

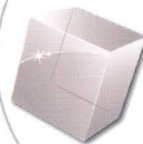


普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

机械工程测试技术

JIXIE GONGCHENG CESHI JISHU

邵明亮 李文望 主编



Mechanical
Engineering



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

机械工程测试技术

邵明亮 李文望 主 编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从理论与实践相结合的角度,系统介绍了静态、动态应力测量系统的组成、原理及其测量单向应力、组合应力、平面应力和复杂应力的组桥方法;突出了对机器的空间质心位置、载荷谱、残余应力等性能参数测量的应用技术;还重点介绍了振动、噪声、实验模态测试系统的构成,测试方法和数据处理分析的内容;简介了当前测试领域的最新技术,如传感器网络技术、虚拟仪器技术、小波分析法等内容。

本书可作为机械工程类的本科生使用,也可作为机械工程类的研究生及机械工程行业工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程测试技术 / 邵明亮, 李文望主编. —北京: 电子工业出版社, 2010.9

普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

ISBN 978-7-121-11731-2

I. ①机… II. ①邵… ②李… III. ①机械工程—测试技术—高等学校—教材 IV. ①TG806

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第170356号

策划编辑: 李 洁

责任编辑: 韩玲玲

印 刷: 北京市海淀区四季青印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 20.75 字数: 526千字

印 次: 2010年9月第1次印刷

印 数: 4000册 定价: 35.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

“机械工程测试技术”课程属于技术基础课范畴，应在大三学年开设，起到承上启下的作用。

学生刚刚学习完“数理统计”、“概率论”、“材料力学”、“理论力学”、“电工学”等基础课程，这些课程的基本知识都在本课程中有所体现。学习本课程，可以让学生进一步加深对学过的抽象知识的理解与运用；同时本课程又涉及应力、扭矩、振动、外载荷等参数的测量，与专业课紧密相联，可以为下一步学习专业知识打下坚实的基础。

除了机械工程各专业外，还有许多专业，如电子信息工程专业、电子与电气工程专业、测控仪器专业等也都在讲授和研究传感器、测试仪器，相关的专著很多。但我们机械工程行业与他们研究的角度和侧重点不同，他们重在研究设计、制造性能良好的仪器和传感器，偏重于对测试装置的动态响应和仪器动态特性的研究，以及如何编制采样程序 and 数据分析软件；而我们重在正确选用、使用仪器和相关的数采软件去完成机械工程行业需要测试的各种性能参数，因此偏重于应用技术，正像战士只需知道怎样使用武器去消灭敌人，而不必研究制造枪炮一样；故教材对一些测试仪器的理论和原理删繁就简。

高科技离不开测试技术（如航空航天领域、智能机器人领域），科学实验离不开测试技术，产品设计离不开测试技术，自动控制离不开测试技术，故障诊断离不开测试技术，产品定型离不开测试技术，行业的基础理论研究离不开测试技术，学习国外先进技术离不开测试技术——测试技术在整个课程体系中的位置和作用可见一斑。

参加本书编写的有吉林大学的邵明亮教授（绪论、第1章、3.1节、第4章、8.4节、11.1节、11.3节）、陈向东（3.3节），厦门理工学院副教授李文望（第2章、第5章、第9章、10.1节）、蓝靛靛（第6章）、于国飞（3.2节）、施刚（8.3节）、蔡建进（10.2节）、欧阳青（11.2节），中国矿业大学的王启广（8.1节、8.2节），集美大学的王云超（10.3节），郑州宇通客车公司的赵登峰（第7章）。本书由邵明亮和李文望担任主编。厦门大学郭隐彪教授在百忙中审阅了此书，并提出了宝贵的修改意见。本书在编书过程中，还受到刘汉义、洪汉池老师和吴金华同学的大力协助，在此一并表示衷心的感谢！

