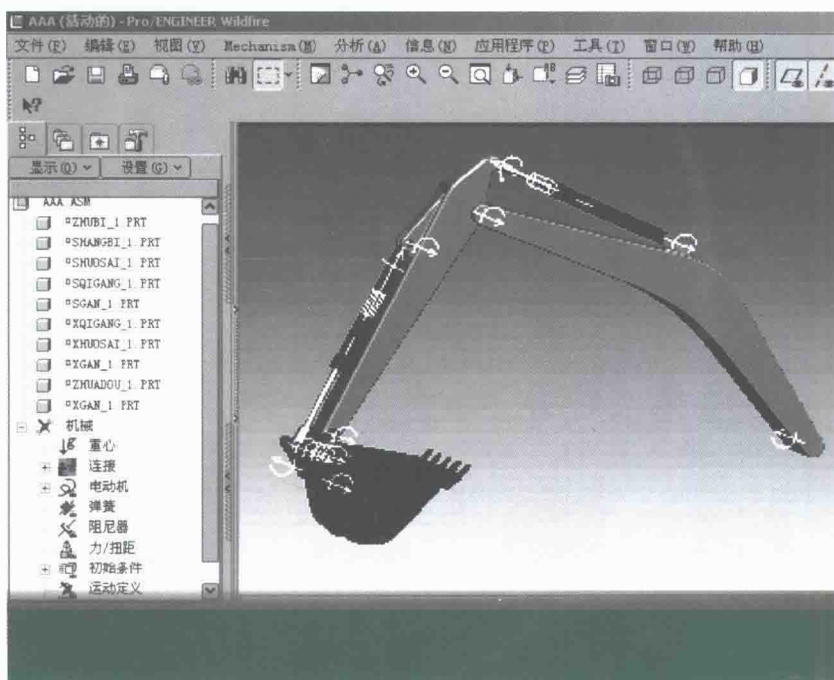


方建军 刘仕良 编著

附光盘

机械动态仿真与工程分析

—— Pro/ENGINEER Wildfire工程应用



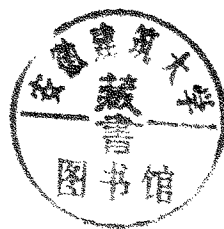
Chemical Industry Press

 化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

机械动态仿真与工程分析

——Pro/ENGINEER Wildfire 工程应用

方建军 刘仕良 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

机械动态仿真与工程分析——Pro/ENGINEER Wildfire 工程应用/方建军, 刘仕良编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 7

ISBN 7-5025-5864-0

I. 机… II. ①方… ②刘… III. ①机械-运动 (力学)-计算机仿真-应用软件, Pro/ENGINEER Wildfire
②有限元分析-应用软件, Pro/ENGINEER Wildfire
IV. ①TH113. 2②0241. 82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 077301 号

机械动态仿真与工程分析

——Pro/ENGINEER Wildfire 工程应用

方建军 刘仕良 编著

责任编辑: 任文斗 阎 敏

文字编辑: 云 雷

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行

工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 20 字数 494 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5864-0/TH·214

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

Pro/ENGINEER 是美国 PTC 公司研制的一套由设计到制造一体化的三维设计软件，是新一代的产品造型系统。Pro/ENGINEER 已经成为当今世界上拥有用户最多的三维软件，是全球 CAID/CAD/CAE/CAM/PDM 领域最具有代表性的著名软件。Pro/ENGINEER 总的设计思想体现了 MDA (Mechanical Design Automation) 软件的新发展，所采用的数据比其他 MDA 软件更具有优越性。Pro/ENGINEER 是一套由设计至生产的机械自动化软件，是一个参数化、基于特征的实体造型系统，并且具有单一的数据库功能。

Pro/ENGINEER Wildfire 是 PTC 公司推出的又一代新产品。同以前的版本相比，Pro/ENGINEER Wildfire 更是将三维设计软件无论从易用性、设计的高效率，还是功能的实用性都推向了一个新的顶点。如果您是一位结构或工程师，利用该软件，不但可建立零件模型，还可轻松建立部件、整机的装配模型，还可对设计的产品在计算机上预先进行动态、静态分析，装配干涉检验，甚至进行运动仿真，令您的设计不仅快速高效，而且天衣无缝，一次成功。

本书的作者根据自己多年应用 Pro/ENGINEER 进行工程设计所得的经验和技巧，同时兼顾 Pro/ENGINEER Wildfire 的新特点，从一个机械工程师的角度出发，由简入繁，由浅入深地介绍 Pro/ENGINEER Wildfire 的特征命令功能、操作方法和技巧。因此，无论您是 Pro/ENGINEER 的初学者，还是已经有一定操作经验的高级读者，都可以从本书中获益。

