$A^2 = R^2 - (R-X)^2 = R^2 - (R^2 - 2RX + X^2) = R^2 - R^2 + 2RX - X^2 = 2RX - X^2$$

$$A = (2RX - X^2)^{1/2} = (195X - X^2)^{1/2}$$

$$(R' - X')^2 + B^2 = R'^2 \quad (R' = 195.02)$$

$$B = (2R'X' - X'^2)^{1/2} = (195.02X' - X'^2)^{1/2}$$

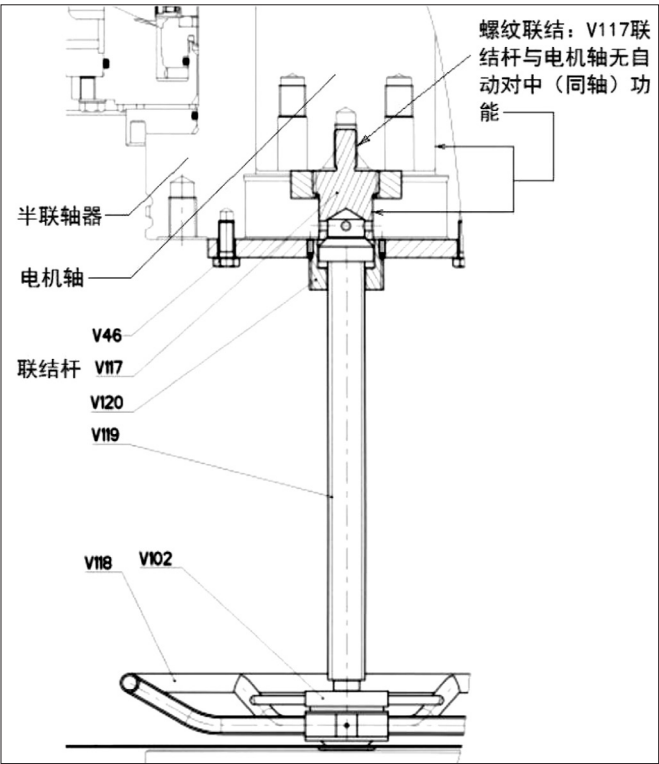


图 4 联结杆与电机轴连接方式

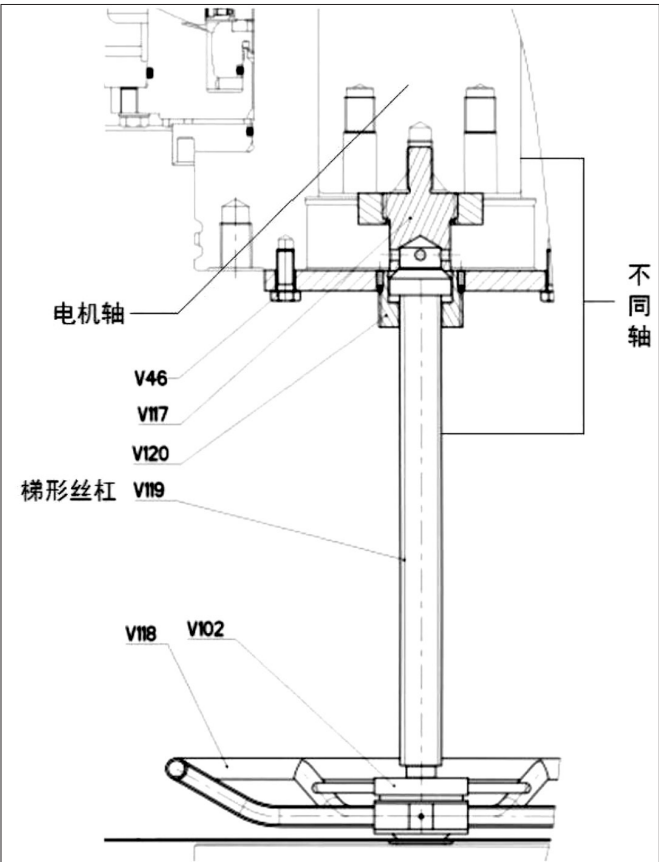


图 5 装置与电机轴不同轴示意图

$$X' = X / \cos \alpha$$
$$B = (195.02X / \cos \alpha - (X / \cos \alpha)^2)^{1/2}$$

