

国家自然科学基金项目(51605138, U1508210)资助

矿物加工科学与技术国家重点实验室开放研究基金 (BGRIMM-KJSKL-2016-04)资助

江苏省自然科学基金项目(BK20160286)资助

常州市科技计划项目(CJ20179022)资助

大型振动筛系统 ⑤ 结构动力学研究

王 宏 彭利平 刘初升 著

非 外 信

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家自然科学基金项目(51605138,U1508210)资助

矿物加工科学与技术国家重点实验室开放研究基金(BGRIMM-KJSKL-2016-04)资助

江苏省自然科学基金项目(BK20160286)资助

常州市科技计划项目(CJ20179022)资助

大型振动筛系统与结构动力学研究

王 宏 彭利平 刘初升 著



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是一本有关大型振动筛系统动力学及其结构动力学理论与应用的专著,汇集了作者多年努力研究的一些成果,旨在为大型振动筛的高可靠性设计、保障其高效运行提供理论参考。本书的主要内容有:第1章,绪论;第2章,大型振动筛空间动力学分析;第3章,大型振动筛弹性筛面的动力学分析;第4章,内焊筋板激振梁的结构动力学特性;第5章,筛分过程中承重梁(或加强梁)的结构动力学分析;第6章,基于大型振动筛动力学的减振弹簧健康识别;第7章,总结。

本书可供相关专业的研究人员借鉴、参考,也可供广大教师和学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

大型振动筛系统与结构动力学研究 / 王宏, 彭利平, 刘初升著. —徐州: 中国矿业大学出版社, 2018.1

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3861 - 0

I. ①大… II. ①王…②彭…③刘… III. ①振动筛—结构动力学—研究 IV. ①TD452

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 323933 号

- 书 名 大型振动筛系统与结构动力学研究
著 者 王 宏 彭利平 刘初升
责任编辑 何晓明
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司
开 本 787×960 1/16 印张 12.5 字数 225 千字
版次印次 2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷
定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

筛分作业是选煤的关键环节,广泛应用于煤炭的分级、脱水、脱介和脱泥等工序。我国煤炭消耗量的不断增长与洁净煤利用的发展要求,对高筛分效率和大处理量的大型振动筛的需求也日益迫切。大型振动筛筛面宽度不小于 3.6 m、筛分面积不小于 20.0 m²,在激振器强交变载荷作用下激发筛体/筛面振动,实现煤炭筛分及输送。实际中,由于激振器和大处理量筛分粒群的联合作用,大型振动筛动力学特性极为复杂,频繁出现不平稳运行引发的结构破坏和粒群跑偏等故障,设备可靠性差、使用寿命短,难以满足大规模选煤的生产要求。

本书是一本有关大型振动筛系统动力学及其结构动力学理论与应用的专著,汇集了作者多年努力研究的一些成果,旨在为大型振动筛的高可靠性设计、保障其高效运行提供理论参考。本书的主要内容安排如下:

第 1 章,绪论。阐述了本书研究的意义,从筛体振动特性及振动筛现代设计方法两方面对大型振动筛的技术研究现状进行了分析。

第 2 章,大型振动筛空间动力学分析。建立并验证了新的振动筛三自由度空间耦合动力学模型,在保证体现传统模型的力学特性基础上,丰富了力学信息,结合数值仿真方法实现不同弹簧刚度组合下筛体强迫振动响应的突变分析,并基于此开发了振动筛弹簧故障下自由振动模拟系统。

第 3 章,大型振动筛弹性筛面的动力学分析。通过建立多自由度弹性结构分级筛面振动筛的动力学模型、模块化聚氨酯筛板脱介筛面的薄板动力学模型和弛张筛面的非线性大变形模型,系统研究了大型振动筛弹性筛面的动力学特性,为大型振动筛筛面可靠性设计提供了一条途径。

第 4 章,内焊筋板激振梁的结构动力学特性。提出了在激振梁中心内焊筋板来代替传统的激振梁加厚或外焊筋条;建立了边界连续条件的 Euler-Bernoulli 梁和 Timoshenko 梁组成的混合梁单元 ETE,实现内焊筋板激振梁建模成多个 ETE 构成的混合梁;分析了内焊筋板激振梁固有的特性及其模型局限性。

第 5 章,筛分过程中承重梁(或加强梁)的结构动力学分析。提出了筛分

过程振动筛一般动力学模型;研究了筛体受物料作用下的各态历经平稳随机振动特性;确定了承重梁在筛分过程中除了传统的确定性侧板激励跟随刚体平动外,还承受确定性侧板激励弯曲振动和非确定性侧板激励轴向线性分布随机刚体平动,据此改进传统的承重梁(或加强梁)端部受力情况的计算方法。

