

采煤机动力学分析与系统

丁华 著

非外借



科学出版社

采煤机动力学分析方法与系统

丁 华 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书运用矿山机械、信息工程学科交叉的最新理论与应用技术,建立了采煤机整机刚柔耦合动力学模型;通过对采煤机整机及关键零部件的动力学特性的研究,提出了集采煤机建模、分析、优化为一体的数字化设计方案;突破了采煤机参数化 CAD 建模、参数化 CAE 分析、参数化优化设计、网络环境下的动力学分析等关键技术,开发出采煤机动力学分析系统(包括 NX NASTRAN 的采煤机参数化设计与分析系统、网络环境下基于 ADAMS 的采煤机动力学分析系统)。从而实现了从建模到分析再到优化的闭环控制,推动了采煤机传统动力学分析方法向数字化、网络化、智能化方向发展,提高了采煤机设计效率及企业的自主创新和协同创新能力。

本书总结了作者在采煤机动力学分析与系统研究中的经验和最新研究成果,希望为从事采煤机设计、动力学分析、现代设计理论与方法研究的学者及研究生提供参考和帮助。

图书在版编目(CIP)数据

采煤机动力学分析方法与系统 / 丁华著. —北京: 科学出版社, 2019.5

ISBN 978-7-03-060774-4

I. ①采… II. ①丁… III. ①采煤机—机械动力学—研究 IV. ①TD421

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 043725 号

责任编辑: 朱晓颖 朱灵真 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 5 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019 年 5 月第一次印刷 印张: 11 1/4

字数: 288 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

煤炭工业是我国国民经济的基础产业，在国民经济中占有重要的战略地位。近年来，随着国民经济的快速发展，煤炭能源需求总量仍处于高速增长阶段。为了提高煤炭的生产效率、保障煤炭持续可靠地供应，必须提高生产技术。采煤机是煤矿采煤工作的核心设备之一，其运动状态与可靠性直接影响生产的经济性和安全性。采煤机是机、电、液多学科组成的复杂耦合系统，在恶劣、复杂、多变的工作条件下极易发生故障而影响正常开采工作，给企业和国民经济带来巨大损失。因此，如何运用现代设计方法提高采煤机关键零部件的耐久性、可靠性和稳定性已成为采煤机现代设计方法研究中亟待解决的问题。

本书针对采煤机现代设计方法存在的不足，研究采煤机整机及其关键部位的动力学特性，将参数化原理和网络化思路融入采煤机动力学分析中，提出了参数化动力学分析方法和网络化动力学分析方法，突破了采煤机参数化建模、参数化分析、参数化优化及集成、在线参数化仿真等关键技术。并在此研究基础上，开发了基于 NX NASTRAN 与网络平台的采煤机动力学分析系统，在一定程度上实现了采煤机动力学分析的集成化、网络化、自动化和智能化，为提高采煤机设计可靠性提供了有效途径。具体内容包括：

(1) 建立采煤机整机刚柔耦合动力学模型，研究采煤机整机及关键部位的动力学特性，关注不同载荷工况下关键零部件应力应变情况，分析其危险位置，并结合疲劳寿命分析研究关键零部件的疲劳寿命情况及破坏形式，为采煤机的设计提供理论依据。

(2) 提出参数化建模、分析、优化的集成解决方案，基于约束的参数化原理实现可变参数对模型的实时驱动，利用解算求解器和接口函数实现数据的无缝传递与共享，完成 CAD 建模、CAE 分析和优化的参数化与自动化，实现采煤机设计、分析、优化整个过程的良性闭环控制，不仅避免了数据在不同软件间转换时造成的数据丢失，而且缩短了采煤机研发周期，提高了设计效率。

(3) 提出网络环境下基于 ADAMS 的采煤机动力学分析方案，在 B/S 模式下通过 ADAMS 接口函数、宏命令语言、模型语言与仿真脚本文件等关键技术，搭建动力学分析的网络平台，通过网络远程调用 ADAMS 实现对采煤机关键机构的在线参数化建模仿真分析、上传模型在线仿真分析、仿真记录与仿真视频管理等功能，弥补了单机版 CAE 分析软件的局限性，拓展了设计分析范围，节省了企业成本，具有良好的社会效益和经济效益。