全书分为 8 章：第 1 章运动仿真技术，主要介绍了仿真技术的特点、运动仿真方案的规划以及 Pro/MECHANICA MOTION 模块的一些基本特点；第 2 章为机械零件三维造型，具体介绍了如何根据国家标准设计关节型机器人与挖掘机三维零部件的造型设计；第 3 章为装配，结合 Pro/ENGINEER Wildfire 的特点，将关节型机器人与挖掘机的三维零部件装配成整体模型；第 4 章为 Pro/MECHANICA 基础，主要介绍 Pro/MECHANICA 运行环境、结构分析模块在有限元分析中的应用方法；第 5 章为机构运动学分析，以机械行业中常用的四种类型：闭环机构、齿轮机构、滑槽机构以及多驱动器开环机构的仿真与分析为例，讲述如何运用 Pro/ENGINEER Wildfire 进行机构的运动学分析的全部过程；第 6 章为机构动力学分析，以凸轮-大刀机构为例，介绍了弹簧、阻尼器的添加方法以及机构的位移、速度和加速度的仿真与分析；第 7 章为有限元分析基础，介绍有限元建模以及 Pro/MECHANICA 有限元解题方法；第 8 章具体介绍平面应力和应变模型、薄壳模型以及模态分析、动态响应分析、动态频域分析、动态时域设计等方面的内容。

本书由方建军、刘仕良编著。另外，在本书的编写过程中，李凯、白传栋、李功一、齐晶、胡春江、曹默、闫红鹃、高佳慧、赖锡煌、张新宇、张虎、雷元斌、杨泽勇、肖琦、王思越、邢志敏、王俊冬、吕艳娜、侯艳丽、韩秀梅、李余江等同学参与了本书的编写和资料收集工作，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，加之时间仓促，本书虽经反复校验与修改，疏漏之处在所难免，诚望广大读者和同仁批评与赐教！

编者

2004 年 4 月于北京

内 容 提 要

本书结合具体产品实例，详略得当而通俗易懂的介绍了在机械动态仿真与工程分析中，如何应用 Pro/ENGINEER Wildfire 进行从零件到装配整机、机构运动仿真与工程分析的全过程。以六自由度关节型机器人和挖掘机为例，讲解三维造型装配，以两者为模型建立运动学仿真，特别是开环机构的运动仿真。对机构进行有限元分析，从开始就着手设计优化的结构。

本书内容翔实，针对性和可操作性强，十分适合于有一定 Pro/ENGINEER Wildfire 基础的机械类及工业设计类的在岗工程技术人员、工业设计爱好者以及在校大学生和研究生毕业设计的参考教材，也可作为技术工人在岗培训教材。

目 录

第 1 章 运动仿真技术	1
1.1 运动仿真技术概述	1
1.1.1 什么是运动分析模块	1
1.1.2 运动分析模块能执行何种类型的分析	1
1.1.3 如何创建运动分析方案	1
1.1.4 如何使一个机构运动起来	2
1.2 Pro/ENGINEER Wildfire 运动仿真的特点	2
1.3 Pro/MECHANICA MOTION 模块介绍	3
1.4 CAE 技术	4
1.5 配置文件的设置	6
 第 2 章 机械零件三维造型	17
2.1 Pro/ENGINEER Wildfire 工作界面	17
2.2 鼠标的使用	19
2.3 机器人零部件造型设计	20
2.3.1 机座	20
2.3.2 机座盖板	27
2.3.3 机身	29
2.3.4 转台	31
2.3.5 机械臂	33
2.3.6 夹持机构	38
2.4 挖掘机零部件造型设计	44
2.4.1 主臂	45
2.4.2 前臂	50
2.4.3 挖斗	53
2.4.4 旋转台	59
 第 3 章 装配	62
3.1 机器人装配	62
3.1.1 机座子装配	62
3.1.2 机器人总装配	69
3.2 挖掘机装配	78
3.2.1 主导向器装配	78
3.2.2 前导向器装配	80
3.2.3 总装配	81

第4章 Pro/MECHANICA 基础	93
4.1 Pro/MECHANICA 简介	93
4.1.1 结构分析	93
4.1.2 灵敏度分析	94
4.1.3 优化设计	95
4.2 Pro/MECHANICA 的安装	96
4.3 Pro/MECHANICA Structure 模块	98
4.3.1 Pro/MECHANICA Structure 模块的主要功能	98
4.3.2 Pro/MECHANICA Structure 的分析类型	98
4.3.3 Pro/MECHANICA Structure 的工作流程	99
4.3.4 收敛方式	100
4.4 Pro/MECHANICA 运动分析概述	101
4.5 Pro/MECHANICA 的工作模式	102
4.5.1 独立工作模式	102
4.5.2 集成工作模式	102
4.5.3 独立工作模式和集成工作模式的区别	104
第5章 机构运动学分析	105
5.1 运动仿真概述	105
5.1.1 运动仿真的特点	105
5.1.2 基本术语	105
5.2 机构连接方式	106
5.3 常用操作命令介绍	107
5.4 元件调整与参照选取	114
5.5 闭环机构仿真与分析	115
5.6 齿轮机构仿真与分析	124
5.6.1 装配齿轮机构	124
5.6.2 机构仿真	127
5.7 滑槽机构仿真与分析	135
5.7.1 发动机汽缸装配	135
5.7.2 机构仿真	140
5.8 多驱动器开环机构仿真与分析	146
5.8.1 挖掘机运动装配	146
5.8.2 机构仿真	158
第6章 机构动力学分析	171
6.1 动力学分析初始条件	171
6.1.1 设定机构	171
6.1.2 添加初始条件	172
6.2 定义质量和主体属性	172