只要满足 $X' \cos \alpha = X \leq 195$ 且 $B - A > 0$ ，就满足插

入条件。

通过计算，联轴器可左右可移动的情况下，极限可插入初始角度为 0.8° ，星形盘最大高低差为 4.2mm，轴线可偏移 4.6mm。随插入深度的增加，轴线夹角越来越小。

当插入深度达 6mm 时，星形盘高低差允许达 1.1mm。当插入 6mm 时，如果左右仍能轻松相对移动，星形盘基本上就可以自找水平，油密封即可以轻松安装，大大提高安装质量。

3 设计改进

3.1 提高同轴度设计

新设计使用滚珠调心盘，有上下两层钢珠在球面轨道运动，球面中心点在上部顶尖，以保证油密封在调整中心过程中始终保持钢珠到上顶尖距离不变，整个装置受力均匀，利于平稳拆装。

安装导向套时，以中轴定心，导向套内孔与中轴外圆配合面经精密配磨，间隙约 0.015 ~ 0.02mm，保证较好同轴度。

浮动调节板上配有无线迷你摄像头，可实时纠正键槽位置偏移。

3.2 提高水平度设计

装置内部有 4 个位移传感器，均布在安装盘的四个方位，外侧对应位置安装 4 个距离微调器，位移传感器测量基准为上部轴端平面。调节 4 个距离微调器，使四个传感器示数一致，保证油密封水平，具体如下图 8、图 9 所示。