在本书的写作过程中，太原理工大学机械与运载工程学院杨兆建教授对研究内容给予了全面的指导，王义亮教授对全书进行了校核和审读，太重煤机有限公司总经理郝尚清为研究

成果在企业的应用与推广提供了大力支持，同一课题组的原彬、李江云、谢爱争、赵峰等硕士研究生承担了课题的部分任务，在此一并表示感谢。

本书得到了山西省科技基础条件平台项目(201805D141002)的资助，在此表示感谢。

由于作者的知识水平有限，书中难免有不足之处，恳请广大读者提出宝贵意见。

作 者

2019年1月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究目的与意义	1
1.2 国内外研究动态	3
1.2.1 采煤机动力学分析	3
1.2.2 基于 NX NASTRAN 的动力学分析	4
1.2.3 基于网络的动力学分析	4
1.2.4 动力学分析系统	5
1.3 主要研究内容	6
第 2 章 采煤机动力学分析	8
2.1 引言	8
2.2 采煤机的结构组成与工作原理	8
2.2.1 采煤机的结构组成	8
2.2.2 采煤机的工作原理	10
2.3 虚拟样机技术及多体动力学理论	11
2.3.1 虚拟样机技术	11
2.3.2 多刚体系统动力学理论	12
2.3.3 刚柔耦合动力学理论	13
2.4 采煤机整机动力学分析	14
2.4.1 虚拟样机模型建立	14
2.4.2 仿真结果分析	17
2.5 采煤机截割部动力学分析	21
2.5.1 截割部虚拟样机模型建立	21
2.5.2 截割部传动系统运动学仿真	24
2.5.3 截割部传动系统动力学仿真	27
2.5.4 摇臂和提升托架动力学分析	30
2.6 采煤机牵引部动力学分析	43
2.6.1 牵引部行星齿轮机构模型的建立	43
2.6.2 添加约束与接触创建	44
2.6.3 添加驱动与负载	45
2.6.4 运动学分析	45
2.6.5 动力学分析	47
2.7 本章小结	52
第 3 章 采煤机动力学分析系统总体设计与关键技术	54
3.1 引言	54

3.2	系统设计目标	54
3.3	系统框架设计与功能设计	55
3.3.1	框架设计	55
3.3.2	功能设计	57
3.4	系统开发环境	58
3.4.1	系统开发模式的选取	58
3.4.2	开发平台工具的选取	58
3.4.3	系统开发语言的选取	59
3.5	系统开发关键技术	60
3.5.1	基于 NX 的二次开发技术	60
3.5.2	基于三维模型模板的参数化建模技术	66
3.5.3	基于 NX NASTRAN 的参数化 CAE 分析技术	67
3.5.4	基于 NX NASTRAN 的参数化优化设计技术	68
3.5.5	基于 NX NASTRAN 的参数化 CAD/CAE 集成技术	68
3.5.6	基于 ADAMS 的在线参数化仿真技术	69
3.6	本章小结	70
第 4 章	基于 NX 的采煤机参数化 CAD 建模子系统	71
4.1	引言	71
4.2	参数化 CAD 建模子系统总体设计	71
4.2.1	参数化 CAD 建模原理与方法	71
4.2.2	参数化 CAD 建模子系统结构设计	72
4.2.3	参数化 CAD 建模子系统功能设计	72
4.3	参数化 CAD 建模子系统开发的关键技术	73
4.3.1	参数化模型模板	73
4.3.2	应用程序编程接口	76
4.3.3	参数化 CAD 建模程序执行流程	77
4.4	参数化 CAD 建模子系统的开发与实现	78
4.4.1	注册环境变量	78
4.4.2	建立三维模型模板	79
4.4.3	子系统菜单设计	79
4.4.4	子系统对话框设计	79
4.4.5	项目创建及动态链接库文件生成	80
4.5	实例验证	81
4.6	本章小结	81
第 5 章	基于 NX NASTRAN 的采煤机参数化 CAE 分析子系统	82
5.1	引言	82
5.2	参数化 CAE 分析子系统总体设计	82
5.2.1	参数化 CAE 分析原理与方法	82
5.2.2	参数化 CAE 分析子系统结构设计	82
5.2.3	参数化 CAE 分析子系统功能设计	83

5.3	参数化 CAE 分析子系统开发的关键技术	84
5.3.1	参数化 CAE 分析程序执行流程	84
5.3.2	获取 NX NASTRAN 接口函数	86
5.3.3	系统菜单与界面设计技术	88
5.4	参数化 CAE 分析子系统的开发与实现	91
5.4.1	注册项目路径与开发目录	91
5.4.2	定制系统菜单和对话框	92
5.4.3	项目创建及动态链接库文件生成	92
5.5	实例验证	95
5.6	本章小结	101
第 6 章	基于 NX NASTRAN 的采煤机参数化优化设计子系统	102
6.1	引言	102
6.2	参数化优化设计子系统总体设计	102
6.2.1	参数化优化设计原理与方法	102
6.2.2	参数化优化设计子系统结构设计	103
6.2.3	参数化优化设计子系统功能设计	103
6.3	参数化优化设计子系统开发的关键技术	104
6.3.1	程序执行流程	104
6.3.2	接口函数及类库	105
6.4	参数化优化设计子系统的开发与实现	105
6.4.1	设置环境变量	105
6.4.2	菜单设计	106
6.4.3	对话框设计	107
6.4.4	项目创建及动态链接库文件生成	108
6.5	实例验证	109
6.6	本章小结	111
第 7 章	基于 ADAMS 的采煤机在线参数化仿真子系统	112
7.1	引言	112
7.2	系统设计基本原理	112
7.2.1	ADAMS 仿真方式	112
7.2.2	模型语言与仿真控制脚本语言	113
7.2.3	采煤机运动机构建模	114
7.3	系统工作流程	115
7.4	系统实现关键技术	117
7.4.1	人机交互界面设计	117
7.4.2	ADAMS 接口及调用	117
7.4.3	结果数据处理	118
7.5	调高机构在线参数化仿真子系统开发实例	119
7.5.1	界面设计	119
7.5.2	数据预处理	120

