

工业设计院



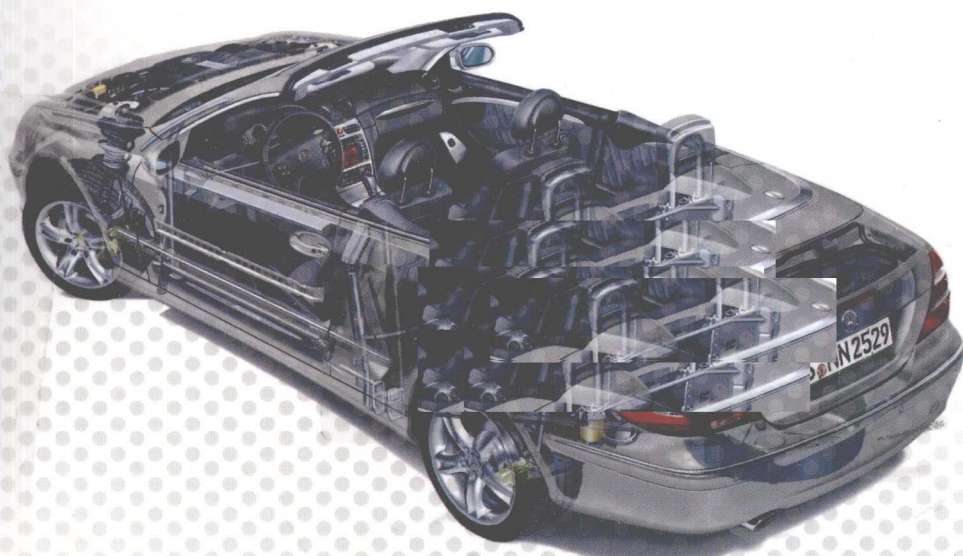
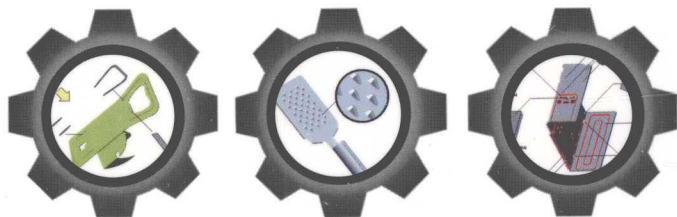
二代龙震工作室 编著

Pro/Mechanism

Wildfire 5.0

机构/运动分析

- 充分融合理论和实务，范例丰富
- 含衔接ADAMS(MECH/Pro)的详细操作
- 含ADAMS入门和实例
- 范例简单易学，充分方便初学者学习
- 基础高级兼顾，著作团队专业性强
- 提供重点范例的视频文件
- 特殊的文字图例著作风格，效果直接，易读易懂
- 提供本书所有范例和网上问题咨询



清华大学出版社

工业设计院

Pro/Mechanism Wildfire 5.0

机构/运动分析

二代龙震工作室 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书通过 Pro/Mechanism 介绍机构设计。读者将在理论配合实例的情况下,以多看多做的方式来累积机构设计经验。本书以连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、齿轮系列(齿列机构)、间歇运动机构、螺旋机构、摩擦传动机构、液压/气压机构的设计实例来讲解如何对产品做机构分析,读者将在全书的范例练习中掌握整个软件所提供的分析功能。本书最后一章将介绍闻名于机构 CAE 专业软件领域的 ADAMS,同时还详细介绍了它和 Pro/Mechanism 的衔接方法。

本书适合机械等相关行业的所有设计和制图人员,同时也是机械本科或相关专业的最佳学习教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。
版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

Pro/Mechanism Wildfire 5.0 机构/运动分析/二代龙震工作室编著. --北京:清华大学出版社,2011.3
(工业设计院)
ISBN 978-7-302-24782-1

I. ①P… II. ①二… III. ①机械设计:计算机辅助设计—应用软件, Pro/Mechanism 5.0 IV. ①TH122
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 014612 号

责任编辑:张彦青

装帧设计:杨玉兰

责任校对:李玉萍

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京鑫丰华彩印有限公司

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:27.25 字 数:656 千字

附光盘 1 张

版 次:2011 年 3 月第 1 版 印 次:2011 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:50.00 元



丛 书 序

本工作室针对 Pro/ENGINEER 这个 CAD/CAD/CAM 大型软件所写的系列书是包含在《工业设计院》总称之下。而系列的顺序是按整个工业设计的上、下游流程，以及其所代表的几个热门职业：造型设计师、建模师、机构设计师、结构设计师以及模具设计师所设计的专业课程，搭配 Pro/ENGINEER 这个软件的各种合适模块，来诠释其技术和软件工具的应用。

