

城乡维护特种机器人 结构优化设计及力学分析

Structural Optimization Design and Mechanical Analysis of
Special Robots for Urban and Rural Maintenance

◎ 史春雪 聂永红 庞小兵 著



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

城乡维护特种机器人结构 优化设计及力学分析

史春雪 聂永红 庞小兵 著

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

城乡维护特种机器人结构优化设计及力学分析 / 史春雪, 聂永红, 庞小兵著. — 徐州: 中国矿业大学出版社, 2018.11

ISBN 978 - 7 - 5646 - 4262 -4

I. ①城… II. ①史…②聂…③庞… III. ①特种机器人—结构设计—最优设计②特种机器人—动力学分析
IV. ①TP242.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 275490 号

书 名 城乡维护特种机器人结构优化设计及力学分析

著 者 史春雪 聂永红 庞小兵

责任编辑 章 毅

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 83884103 83885105

出版服务 83995789 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 湖南省众鑫印务有限公司

开 本 710×1000 1/16 印张 9.5 字数 184 千字

版次印次 2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 次印刷

定 价 68.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

作者简介

史春雪 长沙学院机电工程学院讲师,博士,主要研究方向为“海底采矿模型机控制及钴结壳识别机理”,发表学术论文10余篇,授权国家专利10项。曾参与国务院大洋专项课题——“钴结壳采集模型机关键技术及关键装备研究”;参与国家自然科学基金——“深海钴结壳微地形监测技术及最佳采集深度建模研究”;作为项目负责人,主持湖南省科技厅计划项目1项、长沙市引进人才基金项目1项、长沙市科技局计划项目2项,湖南省教育厅一般项目1项。为校级优秀课程“材料力学”和校级精品在线课程“材料力学”的课程负责人。

聂永红 男,汉族,1976年8月生,博士,2004~2006年曾在丹麦技术大学声学系进行学习访问,现为长沙学院机电工程学院副教授,主要研究方向为噪声与振动控制、机电设备状态监测与故障诊断。自参加工作以来,主持或参与国家、省市级各类纵向科研项目11项,获得国家科技进步奖二等奖1项,省部级科技进步奖一等奖2项,在《振动工程学报》、《仪器仪表学报》等刊物发表学术论文10余篇,其中EI收录6篇,申报国家专利4项。

庞小兵 男,1979年8月生,硕士,现为长沙学院机电工程学院讲师。主持省市级科研项目2项,参与省级项目4项,发表科研论文4篇,专利3项。主持省级教改项目2项,获省级教学成果三等奖1项,主编出版教材2部。以第一指导老师指导学生参加学科竞赛获得国家级一等奖2项,国家级银奖1项,省级一等奖2项,二等奖7项,三等奖5项;市级二等奖2项,并获得优秀指导老师荣誉称号;主持国家级大学生研究性学习和创新性实验计划项目2项,省级1项。获2016年省课堂教学竞赛一等奖,并被授予“湖南省普通高校教学能手”荣誉称号。

前 言

本书内容来源于湖南省教育厅一般项目 1 项和长沙市科技局计划项目 1 项,并且由共计 6~10 项国家专利作为支撑。作者在查阅大量文献的基础上,完成了对道路自动检测修补机器人、电线杆攀爬机器人和飞碟式直升机的结构设计及相应力学分析,详细阐明三种特种机器人对应的设计方法,主要内容如下:

(1) 道路自动检测修补机器人的结构设计及力学分析。

首先从行走方案、夯实方案、车架方案、控制方案、测量方案等方面确定机器人的结构和工作原理,完成机器人的总体方案设计;从行走机构的特殊要求出发,完成结构设计,并进行相应重要部件的力学分析;依据机器人行走工况和夯实工况的差异性要求,完成链条收放机构设计;最后完成机器人 PLC 控制系统设计。

(2) 电线杆攀爬机器人的结构设计及力学分析。

首先,从曲柄摇杆机构和螺旋丝杆机构的攀爬原理上,对攀爬方案进行对比分析,明确了螺旋丝杆机构为基本攀爬方案,并确定对应夹持装置的设计方案;其次,通过总体机构分析,对机器人各组成机构的具体结构展开设计,包含夹紧机构、丝杠机构、机体结构、导杆机构等;最后,对机器人主传动机构进行力学分析与校核计算,证明本设计满足力学要求。

(3) 飞碟式直升机的结构设计。

首先,在六轴旋翼飞碟式直升机和喷气飞碟式直升机的飞行方案对比基础上,选取后者作为设计的整体方案,并完成整机机构的划分;其次,对直升机喷气系统、气源机构、转向机构及机壳和支撑装置进行具体的机构设计,确定直升机的外形尺寸及相应控制参数;最后,利用 Pro/E 软件对飞碟式直升机进行三维建模。

本书在出版过程中,得到长沙学院机电工程学院“湖南省十二五重点建设学科——机械设计及理论”和“湖南省硕士点重点建设学科——机械工程”提供的资金支持。

同时,本书在撰写过程中,参考了许多机械设计、机器人控制、力学分析等领域相关的技术文献,对于文献的作者为推进我国机器人学的发展所做的贡献表

示敬佩,并借此机会向他们表示由衷的谢意!

