

# 机械装配系统可视化误差分析

杨东亚 龚俊 张瑾  
兰州理工大学 兰州 730050

**摘要:** 提出了一种机械装配系统误差分析的集成方法, 解决了常规误差分析的等价误差建模过程繁琐麻烦的问题, 提升了误差分析的自动化水平, 增强了误差分析的实用性。机械系统误差分析集成方法借鉴误差分析研究课题的成果, 并在常规 CAD/CAE 软件中集成新的功能模块, 以简化系统误差的建模及分析过程。算例表明, 该系统可实现误差分析过程的简洁、直观与实用。

**关键词:** 机械装配; 误差分析; 集成; 可视化

**中图分类号:** TH112.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0785 (2011) 03-0047-04

**Abstract:** The paper presents an integration method for error analysis of mechanical assembly system, overcomes the defects that the equivalence error modeling process in the normal error analysis is complicated and troublesome, improves the automatic level of the error analysis and strengthens the practicability of the error analysis. The integration method for error analysis of mechanical assembly system utilizes the achievements of the error analysis study subjects and integrates new functional modules in the conventional CAD/CAE software to make the modeling and analysis process of the system error simplified, visualized and practicable.

**Keywords:** mechanical assembly; error analysis; integration; visualization

## 0 前言

影响产品精度和可靠性的一个重要因素是产品公差, 目前产品公差的确定基本沿用传统方法, 即借助人工经验来确定。尽管近年来计算机辅助公差设计与分析 (CAT) 技术已经取得了一定成果, 但其距离真正实用还有一段距离, 究其原因误差分析方法与计算机技术的结合尚不完善,

即 CAT 的自动化水平不高<sup>[1-5]</sup>。

1) 误差分析的繁琐性。常规的误差分析手段为运用统计学方法, 按照各种可能的分布情况, 判断公差的累积作用结果, 最终判断产品的精度。其过程需进行大量的数据处理, 计算量很大。尽管可借助计算机完成, 但运算结果仍是 1 组组数据, 其可读性及直观性很差。

2) CAT 自动化程度不高。近年来所谓的 CAT

由表 1 可知, 挖装机工作装置各构件的最大复合应力均小于材料的许用应力, 强度满足起重设计规范 (GB 3811-2008) 要求。

## 5 结论

1) 经过有限元分析, 该挖装机的工作装置各构件结构应力值均低于许用值, 部分构件应力富余量较大, 可以进一步优化;

2) 基于 Pro/E 软件和 Ansys 软件的接口技术进行复杂体的有限元分析, 可以有效简化结构分析过程, 缩短结构分析周期。

### 参考文献

[1] 唐经世. 两种挖装机简介 [J]. 建筑机械, 2001 (5).

《起重运输机械》, 2011 (3)

[2] 同济大学. 单斗液压挖掘机 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986.

[3] 丁杰, 荣智林. 基于 Pro/E 和 ANSYS 的变流器柜体结构分析 [J]. 变流技术与电力牵引, 2008 (2).

[4] GB 3811-2008. 起重设计规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[5] 高秀华, 王云超, 李国忠, 等. 金属结构 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

作者: 栗园园

地址: 成都西南交通大学机械学院机械工程研究所

邮编: 610031

收稿日期: 2010-08-30

技术系统集成性很低, 误差分析的自动化程度更低, 计算机只是充当了计算器的角色。提高 CAT 系统的集成化水平, 简化误差分析的步骤, 增加误差分析结果的可视化, 是当务之急。