第6章,基于大型振动筛动力学的减振弹簧健康识别。概述了关于大型振动筛减振弹簧健康识别的三种新方法——定性的二次悬挂质量法、自由响应法和定量的刚度反演法,且对上述三种方法均进行了实验验证。

第7章,总结。对全书的主要研究成果进行了总结,并展望了下一步的研究工作。

成书之际,感谢国家自然科学基金(51605138、U1508210)、江苏省自然科学基金(BK20160286)、中国博士后科学基金面上项目(2016M590514)、矿物加工科学与技术国家重点实验室开放基金(BGRIMM-KJSKL-2016-04)、常州市科技计划项目(CJ20179022)的资助。

本书是在作者已发表的论文和撰写的博士论文基础上凝练而成的,同时也补充了一些未公开发表的最新研究成果。作为一部专著,在所涉及的数值计算方法、随机振动理论和计算结构力学方面的基础知识并未展开说明,请读者按需查阅相关资料。此外,由于作者精力有限和专业知识的局限,书中难免会有错误或不妥之处,恳请广大同行和读者批评指正。

著者

2017年9月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 引言	1
1.2 筛体振动特性研究进展	3
1.3 大型振动筛结构设计进展	5
1.4 本书的主要内容	9
1.5 本章小结	9
第 2 章 大型振动筛空间动力学分析	10
2.1 大型振动筛空间三自由度动力学模型的建立	12
2.2 空间三自由度动力学模型理论分析	15
2.3 空间三自由度模型验证	23
2.4 减振弹簧故障引起的空间振动模拟	27
2.5 基于 GUI 的减振弹簧故障下自由振动模拟系统的建立	36
2.6 本章小结	45
第 3 章 大型振动筛弹性筛面的动力学分析	47
3.1 弹性结构分级筛面的动力学分析	48
3.2 弛张筛面大挠度非线性变形分析与实验	58
3.3 模块化聚氨酯筛板脱介筛面的动力学分析	65
3.4 本章小结	70
第 4 章 内焊筋板激振梁的结构动力学分析	71
4.1 内焊筋板激振梁的机械结构	72
4.2 内焊筋板激振梁的弯曲振动分析	74
4.3 内焊筋板激振梁的弯曲振动特性	78
4.4 数值算例	84
4.5 ETE 模型的局限性	97

4.6	本章小结	101
第 5 章	筛分过程中承重梁(或加强梁)的结构动力学分析	102
5.1	筛分过程中大型振动筛的一般动力学模型	104
5.2	筛分过程中振动筛随机振动评价	105
5.3	筛分过程中大型振动筛承重梁的运动	115
5.4	考虑随机特性的大型振动筛承重梁设计改进	120
5.5	承重梁动力学参数的数值模拟与实验测试	122
5.6	本章小结	128
第 6 章	基于大型振动筛动力学的减振弹簧健康识别	129
6.1	静力学法	129
6.2	自由响应法	134
6.3	刚度反演法	143
6.4	本章小结	166
第 7 章	总结	168
附录	171
附录 1	弹性结构分级筛面的动力学仿真程序	171
附录 2	内焊筋板激振横梁弯曲振动固有特性的求解程序	177
参考文献	183

第1章 绪论

1.1 引言

煤炭直接燃烧是造成我国雾霾、烟尘、二氧化硫污染等大气污染的原因之一。选煤是最经济有效的煤炭清洁与高效利用办法,它既能够保护环境、优化煤炭产品结构、提高煤炭质量,又能节约运力、充分利用资源。与发达国家相比,我国煤炭入选比例较低。2014年11月,由国务院办公厅印发的《能源发展战略行动计划(2014—2020年)》中要求:“按照安全、绿色、集约、高效的原则,加快发展煤炭清洁开发利用技术,不断提高煤炭清洁高效开发利用水平。”^[1]2016年12月,由国家发展改革委和国家能源局联合下发的《煤炭工业发展“十三五”规划》中明确提出:“加快千万吨级煤炭综采成套、千万吨级煤炭洗选等先进技术装备研发,解决煤机成套装备及关键零部件可靠性和稳定性问题……提高原煤入选比重。推进千万吨级先进洗选技术装备研发应用,降低洗选过程中的能耗、介耗和污染物排放。”^[2]