6.2.1	定义质量属性	172
6.2.2	重定义主体	174
6.3	定义力和扭矩	174
6.4	定义重力加速度	175
6.5	创建弹簧和阻尼器	176
6.5.1	创建弹簧	176
6.5.2	创建阻尼器	176
6.6	凸轮大刀随动机构动力学分析	177
6.6.1	凸轮大刀机构装配	177
6.6.2	机构仿真	181
第7章	有限元分析基础	194
7.1	有限元分析概述	194
7.2	有限元解题的一般过程	195
7.3	建立有限元模型	195
7.4	Pro/MECHANICA 中有限元分析的工作流程	196
7.5	Pro/MECHANICA 环境下有限元分析实例	197
7.6	有限元分析中的载荷类型	204
7.6.1	点载荷	204
7.6.2	面载荷	205
7.6.3	压力载荷	209
7.7	有限元分析中的约束类型	212
7.7.1	点约束	213
7.7.2	圆周对称约束	214
7.7.3	用户自定义坐标系	216
7.8	有限元分析中材料特定参数	217
7.8.1	特性参数	217
7.8.2	添加材料	218
7.8.3	制作材料库	219
7.9	单元网格的划分	221
第8章	有限元分析	224
8.1	平面问题分析	224
8.1.1	平面应力模型	224
8.1.2	平面应变模型	234
8.2	薄壳模型	243
8.2.1	人工创建薄壳模型	243
8.2.2	实体模型分析	247
8.2.3	实体-薄壳模型	249
8.3	梁和刚架	252

8.3.1	梁坐标系	252
8.3.2	悬臂梁	253
8.3.3	分布载荷作用下的工字梁	258
8.3.4	刚架	264
8.4	模态分析	269
8.5	稳定性分析	274
8.6	动态响应分析	278
8.6.1	动态频域分析	278
8.6.2	动态时域分析	287
8.7	疲劳分析	291
8.7.1	材料的疲劳特性	292
8.7.2	疲劳载荷	293
8.7.3	疲劳分析实例	295
8.8	优化设计	300
8.8.1	灵敏度分析	300
8.8.2	优化设计	304

第 1 章 运动仿真技术

1.1 运动仿真技术概述

1.1.1 什么是运动分析模块

运动分析模块 (Scenario For Motion) 是 CAE (Computer Aided Engineering) 应用软件, 用于建立运动机构模型, 分析其运动规律。运动分析模块自动复制主模块的装配文件, 并建立一系列不同的运动分析方案。每个运动分析方案均可独立修改, 而不影响装配主模块, 一旦完成优化设计方案, 就可直接更新装配主模块以反映优化设计的结果。

1.1.2 运动分析模块能执行何种类型的分析

Pro/ENGINEER 运动分析模块可以进行机构的干涉分析, 跟踪零件的运动轨迹, 分析机构中零件的速度、加速度、作用力、反作用力和力矩等。运动分析模块的分析结果可以指导修改零件的结构设计 (加长或者缩短构件的力臂长度、修改凸轮型线、调整齿轮齿数比和中心距等) 或者调整零件的材料 (减轻或者加重或者增加硬度等)。设计的更改可以直接反映在装配主模型的复制品分析方案 (Scenario) 中, 再重新分析, 一旦确定优化的设计方案, 设计更改就可直接反映到装配主模型中。

1.1.3 如何创建运动分析方案

一般认为机构是由一组连接在一起的零部件的集合, Pro/ENGINEER 可用下面三步产生一个运动分析方案。

(1) 创建零部件 (Parts)

Pro/ENGINEER 具有强大的三维建模功能, 按照设计的要求很容易创建零部件的三维模型。

(2) 创建运动副 (Joints)

Pro/ENGINEER 可创建多种约束零部件运动的运动副。在某些情况下, 可同时创建其他的运动约束特征, 比如弹簧、阻尼、弹性衬套和接触等。

(3) 定义运动驱动 (Motion Driver)

运动驱动是用来驱动机构的运动。每个运动副可包含下列 5 种可能的运动驱动中的一种。

① 无运动驱动 (None) 顾名思义, 没有外加的运动驱动副在运动副上, 机构只受重力作用。

② 运动函数 (Motion Function) 用数学函数定义运动方式。通用运动函数 (General) 是描述复杂运动驱动的数学函数。运动副直接按时间和位移之间的关系运动。

