

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.06.012

焊接机械臂结构设计及关键部件强度分析

郑 瞰¹, 陈栋栋², 强 华¹, 李 根¹

(1. 浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014; 2. 浙江省特种设备检验研究所, 浙江 杭州 310015)

摘 要:以自主研发用于工业中常见的相贯线焊缝焊接的机器人为目标,根据所需机械臂性能及结构要求,确定机械臂总体设计方案及各个机构形式。运用三维软件 SolidWorks 实现机械臂整体结构的实体建模。分析机器人在其运动范围内的极限工况,运用有限元软件 ANSYS Workbench 完成对其关键部件(基座,大臂,小臂)的有限元静态分析,验证了所设计机器人结构的可靠性,能够满足任务精度要求,为机械臂的样机制作提供了理论依据。

关 键 词:焊接机器人;实体建模;极限工况;有限元静力分析

中图分类号: TG409

文献标志码: A

文章编号: 1005-2895(2014)06-0048-05

Welding Robot Design Based on Special Seam and Strength Analysis for Key Components

ZHENG Tun¹, CHEN Dongdong², QIANG Hua¹, LI Gen¹

(1. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2. Zhejiang Provincial Special Equipment Inspection and Research Institute, Hangzhou 310015, China)

Abstract: To the aim of the independent research and development of welding robot based on special seam, established the system scheme and various structure according to the performance and structure requirement of robot. Set up physical model and whole structure of the robot by SolidWorks. Analyzed robots limit working conditions of its motion range, completed the key component finite element static analysis by ANSYS Workbench, proved that the design was reliable, scientific and rational, provided theoretical basis for actual processing of welding robot.

Key words: welding robot; physical modeling; limit working conditions; finite element static analysis

工业机器人具有灵活、智能化、可重复性、独立性等一系列优点^[1]。焊接机器人作为工业机器人的重要成员,在工业生产中代替工人完成恶劣环境下的焊接任务,显著提高了焊接质量和工作效率,降低了作业风险、生产成本和对工人操作技术的要求。在过去30余年里,工业自动焊接已在土木建筑、汽车零部件生产、电子电器等领域得到广泛的应用,据不完全统计表明,世界上已有100多万台工业机器人用于工业生产制造,焊接机器人更是占据其中35%以上^[2-3]。国外工业机器人技术起步于20世纪60年代,如今技术已日趋成熟,工业机器人已经成为一种标准设备广泛投入工业应用,无论是技术水平上还是市场装备的份额上,主要集中在以日本和美国为代表的少数几个发

达国家的工业机器人企业^[4]。我国工业机器人技术的研究起步于20世纪80年代,经过引进、消化到自行研制的曲折发展过程,目前我国机器人的通用化程度低,成本较高,可靠性不稳定,与世界强国存在较大的差距。据统计,我国现有工业机器人设备有90%以上依赖进口,所以迫切需要对机器人关键技术进行攻关,积极推进国产工业机器人发展的进程,自主研发高可靠性的国产工业机器人势在必行^[5]。

关节式工业机器人的强度对其定位精度及动态特性具有显著的影响,在工业机器人设计制造过程中对其关键承载部件的强度分析是重要的设计内容。论文针对工业中常见的焊缝形式确定焊接机器人的总体设计方案,对机器人进行结构设计,并利用有限元分析软

收稿日期:2014-02-25;修回日期:2014-03-04

作者简介:郑瞰(1991),男,甘肃定西人,硕士研究生,主要研究方向为焊接机械臂结构设计与动力学分析。E-mail: amazingzt@163.com

件 ANSYS Workbench 对机器人关键部件进行强度校核,分析机器人关键部件在极限工况下的应力分布和结构变形,提高其机械结构设计的合理性,可靠性和科学性^[6]。

1 焊接机器人的总体设计方案及结构

针对在工业中普遍存在的空间直线焊缝及多种接管焊缝,研发一种空间直线焊接及接管焊接专用机械臂,主要用于空间直线钢板焊缝及钢管相交的相贯线焊缝的焊接作业,其中空间直线焊缝的焊接能力目标参数 $L = 200 \text{ mm}$,相贯线焊缝如图 1 所示,焊接能力的目标设计参数为: $D = 10 \sim 200 \text{ mm}$, $d = 100 \sim 200 \text{ mm}$, $\theta = 45^\circ \sim 90^\circ$ 。初步确定焊接机器人重复定位精度为 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 。