书中标以“*”的章节，视学时数可以适当删减。

本书在编写过程中参考了有关的教材、专著、网络和论文，在此对相关作者表示衷心的感谢。限于学识、水平和经验，本书存在的不足和纰漏望同行专家不吝赐教。

本书获厦门理工学院教材出版基金资助。

目 录

绪论	(1)	2.1.1 电桥在测试中的作用及种类	(36)
上篇 应变测量——强度测试	(7)	2.1.2 直流电桥的输出(变换原理)	(37)
第1章 电测法的基本原理和信号的变换	(8)	2.1.3 交流电桥	(38)
1.1 电测法的基本原理	(8)	2.1.4 电桥特性	(42)
1.1.1 非电量测试的研究对象 ..	(8)	2.2 应变测量的组桥方案	(45)
1.1.2 电测法的基本原理和测试环节	(11)	2.2.1 $\frac{1}{4}$ 桥接法、半桥接法和全桥接法	(45)
1.1.3 电测法的主要特点	(12)	2.2.2 桥路温度补偿法原理分析	(46)
1.1.4 检测技术的发展方向	(12)	2.2.3 桥臂系数的概念	(46)
1.2 传感器概述	(12)	2.2.4 拉伸(压缩)载荷的测量方案	(47)
1.2.1 传感器是人感知的延伸	(13)	2.2.5 弯曲载荷的测量方案	(48)
1.2.2 传感器的定义与基本组成	(14)	2.2.6 扭矩的测量	(50)
1.2.3 传感器的分类	(15)	2.2.7 测量剪力的布片方案	(53)
1.2.4 传感器的发展趋势	(16)	2.2.8 在拉力和弯曲复合载荷下的“测拉除弯”测量方案	(53)
1.2.5 传感器网络技术	(16)	2.2.9 在拉力和弯曲复合载荷下的“测弯除拉”测量方案	(56)
1.3 电阻式应变片	(20)	2.2.10 拉、弯、扭复合应力下“测扭除拉弯”的测量方案	(58)
1.3.1 应变片的基本结构	(20)	2.2.11 主应力方向未知的平面应力的测量方案	(59)
1.3.2 应变片的工作原理	(20)	2.3 应变仪	(60)
1.3.3 线应变的单位与国际单位制	(22)	2.3.1 应变仪的种类	(60)
1.3.4 应变片的工作特性	(24)	2.3.2 测试装置动态(传递)特性的概念	(61)
1.3.5 应变片的基本特性	(26)	2.3.3 动态应变仪	(63)
1.3.6 应变片的种类	(27)		
1.3.7 应变片特征参数	(32)		
1.3.8 黏结剂和应变片的粘贴工艺	(33)		
第2章 电桥及其应用	(36)		
2.1 电桥	(36)		

3.4.8	用正态概率纸判别法判断 是否存在系统误差·····	(140)
3.4.9	间接测量的误差分析·····	(141)

第4章 静态、动态应力测试的工程

应用·····	(142)
4.1 整机质心位置和质量测量·····	(142)
4.1.1 整机质量及其质心的测试 方法·····	(142)
4.1.2 称重法测试物体质心坐标 公式·····	(144)
4.2 机械钻孔释放法测试残余 应力·····	(149)
4.2.1 测量残余应力的意义及其 测试方法·····	(149)
4.2.2 测量残余应力专用应 变花·····	(150)
4.2.3 钻孔法测量残余应力的基 本方法·····	(151)
4.2.4 钻孔法测量残余应力的 实例·····	(153)
4.3 载荷谱的测试和疲劳寿命 试验·····	(155)
4.3.1 疲劳寿命试验的意义·····	(155)
4.3.2 机器零部件的疲劳积损破 坏和疲劳试验·····	(156)
4.3.3 载荷谱的概念及种类·····	(159)
4.3.4 程序加载疲劳试验·····	(161)
4.3.5 程序载荷谱的绘制 步骤·····	(162)
4.3.6 单一工况的载荷频次图 的绘制·····	(165)
4.3.7 随机载荷过程的平稳性 检验·····	(166)
4.3.8 检验或确定载荷的概率分 布形·····	(167)
4.3.9 绘制综合载荷累积频 次图·····	(169)

4.3.10 累积频次的扩展——工 作载荷谱的获得·····	(170)
4.3.11 程序载荷谱的编制·····	(170)
4.3.12 应力谱编制的实例·····	(172)