③ 恒定运动 (Constant Driver) 恒定的速度或者加速度。采用恒定驱动需要使用者设置某一运动副为等常运动 (旋转或者线型位移), 所需的输入参数是位移 (时间 $t=0$ 时的初始位置)、速度和加速度。

④ 简谐运动驱动 (Harmonic Driver) 简谐运动驱动产生一个光滑的向前或者向后的正

弦运动。所需的输入参数是振幅 (Amplitude)、频率 (Frequency)、相位角 (Phase Angle) 和位移 (Displacement)。

⑤ 关节运动驱动 (Articulation Driver) 采用关节运动驱动需要使用者设置某一运动副以特定的步长 (旋转或者线型位移) 和特定的步数运动。

1.1.4 如何使一个机构运动起来

运动分析方案中的机构以下面两种形式运动。

(1) 关节运动 (Articulation)

关节运动是基于位移的一种运动形式。机构在指定的步长 (旋转角度或者直线距离) 和步数运动。

(2) 运动仿真 (Animation)

运动仿真是一个基于时间的一种运动形式。机构在指定的时间段中运动, 并同时指定该时间段中的步数进行运动分析。

1.2 Pro/ENGINEER Wildfire 运动仿真的特点

与其他 CAD 软件相比较, 用 Pro/ENGINEER Wildfire 作运动仿真主要具有以下一些特点。

(1) 运动输入

运动输入 (Motion Input) 是赋给运动副控制运动的运动副参数。当创建或编辑调用一个运动副时, 就会弹出运动驱动对话框。使用者可以根据需要选择无运动驱动、运动函数、恒定运动、简谐运动驱动以及关节运动驱动等 5 种可能的运动驱动中的一种。

(2) 关节运动分析

当使用者只需要了解某一关节的运动情况时, 可以选择分析工具条中的关节运动分析图标, 并输入步长和步数进行分析。

(3) 静力学分析

静力学分析 (Static Analysis) 将模型移动到平衡位置, 并输入运动副上的反作用力。当选择静力学分析后, 时间和步数的输入项将变灰而不可选。

(4) 机构运动学/机构动力学分析

机构运动学/机构动力学分析 (Kinematic/Dynamic Analysis) 按输入的时间和步数进行仿真分析。

时间值代表运动分析模型所分析的时间段内的时间, 步数值代表在此时间段内分几个瞬态位置进行分析或显示。

(5) 设计位置和装配位置

模型的装配位置可能不同于模型的设计位置。装配位置与设计位置的区别是: 装配位置是在装配机构时产生的, 与使用者装配时所选取的配合面有关; 而设计位置是使用者在运动仿真前人为设置的, 使用者可以根据需要进行设定或者调节设计位置。

(6) 多种形式输出

Pro/ENGINEER Wildfire 运动仿真的结果可以以多种格式进行输出, 这些形式主要有 MPEG、Animated GIF 以及 VRML 等。

(7) 预测工程和工程判断准则

Pro/ENGINEER Wildfire 的运动分析模块是用于预测工程的应用软件。就是说, 在许

多情况下，在机构进行生产前或者说在机构真正生产出来前，用该软件预测机构的运动特性，即它类似于有限元分析（Pro/ENGINEER 有限元分析模块）和注塑流动分析（Pro/ENGINEER 塑料零件分析顾问模块）。这些预测都是基于非常复杂的数学理论以及公认的物理和工程原理。

1.3 Pro/MECHANICA MOTION 模块介绍

Pro/MECHANICA MOTION 模块为 Pro/ENGINEER 的集成运动模块，是设计机构运动强有力的工具。该模块可以让机构设计师设定装配件在特定环境中的机构动作并给予评估，能够判断出改变哪些参数能满足工程及性能上的要求，使产品设计达最佳状态，Pro/MECHANICA MOTION 模块具有如下功能。

- ① 校验机构运动的正确性，对运动进行仿真，计算机构任意时刻的位置、速度以及加速度。
- ② 可以通过运动分析，得出装配的最佳配置。
- ③ 根据给出的力决定运动状态及反作用力。
- ④ 根据运动反求所需要的力。
- ⑤ 求出铰接点所受的力及轴承力。
- ⑥ 通过尺寸变量对机构进行优化设计。
- ⑦ 干涉检查。

实际上，这些功能并不是在每个机构设计过程中都需要用到，可以根据具体的问题有选择地进行。运用该模块的难点在于模型的建立，模型处理正确，其他问题也就迎刃而解了。

Pro/MECHANICA MOTION 模块是一个完整的三维实体静力学、运动学、动力学和逆动力学仿真与优化设计工具。Motion 运动模块可以快速创建机构模型并能方便地进行分析，从而改善机构设计。作为 Pro/ENGINEER 的使用者，不需要离开 Pro/ENGINEER 操作界面就可以使用更多的 Pro/MECHANICA MOTION 模块中的函数，也可以从 Pro/ENGINEER 中直接连接独立版本的 Motion 模块。另外，Pro/MECHANICA MOTION——运动分析模块能够创建机构运动模型，并能进行机构优化设计，还可以分析机构的运动和力，比如检验机构的运动是否正确，仿真机构运动，检测机构中各个组元的位移、速度和加速度及检验机构运动过程中各个装配件是否干涉。需要说明的是，只有装配模型才可以使用 Motion。图 1-1 所示为用 Pro/MECHANICA MOTION 模块进行运动分析的流程。

