

'97 卷

大连理工大学教授学术丛书

重型汽车结构 现代设计

于长吉 于学兵 著

STRUCTURAL
MODERN
DESIGN FOR
HEAVY TRUCK

大连理工大学出版社

大连理工大学教授学术丛书 '97 卷

重型汽车结构 现代设计

于长吉 于学兵 著

大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

重型汽车结构现代设计/于长吉,于学兵著. —大连:大连理工大学出版社,1998.4

(大连理工大学教授学术丛书'97卷)

ISBN 7-5611-1439-0

I. 重… II. ①于… ②于… III. 重型载重汽车-结构设计-研究 N. U469.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 03887 号

大连理工大学出版社出版发行
(大连市凌水河 邮政编码 116024)

大连业发印刷厂印刷

开本:850×1168 毫米 1/32 字数:275 千字 印张:11.125 插页:5
印数:1—3000 册

1998 年 4 月第 1 版

1998 年 4 月第 1 次印刷

责任编辑:方延明

责任校对:杜祖诚

封面设计:孙宝福

定价:18.00 元

序

《重型汽车结构现代设计》一书,重点介绍了重型汽车车架、轴、后桥、驾驶室四大结构的研究成果、研究内容和研究方法,是大连理工大学重型汽车研究室全体同志与使用单位和制造部门多年来长期合作、大力协同、奋力拼搏的一个硕果。该书是从事重型汽车研究、设计、制造的技术人员必备的参考书,对提高我国重型汽车的设计、制造水平,促进重型汽车的国产化有重大意义。

《年产千万吨级露天矿成套设备》研制曾获得 1989 年国家科技进步特等奖。重型汽车就是其中的一项重大设备,包括 68 吨机械传动车和 108 吨、154 吨电动轮传动车,是大型露天矿(包括煤矿、铜矿、铁矿等)采、掘、运的主要设备。过去,这种设备全部依靠从国外进口,每年要耗费大量外汇。“七五”、“八五”期间,大型露天矿成套设备被列为国家重大技术装备项目。在原国务院重大装备领导小组的大力支持下,组织全国的有关科研、使用和生产部门的科技人员,进行联合攻关,通过与国外有关公司合作设计,合作制造,逐步掌握核心技术,提高国产化的比例。目前,我国已成为世界少有能制造大型矿用汽车的国家之一。重型矿用汽车工作环境恶劣、结构复杂、载荷多变,是集机械、电子、冶金、材料等工程技术于一身的产品,技术难度大,使用要求高。一个好的车型,必须要有一个好的设计。为此,大连理工大学重型汽车研究室的同志们,不辞辛苦,多次走访制造厂家,到露天矿进行工业试验,采集了大量试验数据。他们从结构断裂调查开始,在消化国外先进技术的同时,

运用自己的研究成果,对结构作现代化设计。我相信,这本书必将成为重型汽车行业工作者的良师益友。

原国家经贸委技术与装备司副司长

杨靖华
1998年1月20日

前 言

随着科学技术进步和经济的发展,需要开发研制大量新产品。新产品不断问世,老产品又在更新换代,这种变化为机械结构设计开创了一个崭新的局面。它使机械设计有可能广泛运用各学科、各技术领域里的新原理、新方法和新技术,从而大大地提高设计水平,解决许多大型复杂结构的设计问题,使这些结构具有高精度、高效率、高参数、高质量的特点。重型汽车就是这样走过来的。

重型汽车技术难度大,原因在于载荷多变、使用环境恶劣、结构复杂。重型汽车载重量下自十几吨,上至三百吨,自重几吨高至近二百吨。重型汽车服役在小型工地、中大型工程、千万吨级露天矿。矿山分布在不同的纬度区,气温高达 50°C ,低到 -50°C ,道路条件较差,对结构各总成及材质要求苛刻。在重型汽车中,载重量低于80t的常采用机械传动,超过80t多用电传动或机械传动。不管何种传动的汽车,车架为主体结构,它是变断面空间薄壁结构;后桥为复杂壳体结构;悬挂系统为油气悬挂。可以说重型汽车是比较典型的机-电一体化结构,是集机械、电子、冶金、材料等多种工程技术于一身的产品。当今的矿山开采、大型工程都离不开重型矿用汽车,它深受各国的重视。

1935年美国怀特汽车公司首次推出载重13.6t的矿用自卸汽车以来,至今已60余年。50年代载重32t级矿用汽车投入运行,经济的发展,矿山需求高效大吨位汽车,事隔不久,研制出55t级载重汽车;60年代达到100t,末期进入150t级;70年代研制出200t,300t级。我国在50年代开始使用苏制10t~25t级矿用汽车;60年代研制20t~30t级重型汽车;70年代研制60t~120t级