《工业设计院》分以下四大系列。

(1) 基础设计系列：主要介绍建模和画工程图，所有机械范畴都要用到。

(2) 造型设计系列：工业设计最上游，即产品原型的确定阶段。能主导设计的就是造型设计师，按确认图样生产或抄录的就是建模师。

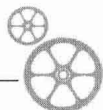
(3) 分析设计系列：工业设计流程的中间阶段，用来事先分析解决可能发生于制造阶段的难题。在以前，由于主要的分析人才来自研究所层级，一般或低技术层级的企业不易取得。近年来，由于 CAE(计算机辅助分析)软件仿真技术突飞猛进，让需求人才的门槛大幅降低！现在，只要具有设计经验，不论学历，都可以很好地上手；没有经验的，高职以上程度即可。因此，机械本科的学子们出校门时，就具备简易基本的机构、结构分析能力，已逐渐形成风潮。

(4) 模具设计：制造阶段一向是工业设计最重要的下游环节，其顺利与否主导产品的成败；所用的生产机械、设计时间与人力则严重影响产品的成本。在这方面，我们将按当前模具产业中，市占率最大的两个(塑料模与冲压模)，来编写以下系列书：

(1) 塑料模具设计系列；

(2) 冲压模具设计系列。

我们再以下图来说明本系列书的结构。



二代龙震工作室

《Pro/ENGINEER 工业设计院》

不论专业，大家都要学！



造型设计系列

Pro/ENGINEER ISDX Wildfire X.0 造型设计

- 想从事造型设计师者
- 想从事建模师者

分析设计系列

Pro/Mechanism Wildfire X.0 机构运动分析
Pro/MECHANICA Wildfire X.0 结构热力分析

- 想从事机构设计师者
- 想从事结构设计师者
- 已有其他机械设计经验，但对机构或结构有兴趣者

冲压模具设计系列

冲压模具基础教程
Pro/SHEETMETAL Wildfire X.0 钣金造型设计

- 想从事冲压模具设计师者
- 已从事其他类模具师，想跨业到冲压模具设计师者

塑料模具设计系列

塑料模具基础教程
Pro/MOLDESIGN Wildfire X.0 拆模设计
AutoCAD塑料模具图基础与2D排位教程
Geomagic Studio Imageware逆向抄数基础

- 想从事塑料模具设计师者
- 已从事NC程序设计师或其他类模具师，想升级或跨业到塑料模具设计师者

本系列为《Pro/ENGINEER 分析设计》系列。是为工业设计流程中最上层的造型设计专业而写的。阅读本书时，需要读者先学习《Pro/ENGINEER 基础设计》系列的四本。

以下就是本系列单本书的内容简述。

类别	系列编号	书 名	内容方向
分析设计(两本)	6	Pro/Mechanism Wildfire 5.0 机构/运动分析	这两本书在 Wildfire 2.0 版时，机构和结构是合成一本的。但读者反应热烈，提供很多意见，而原本机构和结构就是两个专业，内容很多。所以，在 Wildfire 3.0/4.0 版时，就将该书拆成这两本，并各自增添范例内容。到了 5.0 版以后，将注重在范例的增加
	7	Pro/MECHANICA Wildfire 5.0 结构/热力分析	

关于《Pro/Mechanism Wildfire 5.0 机构/运动分析》：

比起结构分析，机构分析要简单一些。不过，本书仍然将所有理论性的机构整理出来，只要 Pro/Mechanism 能做的，我们都尽量做了。同时，在本书的最后一章中，还列举了机构分析界的祖师级软件 ADAMS 的范例。

我们将在本书中提到以下的主题：Pro/Mechanism 初步、连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、齿轮系列(齿列机构)、间歇运动机构、螺旋机构、摩擦传动机构、液压/气压机构等其他机构、ADAMS 实务。

在后续的版本中，本书将随着 Pro/ENGINEER 版本的更新和功能增加，逐步增加更实用的机构范例，同时再增加 ADAMS 的操作实例。让更多未来的设计师可以在出校门前，就拥有丰富熟练的机构分析经验和技能。

二代龙震工作室

前 言

机构、结构和热力等分析领域的应用，决定了一个企业的等级、产品质量和成本。所以它对人才的要求也就更高。然而，在 CAE 软件功能的长足进步和发展下，现在进入这个专业的门槛已经降低。只要有心，有大学本科、高职背景的工程师都可以轻易上手。

本系列书将以机构来打头阵，通过 Pro/Mechanism 的入门和一定专业素养的养成，任何机械相关专业的读者，将轻易地跨入这个原本是研究生水平的专业领域。这对目前机构和结构设计人才大量缺乏，且急需这类人才的企业来说，CAE 应用人才的取得将因 CAE 软件的大幅进步而获得些许舒解。

读者将从机构的建模、初步设计和模拟养成开始，而逐步进入分析的阶段。从而再将分析的结果回头拿来作修正，以让您的机构设计更完美(这是您最有成就感的)，更重要的是：更节省成本(这是老板最希望的)。

