

基于人因工程的船用脱硫塔安装工艺优化分析

卢逸飞

(江苏科技大学 船舶与海洋工程学院, 江苏 镇江 212003)

摘要: 为提升脱硫塔的安装效率和保障施工安全, 船用脱硫塔安装工艺设计应满足人因工程的相关要求。船用脱硫塔安装工艺设计应综合考虑人体尺寸、动作姿态、视线范围、零部件布局和作业空间环境等人因要素, 故使用 CATIA V5 软件建立船用脱硫塔安装时的仿真模型, 对作业对象的可视性、可达性进行分析, 对作业姿势的易伤风险进行评估分析, 进而提出相关工艺的优化方案。

关键词: 人因工程; 船用脱硫塔; 安装工艺

中图分类号: U66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 10—0127—03

船用脱硫塔中存在大量的零件, 这些零件形状特殊、类别多样且安装结构复杂, 同时脱硫塔新增分段中存在大量管部件和框类零部件, 船用脱硫塔的安装通常还需要其他专用工具的辅助。由于以上原因, 船用脱硫塔在实际安装过程中, 常常由于零部件安装顺序不同、操作空间预留不够和辅助工具准备不当而使某些零部件难以安装, 这种种原因使得脱硫塔安装工作复杂和繁琐。同时由于市场客观原因, 船用脱硫塔改造项目工期紧张, 让脱硫塔的安装质量和效率难以保证^[1]。本文就脱硫塔安装过程中, 主、副塔连接安装螺丝组的案例进行分析, 通过与监造工程师交流访谈、工作人员的工作总结和作业现场观察, 发现船用脱硫塔安装作业的工艺设计和操作空间上可能存在潜在的作业问题: 脱硫塔主副塔连接处有 80 个螺栓, 安装过程中存在大量重复动作; 脱硫塔主副塔连接处空间复杂, 可能会对安装人员的操作姿势形成限制, 导致工艺设计不能满足作业需求或者易引起作业者肌肉劳损等问题。

针对上述问题, 本文将对船用脱硫塔安装的过程进行建模仿真, 然后验证人使用安装工具时的可达性、操作空间的开放性, 分析工作人员在该操作环境中的动作姿态、肌肉负荷、身体舒适度等。不仅优化工作人员的工作环境, 保障工作人员的身心健康, 而且可以进一步优化操作步骤和安装工艺设计。脱硫塔安装的特殊性和安装过程的复杂性说明了在船用脱硫塔的安装过程中采用人因工程方法进行具体的研究分析具有重要的意义, 这将会对船用脱硫塔安装工艺设计起到很大的指导作用, 也可以降低产品设计的开发费用和企业成本, 帮助

企业解决难题。

1 船用脱硫塔安装工程中对人的分析

1.1 人员作业的人因分析方法

目前人因工程学评估方法中比较有效且可靠的分析工具是快速上肢评估法 (RULA, Rapid Upper Limb Assessment)^[3]。RULA 主要是评估施工人员四肢在某作业姿势下的肌肉受力状态和肌肉使用状态, 用评估得到的分数来分析肌肉可能劳损或受伤的风险。

RULA 的评分方法如下^[4]: 首先是四肢评分, 将上臂、下臂、手腕和四肢肌肉的扭转进行综合评分, 然后综合得出四肢部分基础评分。其次是考虑肌肉的负荷状态, 如果负荷不到 2 kg 则忽略, 如果是负荷 2 - 10 kg 并做间歇动作记 1 分, 如果在负荷 2 - 10 kg 情况下做维持动作或者多次重复动作则记 2 分, 如果负荷达到 10 kg 以上则记 3 分^[4]。然后是评估肌肉发力状态的得分, 如果是静态动作且维持时间超过 1min 或者每分钟重复较多则记 1 分。最后将三项评分相加即可得到该操作姿势的动作评分^[5]。

2 基于 CATIA 的虚拟作业场景搭建

2.1 人体模型的建立

如图 1 所示, CATIA V5 软件具有人机工程学设计与分析功能, 可以使用其中的人体模型测量编辑 (Human Measurements Editor) 模块来生成自定义的工作人员人体模型, 这样可以使仿真结果更加贴切于真实情况。