针对上述缺陷, 本文提出机械装配系统误差分析的构建方法, 致力于简化误差分析过程, 提高误差分析的自动化水平。

## 1 尺寸链自动生成

现有误差分析方法的实现需要以正确的尺寸链为基础, 即首先需要得到尺寸链模型和方程, 然后基于尺寸链进行公差的分析与综合。尺寸链的生成需要较多的人机交互操作, 过程较复杂, 适应性不广。文献 [6] 所研发的三维装配尺寸链自动生成方法很好地解决了上述难题。该方法从定义装配性能特征入手, 首先对装配模型进行深层次的解析及预处理, 以获取隐含在模型内部的公差分析所需信息。然后利用图论理论, 通过构建特征—尺寸邻接矩阵、特征—装配约束关系邻接矩阵、装配关系传递图等, 将装配体中参与装配的零件和特征以及之间的装配约束关系、尺寸及形状等信息的传递过程以图形表达。最后将三维尺寸链分为显式和隐式 2 类, 对于显式尺寸链, 由装配关系传递图搜索连通通路, 可直接获取尺寸链图和方程。对于隐式尺寸链, 提出了尺寸方向差异度的概念、封闭环方向优先的搜索策略以及构建过渡尺寸链的方法, 最终可获取尺寸链图和方程。该方法已在自主开发的三维装配尺寸链自动生成系统中得到验证。

装配模型的解析采用逐层解析法, 从装配体顶层出发, 逐层解析装配体以获得装配约束关系。根据装配约束关系进行零件级解析, 获取特征及其草绘截面和尺寸, 并进行尺寸匹配处理, 可得到特征与尺寸的对应关系, 解析流程如图 1 所示。

基于上述三维装配尺寸链自动生成方法, 可获取图 2 所示空间曲柄滑块机构的尺寸链。三维装配尺寸链的自动生成对计算机辅助公差设计与分析的实用化具有重要意义, 为计算机辅助公差设计和分析的进一步开展和实际应用提供了基础工具<sup>[7]</sup>。

## 2 可视化误差分析

尺寸链的自动生成大大简化了误差分析前期

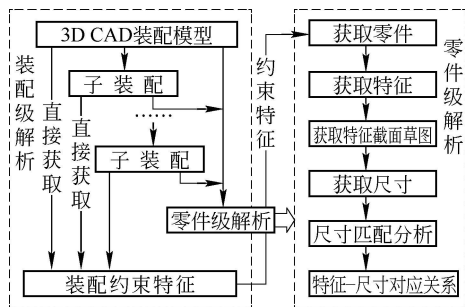
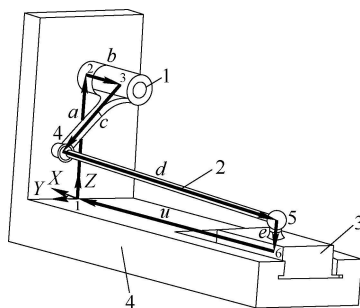


图 1 装配模型解析方法



1. 曲柄 2. 连杆 3. 滑块 4. 机架

图 2 曲柄连杆机构尺寸链

的预处理过程, 尺寸链的准确生成亦为误差分析的准确性奠定了基础。基于上述所生成的尺寸链, 运用误差因素等价替换理论, 考虑各种误差因素, 对机械装配系统予以等价建模, 以获取其等价模型 (EVM), 从而实现 CAT。

### 2.1 EVM 构建

研究<sup>[8,9]</sup>表明, 线性规划法架起了运动分析到误差分析的桥梁——运用运动分析灵敏度实现误差分析 (TAKS)。在机构的运动解析法分析过程中, 通过构建运动节点间的尺寸链环路, 将输入运动 (已知条件) 转化为对应向量的位置参数, 从而求取其向量的位置及姿态, 实现运动分析。由此得到启发: 在机构误差分析过程中, 将所列的尺寸链回路中具有误差的各向量也作为自变量处理, 进行运动分析, 这充分考虑了误差因素, 实现了机构误差分析。

构建 EVM 的关键是对各种误差因素予以等价替换, 即等价替换装配中的尺寸/角度误差。用滑动副替代长度误差, 用转动副替代角度误差<sup>[10]</sup>, 如图 3 所示。替代误差的运动副的加入并不能取代模型中原有的运动副连接。运用上述误差等价