筛分作业作为选煤的关键环节,广泛应用于煤炭的分级、脱水、脱介和脱泥。目前被广泛应用的筛分设备是振动筛^[3]。一般大型振动筛主要由筛体、筛面、减振系统和激振系统组成。如图1-1所示,筛体是侧板、承重梁、加强梁和激振梁铆接或螺栓连接构成的组合结构,其在箱式激振器交变载荷和减振系统作用下带动筛面振动,从而实现物料筛分及输送。处理能力大、筛分效率高的大型振动筛符合国家煤炭工业的发展需要^[4-5],然而其筛面宽度/横梁跨度大于3.6 m、筛分面积大于20 m²,在激振器强激振力、筛体自身大惯性力和入料冲击力等联合作用下,筛体的系统动力学及梁、板的结构动力学特性极为复杂。随着宽度和面积的增大(部分筛面宽度达5 m以上),频繁出现横梁断裂和侧板开裂等故障,零部件易损伤,可靠性差,难以满足现代大型选煤厂的生产要求^[6-8]。

如何实现大型振动筛结构高可靠性及稳定、安全和高效运行是当前亟须解决的问题。如图1-2所示,利用现代设计方法进行减振系统、激振梁、侧板

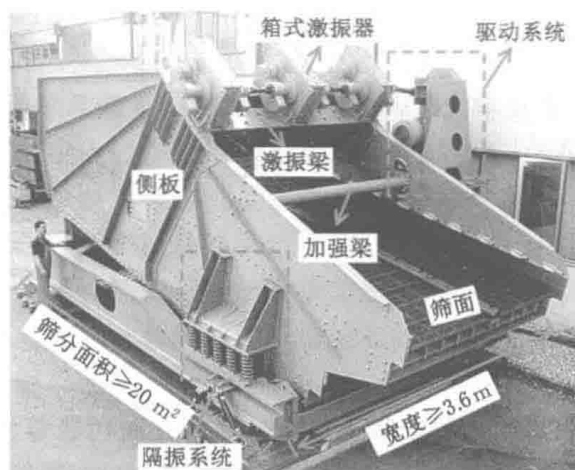


图 1-1 大型振动筛的基本结构

等结构的动态设计,并采用现代制造技术与高性能材料进行设备制造,一定程度上提升了振动筛的可靠性,但是由于设备受载的不确定性和所处的潮湿、恶劣的工作环境以及人员操作不当、失误等偶然因素的影响,实际生产中时有设备损伤、破坏的情况发生^[9-10]。目前,面向关键零件的故障诊断与结构的损伤检测的大型振动筛健康监测技术一定程度上保障了大型振动筛稳定、安全和高效运行,但国内外对大型振动筛的健康监测理论与方法尚无系统的研究^[11-13]。

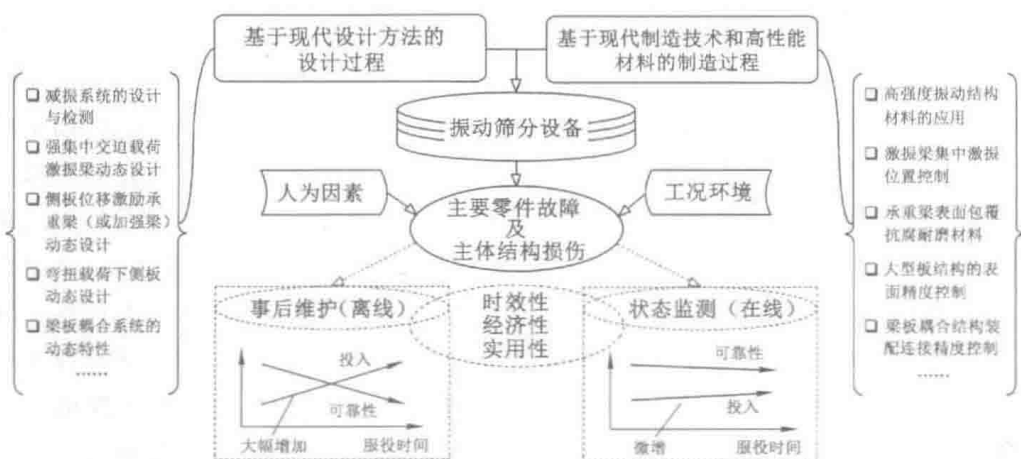


图 1-2 保障大型振动筛可靠性的三要素

作为振动利用设备,大型振动筛的系统与结构动力学问题研究是拓展传

统振动筛由静态、类比设计向动态、高性能设计的基础。2004年,谭兆衡总结了我国振动筛分设备的发展概况、行业现状及存在的问题^[14],2011年,Paul介绍了国际著名的振动筛设计生产厂家 Joest、Tabor、Schenck 等公司的大型振动筛^[15]。在近十几年振动筛发展历程中,为提高设备性能及寿命,筛分虚拟实验和动态设计技术被广泛引入,大型化所涉及的运动学和动力学问题被积极研究。本章将针对大型振动筛分技术所涉及基础问题的研究进展进行综述、总结与展望。