7.5.3	模型文件	121
7.5.4	数据筛选	121
7.5.5	数据重组	121
7.6	实例验证	122
7.7	本章小结	124
第 8 章	基于 ADAMS 的采煤机上传模型在线仿真子系统	125
8.1	引言	125
8.2	系统设计原理	125
8.2.1	宏命令语言	125
8.2.2	ADAMS 中碰撞力计算	126
8.3	系统工作流程	128
8.4	系统实现关键技术	129
8.4.1	人机交互界面设计	129
8.4.2	模型文件上传	129
8.4.3	模型参数的获取	130
8.4.4	结果数据的处理	130
8.5	齿轮机构上传模型在线仿真子系统开发实例	131
8.5.1	界面设计	131
8.5.2	模型文件验证与上传	132
8.5.3	模型参数的获取	132
8.5.4	齿轮刚度计算	133
8.5.5	数据离散	135
8.6	实例验证	135
8.7	本章小结	137
第 9 章	基于 ADAMS 的采煤机仿真记录与仿真视频子系统	138
9.1	引言	138
9.2	系统设计原理	138
9.2.1	网络数据库	138
9.2.2	ADAMS 仿真视频	139
9.2.3	网页视频播放	140
9.3	系统工作流程	141
9.4	系统实现关键技术	142
9.4.1	人机交互界面设计	142
9.4.2	双数据库设计	143
9.4.3	数据库操作	145
9.5	采煤机仿真记录与仿真视频子系统开发实例	146
9.5.1	界面设计	146
9.5.2	读取数据	147
9.5.3	视频播放	148

9.6 实例验证	149
9.6.1 仿真记录子系统	149
9.6.2 仿真视频子系统	149
9.7 本章小结	150
第 10 章 系统测试与应用	151
10.1 引言	151
10.2 系统测试	151
10.2.1 测试目的与内容	151
10.2.2 测试方法与测试步骤	152
10.2.3 测试结果与结论	154
10.3 应用实例	155
10.4 本章小结	161
第 11 章 结论与展望	162
11.1 主要结论	162
11.2 主要创新点	162
11.3 进一步工作展望	163
参考文献	164
附录	167

第1章 绪 论

1.1 研究目的与意义

我国是全球煤炭消费大国之一,虽然我国倡导优化能源消费结构、提高清洁能源和可再生能源在能源消费结构中所占的比重,但是由于我国能源结构为多煤、少油和缺气的格局,短期内我国目前的能源结构仍然以煤炭为主。煤炭是我国的主导能源,也是支撑国家经济快速发展的基础动力,在国民经济中具有重要的战略地位。为了保障煤炭持续可靠地供应,必须提高煤炭的生产效率,提高生产技术和采煤机的工作效率。

采煤机是机、电及液多学科组成的复杂耦合系统,在恶劣、复杂、多变的工作条件下,极易发生故障,如牵引箱的开裂、行星架的变形扭曲、行走轮轮齿的折断变形以及导向滑靴的撕裂等,严重影响煤矿企业正常开采工作,给企业和国民经济带来巨大损失。因此对采煤机关键零部件的耐久性、可靠性及稳定性提出了更高的要求。

我国采煤机制造业生产能力和规模堪称世界最大,但整体技术水平和创新能力却远落后于世界先进水平。例如,美国久益公司、德国艾柯夫公司的采煤机利用率达95%~98%,整机无故障运行12~18个月,主要部件的大修周期为600万h,最高达1000万h,而国内采煤机只能保持在6个月左右,大修周期明显短于国外采煤机^[1]。另外,我国采煤机的原材料和关键零部件(齿轮、轴承、滚筒、电机、密封件)在质量上与国外产品存在较大差距,国外大功率电牵引采煤机寿命达2000万h,齿轮寿命达20000h以上,轴承寿命达30000h以上,而国产采煤机的齿轮寿命和轴承寿命一般为10000h^[2]。中国与国外同类采煤机相比还存在较大的差距,主要体现在:外形尺寸庞大,重量超重;传动系统效率低,有效输出功率不高;可靠性较差,寿命短;自动化程度低,工人劳动强度大。由此可见,我国采煤机设计理论与技术暴露出诸多问题:设计理念落后,设计手段落后,设计理论不完善;技术创新能力弱,适应性差;协同能力差,整体方案解决能力弱,信息化水平低^[3]。