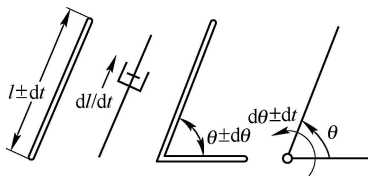
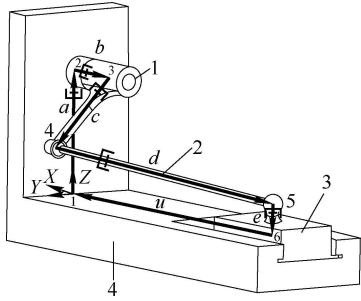


图 3 误差因素的等价替换

替换方法, 可构建图 2 所示机械装配系统的 EVM, 如图 4 所示。



1. 曲柄 2. 连杆 3. 滑块 4. 机架

图 4 曲柄连杆机构的 EVM

## 2.2 可视化输出

将上述构建的 EVM 输入常用的运动学分析软件 (如 ADAMS) 中即可进行误差分析。机械装配系统误差分析的目的在于获取各个误差因素对系统性能的影响力, 找出关键因素以对其进行优化, 从而实现机械产品精度设计的精准化。各个误差因素对系统性能的影响力可通过其灵敏度予以衡量, 即影响力越强则其灵敏度越大。而常规误差分析方法中各误差因素的灵敏度皆以矩阵的形式输出, 并且系统越复杂其输出矩阵越庞大, 为设计者带来不便。且数据本身不具直观性, 相对于图像其弊端更大。对于精度设计者, 只需明确关键误差因素, 而其灵敏度的数值并不是关注的焦点。由此得到启发: 用图像替代数据, 用颜色的深浅冷暖显示各误差因素的灵敏度大小<sup>[11]</sup>。实现方法简单, 只需在误差分析软件中嵌入 1 个小程序, 将误差分析结果 (灵敏度矩阵) 转化成图像输出即可<sup>[11, 12]</sup>。规定: 灵敏度愈大, 其颜色越深并显眼; 灵敏度越小, 其颜色越浅。以图 4 所示的曲柄连杆机构为例, 对  $u$  而言, 误差因素  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  和  $e$  的灵敏度输出如图 5 所示。

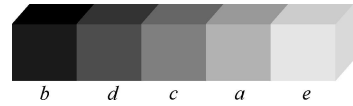


图 5 可视化输出

## 3 结论

1) 三维装配尺寸链的自动生成对计算机辅助公差设计与分析的实用化具有重要意义。可在 Pro/E 上二次开发三维装配尺寸链自动生成系统, 为计算机辅助公差设计和分析的进一步开展和实际应用提供基础工具。

2) 基于等价替换理论, 在自动生成的尺寸链中对各误差因素予以建模, 从而构建机械装配系统等价误差模型, 再借助常规运动分析软件实现误差分析。对分析结果以图像输出替代繁杂的数据, 以提高误差分析的可视化, 增强设计人员对关键因素的感性认知。

3) 实例分析结果证明该误差分析系统具有很好的可操作性。下一步的研究将致力于系统的高度集成化及自动化水平 (重点考虑各种误差因素的复杂机械装配系统 EVM 的自动生成), 以期进一步简化误差分析过程, 提高该误差分析系统的实用性。

### 参考文献

- [1] 师忠秀, 杨倩, 程强. 连杆机构误差分析与综合的研究现状与发展 [J]. 青岛大学学报: 工程技术版, 2004, 19 (3): 53-58.
- [2] 徐武彬, 马志, 尹辉俊. 传动件误差的计算机仿真与分析 [J]. 现代制造工程, 2004 (6): 75-78.
- [3] 余晓流, 赵明扬, 王洪光, 等. 并联机床平面约束机构误差分析与建模 [J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2001, 22 (1): 32-35.
- [4] 刘丽冰, 王广彦, 刘又午. 复杂机械系统运动误差自动建模技术研究 [J]. 中国机械工程, 2000, 11 (6): 642-647.
- [5] 粟时平, 李圣怡. 基于多体系统运动学理论的坐标测量机误差自动建模 [J]. 机械设计与制造, 2002 (4): 63-65.
- [6] 王恒, 宁汝新, 唐承统. 三维装配尺寸链的自动生成 [J]. 机械工程学报, 2005 (6): 181-187.
- [7] 张宇, 杨慕升, 李晓沛. 面向质量目标的尺寸链和统计公差设计方法 [J]. 机械工程学报, 2007 (4): 1-6.