1.2 筛体振动特性研究进展

大型振动筛一般由电动机驱动激振器或激振轴旋转产生激振力,使筛体振动。振动筛不同运动轨迹需要不同的激振方式实现。需要指出的是,对于无机械连接的两轴或多轴驱动的振动筛,在实现筛体稳定运动前都有一个自同步的过程。目前,双轴^[16]、三轴^[17]和四轴^[18]激振形式下的自同步必要条件和运动稳定条件均已有报道。通过不同的稳定激振方式,可以实现筛体和筛面的不同运动轨迹,从而实现不同的筛分工艺需求。

1.2.1 筛体运动特性

1.2.1.1 单激振器/轴激振形式

He 等通过单振动电机激振,使筛箱变椭圆轨迹运行,实现了等厚筛分^[19];刘初升等建立了单轴变轨迹振动筛的动力学模型,提出了振动方向角的有效计算方法^[20],并对筛箱轨迹、运移能力和抛射强度进行了系统评价^[21];和上述动力学建模不同,王新文利用曲柄-连杆-滑块机构中的连杆模拟单轴振动筛运动特性,从平面几何学的角度解析得到颗粒被抛位移及落回筛面的接触点^[22];Enc 等探讨了弹性支撑系统对单轴激振振动筛水平和竖直振动幅值的影响^[23]。但受限于激振力幅值难以提升,这种激振形式目前鲜在大型振动筛中应用。

1.2.1.2 双激振器/轴激振形式

双激振器/轴激振振动筛主要是(变)直线轨迹,轨迹由激振器安装精度决定,当激振器合成激振力经过筛体整体质心时,轨迹为直线,反之,由于摆振的影响,筛体会呈现变直线轨迹振动,如杜长龙^[24]、彭利平^[25]等的研究;Modrzewski 等介绍了一种新型双轴双频振动筛分设备,筛面上、下两激振电机连线经过筛体质心,连线与水平方向夹角改变^[26-27];Jiang 等建立双轴大跨距不平衡激振的特大型振动筛相似模型机,实际测试发现沿料流运移方向变振幅

振动筛振幅逐渐减小^[28]; Despotovic 对侧板布置激振电机激振的振动筛振动频率和振幅进行了调频控制, 并通过扫频的方式绘制出了幅频特性曲线^[29]。

1.2.1.3 三激振器/轴激振形式

侯勇俊在研究三振动电机自同步激振振动筛稳定性条件的基础上, 发现其轨迹为平动椭圆运动^[30]; 张士民^[31]和 Zhou^[32]等分别用 Simulink 和 Adams 对通过齿轮连接强制同步激振振动筛做运动学仿真, 发现其轨迹为变椭圆轨迹, 能够实现物料的等厚筛分; 而李景时等给出了的振动方向角计算方法及振幅变化方法^[33]。此外, Vergnano 等利用虚拟样机和多体动力学软件, 总结了该类振动筛椭圆轨迹受激振力和初始激振相位的影响关系^[34]。

1.2.1.4 其他形式

除传统的激振器、激振轴形式激振的振动筛外, 学者们还提出了其他的振动筛驱动形式, 如凸轮机构^[35]、空间并联机构^[36]、弹性结构^[37-38]、液波激振系统^[39]和曲柄连杆机构^[40]等, 如图 1-3 所示。凸轮机构驱动振动筛通过入料端、出料端具有曲线轮廓的凸轮转动, 实现筛面的往复运动而筛体不运动; 弹性结构驱动振动筛通过筛面两侧筛体的横向振动, 抽拉弹性筛面而使之振动; 对于液压波动激振振动筛, 在激波器连续转动时, 激振液压缸的活塞及活塞杆带动筛体不断地往复运动; 空间并联机构驱动振动筛突破传统的惯性激振形式, 利用并联机构使筛面具有空间复杂运动轨迹。

就目前而言, 液波激振比较容易满足大型振动筛的激振需求, 但是液压系统的自身问题仍需克服, 而其他激振形式, 由于结构复杂, 暂时不适合大型化的发展趋势。

1.2.2 筛体动力学模型

理论上, 筛体运动特性往往由其动力学模型通过数值模拟获得。传统大型振动筛动力学模型主要是稳态情况下的平面单自由度(one degree of freedom, 1-DOF)、2-DOF 平动非耦合或 3-DOF 耦合(2 平动+1 转动)的低自由度振动系统。1-DOF 和 2-DOF 的模型在实际设计中最常用^[41]; 彭利平等建立了混联弹簧减振系统下直线振动筛的一般数学模型, 研究了纵向固有频率对悬挂弹簧刚度位置和刚度的灵敏度^[25]; Baragetti 等提出了 3-DOF 耦合(2 平动+1 转动)的低自由度振动系统, 利用有限元软件进行结构修正, 并通过应力应变测试进行了验证^[42-43], 其动力学模型与 Du^[44]等建立的 3-DOF 系统类似。

