

作者：浦兰娟

适用课程：工程力学、理论力学

机械臂关键部件静力学分析与结构优化

摘要：本案例来源于深圳市越疆科技有限公司“CR5 协作机械臂关节强度优化”研发项目，针对机械臂在负载 5kg 时连杆出现应力集中的问题，通过工程力学理论计算与有限元仿真结合的方式，定位关键原因并提出优化方案。案例覆盖受力分析、强度校核、仿真验证全流程，可直接用于《工程力学 C》中“弯曲强度”章节的教学，帮助学生掌握理论知识在工业机器人结构设计中的实际应用。

关键词：机械臂连杆；弯曲应力；有限元分析

一、背景介绍

深圳市越疆科技有限公司的 CR5 协作机械臂在量产前测试中发现，当末端执行器负载 5kg、手臂伸展至最大半径 300mm 时，前臂连杆与关节连接处出现应力集中（实测应力 210MPa），超过 6061 铝合金的许用应力（180MPa），存在结构断裂风险。该问题直接影响机械臂的工作安全性，需通过力学分析找到优化方案。

《工程力学 C》作为机器人工程专业的学科基础课，其“弯曲强度”章节的教学长期存在“理论计算与工程实践脱节”的问题。引入该真实项目案例，可让学生直观感受力学知识对解决企业实际问题的价值。

二、项目案例

（一）项目案例内容

1. 项目案例来源

本案例源自深圳市越疆科技有限公司“CR5 协作机械臂量产前结构可靠性验证”项目。该公司在 CR5 型号机械臂的极限工况测试中发现，当末端执行器负载 5kg（含夹具自重）、手臂伸展至最大工作半径 300mm 时，前臂连杆与关节轴承的连接处出现显著应力集中现象。经企业技术团队实测，该区域应力值达 210MPa，超出所使用 6061 铝合金材料的许用应力（180MPa），存在长期使用后结构断裂的风险，直接影响机械臂在精密装配、物料搬运等场景的安全应用。

2. 项目内容

选取越疆科技某型号机械臂的关键部件，如关节、连杆等，对其进行静力学和动力学分析。计算在不同载荷条件下的应力、应变分布，评估结构的强度和刚度；分析机械臂运动过程中的惯性力、驱动力等，研究其动态性能。

3. 工作流程

- (1) 收集机械臂的设计图纸和相关参数。
- (2) 建立机械臂的三维模型，利用有限元分析软件进行网格划分。
- (3) 设定边界条件和载荷工况，进行静力学分析。
- (4) 基于运动学方程，进行动力学分析。
- (5) 对分析结果进行评估，提出优化改进建议。

(二) 关键点

1. 知识点

掌握材料力学中的应力应变分析、强度理论；掌握理论力学中的静力学平衡方程、动力学方程；能够应用结构力学中的杆系结构分析方法解决实际问题。

2. 技能点

熟练使用有限元分析软件进行建模和分析；掌握数据处理和结果解读的能力；具备工程问题的分析和解决能力。

3. 态度点

培养严谨的科学态度、创新思维和团队合作精神。

（三）教学使用

1. 教学组织

将学生分组，每组负责机械臂的一个部分的力学分析。在教学过程中，教师引导学生深入理解工程力学的基本概念和原理，并将其应用于机械臂结构的分析中。同时，鼓励学生积极参与小组讨论和合作，共同解决问题。

2. 过程设计

（1）课堂讲解工程力学的基本理论和方法，介绍机械臂的结构和工作原理。

（2）指导学生使用软件进行建模和分析，让学生亲身体验工程力学在实际中的应用。

（3）组织小组讨论，学生分享各自的分析结果和经验，促进学生之间的交流和学习。

（4）教师对学生的分析结果进行点评和总结，帮助学生进一步理解和掌握工程力学知识。

3. 考核方法

（1）小组报告：包括分析过程、结果和结论，考查学生的团队合作和问题解决能力。

（2）个人作业：回答与案例相关的理论问题，检验学生对工程力学知识的掌握程度。

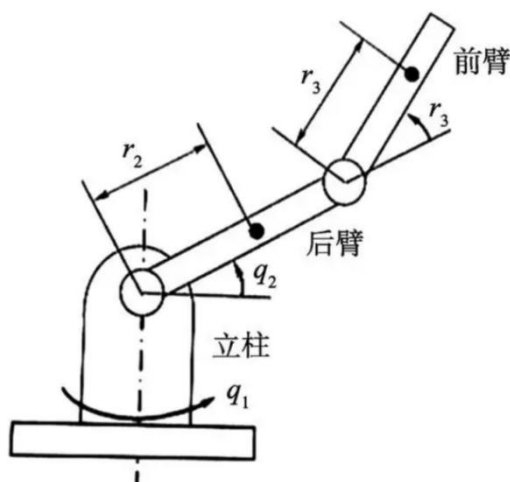
(3) 课堂表现：参与讨论、团队协作等情况，评估学生的学习态度和积极性。

(4) 实验操作：考核学生使用有限元分析软件的熟练程度和对实验结果的分析能力。

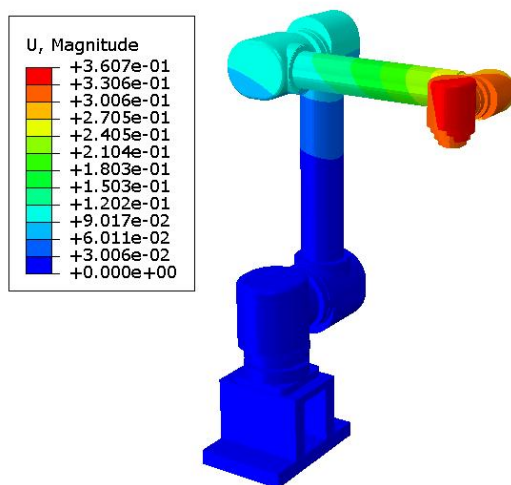
4. 教学效果

通过实际案例的分析，学生对工程力学的理论知识有了更深入地理解，提高了运用知识解决实际问题的能力，增强了团队合作意识。

(四) 其他相关说明和附件



机械臂结构示意图



有限元分析应力图