矿用自卸汽车;80年代研制154t级重型矿用自卸汽车。为适应改革开放以后的国民经济高速发展的需要,大量引进了多种车型的先进技术与设备,加速在短时间内实现国产化,于是国家把千万吨级露天矿成套设备的开发研制列入国家几个五年计划中。

在坚持自力更生与引进国外先进技术相结合的政策指导下,国家主管部门组织厂、矿、校、所紧密配合、互相协作开展攻关,通过引进、消化、吸收国外先进技术不断提高国产化水平。经过20年来的艰苦奋斗,完成了重型矿用汽车的开发研制任务。主机厂为国家重点工程提供了一批又一批的重大装备,为众多矿山制造了数百台重型汽车及所用备件;有力地推动了国内机电工业骨干企业的技术改造和技术水平的提高;锻炼培养了一批掌握先进技术的骨干队伍;初步形成了以主机厂为主体的生产系列重型汽车的企业集团。从此结束了我国不能制造百吨级重型汽车的历史;批量生产的系列重型汽车国产化率都在80%以上,并开始出口创汇。我国已成为世界上能够生产大型重型汽车的少数国家之一。

在原国务院重大技术装备领导小组指导下,大连理工大学成立重型汽车研究室,组织专门队伍开展攻关研究。笔者有幸主持重型汽车主要结构——车架、转向轴、后桥、驾驶室等项目攻关研究。其主要车型有国产68'矿用自卸汽车,108',154'电动轮自卸汽车;美国75B,170E型重型矿用自卸汽车等多种车型的十余项子课题研究,历时16年,比较系统地完成了重型汽车四大结构的攻关任务。其中,车架获国家实用新型专利,轴获得国家发明专利;车架、轴、后桥分别通过机械工业部技术鉴定,鉴定认为三大结构研究成果都达到世界先进水平。特别是对美国两种车型车架断裂研究中取得成功,赢得两次索赔,价值超过200万美元。美方在索赔中得到我们的研究成果后将75B改型为75C,美方技术人员称其为“中国车架”。国产68'矿用自卸车车架经过厂方多次改型,采用多项研究成果,该车架结构比较合理,经过多年考验后可以看出是比较

成功的国产化车架,该车已出口创汇;国产 108' 电动轮自卸汽车车架改型中采用实用新型专利技术,该车已批量生产。轴、后桥、驾驶室研究成果也普遍用于国产化的车型中。

上述研究成果比较真实地表征重型自卸汽车技术引进、消化、吸收的主要进程,研究成果有较高的实用价值,直接经济效益超过 6000 万元。鉴于重型自卸汽车研究成果显著,经济效益和社会效益比较高,受到国家多次奖励:1986 年“矿用汽车车架断裂研究”获国家教委优秀科技成果奖;1987 年“重型矿用汽车国产化研究”获国家教委科技进步三等奖;1987 年获国务院重大技术装备领导小组由李鹏总理签署的“年产千万吨级露天矿成套设备研制”做出贡献表彰证书;“千万吨级大型露天矿成套设备研制”1989 年获国家科学技术进步特等奖,本研究成果为其子项;1991 年获国务院重大技术装备领导小组由李鹏总理签署的“154 吨电动轮自卸车研制”做出突出贡献的表彰证书;1995 年“重型自卸汽车车架及轴研究”获国家教委科技进步二等奖。

重大技术装备科技含量高、技术难度大,国外对关键技术封锁,甚至刁难,给该项研究带来困难。为冲出难区、走自己的路,在原国务院重大技术装备办公室领导下,在机械工业部重大装备司直接指导下,厂校紧密协作,共同攻关,克服一个又一个的困难,使我国重型汽车得以快速发展,相应的科学研究工作也不断进步和成熟。为了总结过去,以利未来,笔者将这些研究成果编著成书。在 16 年研究中,得到原国务院重大技术装备领导小组林宗棠、李守仁、杨靖华主任,许明堂处长等指导;在机械工业部重大装备司谷九如司长,李镜、刘淮通处长,辽宁省汽车办张凤杰副主任等的具体领导和帮助下,协调几个生产厂和多个矿山,共同工作。该项目的研究工作自始至终同下列单位和众多同仁协同工作,主要有湘潭电机厂池跃田、段家典总工程师,张合年所长,王健、梁晓波、盛桥柱工程师等;本溪重型汽车厂高雅全总工程师、李文豁总工程