以往研究主要集中于平面运动的低自由度传统振动筛动力学模型, 近些年一些学者对此进行了拓展; Wang 等建立了具有弹性结构筛面振动筛的 17 自由度动力学模型^[45]; Peng 等综合利用筛面静平衡特性和弹簧小位移变形

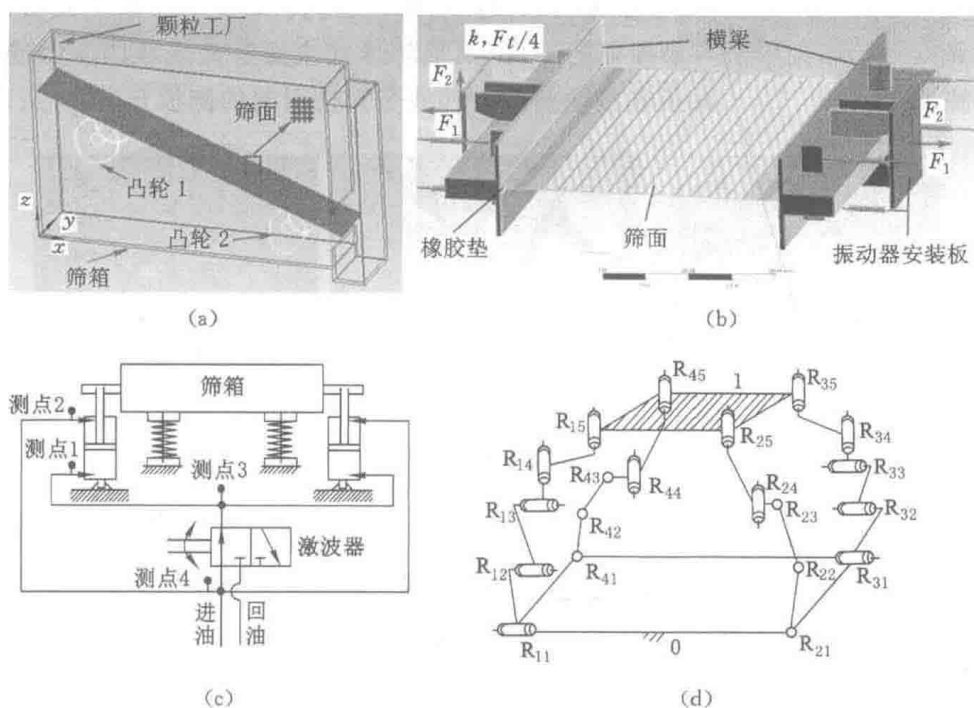


图 1-3 其他激振形式振动筛

- (a) 凸轮机构驱动振动筛；(b) 弹性结构驱动振动筛；
- (c) 液压波动激振振动筛；(d) 空间并联机构驱动振动筛

协调方程，建立了具有向下兼容性的振动筛空间 3-DOF 模型^[46]；苏荣华等提出了考虑激励参数与结构参数的随机性的振动筛随机动力学模型^[47]。

需要指出的是，目前的筛体动力学建模过程是将筛分系统视为筛体-静态粒群系统，即粒群对筛体的力学作用仅等效为静态的参振质量增加，尚未考虑筛分粒群的动态作用。

1.3 大型振动筛结构设计进展

大型振动筛筛体激振横梁、承重梁和加强梁一般用两端带法兰的封闭型材(圆形或方形管梁，加厚处理或外焊筋条)构成^[48]。梁体与双侧板间通过法兰连接构成筛体的空间整体结构，其中，激振梁上安装激振电机，通过后者转动产生的强交变载荷带动整个筛体振动，而承重梁(或加强梁)则在侧板的位移激励下运动。作为振动筛的主体结构，筛体不仅要承受自身和物料流动的

时变重量,还要承受强交变激振力以及物料的冲击力。理论和实践均证明,筛体是振动筛结构中最容易损坏的部件,其损坏形式主要有交变弯曲应力造成的横梁断裂(图 1-4)、梁板连接面剪应力和疲劳损伤引起的侧板开裂^[49-50]。

