

RRA 泵检修升降变位机底盘稳定性分析

蒋成晖¹ 王湘江^{1,2} 刘添²

(1. 南华大学机械工程学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 中核检修有限公司海盐分公司, 浙江 海盐 314300)

摘要: 为分析 RRA 泵检修升降变位机的稳定性, 本文采用力矩平衡的方法建立整机的数学模型, 分析出在危险工况下整机的抗倾覆能力; 基于 Ansys Workbench 建立底盘的有限元模型, 进行了支撑腿的静力学分析, 结果表明, RRA 泵检修升降变位机在工作时不会发生失稳现象。

关键词: 稳定性; 升降变位机; RRA 泵; Ansys Workbench; 特征值屈曲分析

0 引言

余热排出泵(以下简称 RRA 泵)属核二级泵, 在正常停堆和事故停堆后带出堆芯的衰变热, 是核电站中核岛安全停堆的重要保障。秦山核电二期及方家山核电存在 6 台核电机组, 每个机组有 2 台 RRA 泵, 每次大修期间需要对其其中某台 RRA 泵进行解体检修, 检修过程中需要多次对泵进行翻转以找到合适的工位, 目前采用行车起吊和人工的方式操作, 需要投入人力较多, 效率相对较低, 且存在因与 RRA 泵长时间、频繁接触引起的受核辐射污染的潜在风险。为降低人员投入和改善作业环境, 开发出集成了独立悬臂吊的 RRA 泵检修升降变位机。GB 25849-2010 中规定, 起重设备必须具有很好的稳定性, 不会发生倾覆。

1 结构组成及稳定性分析

1.1 结构组成

RRA 泵检修升降变位机由底盘、升降机构、变位机构、悬臂吊、液压系统、电控系统、抱夹和专用吊具等部分组成。

底盘承受设备工作时的全部载荷, 对强度和刚度要求较高, 采用钢板+方管组合焊接结构, 并配有防倾覆功能的支撑腿。升降机构由机架、伺服电机、精密行星减速机、联轴器、梯形丝杆、直线导轨和连接箱体等部分组成。变位机构由伺服电机、精密行星减速机和回转驱动组成。采用 Pro/E 进行三维建模, 总体结构如图 1 所示。

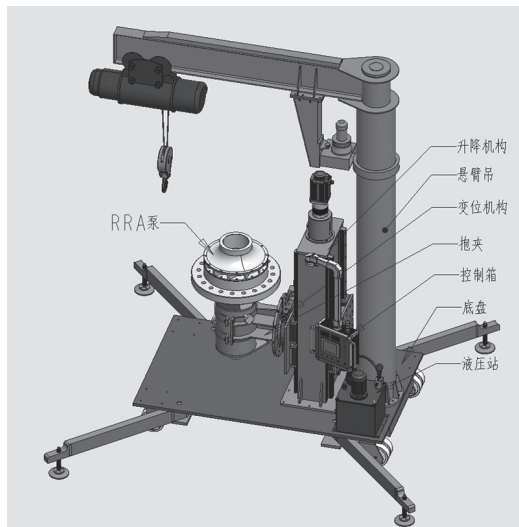


图 1 整机三维模型

1.2 工况分析

RRA 泵由导叶、叶轮、泵盖和轴承箱等部分组成, 其中泵盖的体积和重量最大, 整机坐落于室内平整地面上, 在定点解体检修过程中, 需要使用设备自带的独立悬臂吊将各零部件吊装转移至平台之外进行修复, 由定性分析可知, 在悬臂吊吊装泵盖的过程中, 当吊臂与底盘宽度方向成 90°, 且工件处于吊臂最远端时, 此时产生的倾覆力矩最大, 为危险工况, 危险工况示意图如图 2 所示。