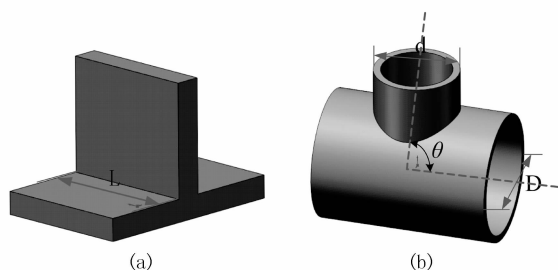


图 1 焊接对象

Figure 1 Welding object

由于针对特定的焊接对象,需要 3 个自由度确定焊枪的空间位置,由于焊枪存在对称轴线,焊枪绕焊丝对称轴线的旋转与任务的执行无关,故焊枪的姿态只需 2 个自由度,则焊接机器人总共只需要 5 个自由度,即可完成焊接任务,其结构原理方案如图 2 所示。该结构形式具有结构紧凑,所占空间体积小,相对工作空间大的优点。

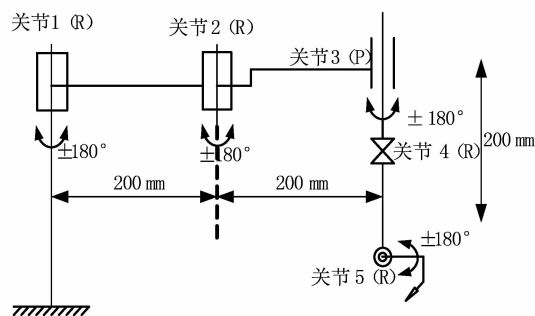


图 2 五自由度焊接机械臂原理方案

Figure 2 Program of 5-DOF welding robot

机器人的实体模型如图 3 所示,包括基座、机械臂大臂、机械臂小臂、立轴等部件。其中基座上设置有竖轴,在竖轴上设置有可绕其转动的机械手大臂,在机械

手大臂的外端部铰接一机械手小臂,在机械手小臂的外端部设置有一升降立轴,在立轴内设置可旋转的内转轴,在内转轴的下端部铰接有焊枪头,机械手大小臂和内转轴的转动、升降立轴的升降及焊枪头的摆动均通过各自独立设置的电机带动,并有相应测量反馈装置测量其转动角度及升降位移信号,通过控制器控制各电机的转动以带动机械手大臂、小臂、立轴和焊枪头的动作。

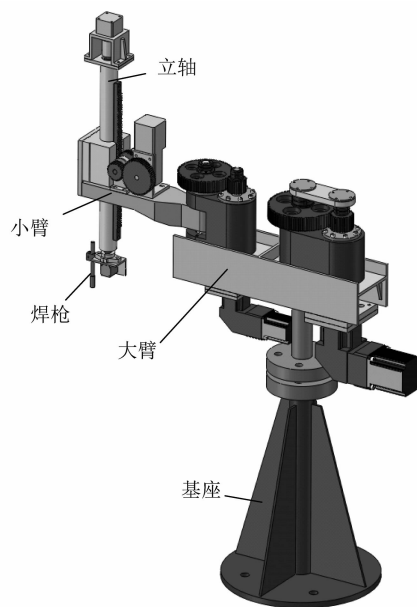


图 3 五自由度焊接机械臂模型

Figure 3 Physical modeling of 5-DOF welding robot

2 焊接机械臂极限工况分析^[7]

对焊接机械臂进行静力分析时,选取其在整个运动空间内受力最大,变形最大的工况进行验证。当焊接机器人大小臂向外伸展,处于一条直线时,其重心位置距离固定基座最远,各个臂均处于受力最大的极限状态,确定其为分析工况。简化机器人受力如图 4 所示,设机器人基座、大臂、小臂、立轴的重力分别为 G_0 , G_1 , G_2 , G_3 。

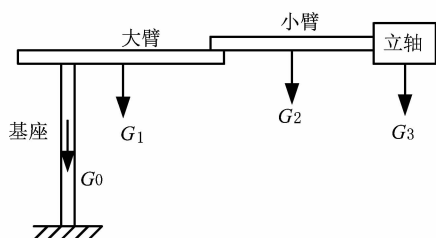


图 4 机械臂载荷工况计算模型

Figure 4 Welding robot load case model

2.1 基座载荷分析

基座是整台机械臂的重要承载部件,合理的基座结构是保证机械臂稳定运行的基础,基座的载荷分析如图5所示,其外载荷主要由2部分构成,第1部分是机械臂大小臂及升降立轴施加在基座上的自重 F 以及将力 F 等效平移到基座时,所施加的力矩 M ;第2部分为基座的自重 G_0 。

