

基于 Solidworks 受力分析的内伸缩臂反变形设计

景云龙, 姬长志

河北景隆智能装备股份有限公司, 河北 廊坊 065399

摘 要 : 随着油田修井自动化作业的发展, 传统的猫道机能够做到机械化施工作业, 在一定程度上降低了劳动强度, 由于其自身结构原因, 无法保证在自动化作业时的有限次作业精度, 因此高可靠性、高精度的自动化猫道机的内伸缩臂因运动过程受力情况变化, 借助 Solidworks 设计软件, 对内伸缩臂进行受力分析, 并根据受力变形情况进行反变形优化设计, 使伸缩臂满足使用要求。

关 键 词 : 内伸缩臂; 反变形; 受力分析

Design of Anti-Deformation for Inner Telescopic Boom based on Solidworks Force Analysis

Jing Yunlong, Ji Changzhi

Hebei Jinglong Intelligent Equipment Co., Ltd. Langfang, Hebei 065399

Abstract : With the development of oilfield workover automation, the traditional catwalk machine can achieve mechanized construction operations, which reduces the labor intensity to a certain extent, and can not guarantee the accuracy of the limited operation times in the automatic operation due to its own structural reasons, so the internal telescopic arm of the automatic catwalk machine with high reliability and high precision changes due to the force change in the motion process, with the help of Solidworks design software, the internal telescopic arm is analyzed by force, and the reverse deformation optimization design is carried out according to the force deformation. Make the telescopic arm meet the requirements of use.

Keywords : internal telescopic arm; reverse deformation; force analysis

修井作业是保证油水井正常生产的重要手段, 但由于修井作业施工过程中存在大量动静态危险点源, 使得修井作业工成为石油系统中危险系数较高的工种。近几年, 随着自动化技术的不断发展, 自动上管机、井口自动化机器人、二层台机械手等自动化设备的逐步试验应用, 在减少操作人员数量降低生产安全事故发生的几率, 同时还能有效降低操作人员的工作强度, 可有效避免因疲劳等造成的操作失误, 在一定程度上避免了事故的发生。因此自动化修井机器人成为了近几年修井作业设备发展的重点^[1-5]。

目前, 作业中常用的猫道机能够完成管柱的基本转运作业, 降低了劳动强度, 相比原有的人工上下管柱前进了一大步^[6-10]。整个过程中, 平台上需要人工确认猫道机上管时, 管柱是否到达预定位置, 存在配合风险隐患。原有的猫道机, 结构相对简单, 管柱伸缩、转运通过猫道机 V 型伸缩架伸缩、翻转实现。由于是手动人工配合作业, 所以对猫道机送管精度没有要求, 整个猫道机属于一般精度等级设备。

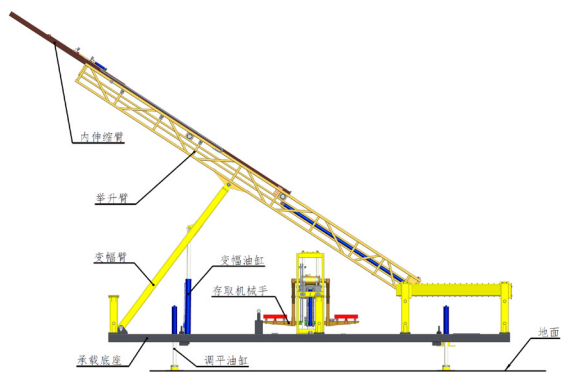
随着国家对安全生产的要求越来越高, 高风险作业区域的作业人员急需转移至低风险作业区, 因此带压作业平台无人化作为新的课题急需解决。

辅助式带压作业自动化装置是在原有辅助式带压作业机主机的基础上, 将上工作平台上的操控转移至地面操控室, 将原来人工手动液压钳更换为自动液压钳, 同时增加扶正对中机械手、导向自动液压吊卡。通过更换这些自动装备, 完成正常管柱起下作业时工作平台无人化, 大幅提高人员作业安全性。

自动化猫道机是专为辅助式带压作业机配置的自动化上管装备。因为是自动化作业, 要求各衔接点必须固定, 定位精度要求高, 因此原有猫道机的结构需要进行优化, 包括伸缩臂自身结构、运管方式等。关键在于自动猫道机的精度控制。原有的翻转取送管柱方式会对猫道机本身产生冲击, 经过有限次冲击后, 猫道机本身定位精度将不再满足自动化作业需求。同时, 滑动伸缩臂的本身精度不足, 滑动间隙随着有限次的作业会增大, 也影响最终的精度控制。