近些年,采煤机设计与制造企业与高校、科研院所联合围绕数字化集成设计技术、基于网络的现代设计方法、矿山机械CAE、虚拟现实、绿色设计与制造、云计算与云制造等先进设计理论和方法进行研究与探索,现代设计方法逐渐在采煤机设计与生产制造单位得到了快速的发展及应用,成为企业可持续发展的重要手段。但由于采煤机设计过程具有多输入、多输出、不确定性及多干扰源的复杂非线性等特点,需要考虑多种特殊环境和复杂工况等综合因素,至今数字化设计进程缓慢。

目前采煤机设计研究的不足主要归纳为以下几个方面。

(1)目前采煤机设计大都基于传统的设计方法和经验公式,需要查阅大量文献资料并进行复杂人工计算,效率低且可靠性差。为适应不同煤层高度、煤层硬度及年产量需求等原始条件,需要研发具有不同性能参数的采煤机,若依靠传统设计方法,则必须对零部件及整机进行重新建模,并手动校核其强度、刚度、稳定性和疲劳寿命等性能,工作过程烦琐且具有很

大的重复性。

(2)企业对 CAE 研究不深入,对采煤机零件结构设计优化考虑不周,造成采煤机的一些关键零部件结构不可避免地存在过设计或欠设计,增加了大量的试验投资,致使生产成本一直居高不下,产品可靠性也得不到保证,极大地制约了产品市场竞争力的提高。虽然有不少企业和研究机构开展 CAE 分析技术的研究,但是 CAE 分析大多是面向个体定制,未实现参数化 CAE 分析,极大地影响了采煤机 CAE 分析的效率。

(3)采煤机参数化设计与分析技术对设计人员软件技术门槛和操作水平的要求较高,目前对于采煤机的建模、分析、优化仍停留在不同软件的初级使用阶段,且整个建模、分析、优化流程通过软件间的接口技术实现。不同软件对数据的处理及记录方式不同,不可避免地导致数据在不同软件间转换时丢失。因此研究参数化建模、分析及优化集成关键技术与开发集建模、分析及优化功能为一体的软件平台势在必行。

(4)传统的采煤机动力学分析计算对计算机的硬件及研发人员的技术能力要求较高,企业内部的计算机资源和网络资源不能得到最优化的配置利用,导致企业对仿真技术日益增长的需求与科研资金投入不足之间的矛盾;同时在传统的机械产品研发过程中,由于空间的限制,数据的保存与实时共享存在一定的困难,不利于研发人员之间的互相交流和协同工作,势必造成产品研发周期延长,企业竞争力降低。

针对目前采煤机现代设计存在的问题,本书运用矿山机械、信息工程学科交叉的最新理论与应用技术,提出了集采煤机建模、分析、优化为一体的数字化设计方案,突破了采煤机参数化 CAD 建模、参数化 CAE 分析、参数化优化、网络环境下的动力学分析等关键技术,开发了采煤机动力学分析系统,包括基于 NX NASTRAN 的采煤机参数化设计与分析系统和网络环境下基于 ADAMS 的采煤机动力学分析系统。基于 NX NASTRAN 的采煤机参数化设计与分析系统通过在同一软件中集成参数化建模、分析及优化三个子系统,可使研发人员通过 UI 中的参数控制零件的三维建模、分析及优化的全进程,实现了从建模到分析再到优化的闭环控制功能,有效地防止了数据丢失,同时提高了采煤机的设计效率。网络环境下基于 ADAMS 的采煤机动力学分析系统,将动力学分析软件 ADAMS 集成到服务器中,实现采煤机的运动机构参数化建模和动力学在线仿真分析,并且能够对企业设计人员所上传的采煤机模型进行动力学分析,为设计人员提供在线仿真数据结果,同时提供仿真数据与仿真视频的异地共享及保存功能,为采煤机设计提供了参考依据。

本书的研究推动了采煤机传统设计方法向数字化、网络化、智能化方向发展,提高了采煤机设计效率及企业的自主创新和协同创新能力,具体体现在以下几个方面。

(1)考虑到采煤机整机受力情况和各部件之间受力都有着直接或间接关系的因素,本书通过必要的假设与简化,建立采煤机工作时的刚体动力学模型和数学模型,建立采煤机整机刚柔耦合动力学模型,利用多体动力学分析软件 ADAMS,结合实际对不同工况进行动力学仿真,对采煤机整机、截割部和牵引部等关键部位进行受力分析,为采煤机动力学的分析研究与设计奠定一定的理论基础。