本书可为特种机器人设计领域的大专院校师生和相关技术人员提供参考。

限于作者水平和实际经验有限,书中不足和错漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

著 者

2018年8月

目 录

上篇 道路自动检测修补机器人

1	本篇绪论	3
1.1	研究背景	3
1.2	研究意义	3
1.3	自行式振动夯实机的定义及用途	4
1.4	国内外夯实机发展现状及发展趋势	5
2	自行式振动夯实机总体结构设计	8
2.1	行走机构方案的选择与确定	8
2.2	夯实机方案的选择与确定	9
2.3	车架方案选择与确定	10
2.4	控制方案的选择与确定	11
2.5	高度测量方案的选择与确定	12
2.6	自行式振动夯实机结构的确定	13
3	自行式振动夯实机行走机构设计	17
3.1	振动夯实机行走机构总体方案	17
3.2	行走机构车架的设计	18
3.3	驱动机构传动系统设计与计算	19
3.4	转向机构设计与计算	30
4	自行式振动夯实机收放机构及辅助系统的设计	36
4.1	自行式振动夯实机收放机构总体方案	36
4.2	收放杆的设计与计算	36
4.3	链条的设计与计算	37

4.4	链轮的设计与计算	38
4.5	收缩套筒的设计与计算	39
4.6	收放机构驱动的设计与计算	40
4.7	夯实机的选型	43
4.8	辅助系统的设计	44
5	夯实机 PLC 控制系统设计	48
5.1	可编程控制器的选择和工作过程	48
5.2	振动夯实机可编程序控制器控制方案	49
	本篇参考文献	54

中篇 电线杆攀爬机器人

6	本篇绪论	59
6.1	研究的的意义	59
6.2	设计任务	62
7	机器人运动方案的确定	63
7.1	攀爬动作分析	63
7.2	攀爬方案的选择与确定	64
7.3	夹持装置的方案确定	66
7.4	机器人总体运动方案	68
8	攀爬机器人的总体结构设计	69
8.1	机器人的总体机构分析	69
8.2	机构的划分	70
8.3	机器人各机构设计	71
8.4	丝杠的传动系统	75
8.5	丝杠的结构设计	76
8.6	电动机的选型及参数选择	77
8.7	机器人机体结构设计	78
8.8	导杆结构设计	82

8.9 机器人的总装	83
9 主传动机构的校核、计算	84
9.1 丝杠的校核	84
9.2 丝杠轴结构设计校核	86
9.3 丝杠轴的强度校核	87
9.4 丝杠安装轴承的选用和校核	88
9.5 联轴器的选择	90
本篇参考文献	92

下篇 飞碟式直升机

10 本篇绪论	95
10.1 引言	95
10.2 国内外无人机的发展状况	96
10.3 设计内容	96
11 整体方案的确定	98
11.1 飞碟式直升机的整体方案	98
11.2 飞碟式直升机重量估算	100
11.3 机构划分	101
12 喷气系统的设计	103
12.1 喷气机构	103
12.2 气源机构的设计	111
13 转向机构设计	122
13.1 喷嘴回转装置设计	122
13.2 回转外圆的设计	124
13.3 回转椭圆的设计	126

14 机壳及支撑	128
14.1 机壳外形设计	128
14.2 机身板有限元分析	130
14.3 支撑脚设计	132
15 飞碟式直升机 Pro/E 三维视图	133
本篇参考文献	136

上篇 道路自动检测修补机器人

CHAPTER 1

本篇绪论

1.1 研究背景

随着我国城市化发展加速,政府部门不断加大基础设施建设的投入,新建和改造了大批城市道路,部分原本属于公路部门管辖的道路也被纳入城市道路的范畴。同时为了改善城市道路的驾乘质量,提高城市道路的服务水平,城市对道路养护的质量要求亦不断提高,机械化养护被广泛采用,以应对城市道路养护工作量质齐升的局面。合理的养护机械配置是实现城市道路高效、优质和低价养护的关键。