除了 Pro/Mechanism 以外，著名的 ADAMS 也是本书最后一章的重点。除了陈述它和 Pro/Mechanism 的衔接操作以外，读者也将通过这个机会了解它们为什么是个中翘楚，以在将来再度提升上来，进入更专业的领域。

同样的，本书在旧版上市这段期间，接受读者建议，在实例方面大量增加，原因是我们在 Wildfire 2.0 版时就已经将理论的部分全部完成，但是模型很多来不及建！现在，我们已大量补齐。您可以在正文范例，以及习题中大量看到它们；尤其是在习题中，我们采用以习题解答下载的方式提供给大家。这样，不但满足了读者分析模型库的完整，同时又可以让大家藉此考验一下自己的学习成果。

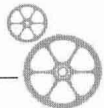
不论是龙震工作室，还是二代龙震工作室(大陆工作室)，我们开发的计算机书籍共同的特性如下。

- 个性化的服务，理论与专业的完美组合。书中摒弃一般图书只注重理论功能介绍，而忽视读者本身专业需要的缺点，既介绍了软件功能的使用技巧，又结合了读者专业的特点，同时也注重实务的需求。
- 以图例形式来完成对操作过程的解说，避免使用冗长文字来破坏思考，一向是龙震工作室所著书籍的一贯特色。
- 比拟多媒体动画的全步骤式图例。我们所展示的全步骤式图例，效果和多媒体动画教学是一样的。
- 网站技术支持。凡是购买龙震工作室开发的图书的读者，都可以通过“龙震在线”来获得最快捷的支持。同时，网站的内容和服务方式还会不断扩充。

您一样可以像往常一样，通过以下工作室专属网站或电子邮件信箱来提出咨询。

龙震在线：<http://www.dragon2g.com>

E-mail: dragon.dragon2@msa.hinet.net

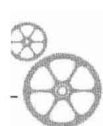


本书在出版过程中，得到了清华大学出版社编辑老师的大力协助，在此深表感谢。然而，在此我们还要对广大支持我们的读者，致以十二万分的敬意和谢意，在本工作室出版的过程中，您的支持导致我们所著书籍的持续，也让我们提供的长期免费服务得以坚持！再次感谢各位！