(2)由于数字化技术在煤机装备企业的应用还未普及,许多企业人员缺乏数字化设计的专业知识与技能。在采煤机设计与生产过程中仍采取传统设计方法,造成企业缺乏竞争力,成本提高,效益下降。采煤机动力学分析系统具有友好的交互界面,操作简便,企业设计人员在专业知识欠缺的条件下也能利用该软件对模型进行分析和优化,提高了工作效率。

(3)基于 NX NASTRAN 的采煤机参数化设计与分析系统集成参数化 CAD 建模子系统、

参数化 CAE 分析子系统及参数化优化设计子系统, 实现了采煤机设计、分析、优化整个过程的闭环控制, 不仅避免了数据在不同软件间转换时造成的数据丢失, 而且缩短了采煤机研发周期, 提高了设计效率。

(4) 网络环境下基于 ADAMS 的采煤机动力学分析系统实现了对采煤机运动机构进行在线动力学仿真分析计算, 可以提供采煤机关键零部件在不同工况下的载荷情况, 为采煤机关键零部件设计提供参考依据, 使设计人员摆脱传统分析方法的重复劳动, 不受地域的限制进行异地合作与设计, 实现信息的交流和共享, 方便快捷, 具有良好的社会效益。

(5) 采煤机动力学分析系统将远程动力学分析服务集成在服务器端, 企业无须购买专业分析软件, 登录网站即可使用, 使企业内部的计算机资源和网络资源得到了最优化的配置利用, 有效缓解了企业对仿真技术日益增长的需求与科研资金投入不足之间的矛盾, 缩短了采煤机研发周期, 增强了企业竞争力。

1.2 国内外研究动态

1.2.1 采煤机动力学分析

采煤机的工作环境复杂恶劣, 其性能的优劣直接关系到煤炭生产能否安全、高效地进行。采煤机在工作状态下长期承受复杂多变的动载荷的作用, 导致各零部件失效, 整机可靠性降低。因此, 国内外许多学者都对采煤机的零部件动力学特性进行了研究。

2008 年, 西班牙奥维尔多大学 Torano 等采用模糊逻辑、神经网络和 3D 有限元计算等建模工具研发出一种长壁采煤设备的计算机模型, 可以预测设备对于变化的操作条件的响应, 将所得到的响应与深层测量结果所得到的大量数据进行对比, 最终通过 VRML(虚拟现实建模语言)工具返回给系统用户^[4]。2009 年, 太原理工大学齐有军等人采用有限元法分析某型号采煤机减速齿轮箱的动态特性, 研究并修正了引起箱体共振破坏和应力破坏的设计缺陷, 并以箱体的重量最轻为目标进行箱体参数优化^[5]。杨涛等利用 ADAMS 软件对某新型大采高电牵引采煤机的截割部进行运动学和动力学仿真分析, 并以此结果为依据, 在 ANSYS Workbench 中对截割部的关键零部件进行有限元分析^[6]。东北大学赵丽娟等人采用有限元方法对采煤机扭矩轴进行了静力学分析, 并结合 ADAMS 和 ANSYS/LS-DYNA 软件进行了动态接触仿真分析, 得到了准确的扭矩轴应力、应变值及其变化规律^[7]。2010 年, 西安科技大学白学勇等人针对截齿工作过程中受力及可能出现的故障, 采用有限元法对采煤机截齿截割过程的力学性能进行了模拟分析, 研究了不同速度、不同安装约束对截齿截割性能的影响^[8]。2012 年, 中国煤炭科工集团有限公司王广等基于 Solid Edge 和 ADAMS 软件, 采用机械系统动力学分析方法, 得到了采煤机在固定摇臂倾角运行过程中调高油缸上所受动态力的情况^[9]。2013 年, 西安重工装备制造集团有限公司杜成林等采用有限元软件 ABAQUS 对采煤机齿轨轮和销排行走机构进行仿真分析, 研究得出了导致齿轮根部应力出现峰值的原因^[10]。2014 年, 赵丽娟等人在 RecurDyn 中建立截割部传动系统刚柔耦合模型, 并对系统添加基于 MATLAB 模拟得到的载荷, 在仿真环境下描述了齿轮啮合的过程, 求出各级齿轮的动态应力, 并依据分析结果对传动齿轮进行了优化设计, 为大型机械的柔性接触仿真提供了解决思路, 揭示了齿轮在啮合过程中的周期性波动^[11]。2015 年, 赵丽娟等通过 MATLAB、Pro/E、ADAMS 和 ANSYS 建立了联合仿真平台, 对截割部进行了振动特性分析, 并在 LS-DYNA 中进行了一级齿轮的动态接