夯实机作为一种道路上应用的机械设备,给我们的交通建设带来了便利,在道路建设和养护中起着必不可少的作用。传统夯实机人工操作起来效率较低,经济性差,将机械自动化应用于传统夯实机以及道路施工工艺中,是道路机械设备发展的必然趋势。为满足现代设备的道路建设需求,适应高效夯实路面的工作,我国夯实机正在快速发展。目前我国小型夯实机械产品大致可以分为蛙式冲击夯、振动冲击夯、振动平板夯和手扶振动压路机。

1.2 研究意义

振动夯实机械的应用不仅改进了压实施力方法,提高了生产率,而且能够合理配置资源。振动夯实机械利用冲击和振动被压实材料而使之密实,广泛使用

在公路、铁路、建筑、水利等工程施工中,特别适用于对黏性土壤、砂质黏土和灰土的压实;主要用于作业量不大及狭小场地的压实作业,特别是对路肩工程和道路维修养护工作的压实作业。将自动化应用在夯实机上,将大大节省人力资源,具有操作精准、效率高和运行灵便的特点。

1.3 自行式振动夯实机的定义及用途

夯实机通常称为打夯机,又被叫作压实机,是一种用于路面夯实的机械。自行式振动夯实机,就是将夯实工作实现自动化后的夯实机械。将现代化机电一体化的理念应用于夯实工作中,来实现自动化的过程。

夯实机在平时多用于对地基进行打平、夯实。具体用于公路、市政、建筑、水利等领域,在修建路面、街道、楼房、水渠、桥梁时,对工程基础、路缘、沥青路面的夯实。

道路建成通车后,由于道路使用过久,受到车轮磨损和冲击,还有暴雨、洪水、日晒、风沙等自然力侵蚀风化以及人为破坏,加上修建时遗留的一些缺陷,使用质量会逐渐降低。因此建成通车之后必须采用养护维修的措施,不断更新改善。在道路修补过程中,经常会将装载机、推土机、挖掘机以及夯实机等设备结合在一起,完成整个过程。在这一过程中,路基会采用挖掘机装载机来挖装,自卸汽车来运输,推土机来摊铺,平地机来精平,洒水机来洒水,以及夯实机夯实,夯实机的作用可见一斑。路面夯实机如图 1.1 所示。



图 1.1 路面夯实机

1.4 国内外夯实机发展现状及发展趋势

1.4.1 国内外夯实机发展历史及现状

现代工程建设蓬勃发展,促使建筑专家们对工程压实以及压实机械拥有更深刻的认识。研究表明:对工程基础实施机械压实,密实度每提高1%,其承载能力就可提高10%;对于沥青路面,密实度每提高1%,路面的承载能力以及使用寿命就能增加10%~15%,因此工业发达国家对压实机械开发、生产以及应用都给予了相当大的关注。

压实机械分为压路机和夯实机械两大类,以压路机为主来完成工程压实作业,在压路中按施力工作原理的不同而分为轮胎压路机、静碾压路机、振动压路机和冲击式压路机4个系列,还有根据机器的结构的不同区分为更加多的小系列。

目前压实机械制造业非常发达的有日本、德国、美国、瑞典、中国、法国、英国和俄罗斯等,其中美国是压实机械生产大国,也是世界上最大压实机械的市场,几乎占有西方中大型压路机市场的50%。20世纪末期,全世界压路机的年产量为6万台,夯实机械的年产量在40万台之上。

1977年,长沙建设机械研究所以及柳州市建筑机械厂开发出我国第一台HZR250型、HZR70型振动平板夯,这两种产品分别在1979年和1982年通过了建设部组织的鉴定。之后四平建筑机械厂、义乌建筑机械厂、天津市洞庭工程机械厂等多家企业纷纷开始生产振动平板夯。1986年长沙建设机械研究所又开发出较大的HZR450型振动平板夯。20世纪90年代之后,振动平板夯于我国有了较快发展,产品品种、规格和生产企业增多,国外的振动平板夯陆续进入中国市场。

1983年,长沙建设机械研究所联合湖北振动器厂合力开发出我国第一台HZR70型振动冲击夯,1984年通过建设部组织的鉴定,1985年荣获建设部科技进步三等奖。由于振动冲击夯具有生产率高、压实效果好、体积小以及重量轻、轻便灵活的突出特点,深受用户欢迎,迅速地得到了推广使用。振动冲击夯虽说比振动平板夯开发要晚,但发展速度、产销量以及使用广泛性要比振动平板夯大得多,目前已成为我国夯实机械中的产销量最大的主导产品。自20世纪90年代之后,国外的振动平板夯陆续进入中国市场。路面小型夯实机如图1.2所示。