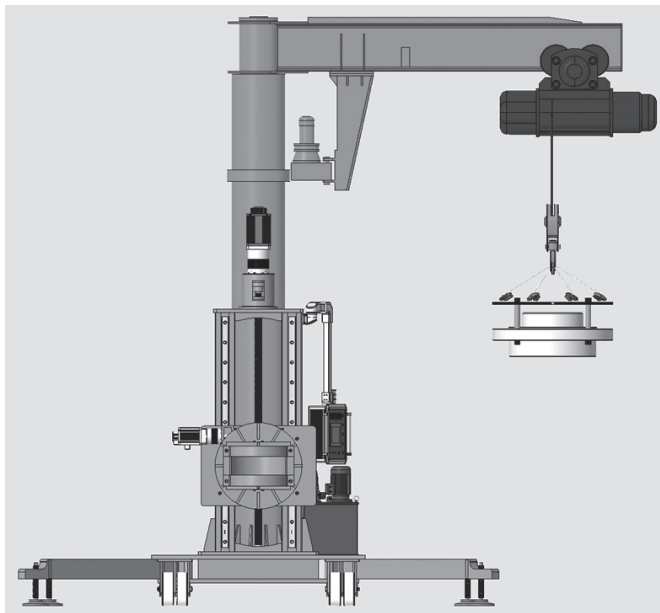


图 2 危险工况

1.3 整机抗倾覆稳定性分析

根据设备的结构特点, 采用力矩平衡法求解在危险工况下稳定与倾覆力矩, 即当稳定力矩的代数和大于倾覆力矩的代数和时, 整机是稳定的。用公式表示为:

$$\sum M_s > \sum M_i$$

式中: M_s ——稳定力矩; M_i ——倾覆力矩。

建立坐标系选取底盘侧边为研究对象, 考虑到现场场地限制, 悬臂吊背靠车间墙壁, 故只需校核悬臂吊整机横向的稳定性安全系数为:

$k = M_s / M_i = 54124.99 \text{ N} \cdot \text{m} / 11520.09 \text{ N} \cdot \text{m} = 4.70 > 1$ (具体计算过程不做详细展开)

因此在危险工况下,设备的横向与纵向的稳定性表现良好,抗倾覆能力满足设计要求。

2 静力学及特征值屈曲分析

2.1 特征值屈曲分析理论

特征值屈曲分析预测的理想线弹体结构的理论屈曲强度,而非理想和线性行为阻止许多真实的结构达到它们理论上的弹性屈曲强度,因此可用来评估一种结构的临界载荷。

特征值屈曲分析一般方程为:

$$[K] + \lambda_i [S] \{\psi_i\} = 0$$

式中, $[K]$ 、 $[S]$, 是常量 λ_i ; 是屈曲载荷因子; $\{\psi_i\}$ 是屈曲模态。

2.2 有限元分析

底盘支撑腿是专门为增强设备稳定性而设计的,它的强度对整机的安全性至关重要,其一端通过插销与底盘连接,约束类型可以视作固定铰支,固定一端通过丝杆与支撑盘与地面接触,文中基于 Ansys Workbench 对支撑腿进行应力应变和特征值屈曲分析,校核其局部结构稳定性。

满载工作时,整机重量约为 5.2 吨,满载静载荷由 4 个脚轮和 4 个支撑腿一起承担,可求得地面对支撑腿的作用力 $F=5200 \text{ kg} \times 9.8 \text{ N/kg} / 8 = 6370 \text{ N}$ 。

启动 Ansys Workbench 静态结构分析命令,导入支撑腿几何模型到 Design Modeler 中,进行简化和修复,默认材料属性为结构钢,使用全局网格设置方式,Element Size 设置为 10mm,对左端(插销)添加固定约束,右端(丝杆)添加力载荷 F ,大小设置为 6370N,后处理中添加总变形和等效应力,结果显示如图 3 和图 4 所示。