触分析,分析结果表明截割部存在易激发的固有振型,仿真结果为采煤机提高稳定性提供了参考和依据;并建立了采煤机截割部的动力学模型,利用输出的载荷文件对轴承进行动力学分析,明确了滚动轴承的动力学响应,为低速重载滚动轴承的设计提供了参考;以多体动力学理论为基础,建立了采煤机截割部刚柔耦合模型,对截割部行星轮系进行了动力学分析,根据各齿轮的应力和变形情况对行星头部太阳轮进行了结构改进,从而消除了行星架的应力集中情况^[12]。近年来,太原理工大学煤矿综采设备重点实验室课题组利用 ADAMS、NX NASTRAN 等动力学分析软件对采煤机进行了动力学仿真分析^[13-15],为采煤机设计提供了理论依据。

1.2.2 基于 NX NASTRAN 的动力学分析

NX NASTRAN 是国际上应用最广泛的 CAE 工具,可以对多种类型的工程和产品的物理、力学性能进行分析、模拟、预测、评价和优化,以实现产品技术创新。其应用领域包括航空航天、汽车、军工、船舶、重型机械设备、医药和消费品等,这也使得其分析结果成为了工业化的标准。因此,国内外许多学者对基于 NX NASTRAN 动力学分析进行了研究。

1981 年, Larkin 等对 NASTRAN 分析的弹塑性用户元素进行了研究,指出 NASTRAN 弹塑性用户元素是其主要缺陷,在分析过程中梁元素和壳元素不能进行弯曲,为此提出通过加载更为详细的几何形变来解决该问题^[16]。2006 年, Cestino 针对 NX 研发了一种计算机程序对机械结构和参数进行研究和优化,之后利用 NASTRAN 代码进行有限元分析并验证优化结果^[17]。2010 年, Hajimirzaalian 等人通过 NASTRAN 仿真制作了设计平台,并对一些机械机构进行了优化^[18]。2016 年,印度斯里兰卡工程学院 Ramesh 等人利用 NX NASTRAN 软件对含有红麻和玻璃纤维的混杂复合材料进行元素分析,并对其力学性能进行了预测^[19]。2011 年,吉林大学谢飞等利用 NX 软件内嵌解算器 NASTRAN 对 Logix 型齿轮进行了弯曲应力分析^[20]。2013 年,扬州大学 Li 等应用 NX 软件建立了旋转刀片轴的三维模型,并利用 NX NASTRAN 对其进行静力学分析^[21]。2013 年,江苏大学李耀明利用三维软件 NX 建立了模型号联合收获机的底盘托架,并利用 NX NASTRAN 软件对其进行了模态分析^[22]。太重煤机有限公司郭成龙利用 NX NASTRAN 软件对点牵引采煤机截割部摇臂进行了瞬态分析^[23]。上海理工大学石更强运用 NX NASTRAN 软件对人工仿生膝关节进行了静力学分析^[24]。2014 年,上海理工大学李春银等人利用 NX NASTRAN 对汽车空调旋叶式压缩机中排气阀片进行了模态分析^[25]。2017 年,陈家琦等通过参数化设计轮毂结构,运用 NX NASTRAN 软件对轮毂进行有限元分析,完成轮毂结构的有限元分析及优化^[26]。2018 年,赵娟妮使用 NX NASTRAN 软件对优化前、后的车架进行有限元分析,得出了车辆正常行驶时车架应力分布情况、位移分布图及模态分析结果,从而验证车架优化设计的合理性^[27]。顾涛和罗平尔使用 NX NASTRAN 软件进行有限元分析,验证了铆压的可行性,完成了铆压机的设计,有效提高了铆压的质量和效率^[28]。

1.2.3 基于网络的动力学分析

随着计算机网络技术的发展,动态网络技术、组件技术、数据库技术等使得基于网络的动力学分析成为可能。目前许多学者对远程设计和远程有限元分析都有所研究。

2005 年,新加坡国立大学 Mervyn 等采用客户端/服务器的系统结构,设计研发了一套基于网络的交互式夹具设计系统^[29]。2010 年,马里博尔大学 Hren 将建模系统与虚拟样机技术结合,采用 B/S 结构开发系统,进行在线评估和仿真^[30]。2012 年,建国大学 Lwin 等提出基于