作者简介: 景云龙 (1986.01-), 男, 汉族, 专科, 黑龙江绥化人, 助理工程师, 从事机电一体化设计与研究。

一、猫道机总体方案



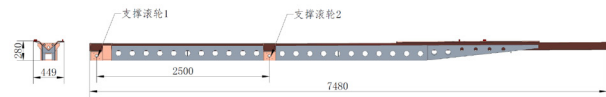
> 图1 自动猫道机方案图

从总体方案图中可以看出，自动猫道机由承载底座、变幅臂、举升臂、内伸缩臂及存取机械手组成。承载底座为框架式结构，配置多点调平油缸，用以适用不同井口的高度调整。变幅臂、举升臂均为框架桁架结构，自重轻，刚性大，通过变幅油缸组成稳定的三角支撑结构。内伸缩臂上设置多组滚轮，通过倍速伸缩机构在举升臂内沿固定轨道滚动。开始工作前，根据井场场地情况，布置好猫道机位置，根据井口高度及井架上工作平台高度，调整调平升降油缸，使承载底座处于水平状态并与上工作平台的距离达到设计值，这样才能保证每次重复变幅起升后，举升臂处于同一位置要求。

二、伸缩臂的结构及反变形设计

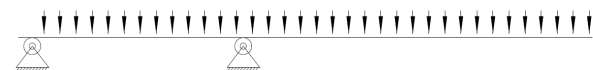
由于运送的管柱直径范围是60mm~89mm，长度范围是8500mm~12000mm，单根重量约150kg~300kg，根据运送管柱长度及整体布置所需，伸缩臂除了能够将管柱送至井口预设位置，还应能最长伸缩至距井口中心最小200mm范围内，因此要求伸缩臂伸缩范围应能覆盖工作管长度范围，即伸缩臂自身长度不能大于7500mm，伸缩臂滑动行程应不小于6000mm。

考虑到作业机本身高度约6m~7m，设定变幅臂起升最大角度为 $33 \pm 0.5^\circ$ ，内伸缩臂行程为6180，臂长7480，设置两组滚轮沿变幅臂内滑道滑动。两组滚轮间距2500mm。结构示意图如下：



> 图2 内伸缩臂结构示意图

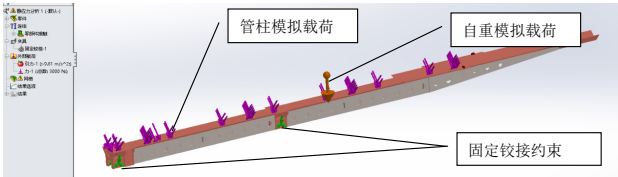
从结构示意图上可以看出内伸缩臂的整体结构为细长杆结构，根据总体结构外形尺寸及伸缩行程综合考量，设定两支撑滚轮间距为2500mm。两组支撑滚轮共同支撑内伸缩臂，内伸缩臂在V型槽内为管柱承载区域。内伸缩臂自身受力分析图如下：



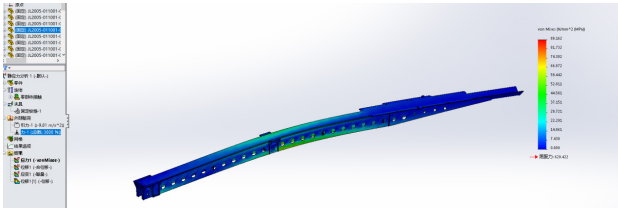
> 图3 内伸缩臂自身受力分析图

从内伸缩臂的受力分析图中可以看出，内伸缩臂为长梁的悬臂受力结构，V型槽内承载管柱均布载荷，两支撑点在静止不动时可看做为固定铰支点。内伸缩臂在保证本身强度的前提下，整体刚性同样重要指标。理想状态是在内伸缩臂内存放管柱后，在变幅臂水平状态是，内伸缩臂与管柱均能处于一个水平状态。

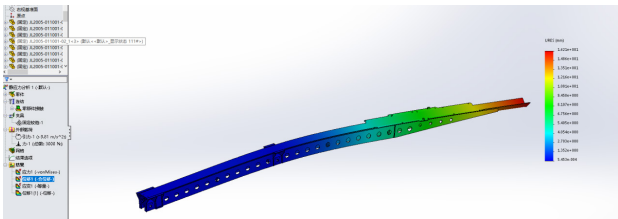
根据设计方案，采用SolidWorks建模后，利用SolidWorks自带的力学分析模块进行静力学分析（图4静力学约束及载荷图），得到未进行反变形设计的内伸缩臂受力情况（应力图）及变形情况（变形图）。