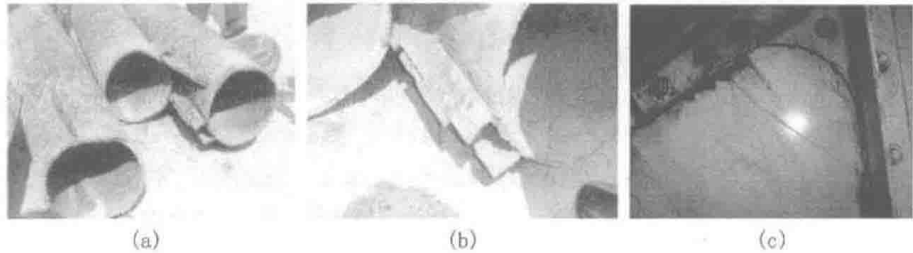


图 1-4 断裂的振动筛横梁和侧板

传统筛体设计主要采用以应力应变为基础的静强度设计方法,一般沿用“先选型后校核”的步骤,对于承重梁和加强梁,将选型后的计算动载和静载直接均匀分布于梁体横向,校核弯曲强度满足要求;对于激振梁,考虑其受力时还需计算激振器的集中载荷作用^[51-52];对于侧板,仅由筛体横梁宽度确定侧板厚度。这种静态设计方法不仅使设备设计裕量大、浪费材料且增大参振质量,也未充分考虑振动筛作为振动利用设备的结构动态特性。

由于单根梁体的跨度至少有 3.6 m,激振器强交变载荷和物料冲击的联合作用下的激振横梁、侧板激励下承重梁或加强梁的弹性变形都将引起侧板的弯扭变形,进而导致筛体结构整体刚度的减弱及可靠性的降低^[53-54]。传统的提高振动筛筛体结构强度的方法主要为:① 侧板加焊竖筋^[55-56];② 筛面托架上安装橡胶条或使用聚氨酯筛面以构成多自由度弹性筛面^[57-59];③ 结构结合处使用高强度螺栓^[60-51]或环槽铆钉连接^[62-63]的方式。从现场调研来看,疲劳破坏仍是引起大约 90%的梁体断裂的原因,且大约有 80%的断裂集中于承重梁或加强梁^[64]。为解决上述问题,在振动筛大型化发展历程中,动态设计及优化设计已被广泛应用。

1.3.1 筛体动态设计

动态设计方法主要是在传统设计的基础上,利用软件对振动筛交变载荷下的动力响应进行模拟仿真,结合实际动态测试结果,分析其动态特性,识别结构局部受力最突出的位置,认为是易损处,再通过对相应结构形式、尺寸及材料等的调整实现结构可靠性的提高,其典型过程如图 1-5 所示。

筛体动态设计研究集中于筛体整体结构的有限元分析。王永岩等采用计

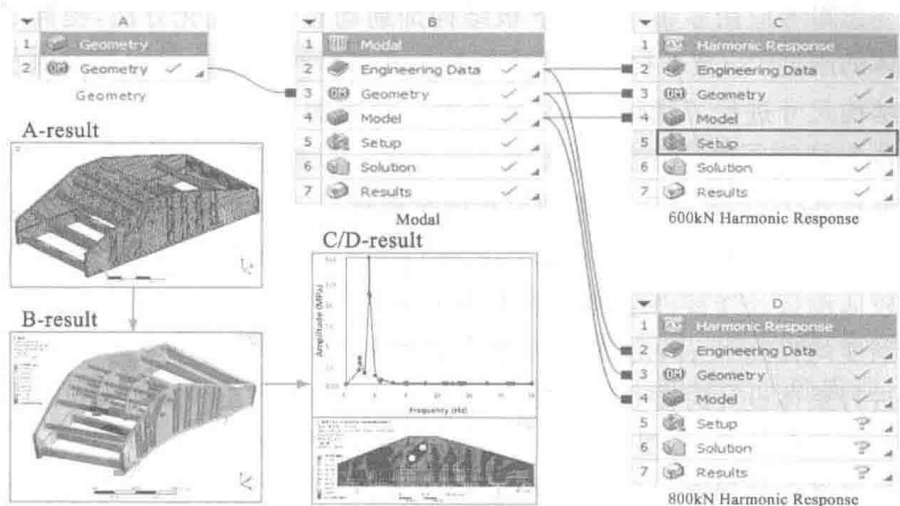


图 1-5 基于 ANSYS/Workbench 的振动筛动态设计过程(A-B-C/D)及对应的实现结果(A-B-C/D-result)

A——几何建模；B——参数设置及模态分析；C/D——谐响应分析

算力学、图形学和试验模态技术,对我国首次设计的 27 m^2 大型直线振动筛进行了动态仿真,改进了筛体纵梁和侧板^[66];贺孝梅等采用 ANSYS 分析超静定网梁激振结构大型振动筛 CWKS3660 筛体模态、固有频率和谐迫振动下应力特征^[67-68];尹忠俊等采用 ANSYS 分析确定 3175 振动筛的结构薄弱处均出现在入料口端加强板与侧板三角区域^[69];彭晨宇等对大型振动筛动态有限元模型建立过程的单元选取、连接区域刚化处理等进行了具体说明^[70];张则荣等运用多轴疲劳分析的临界平面法对大型直线振动筛进行了疲劳寿命数值分析,运用应力-强度干涉模型对振动筛的疲劳可靠性进行了预测计算,并分析了表面加工质量对振动筛疲劳可靠性的影响程度^[71-72]。