通过信号线将位移传感器检测的信号集成在巡检仪显示界面，同时由巡检仪为传感器供电，既可以直观观测各检测点的误差，方便调整，又可以脱离外接电源限制，移动方便。

4 二次改进及应用

新的油密封拆装置样机制作完成后在主泵模拟体上进行了实际测试，针对试验过程中发现的问题做出针对性设计改进。

4.1 下锥套的结构改进

改进前：
下锥套与主泵本

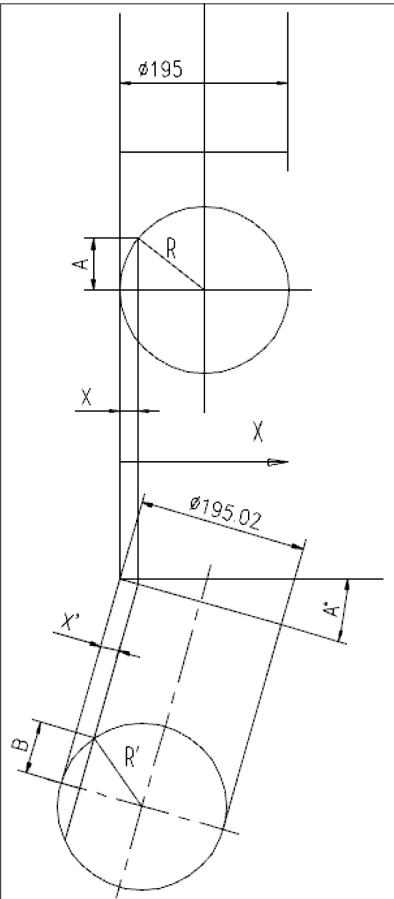


图 6 极限夹角计算

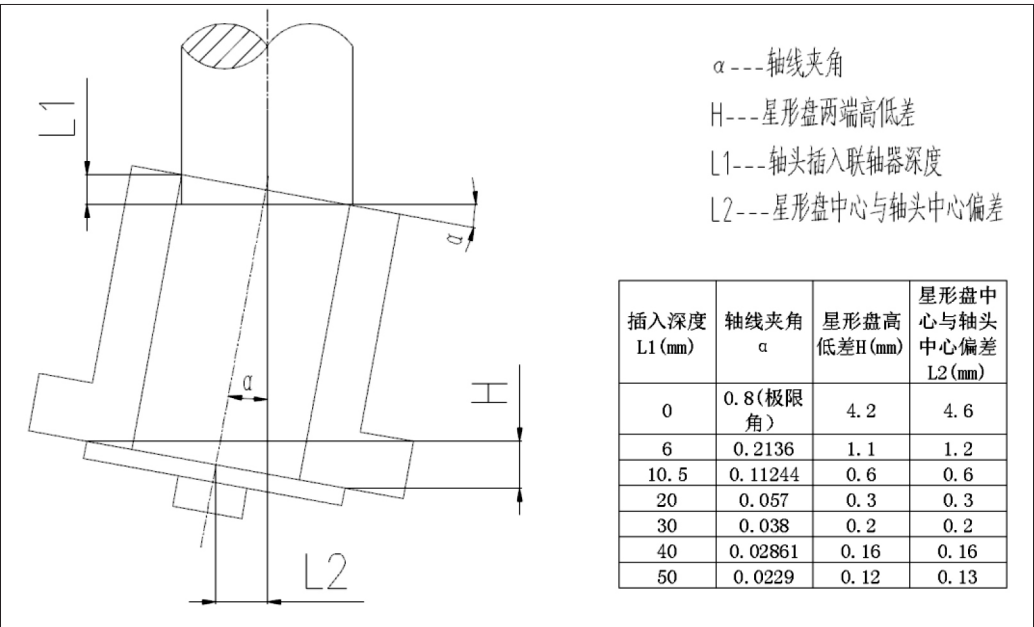


图 7 最大可插入倾角计算

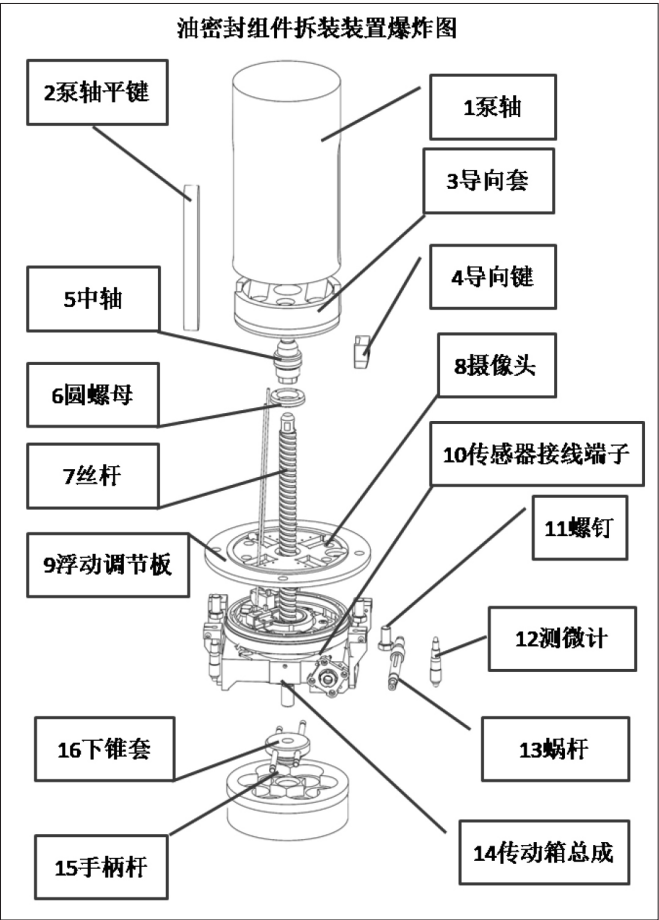


图 8 距离微调示意图

体系轴压盖之间的接触为滑动摩擦，使用过程中可能会损伤锥形定位面，使轴向定位尺寸产生误差。

改进后：

在下锥套上安装圆锥滚子轴承，过渡套不再与泵轴压盖发生相对转动，避免定位面精度因使用磨损而降低。

4.2 泵轴与油密封传动键的安装找正

改进前：泵轴平键与油密封键槽的对正，依靠人工观察与触摸，不仅效率低，可靠性差，还极大地增加了操作的危险性。

改进后：在浮动调节板上安装无线迷你摄像头，实时传输影像到远程操控终端，同时还带有摄像补光灯，以便在光线条件不足的情况下采集到清晰的图像，便于泵轴平键与油密封键槽的对正，既可以提高对正的精确度也可以降低操作人员的技能经验要求和人身风险。