二代龙震工作室

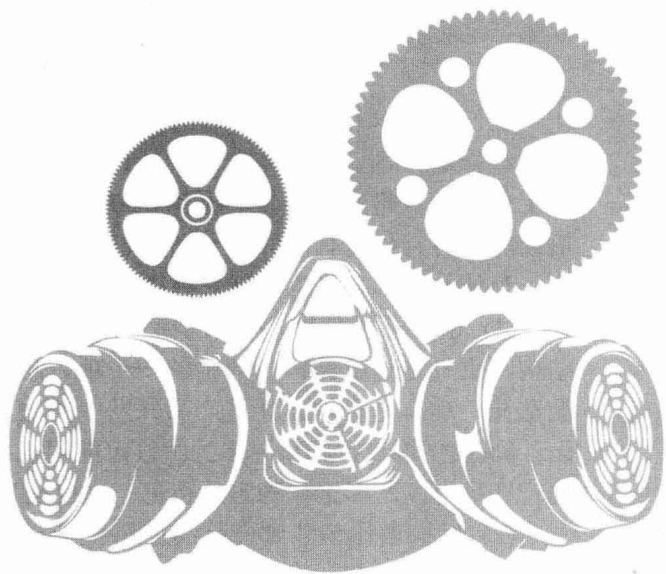
目 录

第 1 章 机构和运动..... 1	
1.1 为何要学习本书..... 2	
1.2 CAE 的概念..... 2	
1.3 本书的结构和特色..... 3	
1.4 机构概论..... 4	
1.5 五大基本机构..... 5	
1.5.1 杠杆..... 6	
1.5.2 轮轴..... 7	
1.5.3 滑轮..... 8	
1.5.4 斜面..... 10	
1.5.5 螺旋..... 10	
1.6 平面和空间的机构分析..... 11	
1.6.1 机构的运动学与动力学..... 13	
1.6.2 自由度..... 14	
1.6.3 运动副..... 15	
1.6.4 运动结的互联性..... 16	
1.6.5 连杆组..... 17	
1.6.6 运动链..... 19	
1.6.7 连杆组或机构的动度..... 19	
1.7 凸轮机构..... 20	
1.7.1 凸轮机构的应用..... 21	
1.7.2 凸轮机构设计的基本问题..... 21	
1.8 齿轮机构..... 21	
1.9 运动的传递..... 22	
1.10 机构设计的基本概念摘要..... 25	
1.10.1 机构的构造分析..... 25	
1.10.2 机构的运动分析..... 27	
1.10.3 相对速度法..... 28	
1.10.4 瞬时中心法..... 30	
1.10.5 Pro/Mechanism 在机构分析中 所扮演的角色..... 35	
1.10.6 动画和机构分析的差别..... 36	
1.10.7 Pro/Mechanism 的入门 基本概念..... 37	
1.10.8 Pro/E 提供的机构组装功能..... 38	
1.10.9 Pro/Mechanism 的自由度 和冗余..... 44	
1.11 Mechanism 模块的主操作窗口..... 47	
习题..... 49	
第 2 章 连杆机构..... 51	
2.1 连杆机构概论..... 52	
2.1.1 什么是连杆机构..... 52	
2.1.2 连杆机构的功能..... 52	
2.2 四连杆机构..... 52	
2.2.1 四连杆的定义..... 54	
2.2.2 四连杆的分类原则..... 55	
2.2.3 四连杆机构仿真分析实例..... 56	
2.2.4 四连杆机构的几何分析..... 78	
2.3 曲柄滑块机构..... 80	
2.3.1 机构组成..... 80	
2.3.2 曲柄滑块机构的倒置..... 81	
2.3.3 曲柄滑块的应用实例..... 82	
2.3.4 曲柄滑块机构仿真分析实例..... 84	
2.3.5 传统教科书上的分析习题..... 95	
2.3.6 使用“用户定义的”选项功能 来自定义测量..... 102	
2.4 双摇杆机构..... 104	
2.5 急回机构..... 109	
2.5.1 急回机构的种类..... 109	
2.5.2 牛头刨床机构(曲柄切削 急回机构)仿真分析实例..... 111	
2.6 其他机构..... 131	
2.6.1 肘节机构..... 131	
2.6.2 平行运动机构..... 132	



2.6.3 直线运动机构.....	134	3.7.4 运动规律选择原则.....	209
2.6.4 游乐场骑马机构仿真 分析实例.....	135	3.7.5 其他约束条件	210
2.7 空间连杆机构.....	138	3.8 凸轮机构范例	211
2.7.1 空间四连杆机构	139	3.8.1 碟形凸轮机构实例.....	211
2.7.2 万向接头机构.....	143	3.8.2 碟形弹簧凸轮机构实例 (提高级).....	215
2.7.3 机械手开链连杆机构 分析实例.....	144	3.8.3 摆动凸轮机构实例.....	219
2.8 平面六连杆机构.....	147	3.8.4 槽形凸轮机构实例.....	220
平面六连杆机构仿真分析实例	150	3.8.5 圆柱凸轮机构实例.....	225
2.9 史都华平台	150	3.8.6 曲柄滑块与弹性球 机构实例	229
2.10 皮带轮(链轮)机构	157	习题	233
2.11 电动机设置函数的问题	162	第4章 齿轮机构.....	241
2.11.1 斜坡函数.....	162	4.1 齿轮概论	242
2.11.2 余弦函数.....	164	4.2 齿轮的术语	243
2.11.3 SCCA 模	165	4.3 齿轮机构的建模重点.....	246
2.11.4 摆线函数.....	167	4.3.1 疑问	246
2.11.5 抛物线函数.....	168	4.3.2 建模重点	246
2.11.6 多项式函数.....	169	4.4 其他类型的齿轮	248
2.11.7 表.....	169	4.4.1 内齿轮	248
2.11.8 用户定义的.....	171	4.4.2 齿条	248
2.12 机构分析图表的问题	172	4.4.3 螺旋齿轮	249
2.13 力平衡分析	174	4.4.4 人字齿轮	250
2.14 3D 接触分析	177	4.4.5 锥齿轮	251
2.15 学习说明.....	182	4.4.6 蜗轮和蜗杆	252
习题	184	4.5 齿轮的重点计算	256
第3章 凸轮机构	197	4.5.1 齿轮速度比	257
3.1 凸轮概论.....	198	4.5.2 正确的啮合条件	257
3.2 凸轮机构.....	198	4.5.3 齿廓接触分析和共轭齿廓.....	257
3.3 凸轮机构的分类.....	199	4.5.4 重合度	259
3.4 有关凸轮的名词.....	202	4.5.5 齿厚的计算	260
3.5 运动状态.....	203	4.6 齿轮机构的分析实例.....	260
3.6 凸轮机构设计概要	204	4.6.1 外接正齿轮的啮合.....	260
3.7 凸轮从动件的运动规律设计	207	4.6.2 内接正齿轮的啮合.....	269
3.7.1 从动件运动规律的 基本参数.....	207	4.6.3 外接螺旋齿轮的啮合.....	272
3.7.2 运动规律的类型	208	4.6.4 锥齿轮的啮合	274
3.7.3 运动规律的特征参数	208	4.6.5 齿轮和齿条的啮合.....	277
		4.6.6 蜗轮和蜗杆的啮合.....	280