师、陈庆德所长等；德兴铜矿龚天如矿长，喻济宽指挥，陈洪飞、罗泉根部长，任华主任，查懋春场长等；中国矿用汽车分会周沛诚总工程师、张文生秘书长等；首都钢铁公司车管部赵国田经理；烟台市重型汽车配件厂于平坤厂长；中国计量科学研究院张克敏、于仲敏、于梅等。

该项目研究工作是重型汽车研究室全体同志共同密切配合，并在工程力学系许多老师帮助下完成的。研究室张有河同志主要负责计算分析；郭杏林、王培庄、孙元贵、于凡等同志侧重于实验研究，研究生宋春江等参加部分工作。笔者对各位的指导和帮助致以最诚挚的敬意。

由于笔者水平有限，面对众多技术人员辛勤工作取得的丰硕成果，将其编著成书，甚感力不从心。加之时间所限，书中难免有误，敬请赐教。

著 者

1997年9月于大连

目 录

序

前言

第一章 产品发展与现代设计	1
1.1 产品发展的一般程序	1
1.2 传统设计与现代设计	9
1.3 现代设计方法.....	15

第一部分 复杂结构设计

第二章 有限元法设计	19
2.1 弹性力学的基本问题.....	20
2.2 最小位能原理.....	25
2.3 平面问题的有限元法.....	27
2.4 实用技术.....	44
第三章 车架结构设计	49
3.1 结构特征.....	50
3.2 美国 75B 重型自卸汽车车架断裂分析	54
3.3 68' 矿用自卸汽车车架结构设计	80
3.4 美国电动轮自卸汽车车架断裂分析.....	99
3.5 108' 电动轮自卸汽车车架合理设计	117
3.6 车架结构工程优化	127
第四章 后桥结构设计	144
4.1 后桥结构研究概述	144

4.2	结构特征	146
4.3	局部断裂	148
4.4	结构计算	149
4.5	强度试验	169
4.6	后桥强度概述	172
4.7	结构优化设计	173

第二部分 轴类件的设计

第五章	应力集中.....	178
5.1	应力集中的起因	179
5.2	应力集中系数与断裂系数	182
5.3	降低应力集中	184
5.4	流线方程及其应用	186
5.5	焊接应力集中	190
第六章	疲劳及可靠性设计.....	204
6.1	设计准则概述	206
6.2	疲劳强度设计	210
6.3	可靠性设计	213
6.4	载荷谱	223
6.5	疲劳寿命	229
6.6	疲劳试验	231
第七章	阶梯轴的最佳设计.....	233
7.1	最佳设计方法	233
7.2	试验验证	235
7.3	68' 自卸汽车转向轴设计.....	241
7.4	154' 电动轮自卸汽车转向轴设计	266
7.5	美国 75'~170' 四种重型汽车转向轴设计剖析.....	273

第三部分 悬置系统设计

第八章 结构动态设计	281
8.1 结构周期振动	282
8.2 随机振动	289
8.3 结构对振动的响应	292
8.4 结构参数识别	297
8.5 悬挂系统参数优化	312
第九章 驾驶室系统设计	315
9.1 结构特征	315
9.2 结构试验	316
9.3 结构计算	325
9.4 优化设计	329
9.5 工业性试验	331
参考文献	333

Contents

Preface

Introduction

Chapter 1	Product development and modern design	1
1.1	General program of product development	1
1.2	Traditional design and modern design	9
1.3	Modern design method	15

Unit 1 Complex Construction Design

Chapter 2	Finite-element method design	19
2.1	The fundamentals of elastic mechanism	20
2.2	Principle of least potential energy	25
2.3	Finite-element method of plane surface	27
2.4	Practice	44
Chapter 3	Frame-construction design	49
3.1	Frame-construction characteristics	50
3.2	Analysis of frame crack of heavy-duty dump truck type 75B made in USA	54
3.3	Frame construction design of heavy-duty dump truck type 68 ^t	80
3.4	Analysis of frame crack of electric driving wheels dump truck made in USA	99

3.5	Frame design of electric wheels dump truck type	
108'		117
3.6	Frame-construction optimum	127
Chapter 4	Drive axle construction design	144
4.1	General construction research	144
4.2	Construction characteristic	146
4.3	Local crack	148
4.4	Construction calculation	149
4.5	Strength test	169
4.6	General strength	172
4.7	Construction optimum design	173