4.3 导向套固定方式的改进

改进前：油密封装置上部定位用的导向套，紧固使用 2 件主泵上面的专用螺钉，因为该种螺钉尺寸大，重量重，在安装时如果没有正确的对正，安装时费力费时。

改进后：在定心中轴的下部追加加工细牙螺纹，细牙螺纹与中轴轴线加工时严格保证同轴度，使用标准的圆螺母来固定导向套，而圆螺母的旋紧采用特殊设计的工具来操作，使得安装过程既简便又顺利；又同时在中轴下端部再次追加加工四方头，可以使用专用工具来拆装中轴，大幅提升工作效率。

4.4 中轴圆螺母专用扳手的改进

改进前：

使用圆螺母勾头扳手，由于操作空间狭窄，与导向套干涉，无法拆装圆螺母。而且易松脱，操作不便。

改进后：

使用特殊设计的专用工具，避免空间干涉，而且不易松脱，更加便于操作。

4.5 微调千分尺安装位置的改进

改进前：

当油密封组件拆卸下来，需要平稳落在油密封运输托盘上，然后从主泵内部整体移出。但由于微调千分尺安装分度圆直径（约 350mm）大于托盘的内径，与托盘干涉，使油密封无法平稳下落至运输托盘。

改进后：

通过改进两个连板的安装尺寸，将 4 个微调千分尺安装分度圆直径调整为 290mm，使油密封及拆卸装置可以安全顺利地下落至运输托盘。

针对油密封组件与电机轴卡涩、咬死问题所设计的新型拆装装置理念为：

(1) 通过计算减少极限夹角。

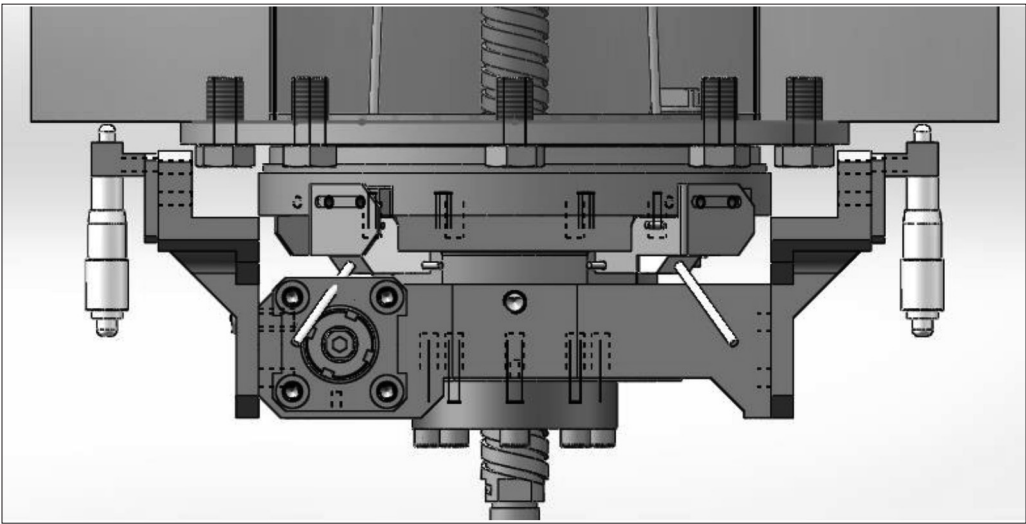


图 9 浮动调节板

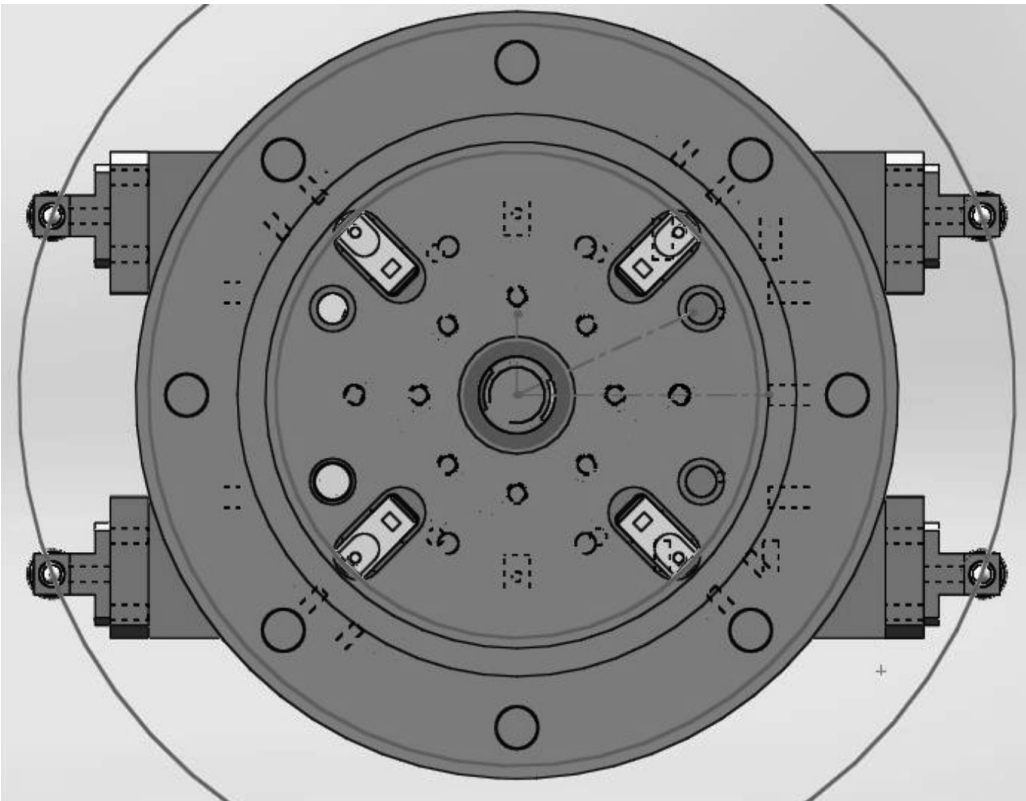