> 图4 静力学约束及载荷图



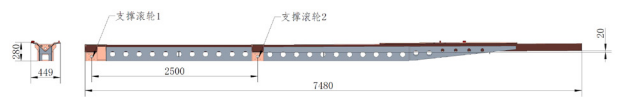
> 图5 应力云图



> 图6 合位移云图

从应力云图上看，整体结构强度没有问题，采用低碳钢即可满足强度要求。从合位移云图上看，内伸缩臂头部在满载状态下，下沉16.2mm左右，此情况下的变形已经超出了安全使用范围，因此在设计内伸缩臂时，应考虑采用预先反变形手段，使悬臂长梁在焊接成型时预先向相反方向变形一定量，抵消正常工作时产生的变形量。

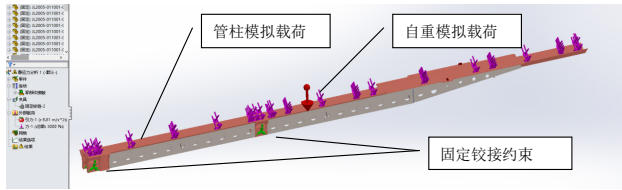
为保证内伸缩臂在水平位置满载状态时还能处于水平状态，设计时采用反变形设计，即预先将内伸缩臂头部抬高一定高度，使内伸缩臂在焊接成型时达到图7所示尺寸要求。



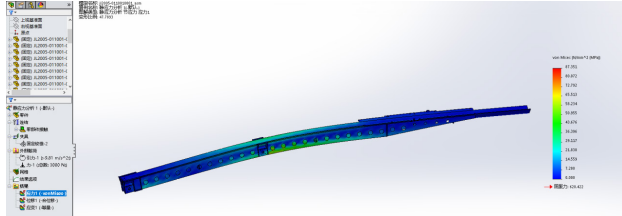
> 图7 内伸缩臂结构示意图 - 反变形设计

从应力云图看，反变形后，应力基本没有变化；从合位移云图看，反变形后的位移趋向变好，符合优化目的，多次进行重复优化计算，得出最优预先反变形量。

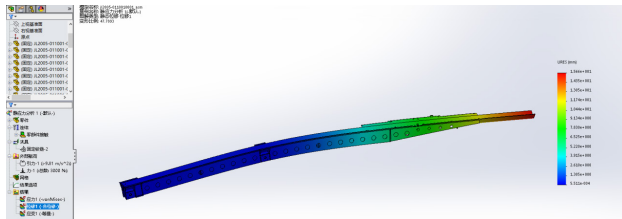
采用同样相同力学分析软件及边界条件，得出反变形设计后的应力云图及合位移云图如下：



> 图8 反变形的静力学约束及载荷图



> 图9 反变形的应力云图



> 图10 反变形的合位移云图

三、结论

自动化猫道机是一款新型的油田修井自动化作业装备，内伸缩臂的滑动移动方式改为滚轮滚动方式，降低了滑动摩擦的有限次精度不足风险，同时采用反变形设计内伸缩臂，伸缩臂在工作时能够精准作业，使自动运管处于更加安全的工作状态。

通过样机试制验证，方案设计合理，样机经工业性试验验证，基本达到设计的预期目标。

参考文献

[1] 卢云霄. 胡尊敬. 李勇等. 带压作业工艺技术的研究及应用 [J]. 石化技术, 2019, 26(12): 283-284.

[2] 张旭. 不压井带压作业现状与发展浅析 [J]. 科学技术创新, 2017 (25): 5-6.

[3] 杨贵兴. 王松麟. 张艳红. 李忠华等. 带压作业技术研究与应 [J]. 石油机械, 2011 (S1): 71-73.

[4] 于大伟. 带压作业装备的过去、现在与未来 [J]. 石油和化工设备, 2019, 22(02): 49-51.

[5] 杨玉龙. 毛恒博. 焦少举. 邹俐俨. 油水井修井作业工艺技术研究 [J]. 石化技术, 2023, 30 (04): 95-97.

[6] 崔海朋. 猫道机结构及功能分析 [J]. 机电工程技术, 2018, 47 (11): 139-141;

[7] 李进付. 董怀荣. 海洋平台动力猫道机仿真分析与优化设计 [J]. 中外能源, 2023, 28(S1): 44-53.

[8] 牛文杰. 白永涛. 余炎群等. 自动化智能液压修井机结构设计 [J]. 石油钻采工艺, 2016 (02): 68-73.

[8] 孟森林. 自动化修井机现状及发展趋势 [J]. 石化技术, 2019 (07): 11-12.

[9] 宋辉辉. 油管机械化输送机排放装置研究与应用 [J]. 钻采工艺, 2016 (03): 87-90+135.