Web 的多学科优化设计框架,整合相关技术实现了使用飞行仿真程序预测旋翼飞机的飞行特性^[31]。2013年,延世大学 Nyamsuren 等提出了基于 Web 的浇注系统协同设计框架,实现了 3D 模型数据的在线修改和创建^[32]。2002年,清华大学韩永彬等通过远程调用的方式实现了 ANSYS、ADAMS 和 Fluent 三种 CAE 软件基于 Web ANSYS、ADAMS 和 Fluent 三种软件的共享,并在此基础上完成了一个分布式计算环境下基于 Web 方式的 CAE 软件共享原型系统^[33]。2003年,清华大学张和明等人采用基于 CORBA 和 DCOM 的分布式对象处理技术,开发了基于 Web 的多学科协同设计与仿真平台原型系统^[34]。武汉大学胡建正等采用组件化程序设计方法,将 ADAMS 软件引入履带车辆传动系统仿真开发中^[35]。2007年,西北工业大学王晓东等通过分析协同仿真实现方式及 ADAMS 与 Simulink 提供的外部接口,实现了两者单机环境下的协同仿真,利用 ADAMS 软件的 Controls 模块进行网络数据传输,实现了两者在不同主机上的远程系统仿真^[36]。山东科技大学赵胜刚等人通过编写 JavaBean 的方法,初步实现了 MATLAB 的 Web 调用与 ADAMS 协同仿真,用于对控制、液压和机械系统提供协同仿真服务^[37]。

太原理工大学现代设计网上合作研究中心和煤机装备山西省重点实验室长期致力于煤机装备现代设计方法的研究,近年来在基于 Web 的现代设计方面取得了大量的研究成果。2012年,张艳花等利用 ASP.NET 3.5 技术以及访问 SQL Server 2005 数据库的技术,设计了采煤机选型设计系统^[38]。2013年,杨兆建等人开发矿山机械 CAE 技术公共服务平台,通过网络扩展可交互软件,对 ANSYS 进行异地调用,为矿山机械制造企业提供远程有限元分析服务^[39]。2015年,谢嘉成等开发了基于 Web 的采煤机虚拟拆装模块和综掘工作面场景仿真系统,实现了远程虚拟拆装与场景演示服务,为煤矿装备制造企业快速了解产品结构和实际运行状况提供了全新平台与技术支持^[40]。2016年,郝晓东等人提出了基于 Web 的采煤机扭矩轴参数化分析方法,结合 MATLAB 软件与 ASP.NET 技术开发了采煤机扭矩轴参数化分析系统,使用户在远程客户端就可以直接求解受同一扭矩的、不同尺寸下的扭矩轴卸荷槽所产生的最大剪应力^[41]。2017年,赵峰等基于 ADAMS 软件开发了采煤机动力学分析系统,实现了对采煤机关键零部件的在线动力学仿真分析^[42]。

1.2.4 动力学分析系统

目前,应用于机械动力学和运动学仿真分析方面的软件主要分为两类:一类是以结构为主要分析对象的有限元分析软件,如 ANSYS、NASTRAN 和 Abaqus 等;另一类是以机构运动为主要研究对象的运动学仿真分析软件,如 ADAMS 和 DADS 等。为了实现快速建模和改型,避免研发过程中的重复工作,国内外学者结合不同的机械产品,基于软件二次开发设计了动力学分析系统。

2002年,美国斯蒂文斯理工学院 Aziz 等人在新的集成设计和制造环境下以知识库为基础设计了一个基于网络的齿轮设计和制造系统,系统完成在线建模后会自动进行 ANSYS 有限元分析,并生成分析结果^[43]。2005年,西安交通大学朱爱斌等基于 MATLAB 和 Visual Basic (VB) 提出三种集成方法,开发了齿轮啮合的转子轴承系统动力学分析系统^[44]。2011年,四川大学刘峰等提出了齿轮轴的参数化有限元分析系统的总体框架,以 VC++6.0 为开发平台,实现了对 ANSYS 中 APDL 语句的封装以及对 ANSYS 核心程序的调用,完成了系统各模块功能的开发^[45]。吉林大学米良等针对数控机床主轴系统设计多个软件协同建模、智能决策与分析仿真的需要,提出并实现了 Solid Edge、ADAMS、ANSYS 以及主轴智能设计系统之间的多软件协同建模、数据交换与共享的方法,并在此基础上开发了一种由用户定制模块、传动方式配

置智能决策模块、优化设计模块以及设计资源中心等组成的主轴智能设计系统^[46]。2014年,西北工业大学杨创战等结合 Visual Basic6.0 和 ANSYS 开发了减速器箱体的参数化有限元分析系统^[47]。沈阳航空航天大学徐涛等为了实现对航空发动机振动分析及振动信息的自动化管理,结合 VB、Oracle 数据库、MATLAB 设计了发动机振动分析系统及其内部接口^[48]。2018年,太原理工大学谢爱争以 NX9.0 为开发平台,在 Visual Studio2012 集成编译环境下开发了采煤机动力学分析系统^[49]。

综上所述,国内外学者对于采煤机动力学分析、基于 NX NASTRAN 的动力学分析、网络环境下基于 ADAMS 的动力学分析及动力学分析系统的研究为本书的编写提供了良好的基础与借鉴,但相关研究仍存在一些不足,具体分析如下。