图 10 新型油密封拆装装置爆炸图

- (2) 提高同轴度：通过电机轴头浮动调节板、导向套使油密封组件与电机轴保持同轴。
- (3) 使水平度调整更加精确：通过微调千分尺及数字

监测元件实时监测、调整油密封组件的水平度。

(4) 引用电动操作盘、滚珠支撑杆，将滑动摩擦变为滚动摩擦，降低操作力(经计算操作力降至原 1/4)，减轻检修人员的工作强度。

5 应用

该拆装装置可直接应用于福清的 1/2/3/4/5/6 号、田湾的 5/6 号机组、巴基斯坦 K2/K3 机组，对于“华龙一号”机组 ANDRITZ 型主泵同样适用，形成广泛的社会和经济效益，如图 10 所示，

6 结语

经过对拆装装置的设计改进，由原纯机械升级为定位精确、自调对中、拉拔力可调、状态可知、实时数字监测、操作方便的高可靠性拆装装置，彻底解决油密封组件拆装时卡涩、咬死情况，提高油密封拆装质量。通过对比，原装置需要 6 人 8 小时的工作量，现可以实现 2 人 2 小时内完成，减少人员辐射剂量，节约大修工期，为公司节省大量人力、物力、财力，同时保证设备、机组安全稳定运行。

参考文献：

[1]成大先.《机械设计手册》第三卷(第六版)[M].北京：化学工业出版社.2016.04

作者简介：

顾为柏 (1986.12-)，男，汉族，本科，工程师/技师，研究

方向：核电站维修；马梦璇 (1996.03-)，男，汉族，本科，助理工程师，研究方向：核电站维修；杜岩松 (1971.12-)，男，汉族，本科，高级技师，研究方向：核电站维修。