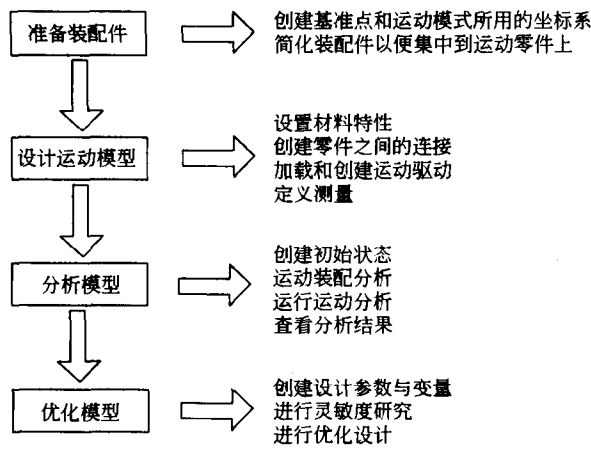


图 1-1 Pro/MECHANICA MOTION 模块运动分析流程

Pro/MECHANICA MOTION 模块可以使用下面两种模式进行机构运动设计。

① 集成模式——可以在 Pro/ENGINEER 用户界面上进行操作，并且可以通过 Pro/ENGINEER 里面的菜单与运动函数相连接。

② 独立模式——可以在 Pro/ENGINEER 中建立一个装配件，再把它转到独立的 Pro/MECHANICA 用户界面上，然后可以在 Pro/MECHANICA 中执行模型运动并进行运动分析，而与在 Pro/ENGINEER 中的装配件没有关联。

用户在主菜单栏中的 Applications 菜单选项里，通过选择 Mechanica 进入 MECHANICA 菜单。进入 MECHANICA 菜单后，用户还可通过选择 Motion 进入集成模式，选择 Indep Mec 进入独立模式。表 1-1 是集成模式与独立模式进行运动设计的区别。

表 1-1 集成模式与独立模式进行运动设计的区别

集 成 模 式	独 立 模 式
只适用于在 Pro/ENGINEER 中创建的零件	既适用于在 Pro/ENGINEER 中创建的零件，也适用于在 Pro/MECHANICA 中创建的零件
只适用于在 Pro/ENGINEER 中创建的零件或机架构造点	在 Pro/ENGINEER 和 Pro/MECHANICA 中创建的零件或机架都可构造点
利用 Pro/MECHANICA 中的材料计算质量特征	利用材料计算质量特征或者直接输入相应的值

1.4 CAE 技术

CAE (Computer Aided Engineering) 是计算机技术与工程分析技术相结合而形成的新兴技术，是 CAD/CAE/CAM 一体化技术中重要的组成部分。CAE 最初应用于航空航天方面，今天已经在各个行业广泛应用。利用 CAE 技术，可以实现在产品设计阶段对产品进行评估、优化，从而及早发现问题、改进现有产品的性能。虚拟样机的仿真功能为企业缩短设计周期，增强了市场应变能力和产品更新能力。随着计算机技术的发展，CAE 技术在功能、可靠性、适应性等方面基本上可以满足用户的需要。近年来，借助于微机平台的 Windows 操作系统，CAE 技术在前后处理、单元库、材料库、用户界面与数据管理等方面都有了很大的发展，已成为工程技术人员提高工程创新能力和产品创新能力的得力手段和有效工具，在产品的研究开发过程中将起到越来越重要的作用。

CAE 是指工程设计中的分析计算与分析仿真，具体包括工程数值分析、结构与过程优化设计、强度与寿命评估、运动/动力学仿真。工程数值分析用来确定分析产品的性能；结构与过程优化设计用来在保证产品功能、工艺过程的基础上，使产品、工艺过程的性能最优；结构强度与寿命评估用来评估产品的强度设计是否可行，可靠性如何以及使用寿命为多少；运动/动力学仿真用来对由 CAD 建模完成的虚拟样机进行运动学仿真与动力学仿真。CAE 的核心技术应为有限元技术与虚拟样机的运动/动力学仿真技术。CAE 可以完成以下几个方面的工作。