4.6.7 齿轮和曲柄滑块的复合机构.....	287	6.2.2 螺旋机构的应用实例.....	353
习题	290	6.3 摩擦传动机构	353
第 5 章 齿轮系	297	6.4 液压、气压机构	355
5.1 齿轮系的种类.....	298	6.5 其他常见机构实作	357
5.1.1 定轴轮系.....	298	6.5.1 马耳他机构(外马耳他机构)...	357
5.1.2 周转轮系.....	299	6.5.2 螺旋机构	359
5.1.3 复合轮系.....	304	6.5.3 不完全齿轮机构和圆柱凸轮机构	361
5.2 轮系的功用和选择.....	306	6.5.4 单齿外啮合机构	362
5.2.1 轮系的功用	306	6.5.5 棘轮机构	366
5.2.2 轮系的选择.....	310	6.5.6 气压缸驱动机构	368
5.3 轮系的机构实例.....	312	6.5.7 气压驱动扇形齿轮机构.....	370
5.3.1 空间定轴轮系机构	312	6.6 负荷输出	370
5.3.2 行星周转轮系机构	316	习题	376
5.3.3 3K 型周转轮系机构	319	第 7 章 ADAMS 实务	383
5.3.4 2K-H 型周转轮系机构	321	7.1 概述	384
5.3.5 复合轮系机构	324	7.2 ADAMS 简介	384
5.3.6 五行星轮系机构	325	7.3 Pro/Mechanism 和 ADAMS 的转化实例	385
5.3.7 差动轮系机构	328	7.3.1 MECH/Pro 2005 的安装和设置	385
5.3.8 本节心得.....	329	7.3.2 分析范例	387
习题	330	7.3.3 范例小结	396
第 6 章 其他常见机构	335	7.4 ADAMS 的操作初步	397
6.1 间歇运动机构.....	336	7.4.1 四连杆的机构分析.....	397
6.1.1 马耳他机构.....	336	7.4.2 蜗轮/蜗杆的机构分析	402
6.1.2 棘轮机构.....	340	习题	414
6.1.3 不完全齿轮机构	347	附录 A 如何使用本书范例光盘和服务	417
6.1.4 凸轮式间歇运动机构	350		
6.2 螺旋机构.....	352		
6.2.1 螺旋机构的计算.....	353		



第 1 章

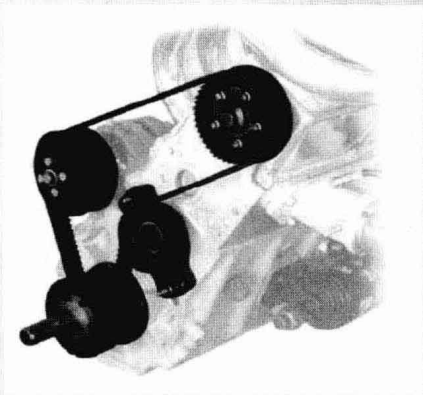
机构和运动

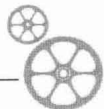
在研究生和博士生阶段，CAE 的应用是非常重要的，很多分析和研发都落在本书这个主题上。然而，随着软件的进步和高级功能的增加，CAE 的使用已不再是高学历者的专利。现在，只要是大学本科或高职毕业，具有基本的专业知识者，一样可以轻松上手。

当然，对没有受过正式训练的初学者来说，如果完全没有机械原理、机构学、热传导等方面的基础，坦白说，要进入这个 CAE 领域是很困难的。因此，在龙震老师的坚持下，我们仍将以理论来构筑读者的知识背景，再以实例来验证理论。期望在这样的书本结构下，提高读者的学习效果。

本章将为读者述说本书的结构，并先从第 1 章的“机构和运动”主题开始，补充一些初学者需要了解的机构基本概念。

有了这个基础后，本章后续的章节将开始详述并练习重要的机构主题。





1.1 为何要学习本书

我们要在本书中,针对机构设计师这个职位,配合合适的软件来编写相关的技术内容。大家都知道,本工作室基于现实的理由,非当前职场应用主流的软件我们不写,因此按照本工作室的风格惯例,我们必须在每一本书的开头,就告诉您学习该书的理由,让读者在后续的学习有强而有力的动力和决心。

为什么要学习机构设计?理由如下。

(1) 相对机械专业,热门的模具设计只是其中的一小范畴,而模具设计中所用到的静态结构,更只是正统结构设计中的一小项。还有很多的机械专业,小到玩具业,大到汽车,航空业,动态的机构设计是产品开发中的主角。所以,负责这种设计工作的,不单叫机构设计师(或结构设计师),更多的时候可能叫机械开发设计师。而能在这个范畴工作的设计师,也一样具有高薪和工作稳定的特色。这也是为什么很多读者很重视我们出这本书的原因。