$$F = G = G_1 + G_2 + G_3, M = G \cdot L$$

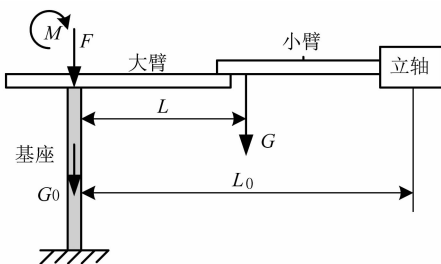


图5 基座载荷分析模型

Figure 5 Load case model of base

机械臂零部件重心位置及其自重通过 SolidWorks 质量属性测得,计算结果如表1所示。

表1 基座载荷

Table 1 Load of base

G/N	L/mm	F/N	$M/(N \cdot m)$
445	205	445	86.7

2.2 大臂载荷分析

大臂是焊接机械臂的主要回转运动机构,大臂的载荷主要由3部分构成,第1部分是大臂上的零部件对其施加的压力 F_1, F_2 ;第2部分是小臂压力等效平移到小臂上时产生的力矩 M_{11} ;第3部分为大臂的自重 G_1 。大臂的载荷计算模型如图6所示。

$$F_{z2} = G_2 + G_3, M_{11} = F_{z2} \cdot L_1$$

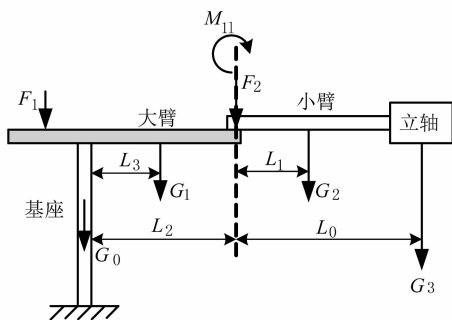


图6 大臂载荷计算模型

Figure 6 Load case model of big manipulator

载荷计算结果如表2所示。

表2 大臂载荷

Table 2 Load of big manipulator

F_1/N	F_2/N	$M_1/(N \cdot m)$	F_{z2}/N
155	168	13.3	86.7

2.3 小臂载荷分析

小臂也是机械臂的主要回转机构,其载荷主要由2部分组成,第1部分是小臂上零部件及升降立轴对其施加的压力 F_3 ;第2部分为小臂的自重 G_2 。小臂的载荷计算模型如图7所示,计算得到小臂载荷 $F_3 = 65 N$ 。

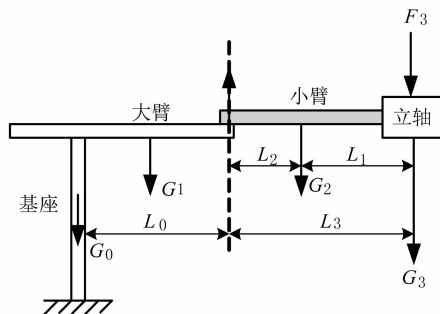


图7 小臂载荷模型

Figure 7 Load case model of little manipulator

3 机械臂关键部件有限元静态分析

主要承载部件为机械臂基座、大臂及小臂,其中基座结果较为规则,但大臂和小臂结果较为复杂,为了节省时间,各个部件将通过 SolidWorks 与 ANSYS Workbench 的接口将 CAD 模型导入 ANSYS Workbench 中。

在不影响整体计算精度的前提下,对分析模型进行简化,以提高分析效率,对极限工况下的载荷进行有限元等效处理^[8];忽略对焊接机械臂刚度性能及承载能力影响不大的螺钉孔,圆角等特征;不考虑温度等环境因素对分析的影响^[9]。将简化后基座、大臂、小臂的实体模型导入 ANSYS Workbench 进行网格划分,划分后的实体模型如图8所示,定义基座、大臂、小臂的材料属性如表3所示。

表3 材料详细信息

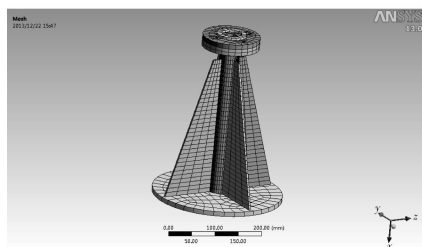
Table 3 Material details

部件	材料名称	弹性模量/GPa	泊松比
基座	Q235	206	0.3
大臂	Q235	206	0.3
小臂	45 钢	210	0.3

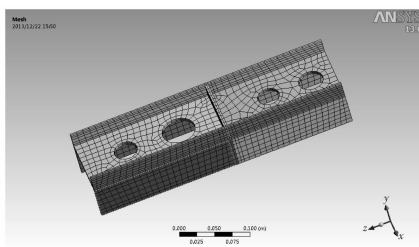
对关键零部件强度分析过程中,其零件自重通过 ANSYS Workbench 中施加模拟重力场功能添加,依据对基座、大臂、小臂的受力分析及其载荷计算结果,对其结构约束均为一端固定,另一端施加计算得到的反