① 运用有限元技术分析、计算产品结构的应力、变形等物理场量，给出整个物理场量在空间与时间上的分布，实现结构的从线性、静力计算分析到非线性、动力的计算分析。

② 运用工程优化设计的方法在满足各种工艺、设计的约束条件下，对产品的结构、工艺参数、结构形状进行优化设计，使产品结构性能、工艺过程达到最优。

③ 运用结构强度与寿命评估的理论、方法、规范，对结构的安全性、可靠性以及使用寿命做出评价与估计。

④ 运用运动学、动力学的理论、方法，对由 CAD 实体造型设计出的机构、整机进行运动学/动力学仿真，给出机构、整机的运动轨迹、速度、加速度以及动反力的大小等。

经过 30 多年的发展，有限元技术已趋于成熟，普遍为工程界所接受。无论在功能还是性能、使用上，都已达到了工程实用的水平。在功能上，有限元软件的前处理器可调用 CAD 中的几何模型，可便捷地实现人工网格划分及自动网格划分，灵活地施加各类边界条件，定义材料特性，设置不同的计算工况，对特殊问题实现用户子程序的调用等；求解器带有适合不同问题的求解算法（线性方程组、非线性方程组、特征值等）；后处理器可给出所需的可视化的技术结果（等值线、等值面、云图、动画等）。在性能上，可完成线性与非线性问题，静力与动力问题，多种材料、各类边界条件、各类工程（机械、电磁、土木等）问题的求解。在使用上，大多数有限元软件均带有良好的用户界面，方便的在线帮助，便捷的操作使得计算分析的效率有了很大的提高。

结构优化方法中早期采用的是基于直觉的准则法，如满应力准则法、满应变准则法等。20 世纪 60 年代数学规划法引入结构优化设计中，标志着现代优化设计的开始，数学规划法中的复合形法、可行方向法、惩罚函数法等结构优化设计中得到了较广泛的应用。70 年代出现了优化准则法，其主要思想是将设计问题的力学特性与数值方法中的各种近似手段相结合，把高度非线性问题转化为一系列近似的带显示约束问题，然后借助于数学规划法进行求解。80 年代以后，结构优化技术开始应用于工程优化设计中，并形成了专门研制的工程优化设计软件。随着计算技术、计算机技术的发展，工程优化设计软件的解题规模不断扩大，从最初的十几个变量，到现今的上万个变量，从最初的结构尺寸参数优化，到现今的结构形状优化等。现有的有限元软件经过扩展，也具有结构优化功能。这类软件有 ANSYS、MSC. Nastran 等。目前还出现了与 CAD 集成的优化软件，如 MSC. VisualNastran。

由于结构的速度、经济性、耐久性、可靠性的不断提高，以及不断地减轻结构的重量，结构强度与寿命评估变得越来越复杂，越来越重要。用户在机电产品的选型时，要了解的已不仅仅是设备的强度指标，还包括设备的寿命指标，生产厂家必须向用户回答在什么情况下厂家提供的设备能可靠工作多少年。要进行结构强度与寿命评估需要借助于有关的理论、方法、行业上的规范以及材料的数据，这些理论、方法数据大都是经过大量实验、工程实践总结归纳出来的，国外将这方面的科研成果编制成软件，如 MSC. FATIGUE 软件、MSC. MARC 软件中的失效与破坏分析模块等。

一般地，大多数有限元软件能够进行以下分析。

① 静力分析 主要用来求解在与时间无关的静力载荷作用下的结构的应力、应变、位移场。

② 屈曲分析 屈曲分析主要用来分析结构在特定载荷下的稳定性以及确定结构失稳的临界载荷。

③ 结构动力分析 结构动力分析用来确定随时间变化的载荷并考虑阻尼、惯性作用时结构的响应。

④ 热传导分析 热传导分析用来分析在热边界条件（传导、对流、辐射等）下结构的温度场、热应力场，确定结构的热特性。

⑤ 优化设计及灵敏度分析

优化设计及灵敏度分析用来求解结构在满足结构功能、约束的条件下，所应具有的最佳结构的形状及尺寸。主要功能包括结构静力优化、固有频率优化、屈曲优化等。

PTC 公司开发的有限元分析软件 Pro/MECHANICA，有集成模式和独立模式两种。在

集成模式下，用户在 CAD 设计后，可以不脱离 Pro/ENGINEER 环境就能对几何模型进行有限元分析。Pro/MECHANICA 有三个模块，即结构分析模块，运动学、动力学仿真模块和热传导分析模块。在结构分析模块中，可以进行静力学分析、模态分析、屈曲分析、疲劳分析、动态时域和频域分析、灵敏度分析和优化设计等。

同其他有限元软件不同的是，Pro/MECHANICA 在单元网格划分上很有特点。它采用 P 方法来划分网格，虽然网格大、数目少，但与模型的边界拟合很好，这是其他有限元软件采用的 H 方法所不能比拟的。

1.5 配置文件的设置

配置文件是 Pro/ENGINEER 系统的重要工具，默认文件名为 current_session.pro，保存了环境、公差、单位等设置项目。系统允许用户自定义配置文件，并以 .pro 为文件扩展名保存，视情况可随时加载。

current_session.pro 不只有一个，在不同的工作目录中系统都会自动生成。但启动 Pro/ENGINEER 系统时，优先读取当前工作目录下的 config.pro。所以事先将 current_session.pro 或其他 *.pro 文件更名为 config.pro，并置于 Pro/ENGINEER 系统启动时的工作目录，是较佳的方式；或可利用【工具】→【选项】命令加载需要的 *.pro 配置文件。