(2) 机构设计牵涉到产品的创新和研发,这部分的人才需求,在充满抄袭气氛的东方企业中,炙手可热。换句话说,这部分的人才和经验愈多,对机械产业的质量提升,非常关键。当前这类人才非常缺乏,希望导引更多优秀的国人投入,也是本工作室撰写本书的目的。

(3) 从过去到现在,严格说来,CAE 的科目都是研究生级别的学科主题。但是随着 CAE 软件功能的大幅跃升,现在即使是高职高专、大学毕业的工程师,只要具备基本的机械专业,再补充足够的 CAE 知识背景,就能轻松上手使用。而这正是本书的基本结构,即先理论(补充足够的 CAE 知识背景),后实作。

(4) 在 CAD/CAM 系统一日千里的今天,CAE(计算机辅助分析)也在逐日进步。发展至今,机构设计已经必须搭配合适的软件来运作。学习者已不必再面对一堆繁难的数学方程,通过 CAE 软件的辅助,数学方程已可转化为图形来表现,所以学起来有趣而不枯燥,从而达到有效学习机构设计和分析的目的。

1.2 CAE 的概念

计算机辅助分析(Computer Aided Engineering),也称计算机辅助工程。这种技术是结合计算机技术和工程分析技术的新兴科技。CAE 软件将采用计算力学、计算数学、结构动力学、数字仿真技术、工程管理学等学科的传统理论来和计算机技术相结合,从而形成一种综合性、知识密集型的信息产品。CAE 的核心技术是有限元理论和数字计算方法。经过几十年的发展,CAE 软件分析的对象已逐渐由线性系统发展到非线性系统,并由单一的物理场发展到多场耦合系统,并在机械、航天、建筑、土木工程等领域中取得了积极且成功的应用。并随着计算机、CAD、CAPP、CAM、PDM 和 ERP 等技术的发展,CAE 技术逐渐与它们相互融合,朝向多元化信息技术集成的方向发展。

CAE 是一个可以从广义和狭义角度来解释的概念。从字面上来看,它可以包括工程和制造业信息化的所有方面,但是传统的 CAE 则是指用计算机对工程和产品做可靠性分析、

对其未来的状态和运作状态进行仿真,以及早发现设计中的缺陷,并验证产品功能和性能的可用性和可靠性。换句话说,CAE 是指工程设计中的分析计算与分析仿真,具体包括:运动/动力学仿真、工程数值分析、结构与过程优化设计和强度与寿命评估。运动/动力学仿真则用来对 CAD 建模完成的模型,进行运动学仿真和动力学仿真;工程数值分析用来分析确定产品的性能;结构与过程优化设计用来保证产品功能;结构强度与寿命评估用来评估产品的精度设计是否可行,可靠性如何,以及使用寿命为何。从过程化、实用化技术发展的角度来看,CAE 的核心技术为仿真模型运动的运动/动力学仿真技术(即 Pro/Mechanism)和有限元分析技术(即 Pro/MECHANICA)。

随着计算机技术的高速发展,有限元技术也得到了飞速发展。到目前为止,已经涌现出一大批有限元软件,使得有限元获得空前的应用。简单地说,有限元是最近二十年来发展起来的一种数值方法,它将连续体分成有限个单元,并在每一个单元上假设未知量的变化规律,单元之间通过节点相互连接起来,并取节点处未知量的值作为基本未知量,从而将一个无限自由度问题化为有限自由度问题。再利用力学中的有关原理,最后导出一组代数方程来进行求解,这种方法在物理上是一种近似解。

目前,有限元计算方法是世界上绝大部分企业、研究所、高校等,用来做强度、疲劳计算、校核的主要工具。掌握一门有限元技术,是机械工设计工程师得以生存的必备技能。

CAE 的用途将表现为下述几个方面。

- 采用运动/动力学的理论、方法,通过 CAD 软件绘出实体模型并设计出会动的机构。然后,对整机进行运动/动力学仿真,分析出诸如位置、速度、加速度、作用力等具有修正机构设计参照价值的物理数据。
- 采用工程数值分析中的有限元等技术,来分析计算出产品结构的应力、变形等物理量,分析出整个物理量在空间与时间上的分布,完成结构的线性、静力计算分析,一直到非线性、动力的计算分析。
- 在满足设计条件下,采用过程优化设计的方法,对产品的结构、设计参数、结构形状参数进行优化设计,使产品结构性能可以达到最佳的状态。
- 采用结构强度与寿命评估的理论、方法、规范,以评估结构的安全性、可靠性和使用寿命。