以动态响应为基础的动态设计方法符合振动筛作为振动利用设备的力学特性分析需求,而根据累积损伤理论,材料疲劳破坏是由循环载荷不断作用并不断积累造成的,因此,需要进一步分析筛体结构的疲劳寿命,而这方面的研究报道较少。

1.3.2 筛体优化设计

优化设计方法主要是在一定的优化原则(目标函数)基础上,通过控制梁体动应力的附加约束材料(如梁体肋板、加强筋等)的布置最优化来实现筛体结构动应力的降低或分布均匀,改善筛体动态特性。

杨志军等应用多频率约束下板结构加筋动态拓扑优化方法,提高了振动筛筛体的刚度^[73];贺孝梅等采用多频约束和解析灵敏度法对振动筛侧板加强筋的结构尺寸进行了优化^[74],又采用增广拉格朗日乘法,找寻低应力目标下侧板加强筋的最优布置^[75];王春华等实施了以侧板刚度最大为目标的侧板加强筋拓扑优化^[76];Zhang 等利用相似模型提出了需增加横梁刚度和侧板的横向支撑刚度^[77];Baragetti 等对侧板进行了改进,将常规的整块侧板变换为两块较薄侧板及连接件组成的箱体结构,有限元分析表明改进后振动筛抗疲劳及刚度均提高^[42];Peng 等对大型振动筛梁体动力学设计理论进行了改进,认为进行梁体设计时需要考虑随机载荷作用的影响^[78]。

需要指出的是,为提升筛体动态性能,除进行筛体结构的优化设计外,国内外矿加学科的研究人员还利用离散元法(Discrete Element Method, DEM)开展筛分过程粒群动力学模拟,开展粒群运动特性、筛分效果评价、工艺参数优化等的研究,以改进振动筛的工作状态。Cleary 和 Fernandez 将离散元法应用到 $2.4\text{ m} \times 6.1\text{ m}$ 的双层香蕉型振动筛中(图 1-6),采用球形颗粒研究粗细粒群的分层、透筛与筛面加速度等动力学参数的关系,并对筛板承受物料作用的应力分布做了研究^[79-80]。工业应用型 DEM 模拟可为大型振动筛的机械设计提供基础。

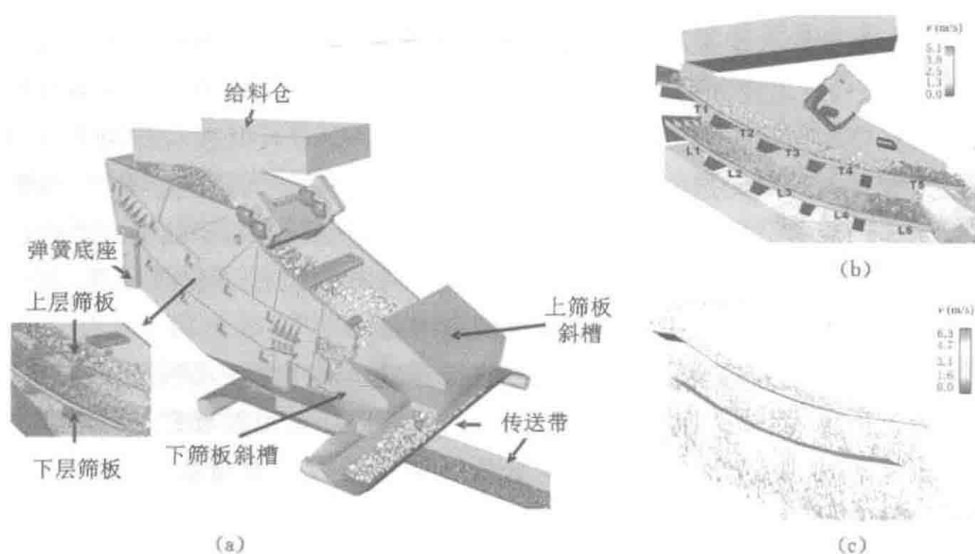


图 1-6 筛分虚拟实验

(a) 工业双层大型振筛 DEM 模型;(b) 筛分效果;(c) 粒群速度分布

(尺寸 $2.4\text{ m} \times 6.1\text{ m}$, 双层, 入料端倾角 33.3° , 出料端倾角 10° , 上层 $70\text{ mm} \times 130\text{ mm}$ 筛孔, 下层 $35\text{ mm} \times 65\text{ mm}$ 筛孔, 筛分粒级 $20 \sim 100\text{ mm}$)