力及弯矩进行有限元分析^[10-11],边界条件如图 9 所示。

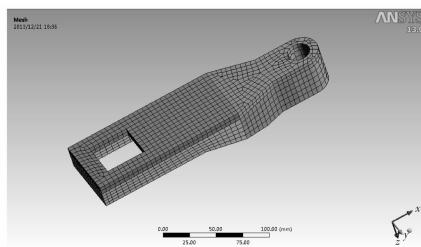
对各个零件简化进行网格划分后,施加对应的载荷及约束,得到基座、大臂和小臂的应力及变形云图如图 10 所示。



(a) 基座有限元模型



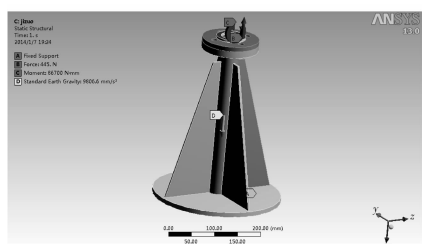
(b) 大臂有限元模型



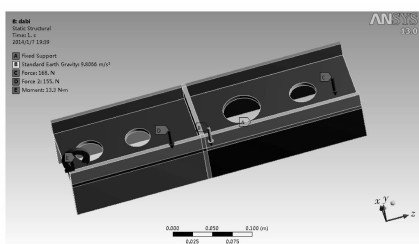
(c) 小臂有限元模型

图 8 关键部件有限元模型

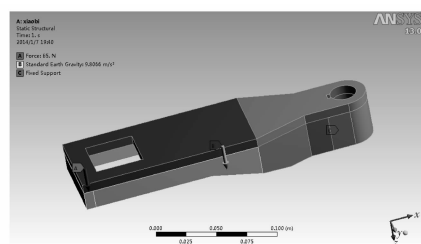
Figure 8 Finite element model of key components



(a) 基座边界条件



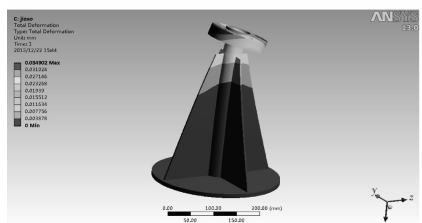
(b) 大臂边界条件



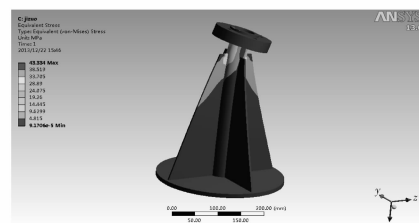
(c) 小臂边界条件

图 9 关键部件的边界条件

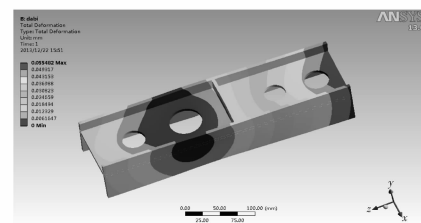
Figure 9 Boundary conditions of key components



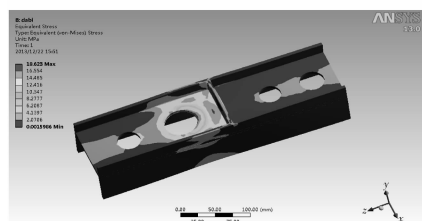
(a) 基座变形云图



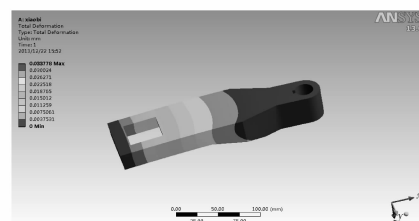
(b) 基座 von-Mises 应力云图



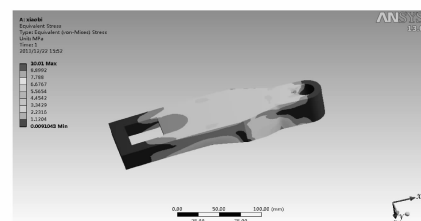
(c) 大臂变形云图



(d) 大臂 von-Mises 应力云图



(e) 小臂变形云图



(f) 小臂 von-Mises 应力云图

图 10 关键部件的应力及变形云图

Figure 10 Stress and deformation of key components

根据分析结果,得出各个部件的最大变形量及最大应力值如表 4 所示,基座、大臂及小臂材料采用 Q235 和 45 钢,其屈服极限约为 200 MPa,而分析结果表明各个零部件强度均远小于各个材料的屈服极限,