1.3 本书的结构和特色

机构设计的理论发展由来已久,所以它本身就已有很强的理论来支撑。在大学的机械系里,这部分就叫“机动学”。它包含了机构和运动。在本书中,我们首先简述在 Pro/E 的模块中提供了哪些和机构设计有关的模块,然后看看它的功能是否符合我们要讲述的,符合条件的就用,有不足的就补充。同时在制作的范例前,都会有引用理论部分的陈述,以让读者在操作之余,也能充分了解那些原本就较枯燥,但不能不知道的理论根据。据此,本系列书将按学习顺序,分为以下两本来撰写,如表 1-1 所示。

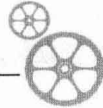


表 1-1 本系列书的结构和适用的软件版本

编 号	本系列书名	使用软件
1	机构/运动分析	Pro/Mechanism Wildfire 5.0
		其他分析软件: ADAMS
2	结构/热力分析	Pro/MECHANICA Wildfire 5.0
		其他分析软件: ANSYS

首先,我们要强调: Pro/Mechanism 及 Pro/MECHANICA 其实是一种操作很简单的 CAE 软件。比起 Pro/E 其他的模块来说,光讲操作,其实不到百页就可以讲完。这对已有机构设计经验的老手来说,可能不是问题;但是问题是:针对大多数在校,或尚无设计经验的学生来说,要只讲操作,保证讲完大家操作都没问题,但是还是不会做机构设计。因此,本书将在此前提和读者需求下,拥有以下的特色。

(1) 在谈到每一分析主题前,本书还是需要讲到很多的专业背景常识;如机构学、机动学或机械原理等。这有助于读者理解机构的学理,以在后续的分析应用时,具有正确的概念。

(2) 在谈到原理时,总会讲到一些公式。这些公式都来自西方,但会因为两岸学界所引用或惯用的来源不同,而有不同,但结果多半一致。事实上,在机构的计算上,多已计算机化,两岸学界都已普遍采用 MATLAB 软件来计算,所以只要上过理论课程(或自学),计算的问题其实不大。在此情况下,我们会尽量降低无谓的公式描述,而多以图例和实例来说明。

(3) 对初学者来说,需要的是现实生活或设计中,一大堆现有的实例应用,这正是本书所致力。我们不但搜集相关的图例,同时也搜集相关的动画文件给大家多看,然后在 Mechanism/MECHANICA 分析的实例取材上,也是源自这些学理和现实上的应用。这些实例这版做不完,下一版还会继续做。这样,大家看多见多学多做之后,自然就可以应用在设计工作上。

(4) 本系列的两本书还是延续了本工作室一贯的写书特色,即:以专业来带 Mechanism/MECHANICA,而不是纯粹只叙述软件的操作。所以,本书不会像传统教科书一样的枯燥无味,又不会像一般只讲操作的专业计算机书一样的乏善可陈。您会发现:我们尽量用精心制作的图例,将理论来结合操作,让读者既了解操作的原始理论出处,又能真正体会 CAE 软件的操作精髓。所以,还是龙震老师常说的那句话:软件的功能不会凭空被发明出来,它一定是根据理论。让理论读起来变得更“轻松”,操作练起来变得更“驾轻就熟”。这也是我在龙震老师这里感受到最深的心得。

(5) 我们虽然采用边讲理论,边学软件操作的方式,但是顺序是由浅入深的。当然,就不是按菜单的顺序来练功能。这也是和一般计算机书不同的地方。

1.4 机构概论

机械的种类极其繁多,它们的构造、性能和用途都各不相同,工作原理、设计方法和制造技术也各具特殊性。但是,从机械原理的角度来看,各种机械都具有某些共同的属性。

这些共同属性可归纳成以下三点。

(1) 由于对机械各组成部分局部质量要求的不同,以及为了便于制造,所有的机械都设计成单独的零件,再经加工,装配而成的。换句话说,零件(刚体)是机械的制造单元。在这样的情况下,当若干个刚体(Rigid Body)被刚性地固定在一起彼此不能相对运动,但可当作一个全局在机械中运动或静止,那么这就成为机械的“运动单元”。这种运动单元在本书中将称为“构件”。构件通常是若干刚体的固定组合体,而它也可以只包含一个刚体。机械中的机架,就是其他构件运动参照物的相对静止构件。可见,各种机械的共同属性之一就是“任何机械都是由若干个构件所组成的”。

(2) 使用机械的主要目的是减轻劳动强度,提高生产率,以及完成人力所不能负担的工作。而所有这些工作都需要以一定的动作来实现,各种动作则须由若干有规则运动的构件来完成。这样,就要求机械中的各个运动构件必须具备确定的运动,因此,各机械的又一共同属性就是“组成机械的各个构件之间具有确定的相对运动”。

(3) 各种机械在其运动过程中,都存在机械能的传递或转变,其中包括:机械能与其他形式的能(如热能、电能等)的转变,也包括由机械能所完成的有用功,以及摩擦生热的损耗。所以,各种机械的共同属性之三是“机械将在运转中实现机械能,以及其他能的转变或做有用的功”。