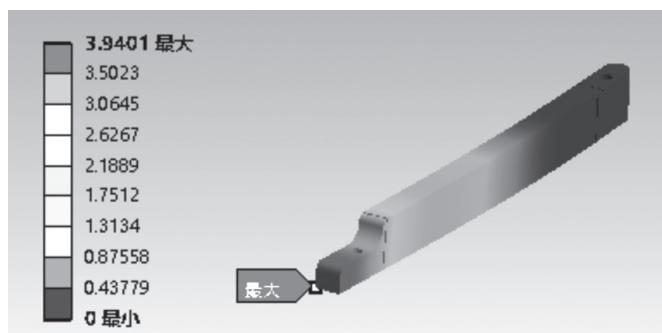


图 3 总变形云图

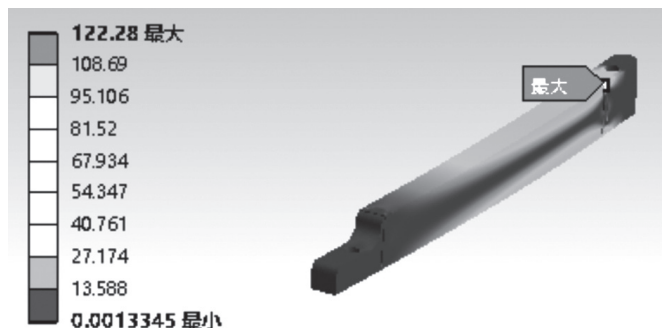


图 4 等效应力云图

由上可知,支撑腿最大总变形为 3.9401mm,变形很小相对于整体可忽略不计,说明支撑腿的刚度满足要求;应力主要集中在中间节与销轴端连接处,最大为 122.28MPa,远小于 Q235 材料的许用应力 (250MPa),强度满足要求。

在实际运行过程中,支撑腿中间节有可能受到轴向力作用,产生挤压和拉伸变形,故有必要对其单独做特征值屈曲分析,将其静力学分析的数据传递至特征值屈曲分析模块中,最大模数设置为 1,求解结果显示如图 5。结果显示中间节屈曲乘数为 875.49,远远大于 1,表示其屈曲开始时的载荷非常大,强度方面满足要求。

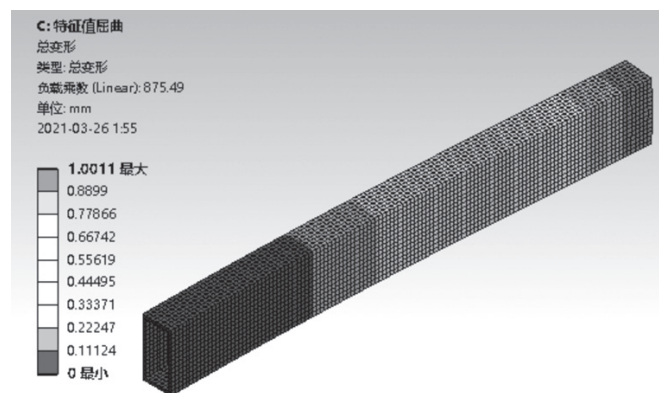


图 5 屈曲分析云图

3 结语

(1) 采用力矩平衡法,对设备整机的抗倾覆性能进行了数学建模分析,结果表明在危险工况下,整机不会发生倾覆,具有良好的稳定性。

(2) 基于 Ansys Workbench,进行了底盘关键零部件支撑腿的静力学分析,并对其中间节进行了特征值屈曲分析,结果表明支撑腿具有良好的强度和刚度。

参考文献:

- [1] 张文志,韩情凯,刘亚忠,等.机械结构有限元分析[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2010:1~9.
- [2] 郭景坤,董方亮.大型自动翻转机的设计研究[J].一重技术,2009,132(6): 20~22.
- [3] Lee K M, Shah D K. Dynamic analysis of a three-degrees-of-freedom in-parallel actuated manipulator[J]. Robotics and Automation, IEEE Journal of, 1988, 4(3): 361-367.
- [4] 白象忠,谭文峰,张文飞,等.材料力学[M].北京:科学出版社,2007: 51~53.