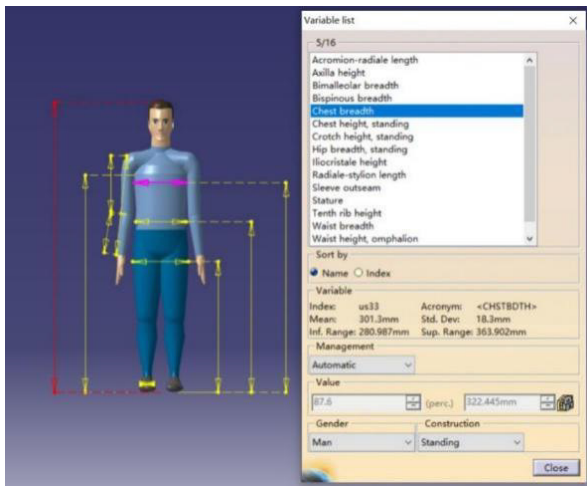


图1 人体变量编辑窗口

2.2 装配对象模型—船用脱硫塔

在实际建立脱硫塔过程中,需要将实习所得的纸质资料,结合监造工程师的访谈和船用脱硫塔安装维修手册,利用CATIA V5软件建模,建立船用脱硫塔三维模型。具体模型如图2所示。

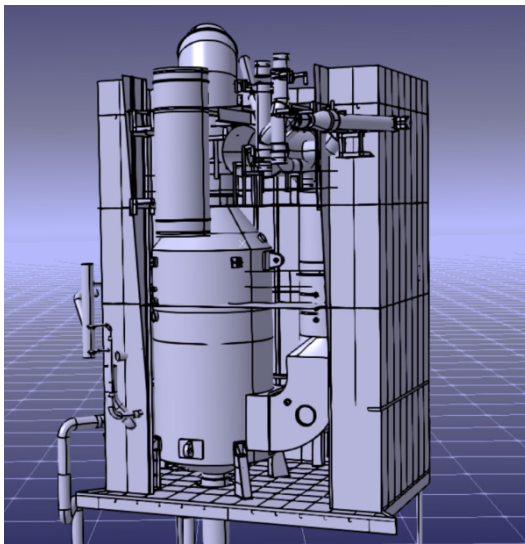
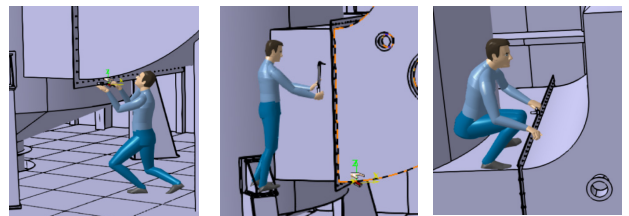


图2 船用脱硫塔模型

3 作业空间仿真与分析

在CATIA V5的人机工程学设计与分析模块中,可以打开人体模型的视野,通过视野可以判断能否无阻碍地看到目标零部件、操作工具以及自己的操作动作,以此可判断视觉可达是否满足要求^[5]。



a 1号空间

b 2号空间

c 3号空间

图3 三种人体操作模型

3.1 三种作业姿势的RULA评估

如图所示,船用脱硫塔周边空间零部件繁杂,可能对工作人员的作业姿势形成阻碍,同时,在重复使用扭力扳手对螺栓组进行操作时,可能会导致身体某些部位劳损以及安装效率降低。船用脱硫塔主副塔连接处螺栓组的安装作业姿势可以归纳为蹲立安装,站立安装和蹲坐安装三种。故采用RULA对作业姿势进行评估,对作业中可能发生MSD的身体部位进行分析,进而可以提出对应的预防措施。

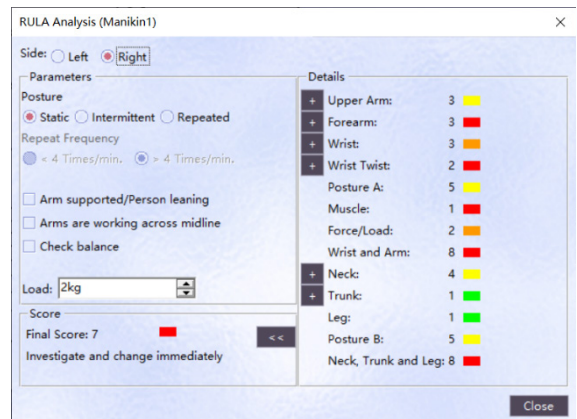
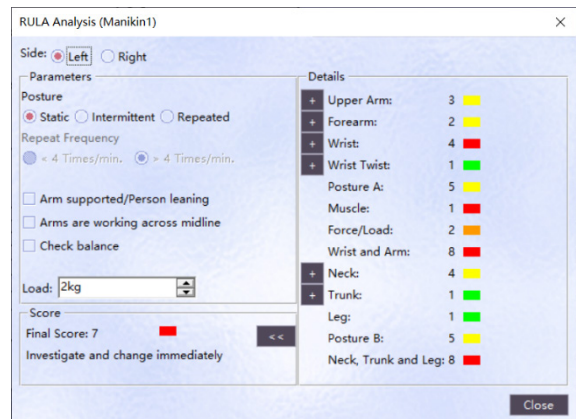