单击【工具】→【选项】菜单打开配置文件对话框，系统将读取当前工作目录下的配置文件。不勾选配置文件对话框中的“仅显示从文件载入的选项”复选框，这时系统会列出全部的配置设置，如图 1-2 所示。

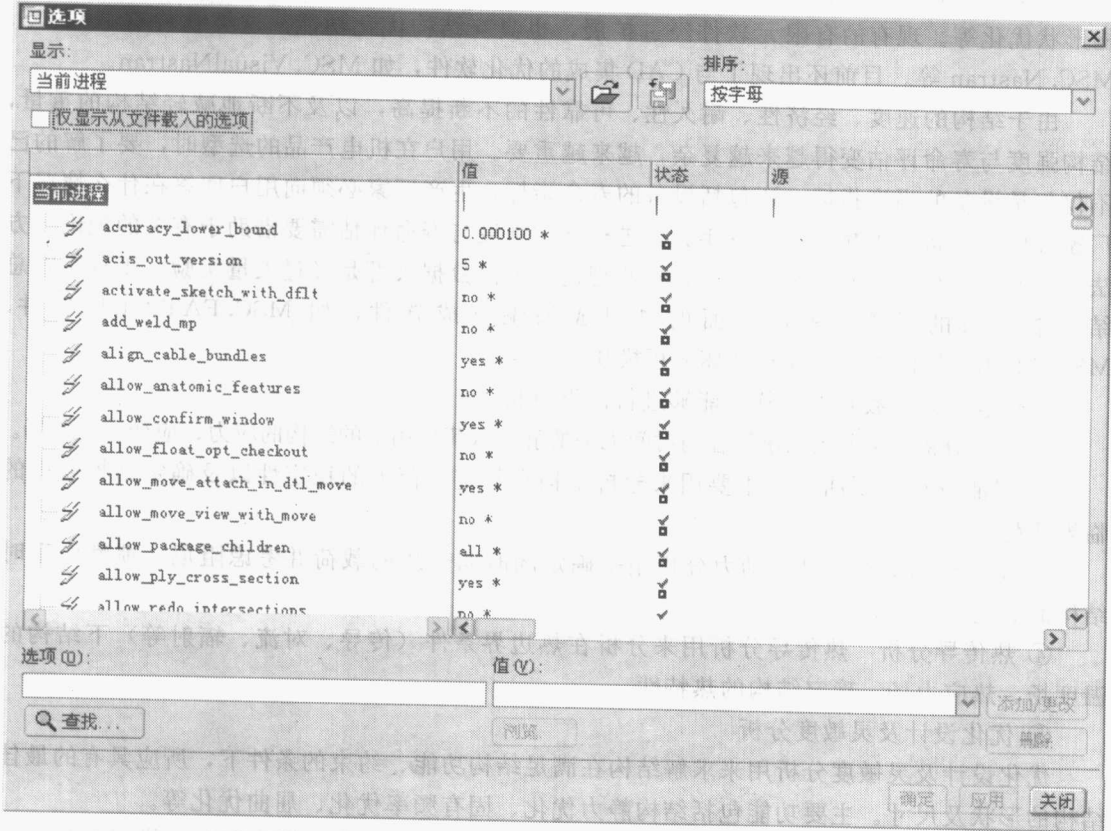


图 1-2 “选项”对话框

Pro/ENGINEER 系统配置文件的选项有几百个，可按字母顺序排列，也可按类别方式排列。每个配置设置由一个选项名和相应的值组成，如图 1-3 所示选项名 allow_sketch_selection，选项值为“yes */no”，其中附加“*”的值为系统默认值。

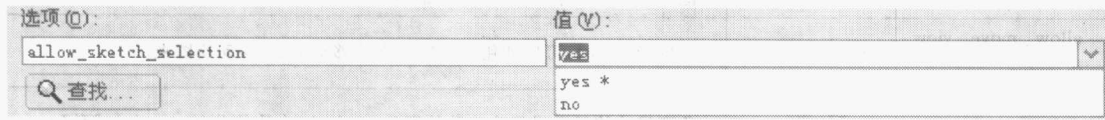


图 1-3 选项名及其值

当用户对选项名不确定时，可在图 1-3 的选项框中输入关键词，系统会立即提示相关的选项。或者用户对某个选项的定义不清楚时，输入该选项名，单击按钮  查找...，系统会显示该选项的说明，如图 1-4 所示。