Unit 2 Shaft Design

Chapter 5	Stress concentration	178
5.1	Origin of stress concentration	179
5.2	Stress concentration factor and crack factor	182
5.3	Reduce stress concentration	184
5.4	Streamline equation and examples	186
5.5	Stress concentration of welding	190
Chapter 6	Fatigue and reliability design	204
6.1	General design rule	206
6.2	Fatigue strength design	210
6.3	Reliability design	213
6.4	Load spectrum	223
6.5	Fatigue life	229
6.6	Fatigue test	231

Chapter 7 Optimum design of step shaft	233
7.1 Optimum design method	233
7.2 Test	235
7.3 Steering shaft design of heavy-duty dump track type 68'	241
7.4 Steering shaft design of electric driving wheel heavy-duty dump track type 154'	266
7.5 Analysis of four kind of shaft designs of heavy-duty tracks type 75'~170' made in USA	273

Unit 3 Suspension System Design

Chapter 8 Construction dynamic design	281
8.1 Construction periodic vibration	282
8.2 Random vibration	289
8.3 Construction response to vibration	292
8.4 Construction parameters identification	297
8.5 Suspension system parameter optimum	312
Chapter 9 Cab system design	315
9.1 Constuction characteristic	315
9.2 Cunstruction test	316
9.3 Construction calculation	325
9.4 Optimum design	329
9.5 Industrial test	331
Reference	333

第一章 产品发展与现代设计

机械产品都是为了满足用户的需要而设计、制造出来的。产品出厂后到用户手中,经过使用,在使用中产生故障,经过维修,再使用。这个过程是产品功能、性能存在缺陷或不完善暴露的过程,也是用户同厂家作信息或技术交流的过程。这一过程反过来又促使产品功能、性能、质量的不断提高。这是产品发展应遵循的一般程序。

本章将介绍产品发展一般程序的几个阶段及产品设计。

1.1 产品发展的一般程序

为满足用户需要而发展一种产品时,其一般程序可分四个阶段,即设计阶段→试验或发展阶段→生产阶段→服役阶段。这四个阶段是相互联系的、并非独立的。当产品交付用户使用,不可能不出现故障或损坏,这就需要调查、分析,确定失效原因,从而审查设计、试验工作、生产工序等,修改相应的阶段内容,有时加工制造工艺出现困难甚至难以实现,设计工程师和工艺师还需共同协商,以寻求更好的设计。但是,在产品提交给用户之前,全部的四个阶段都必须完成。

一、设计阶段

在一个新设计工作开始以前,必须确定其技术规格或设计要求。这项工作应当由产品设计师、工艺师、规划师、经济师、销售和服务机构代表共同参加。其任务是该类产品使用情况、产品功能与性能、所受载荷和服役数据,根据研究结果确定设计目标和有关的

技术规格。在各方代表统一认识并确定后,应当作为各个方面的共同出发点,分头进行工作。经产品现场服役经验证明为必要时,功能或性能的技术规格可经委员会讨论修改。对于重型汽车的产品用户所大声疾呼的质量问题分析中,很重要的一条原因是出现在各部门不能认真地协商,共同制订技术规格,共同用高标准去实施完成这一目标,甚至是相互推诿或各行其是。

设计阶段是产品发展的极为重要且又复杂的阶段。主要包括几何估计、重量估计、载荷估计、工作应力估计、材料强度估计、结构计算、结构设计优化、可靠性估计、经济评估等。

1. 几何估计

对产品整体、总成、部件、零件作功能分析,将其相互关系和环境结合统筹考虑,作初步的最佳尺寸及形状的判断。多方案或多次的分析、判断、修改可以弥补经验的不足,而经验丰富的工程师们,又经过细的初期工作,无疑可以大大减少设计过程的轮次,从而获得一个较好的设计。

2. 重量估计

必须详细研究零部件的材料选择、加工工艺及制造,既用最少量的材料和成本又取得适当的强度,从而确定零部件和整机规定的重量指标。

3. 载荷估计

载荷对于结构设计的重要性是工程界共知的,不用说产品现代设计不可缺少,就是对于经验设计也是离不开的,只不过是精确度相差多少的不同。作为重型汽车这种产品,其工作环境、道路条件、载荷变化等各种条件都较为复杂、多变,汽车的启动、制动、转弯、上下坡、装卸载、空车行驶、载重行驶等各种工况下载荷变化可能相差很大,这就需要对不同工况、不同载荷方式,水平或垂直的、弯曲或扭转、静载、动载或冲击等等,作出比较详细的估计,不但估计出平均值,还要估计出最大值、标准差及各载荷出现的频次,这