1.4 本书的主要内容

第1章,阐述本课题研究的意义,对大型振动筛的技术研究现状进行了分析。

第2章,分析大型振动筛空间动力学特性,建立振动筛三自由度空间耦合动力学模型,分析并讨论其向下兼容性及其突变过程的数值模拟方法。

第3章,建立多自由度弹性结构分级筛面振动筛的动力学模型、模块化聚氨酯筛板脱介筛面的薄板动力学模型和弛张筛面的非线性大变形模型,系统研究了大型振动筛弹性筛面的动力学特性。

第4章,研究内焊筋板激振梁的结构动力学特性,内焊筋板激振梁可看作是多个混合梁单元 ETE 构成的混合梁,研究其动力学建模方法,并推导内焊筋板激振梁的固有特性的计算方法及数值解法。

第5章,分析筛分过程中承重梁(或加强梁)的结构动力学特性,引入 Rayleigh 法和统计分析方法量化分析承重梁(或加强梁)系统的确定性侧板激励跟随筛体平动(FRT)、弯曲振动(BV)及非确定性轴向线性分布随机刚体平动(ALRRT),并基于此改进梁体力学设计方法。

第6章,研究基于大型振动筛动力学的减振弹簧健康识别,对减振弹簧健康识别的二次悬挂质量法、自由响应法和刚度反演法的原理、识别过程进行理论和实验说明。

第7章,总结全书的主要研究成果,并对下一步研究工作展望。

1.5 本章小结

性能优越的大型振动筛对我国千万吨级选煤厂建设及原煤入选率的提高具有重要的意义。目前国内大型选煤厂使用的大型振动筛依然倾向于外资或合资产品,究其原因,主要是国产大型振动筛可靠性尚不能较好地满足使用要求。本章介绍了本书课题研究的背景和意义,总结了振动筛筛体运动特性及动力学模型的研究进展,介绍了振动筛结构动态设计与优化设计的技术与方法。

第2章 大型振动筛空间动力学分析

直线轨迹振动筛因其结构简单、制造容易,加之它产生的加速度、振动强度很大,具有较好的筛分效果,是目前大型振动筛的主要形式。传统的单自由度、二自由度大型振动筛的结构简图及其所对应的动力学模型分别如图 2-1 和图 2-2 所示。

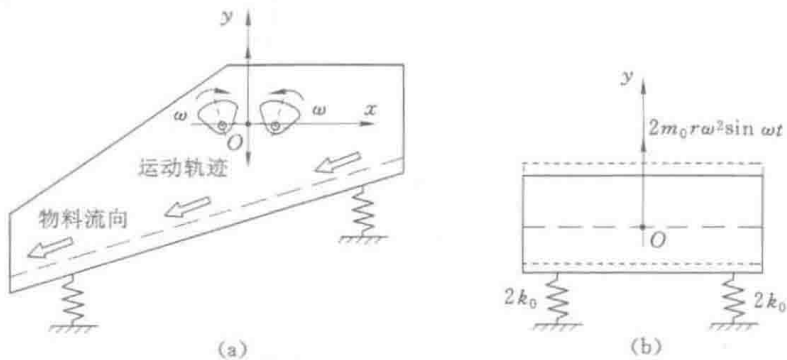


图 2-1 传统平面单自由度振动筛的结构简图及动力学模型

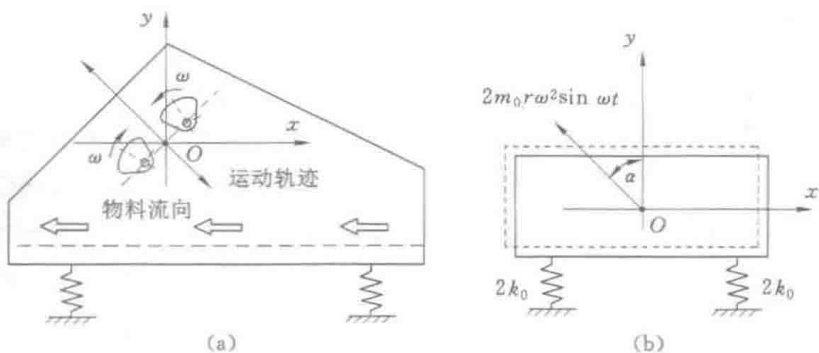


图 2-2 传统平面二自由度振动筛的结构简图及动力学模型

单自由度振动筛的激振器由两根带有偏心质量的轴组成,基于自同步