(1)对于采煤机的动力学分析研究,大多局限于某一种工况和某一个部件的动态性能,对采煤机整机动力学分析的研究很少。此外,国内外很多学者对截割部刚柔耦合分析没有充分结合实际工况,同时,在分析传动系统时载荷工况单一且只考虑传动系统的部分零件,对于不同工况采煤机截割部动力学响应研究较少。

(2)通过 CAE 对所设计的产品进行物理及力学性能分析、参数及结构优化等大多还局限于传统方法,需要依据优化后的参数对模型进行修改,直到达到最优结构。此外,由于建模软件平台和分析软件平台的分离,用户必须花费时间进行平台切换,降低了工作效率。

(3)目前对于 ADAMS 的网络化应用,研究重点主要集中于将 ADAMS 作为辅助仿真工具来实现数据的网络传输,而将 ADAMS 作为虚拟样机技术软件应用于 B/S 模式中的研究非常少。另外,国内外对基于 ADAMS 的采煤机动力学分析、网络化研究寥寥无几,不能够满足当今采煤机设计的异地合作与资源共享需求。

(4)目前开发的动力学分析系统功能还有待完善,由于其开发难度较大且开发周期较长,大多数系统的开发仅仅停滞在理论研究上,在新产品研发设计中的应用较少。此外,模型数据未能在同一软件平台中得到统一,对于参数化 CAD/CAE 集成技术,由于起步较晚,目前还不能实现在同一个二次开发系统中既拥有参数化 CAD 建模功能又兼备参数化 CAE 分析功能。

1.3 主要研究内容

本书针对传统采煤机设计方法存在的不足,研究采煤机整机及关键部位的动力学特性,分析采煤机在工作中关键零部件可能出现的破坏形式;研究参数化动力学分析及网络化动力学分析方法,并开发采煤机动力学分析系统,为采煤机的数字化设计奠定了基础。主要研究内容如下。

(1)研究采煤机整机及关键部位的动力学特性。建立采煤机整机刚柔耦合动力学模型并考虑采煤机整机受力情况和各部件之间受力都有直接或间接关系的因素,利用多体动力学分析软件 ADAMS,结合实际对不同工况进行动力学仿真,对采煤机整机、截割部和牵引部等关键部位进行受力分析,关注在不同载荷工况下的关键零部件应力应变情况,分析其危险位置,并结合疲劳寿命分析,研究关注零部件的疲劳寿命情况及破坏形式。

(2)研究基于 NX 三维模型模板的参数化建模技术,设计基于 NX 的参数化建模程序执行流程并获取应用程序接口函数,实现采煤机关键零部件的参数化建模。研究基于 NX

NASTRAN 的参数化 CAE 分析关键技术,探索用 NX NASTRAN 作为解算求解器实现参数化 CAE 分析的途径和技术路线,并获取系统开发所需的接口函数,实现采煤机关键零部件参数化 CAE 分析,包括线性静力学分析、模态分析、瞬态分析、疲劳分析、频率响应分析。

(3)研究建模、分析、优化集成解决方案及关键技术。在参数化模型基础上,通过设置 CAE 分析条件进行 CAE 分析,通过接口函数获取参数化 CAE 分析的分析结果,并依据设定的优化目标、约束条件和设计变量对模型进行优化分析,优化设计结果返回去指导模型的修改。参数化 CAD 建模、参数化 CAE 分析、参数化优化设计在同一软件中实现,有效避免不同系统数据转换时严重的数据丢失问题。

(4)设计网络环境下基于 ADAMS 的采煤机动力学分析方案,研究 ADAMS 软件的仿真方式、模块功能及接口类型,解决在 B/S 模式下远程调用 ADAMS 软件的关键技术,并与动态网页技术相结合,研发网络环境下基于 ADAMS 的采煤机动态分析系统,实现对采煤机关键机构的在线参数化仿真分析、上传模型在线仿真分析、仿真记录与仿真视频等功能。

(5)开发采煤机动力学分析系统。根据上述理论和方法,在软件开发模式、体系结构、功能设计以及 CAE 软件集成开发系统方法的研究基础上,结合采煤机建模、分析及优化主要阶段,利用动态网络编程技术、二次开发技术、数据库技术等开发采煤机动力学分析系统,包括基于 NX 的采煤机参数化 CAD 建模子系统、基于 NX NASTRAN 的采煤机参数化 CAE 分析子系统、基于 NX NASTRAN 的采煤机参数化优化设计子系统、基于 ADAMS 的采煤机在线参数化仿真子系统、基于 ADAMS 的采煤机上传模型在线仿真子系统、基于 ADAMS 的采煤机仿真记录与仿真视频子系统。