

学校编码：10384

分类号_____密级_____

学号：19920111152757

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

挖掘机驾驶室—座椅悬置系统

仿真分析与优化

Simulation Analysis and Optimization of

Excavator Cab-seat Suspension System

李荣

指导教师姓名：吴晓明 副教授

专业名称：机械工程

论文提交日期：2014年4月

论文答辩时间：2014年 月

学位授予日期：2014年 月

答辩委员会主席：_____

评 阅 人：_____

2014年4月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

挖掘机在工程施工中有着极为广泛的应用,其驾驶室隔振性能不仅影响到零部件的使用寿命,还关系到驾驶员的舒适性和工作效率,因此挖掘机驾驶室的隔振性能日益受到消费者的重视,成为提高产品市场竞争力的重要途径。

现有车辆驾驶室隔振研究通常以驾驶室为主体,建立单体六自由度动力学简化模型,忽略座椅悬置元件的影响。本文考虑座椅悬置元件的影响,建立了双质量十二自由度动力学模型,研究驾驶室一座椅悬置系统设计不合理引起的人体不舒适性问题,对模型进行了分析和优化,在尽量满足频率匹配的同时提高系统模态解耦率,提高悬置系统的隔振性能。本文主要研究内容如下:

(1) 针对驾驶室的结构和振动情况,归纳出工程车辆中人体全身振动的一种评价方案,建立了驾驶室一座椅悬置系统双质量十二自由度刚体振动力学模型和数学模型。

(2) 分别用 Matlab 软件和 Adams 软件对悬置系统模型的固有频率和能量解耦率求解,并将两者的结果进行对比分析,分析结果为悬置系统的优化设计指明了方向。在发动机怠速工况下对悬置系统进行了进一步时域和频率仿真分析。

(3) 确定了驾驶室一座椅悬置系统优化设计数学模型的目标函数、设计变量和约束条件,并对模型进行健壮性测试和灵敏度分析,为下一步的优化计算奠定了基础。用 ADAMS/view 模块中的 SQP 仿真优化算法对优化问题进行优化求解得到优化结果。将优化前后结果仿真进行比较,结果表明优化后的悬置系统的固有频率分布范围和能量解耦率都有了明显改善。

(4) 考虑到在实际生产中很难从工艺上保证橡胶悬置元件静刚度的精确性,本文用蒙特卡罗方法对优化方案进行鲁棒性分析,表明了优化方案的鲁棒性较高。

关键词: 挖掘机; 悬置系统; 分析; 优化

Abstract

The excavator is widely used in the engineering construction. The performance of its cab not only affects the service life of its parts but also is in relation to the driver's comfort and work efficiency. So the vibration isolation performance of the excavator cab is taken seriously by consumers, and it's an important way to enhance the competitiveness of the market.

The existing vehicle cab isolation study usually took the cab as the main body, and established dynamic model for the sake of simplicity, but ignored the influence of the seat isolators. In this paper, considering the influence of the seat isolators, double quality 12 free degrees dynamic model was established in order to research the human body discomfort caused by unreasonable design of the cab-seat suspension system. Then the model was analyzed and optimized, the system decoupling rate was raised when the frequency was matched to improve the vibration isolation performance of the suspension system. In this paper, the main contents were as follows:

(1) According to the structure and vibration of the cab, an evaluation scheme about body vibration in the engineering vehicle was summed up. Rigid body vibration mechanics model and mathematic model of the cab-seat suspension system were set up.

(2) Adams software and Matlab software were used to solve the intrinsic characteristics of suspension system respectively, and the results of both were compared, and the results pointed out direction of the optimum design of the suspension system. The simulation analysis in time and frequency domain were done to analyze the dynamic characteristics of the suspension system for further more.

(3) The objective function, design variable and constraint condition of the cab-seat optimization design was determined. The perimeter study and sensitivity analysis of the model was done. The SQP simulation optimization algorithm in the Adams/view was used to solve the optimization problem. The results before and after optimization were compared, and showed that the distribution of natural

frequency and the energy decoupling rate were improved significantly.

(4) Because it was difficult to guarantee the accuracy of the static stiffness of rubber isolator from craft in actual production, the monte carlo method was used for robustness analysis, and it confirmed that the robustness of the optimized scheme was high.