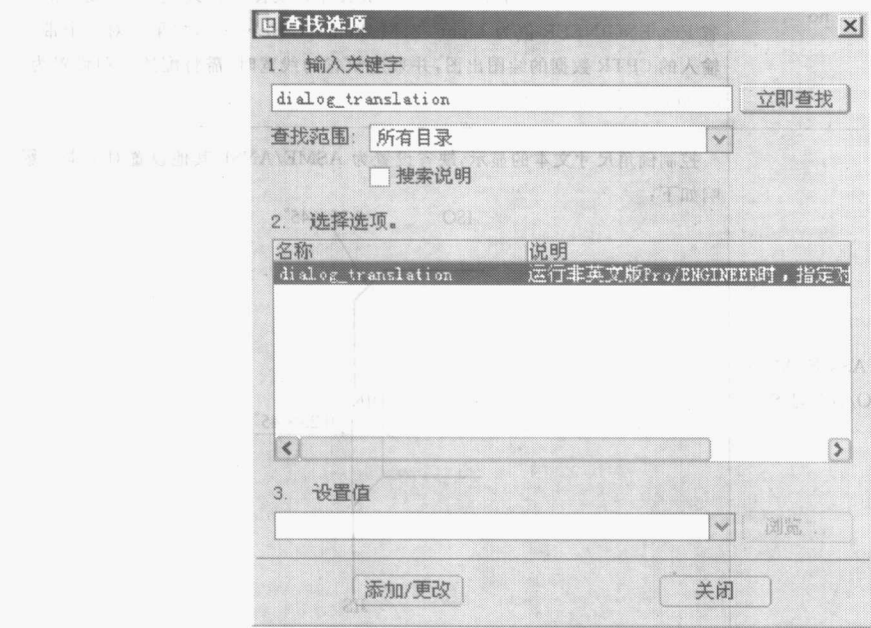


图 1-4 查找选项对话框

当配置选项及其值确定后，单击【添加/更改】按钮方能将配置记录至配置文件中，单击【应用】按钮可将配置加载至系统中。

完成选项设置后，若要将当前设置保存起来，单击  按钮，默认文件名为 current_session.pro，由于系统优先加载此 config.pro，故可改名为 config.pro 保存。

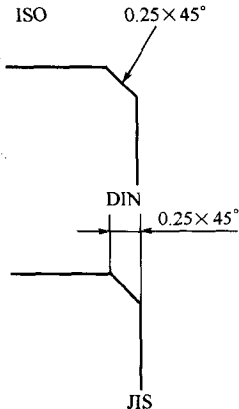
当需要修改或要加载某个配置文件时，可单击  按钮，打开该文件，可进行修改，单击【应用】按钮即可加载该配置文件。

常用的配置文件选项及其描述如表 1-2 所示。

表 1-2 常用配置文件选项及其描述

关 键 字	设 置	描 述
add_weld_mp	yes/no	yes——系统在计算质量属性时,包括焊缝 no——系统在计算质量属性时,排除焊缝

续表

关键字	设置	描述
allow_anatomic_features	yes/no	将此配置文件现象设置为 yes 时下列菜单命令可用:局部拉伸、半径圆顶、截面圆盖、耳唇、开槽、轴肩、凸缘、退刀槽
allow_move_view_with_move	yes/no	设置为 yes 时,可以使用绘图模式中的移动命令,移动绘图视图
ang_units	ang_deg ang_min ang_sec	角度尺寸的显示设置为小数的度(ang_deg),小数的分(ang_min)或秒(ang_sec)
bell	yes/no	打开(yes)或关闭(no)响铃
cable_int_portions_for_clr	yes/no	no——排除对内部缆部分的全局间隙检查;yes——包括对内部缆 cadam_line_weights light, medium, heavy 的全局间隙检查。为了用与标准一致的正确的线宽对绘图出图,在 Pro/ENGINEER 中定义图元的线宽,这些线宽的缺省 Pro/ENGINEER 值为 Light-. 2, Medium-. 3, Heavy-. 5,如果要对一个带有输入的 CPTR 数据的绘图出图,并采用缺省的线宽时,需将配置选项设置为: cadam_line_weights. 2. 3. 5
chamfer_45deg_dim_text	ASME/ANSI, ISO/DIN, JIS	控制倒角尺寸文本的显示,缺省设置为 ASME/ANSI,其他设置对文本的影响如下: 
cl_arrow_scale	正数 缺省:1	该选项允许控制围线 NC 序列的刀具轨迹箭头的大小;0——不显示箭头;其他任何值——箭头相应缩放
clip_always	yes/no	控制修剪对话框关闭后,是否显示修剪
clr_prinlplus_minus	yes/no	计算两零件或曲面间的间隙时,设置系统精度的显示,缺省设置为不显示精度
color	on/off	开关颜色,若关闭颜色,则模型线框以白色显示
color_editor_ui_rgb_range	0_to_100, 0_to_255	决定如何指定 RGB 颜色值
color_windows	all_windows, one_window	在主窗口和辅助窗口中控制颜色的显示 all_windows——线框颜色显示在主窗口和所有的辅助窗口中; one_window——颜色只在主窗口中显示,辅助窗口以缺省颜色显示线框
comp_snap_angle_tolerance	0~90°	用于元件捕捉的两个参照间允许的差异角度,从 0~90°