强度具有很大的安全系数,力学性能良好,且各个承载部件的最大变形量微小,对机械臂整体的定位精度影响也较小,说明本焊接机械臂结构合理,满足设计的精度要求。

表4 关键部件最大应力及最大变形量

Table 4 Maximum stress and maximum deformation of key components

部件	最大应力/MPa	最大变形量/mm
基座	43.3	0.035
大臂	18.6	0.055
小臂	10.0	0.034

4 结论

本文针对工业焊接中的特定相贯线焊缝,确定焊接机器人的原理方案,并对焊接机器人进行详细设计。在确定最终的机构设计基础上,为了校核所设计焊接机械臂的合理性,选取机械臂在工作空间内的的极限工况进行静力分析,采用 ANSYS Workbench 对机器人主要承载部件基座、大臂及小臂进行强度分析,获得了主要承载部件的应力及变形云图,结果表明所设计部件所需的强度及变形量均远小于机械臂的设计参数要求,验证了设计结构的合理性,为保证机器人在实际运动过程中满足任务精度要求提供了理论依据。同时,分析结果表明本焊接机械臂在结构上还有很大的优化空间,可以通过对零部件壁厚或结构形式的优化,使机械臂在具有良好力学性能的同时满足工业产品的经济性要求。

参考文献:

- [1] COMAN M, STAN S D, MANIC M, et al. Design, simulation and control in virtual reality of a RV-2AJ robot [J]. IEEE, Transactions on Industrial Electronics, 2009(35):2026-2031.
- [2] 周远清, 张道兴. 智能机器人系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 1989:15-16.
- [3] 孙明如. 日本焊接自动化和焊接机器人发展动态[J]. 工程机械, 2000, 31(1):31-32.
- [4] 刘大胜, 李庆杰, 曲道奎. 焊接机器人的发展现状与趋势[J]. 机械工人: 热加工, 2001(9):6-7.
- [5] 邓波. 复杂工况下专用焊接机器人运动控制的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
- [6] 马睿, 胡晓兵, 万晓东. 基于 ANSYS 的小型机器人小臂的有限元静态分析[J]. 机械设计与制造, 2012(9):4-7.
- [7] 杨国良. 工业机器人动力学仿真及有限元分析[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [8] 张松, 乔凤斌, 张华德, 等. 基于 ANSYS 的搅拌摩擦点焊机器人的有限元分析[J]. 机械传动, 2012, 36(3):81-83.
- [9] 刘思思, 张春雷. 基于 ANSYS 的工业机器人大臂有限元静态分析[J]. 中国西部科技, 2013, 12(9):45-58.
- [10] 张松, 乔凤斌, 赵维刚. 基于 ANSYS 的搅拌摩擦点焊机器人关键部件的分析与优化设计[J]. 制造业自动化, 2012, 34(3):8-14.
- [11] 欧阳兴. 仿人机器人有限元分析研究[D]. 北京: 清华大学, 2003.

[信息·简讯]

· 技术信息 ·

西门子推出全新一代智能逻辑控制器 Logo! 8

西门子在“2014 中国国际工业博览会”现场发布了新一代智能逻辑控制器 Logo! 8。该系列控制器将替代现有的 Logo! OBA6 和 Logo! OBA7 系列, 用于为工业及楼宇领域提供的小型自动化解决方案中。

- Logo! 8 推出 8 款全新的主机模块和相对应功能的扩展模块块;
- Logo! 8 集成了以太网接口和 Web server;
- 上一代产品的程序可轻松地移植到 Logo! 8 中继续使用。
- 对比上一代产品, Logo! 8 的操作更简单, 安装尺寸更小巧。

在 Logo! 8 的 8 款主机模块中, 不同电压类型的 4 款主机模块配有显示屏。显示屏可以清晰地识别信号颜色、操作信息, 并很少使用缩写词, 使消息文本与状态信息更加易读。全新的附加组件使 Logo! 8 主机模块得到更好的应用。此外, 还包括可以通过 SMS 和 GPS 进行通信的新模块, 可用于位置探测和报警、手机远程遥控或时间同步。借助集成的 Web server, Logo! 8 可以通过 WLAN 和互联网方便地进行监测和控制。Logo! 8 操作简单, 安装尺寸小, 数字量及模拟量 I/O 丰富, 具有较高的性价比。

(路艳艳)