# 基于 RecurDyn的 4自由度液压机器人的动力学建模研究

侯敬巍

吉林大学 长春 130025

**摘要:** 为了全面分析 4 自由度液压机器人的综合性能, 提出了基于数字化虚拟样机 RecurDyn 的仿真方法。以 1 台试验性 4 自由度液压机器人为对象, 系统研究机器人的运动学特征。在 RecurDyn 中导入由 CATIA 建立的几何模型进行动力学的仿真分析, 并通过 Matlab 对运动学和动力学进行数学建模计算来验证 RecurDyn 的正确性。该研究方法从系统的角度对 4 自由度液压机器人的性能进行了综合评估, 提高了产品的开发速度和精度, 降低了开发成本。

**关键词:** 机器人; RecurDyn; 动力学建模; Matlab

**中图分类号:** TP242 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0785 (2011) 03-0050-04

**Abstract:** In order to comprehensively analyze the overall performance of the 4 DOF (degree of freedom) hydraulic robots, the paper proposes the simulation method based on digital virtual prototype RecurDyn, and systematically studies robot kinematics features by taking one experimental 4 DOF hydraulic robot as an object. The paper conducts dynamics simulation analysis via importing the geometric model established by CATIA into RecurDyn, and verifies the correctness of RecurDyn through the kinematics and dynamics mathematical modeling calculations. The research method applies comprehensive evaluation to the performance of the 4 DOF hydraulic robots, improving product development speed and accuracy while reducing the development costs.

**Keywords:** robot; RecurDyn; dynamics modeling; Matlab

## 0 前言

传统的物理样机开发模式存在开发周期长、成本高、修改困难等问题。应用数学建模研究方法能有效地克服传统物理样机开发模式的缺陷, 加快产品开发速度, 节约开发成本, 为全系统、全性能地设计、评价产品提供了一种有效的手

段<sup>[1,2]</sup>。4 自由度液压机器人是功能最典型、结构最复杂、用途最广泛的工程机械之一, 作为工程机械的代表产品, 它在工业与民用建筑、交通运输、水利电力工程、矿山采掘以及军事工程等施工中起着极为重要的作用。实践表明, 定点工作是 4 自由度液压机器人最常见和最频繁的工作方式之一, 主要由其工作装置完成。工作装置的结

[8] 杨东亚, 龚俊, 强建国, 等. 实现机构尺寸误差分析的线性规划法研究 [J]. 现代制造工程, 2009 (6): 65-67.

[9] 谢小正, 杨东亚, 强建国, 等. 基于运动连接的机构尺寸误差分析 [J]. 兰州理工大学学报, 2007, 33 (3): 46-49.

[10] 杨东亚, 龚俊. 三维机械装配误差的建模方法 [J]. 起重运输机械, 2010 (3): 48-50.

[11] Yang Dongya, Gong Jun. Visualization for Precision Design of Mechanical Assemblies [C]. Proc of the 20th International Conference on Production Research, 2009,

Shanghai, China.

[12] Yang Dongya, Gong Jun. A Comprehensive Tolerancing System for 3D Mechanical Assemblies [J]. Advanced Materials Research, 2010, 139-141, 1289-1293.

[13] 杨东亚, 王生泽. 应用 MATLAB 分析模块化机构运动 [J]. 现代制造工程, 2006 (2): 84, 85.

作者: 杨东亚

地址: 兰州理工大学机电学院

邮编: 730050

收稿日期: 2010-10-27