振动平板夯在我国的成功开发,给我国建设施工部门提供了品质先进的夯

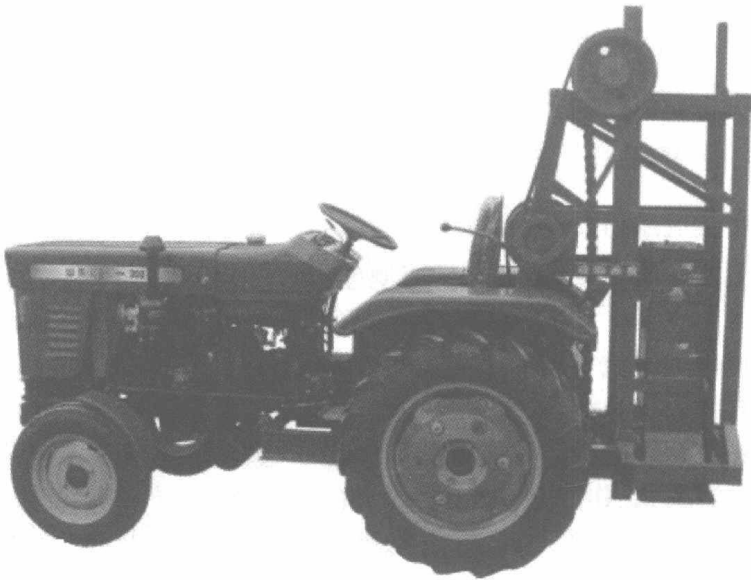


图 1.2 路面小型夯实机

实机械,取得良好的社会效益和经济效益,并且使我国夯实机械技术往前跨进了一大步,缩短了同世界先进水平的差距,促进了我国小型压实机械的发展。

冲击夯的技术核心主要体现在三个方面:

(1) 发动机。冲击夯为一种高频振动的夯实设备,工况恶劣,对发动机的抗振性要求非常高,必须有抗强烈振动的冲击夯专用发动机才能与之匹配。普通的电动机以及通用汽油机的抗振性都是较差的,作为冲击夯的动力源,使用寿命都会很短。有些国外的冲击夯厂家自行生产冲击夯专用发动机,但配件成本特别高,而且供货期限也非常长。就目前来说使用最多的冲击夯专用发动机是日本本田 GX100, GX120 以及罗宾 EH12 等系列的汽油发动机,其发动机应用较广泛,配件供给点多面广。

(2) 冲击弹簧。冲击夯对冲击弹簧的条件要求很高,要求弹簧钢具备很高的疲劳强度,否则容易疲劳屈服失去弹性甚至折断,目前电动冲击夯的弹簧材料大部分为普通弹簧钢,而且只有单组弹簧,所以造成了电动夯的冲击力和冲击频率不高,而且弹簧易折断。

(3) 动平衡设计。冲击夯的运动主要是垂直方向的高频直线往复运动,而机器高度较高,所以对机器整体的动平衡要求很高,需要专门进行动平衡设计和测试,否则机器会跳动不稳定,难于掌控,极大地增加操作者的劳动强度。

1.4.2 国内外夯实机发展趋势

夯实机在国内发展趋向小型化。除了冲击夯实技术及其设备结构的技术创新之外,很多相关技术的发展有力地促进了道路压实领域的技术进步,主要有:

(1) 材料科学和热处理技术的发展和运用使得夯路机整机和各部件的使用寿命有效提高;

(2) 液压液力技术及其新型元器件的研发和运用使得夯实机的工作定位和操作方便性进一步提高;

(3) 材料和结构密封技术的发展使得在钢轮和轮胎中充砂和充水技术趋于成熟,其结果使得夯实机在不增加自身结构重量的前提下有效提高了自身的压实能力和作业经济性;

(4) 光电子(激光)技术的应用使得压路机的操控更为准确,卫星定位(GPS)技术的应用使得夯实机的使用、管理和操作者对设备工作状况的掌握更为精确、全面和直观;

(5) 通信和传感器技术的发展使得夯实机能够随时对作业效果(如压实密度等数据)进行监测,以便随时掌握、分析和确定自己的作业效果和最佳作业路线等。

道路夯实机械的基本组成和结构还在改进中,自 20 世纪 90 年代以来,南非首先研发并将冲击式夯实机引入了国际道路施工工程。由于较普通振动式压路机具有更强的压实能力,冲击式夯实机在道路基层夯实作业中展现了更大的优越性,特别是其强大的冲击能力较同吨位的振动式压路机的有效压实厚度提高了 50%~80%,因此,使大深度的路基夯实效率大大提高。

在机电一体化技术在压实机械中的应用成果中,在压实机械的上述技术发展和结构改进中,采用机电一体化技术对顺利完成和提高夯实机的作业工况和操控方便性起到了关键作用。