Keywords: Excavator; Suspension System; Analysis; Optimization

厦门大学博硕士论文摘要库

目录

摘要.....	I
Abstract	II
第一章 绪论.....	1
1.1 本文研究背景与意义.....	1
1.2 国内外研究历史及现状.....	2
1.2.1 悬置元件研究现状.....	3
1.2.2 驾驶室振动模型研究现状.....	4
1.2.3 悬置系统优化研究现状.....	7
1.3 本文研究内容.....	8
第二章 人体振动舒适性评价与隔振理论	10
2.1 振动环境对人体舒适性的影响与评价.....	10
2.1.1 振动对人体舒适性的影响.....	10
2.1.2 振动舒适性的评价.....	11
2.1.3 人体振动环境坐标的建立.....	11
2.2 驾驶室—座椅悬置系统隔振原理.....	13
2.2.1 驾驶室悬置元件.....	13
2.2.2 悬置系统隔振原理.....	16
2.2.3 驾驶室—座椅悬置系统隔振性能评价.....	18
2.3 驾驶室—座椅悬置系统力学模型.....	20
2.3.1 系统的相关坐标系.....	21
2.3.2 悬置元件坐标系.....	21
2.4 驾驶室—座椅悬置系统数学模型.....	22
2.4.1 座椅悬置系统动能.....	22
2.4.2 座椅悬置系统势能.....	24
2.4.3 座椅悬置系统耗散能.....	25

2.4.4 系统十二自由度振动微分方程的建立与求解.....	26
2.5 本章小结.....	28
第三章 驾驶室—座椅悬置系统分析.....	29
3.1 驾驶室—座椅悬置系统相关参数.....	29
3.2 基于 Matlab 的悬置系统固有特性分析.....	31
3.2.1 系统振动微分方程求解及模态分析.....	31
3.2.2 系统振动耦合及解耦率求解.....	32
3.3 基于 ADAMS 的悬置系统固有特性分析.....	35
3.3.1 仿真平台简介.....	35
3.3.2 驾驶室—座椅悬置系统建模.....	35
3.3.3 悬置系统固有特性分析.....	36
3.4 基于 ADAMS 悬置系统的动态响应分析与仿真.....	42
3.5 本章小节.....	45
第四章 驾驶室—座椅悬置系统优化设计.....	46
4.1 优化设计数学模型三个要素的确定.....	46
4.1.1 目标函数.....	46
4.1.2 设计变量.....	47
4.1.3 约束条件.....	48
4.2 试验设计.....	49
4.3 灵敏度分析.....	50
4.4 优化方法与结果.....	51
4.5 优化后悬置系统固有特性分析.....	53
4.6 基于蒙特卡罗法的悬置系统鲁棒性分析.....	55
4.6.1 蒙特卡罗法.....	55
4.6.2 悬置系统鲁棒性分析.....	56
4.7 优化前后幅频特性比较.....	57
4.8 本章小节.....	59
第五章 结论与展望.....	60

5.1 结论	60
5.2 展望	61
参考文献	62
附录一：灵敏度分析图.....	66
附录二：各阶固有频率和各向解耦率分布情况.....	69
致谢.....	73
硕士期间发表的学术论文.....	74

厦门大学博硕士论文摘要库

CONTENTS

Abstract in Chinese.....	I
Abstract in English	II
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Research background and significance.....	1
1.2 Research status and development trend in China and abroad.....	2
1.2.1 Reseach status of mount components	3
1.2.2 Reseach status of the vibration model of cab.....	4
1.2.3 Reseach status of the optimization of suspension system.....	7
1.3 Research contents.....	8
Chapter 2 The human body comfort evaluation and Vibration	
isolation principle.....	10
2.1 The human body comfort effect and evaluation caused by vibration.....	10
2.1.1 The human body comfort effect caused by vibration	10
2.1.2 The vibration isolation performance metrics	11
2.1.3 Establishment of the human body vibration environment coordinate	
system	11
2.2 Vibration isolation principle of the cab-seat suspension system.....	13
2.2.1 Suspension components of suspension system.....	13
2.2.2 Vibration isolation principle of the cab suspension system	16
2.2.3 The vibration isolation performance metrics of the cab-seat suspension	
System.....	18
2.3 Mechanical model of the cab-seat suspension system.....	20
2.3.1 The relevant coordinate system of the system	20
2.3.2 The relevant coordinate system of the suspensions	21
2.4 Mathematical model of the cab-seat suspension system.....	22

2.4.1 Kinetic energy of the seat suspension system.....	22
2.4.2 Potential energy of the seat suspension system	24
2.4.3 Dissipative energy of the cab suspension system	25
2.4.4 Establishment and solving of the 12 free degrees vibration system differential equations	26
2.5 Summary	28
Chapter 3 Analysis of the cab-seat Suspension System.....	29
3.1 Parameters of the cab-seat suspension system	29
3.2 Inherent characteristic analysis of the suspension system based on Matlab	30
3.2.1 Solving the system vibration differential equation and the modal analysis.....	30
3.2.2 Coupling of the vibration system and solving decoupling rate.....	32
3.3 Inherent characteristic analysis of the suspension system based on ADAMS.....	35
3.3.1 Introduction of simulation platform.....	35
3.3.2 Modeling of the cab-seat suspension system	35
3.3.3 Inherent characteristic analysis of the suspension system	36
3.4 Analysis of the suspension system dynamic response based on ADAMS.	42
3.5 Summary.....	45
Chapter 4 The optimal design of the cab-seat suspension	46
4.1 The determination of three elements of the optimization design mathematical model.....	46
4.1.1 Objective function.....	46
4.1.2 Design variable	47
4.1.3 Constraint condition.....	48
4.2 Test design.....	49
4.3 Sensitivity analysis	50
4.4 The optimal method and result.....	51