总之,机械是若干构件的组合,它能做有规律的运动,并在运动中完成机械能与其他能的转变或做有用功。

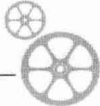
机械是机器与机构的总称,但是当全面考虑到上述三个共同的属性时,人类常用“机器”这个词语。当撇开能的转变问题而将重点仅放在运动时,我们就常用“机构”一词。例如,当您看到汽轮发电机,电动机,离心水泵和排风扇等器物时,大家都认知到那是机器;但如果从机构的角度来看,它们将是由一个固定构件和一个转动构件所组成的机构。再深入地看其中作用着力矩,若不考虑如何生成力矩的热力学,电工学和流体力学等相关问题时,它们和一把手钳并无多大差别。它们都是通过相互转动的两个构件所组成的一种简单的机构。

一部机器中可以包括不同种类的许多机构。例如,活塞式发动机中的连杆机构、齿轮机构和凸轮机构等。此外,同一种机构也可以出现在不同的机器中。例如活塞式发动机、冲压机床、往复泵和缝纫机等,都采用同一种连杆机构,以实现连续转动与往复移动的相互转化。

1.5 五大基本机构

自古以来,人类就已是会使用工具和制造工具的动物,诸如利用骨头、石头来制刀,或以笨重的木杆挖洞等,使人靠双手来发挥很大的效能。曾几何时,人们不再希望凡事都要靠手,用脑的结果,机器发展一日千里,种类五花八门。

古希腊发明家亚历山大·赫罗(Alexandra Hero)列举了机械的五项基本机构:杠杆、轮轴、滑轮、斜面与螺旋。利用这些机构,人类可以用来放大机械力,获得“以一当十”、“四两拨千斤”的效果。以下,我们就为您分节来述说这五项基本机构。



1.5.1 杠杆

人类何时开始使用杠杆已不可考,但是显然古人在制作船桅和其他简单的工具时,应广泛地应用到杠杆原理。公元前 1550 年左右,埃及人和印第安人已利用杠杆原理来从浅井中汲水,并于建筑工程时,应用杠杆来搬动重物或作为称量用机械(如:杠杆天秤)。后来,希腊人又在榨压葡萄汁的器具和弩炮的设计上应用了杠杆原理。

亚里士多德很早即发明杠杆的数学原理(杠杆定律),但实际的论证工作则隔一个世纪后,才由希腊数学家阿基米德完成。阿基米德曾说:“给我一个可依靠的支点,我可以移动地球”。凡可绕着一固定点而转动的硬棒,均可视为“杠杆”。它有以下的一组定义。

(1) 支点。杠杆转动时所绕的固定点就叫“支点”。

(2) 施力与施力臂。我们施于杠杆上的力叫做“施力”。施力的作用线到支点的垂直距离,则称为“施力臂”。

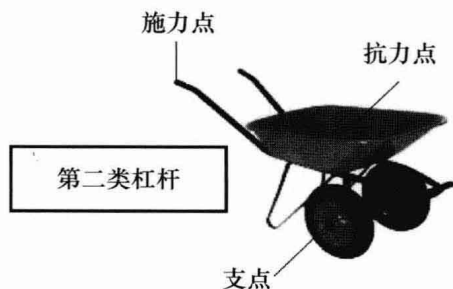
(3) 抗力与抗力臂:杠杆所受阻力称为“抗力”。抗力的作用线到支点的垂直距离,则叫做“抗力臂”。

根据支点、施力点、抗力点的相关位置,杠杆可区分为图 1-1 所示的三种。



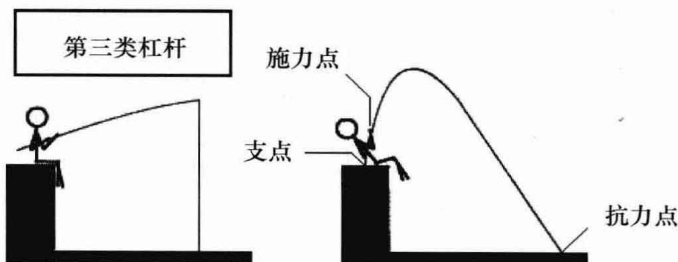
支点位于施力点与抗力点之间

同类物:剪刀、拔钉锤
优点:省力



抗力点位于支点及施力点之间

同类物:手推车、胡桃钳、裁纸刀、开瓶器
优点:在于可以较小力量举起或移动较重的重物



施力点位于支点及抗力点之间

同类动作:扫地、用筷子、用镊子

优点:增加所推动物体的速度,所移动物体的距离较第二类杠杆所移动的距离远

图 1-1 杠杆的应用