图4 蹲立安装作业姿势左右侧RULA分析

图4所示为安装人员蹲立安装作业姿势左右侧RULA分析,由评估可知,安装人员的手腕、手臂、

腿部和颈部评分均较高,说明使用扭力扳手操作时手腕是易受伤点,可以采用保护器具来避免劳损和受伤;右前臂是另一处风险较高的部分,其肌肉负荷较大,负荷主要来源于扭力扳手的重量,可以采用将扭力扳手间歇悬挂,从而降低肌肉负荷;同时蹲立姿势对于腿部和腰部的负担也比较大,主要原因为该姿势长时间的动作,导致腰部和腿部容易劳损和受伤,可以结合调节工作时间或者作业间休息来降低该部位的风险。使用RULA分析改进后的操作姿势,如图5,结果表明脆弱部位的评估分数降低,可以证明优化改进的措施是行之有效的。

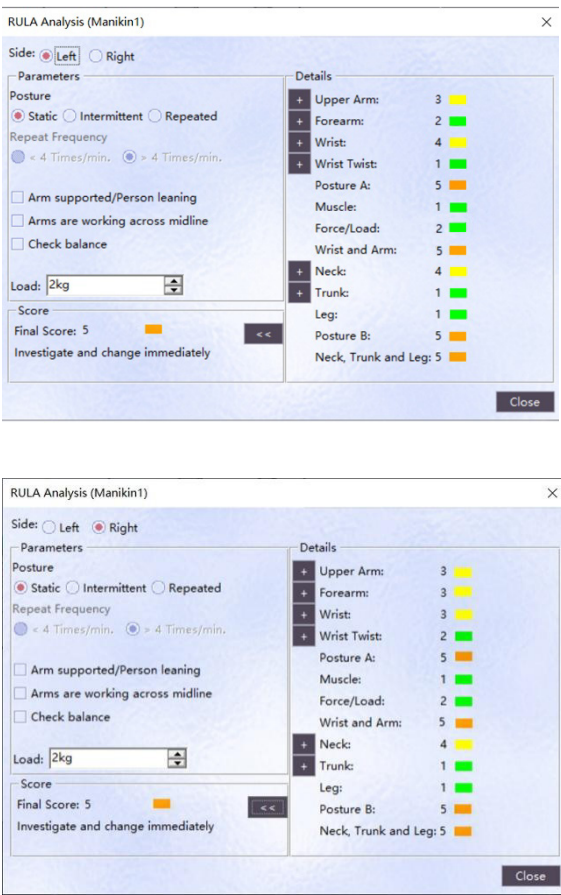


图5 应用改进措施后预测RULA分析结果

4 结语

本文针对船用脱硫塔安装作业这一复杂空间内的人工作业,使用CATIA V5软件对船用脱硫塔及其分段模型进行搭建,然后加入人体模型并摆出对应的作业姿势;评估了站立安装、蹲立安装和蹲坐安装三种作业姿势,最终经优化与验证后可形成易伤风险警示与预防、

零部件障碍物设计修正建议等成果。希望本文的相关探讨能够为脱硫塔安装工作人员提供一个更安全舒适的工作环境。

参考文献:

[1] 李燕. 基于人因工程的船舶管系虚拟装配路径优化技术研究[D]. 东北大学,2008.

[2] Levanon Y, Lerman Y, Gefen A, et al. Validity of the modified RULA for computer workers and reliability of one observation compared to six[J]. Ergonomics, 2014, 57(12): 1—8.

[3] Robertson M, Iii B C A, Derango K, et al. The effects of an office ergonomics training and chair intervention on worker knowledge, behavior and musculoskeletal risk[J]. Applied Ergonomics, 2009, 40(1): 124—135.

[4] 刘哲. 基于快速上肢评估(RULA)法对某口罩生产工人因工程学的风险分析[J]. 职业卫生与应急救援,2016,34(05):362—365+380.DOI:10.16369/j.oher.issn.1007—1326.2016.05.003.

[5] 王春雨, 杨振, 胡小才, 蒋祖华. 海水总管螺栓组拆卸作业人因仿真与分析[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版),2020,38(06):46—52+67.

[6] 刘哲. 基于快速上肢评估(RULA)法对某口罩生产工人因工程学的风险分析[J]. 职业卫生与应急救援, 2016, 34(5): 362—365.