4.5 Inherent characteristic analysis of the suspension system after optimization	53
4.6 Robust analysis of the Cap suspension system based on monte carlo method.....	55
4.6.1 Monte carlo method	55
4.6.2 Robust analysis of the suspension system	56
4.7 The comparison of amplitude frequency between before and after optimization	57
4.8 Summary.....	59
Chapter 5 Conclusions and prospect	60
5.1 Conclusions.....	60
5.2 Prospect.....	61
References	62
Appendix I.....	66
Appendix II.....	69
Acknowledgements	73
Achievements.....	74

第一章 绪论

1.1 本文研究背景与意义

工程车辆是我国机械制造业的重要组成部分，它们被广泛应用在国防建设、物料运输、矿山开采、能源开发和城镇建设中，对全国的经济的发展和现代化建设都起着不可忽视的作用^[1, 2]。然而工程车辆的振动和噪声问题伴随着其向着大型化、复杂化和高速化迈进而越来越突出。与其它车辆相比工程车辆大多没有悬挂系统且运行环境更为恶劣，在行驶和作业时，通过座椅使驾驶员处于比较剧烈的受振状态，因而驾驶员会产生较强烈的不舒适感，难以对外界信号作出快速的反应，这不仅使驾驶员的工作效率下降，而且在很大程度上威胁着工程车辆的安全行驶和作业^[3]。同时，驾驶室的振动还会降低驾驶室内部仪表盘等精密而脆弱的零部件使用寿命。此外，驾驶室振动引起的噪声能严重影响驾驶员的舒适性和生理、心理健康，比如使驾驶员感到烦闷、压抑、容易疲劳^[4]。

随着社会的发展与进步，人们越来越注重以人为本的思想观念，再加上各种技术不断成熟和完善，人们对工程车辆的耐用性、舒适性等提出了更严格的条件。随着国产工程车辆走向世界，国内工程车辆制造商越来越注重发展海外市场，逐渐限制和减弱工程车辆驾驶室振动对人体的影响也成了提高其产品国际市场竞争力的重要一环。由于我国对工程车辆振动分析研究起步较晚，相关技术和经验还不够成熟，因此工程车辆的振动控制成为当前亟需解决的课题。

液压挖掘机（如图 1.1）作为一种非常常见的工程施工机械，凭借其开掘力强、操作简便、工作效率高、移动方便、可选择配备多种工作装置等优点被广泛应用于矿山开发、水利建设、交通工程等施工场所，在工程建设中发挥了巨大的作用，有着广大的市场需求。多年以来，海内外的研究人员对挖掘机驾驶室的振动舒适性均做过大量的研究。但是，由于国内挖掘机制造业历史短、技术落后的原因，类比法过多地被应用在产品的设计过程中^[5]，致使挖掘机在使用过程中，经常出现各种出人意料的问题。为解决这些在施工过程中出现的问题，目前国内挖掘机生产厂家主要凭借经验对相关参数进行反复地设计和修改，然后通过一次次的试验来确定挖掘机振动性能的好坏，这类方法得到的设计方案可以满足大多

数的需求，但是设计过程都是由人工实施完成，产品开发周期长且成本高不能满足现代工程机械产品更新快，生产周期短和工程机械企业之间激烈的竞争要求，所以对挖掘机振动特性的建模和仿真分析变得非常重要。

随着计算机性能的提高和数值计算方法的发展和进步，计算机辅助工程（CAE）技术已被普遍应用到海内外成熟企业的研发流程中，在整车 NVH 性能设计中发挥了愈来愈重要的作用^[6]。对于液压挖掘机的设计而言，CAE 技术的出现为其提供了一个高效的研发平台，大幅削减了产品的设计和制造成本，提高了挖掘机制造企业在市场的竞争力。

本文针对某型号液压挖掘机在行驶和作业过程中出现的因其驾驶室隔振性能不好引发人体不舒适问题，建立了驾驶室一座椅悬置系统动力学模型，分析了其悬置系统的隔振性能，并将改善驾驶室舒适性作为目标对隔振元件的刚度进行了优化，以最大的限度降低了回转平台传递到驾驶室的振动对人体的不利影响。这为挖掘机驾驶室悬置系统隔振研发设计提供了理论参考依据，对提高挖掘机的隔振设计水平及其产品市场竞争力有着非常重要的意义。



图 1.1 某型号液压挖掘机

1.2 国内外研究历史及现状

目前，国内外对包括工程车辆在内的车辆的驾驶室一座椅悬置系统的研究主要集中在以下三个方面：一是对悬置元件的研究，合理地设计悬置元件，使悬置元件自身的力学性能能够达到减振要求；二是对驾驶室一座椅悬置系统的研究，

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库