中篇 振动、试验模态及噪声

测试·····	(179)
---------	-------

第5章 振动参数测试····· (180)

5.1 振动加速度传感器·····	(180)
5.1.1 振动参数测量的内容与振 动测试系统的组成·····	(180)
5.1.2 压电效应与逆压电效应·····	(180)
5.1.3 压电式加速度传感器的结 构与使用·····	(181)
5.1.4 振动加速度测量系统的基 本组成·····	(184)
5.2 电荷放大器与振动信号数据采 集系统·····	(185)
5.2.1 电荷放大器的工作 原理·····	(185)
5.2.2 振动信号数据采集 系统·····	(186)
5.3 振动信号的测量·····	(189)

第6章 实验模态分析····· (191)

6.1 实验模态分析的测试设备·····	(191)
6.1.1 激振装置·····	(191)
6.1.2 激振器的支撑方式·····	(193)
6.1.3 激励信号频率带宽·····	(194)
6.1.4 冲击力锤·····	(194)
6.1.5 拾振装置·····	(196)
6.1.6 数据采集与分析系统·····	(198)
6.2 实验模态的测试·····	(199)
6.2.1 试验结构的支撑·····	(199)
6.2.2 激励方式·····	(201)
6.2.3 响应点·····	(201)
6.2.4 激励信号的选择·····	(202)
6.3 动态测试后处理·····	(203)

6.3.1	连续信号离散化的过程	(204)	8.1.5	位移测量应用实例	(233)
6.3.2	采样定理和频率混叠现象	(204)	8.2	转速测量	(235)
6.3.3	泄漏和窗函数	(205)	8.2.1	测速发电机	(235)
6.3.4	平均技术	(206)	8.2.2	光电式转速传感器	(236)
6.3.5	频响函数的估算形式	(206)	8.2.3	磁电式转速传感器	(236)
6.3.6	频响函数的相干函数	(207)	8.2.4	闪频式测速法	(237)
6.4	系统(参数)识别	(208)	8.2.5	转速测量实例	(237)
6.4.1	频域方法的模态参数识别	(208)	8.3	温度检测与控制技术	(239)
6.4.2	时域方法的模态参数识别	(208)	8.3.1	温度与温标	(239)
6.5	模态试验在工程中应用的实例	(208)	8.3.2	温度检测、控制方法综述	(240)
6.5.1	激振器试验——白车身模态试验	(208)	8.3.3	温度传感器的分类	(241)
6.5.2	力锤试验——车外后视镜固有频率测试分析	(214)	8.3.4	热电偶及其测温技术	(243)
第7章	噪声测量	(217)	8.3.5	金属热电阻及其测温技术	(247)
7.1	噪声的基本知识	(217)	8.3.6	热敏电阻	(249)
7.1.1	声级的评估	(217)	8.3.7	集成温度传感器	(251)
7.1.2	噪声声级叠加	(218)	8.3.8	红外测温仪与红外热成像仪	(252)
7.1.3	噪声的计权计量	(218)	8.3.9	温度测控技术简介	(253)
7.2	噪声测量设备	(221)	8.4	电动机功率测试	(255)
7.3	噪声测量分析	(223)	8.4.1	测试系统的组成	(255)
7.3.1	噪声均值计算	(223)	8.4.2	功率变送器的的工作原理	(255)
7.3.2	噪声计权对比	(223)	8.4.3	电动机功率测试实例	(256)
7.3.3	车内噪声测量分析	(224)	第9章	虚拟仪器	(261)
下篇	其他	(226)	9.1	概述	(261)
第8章	其他性能参数测试	(227)	9.1.1	虚拟仪器概念	(261)
8.1	位移测量	(227)	9.1.2	虚拟仪器的发展	(261)
8.1.1	电感式位移传感器	(227)	9.2	虚拟仪器的构成	(262)
8.1.2	电阻应变式位移传感器	(228)	9.2.1	虚拟仪器的硬件系统	(262)
8.1.3	光栅式位移传感器	(229)	9.2.2	虚拟仪器的软件系统	(264)
8.1.4	旋转变压器式角位移传感器	(232)	9.2.3	虚拟仪器技术的应用	(265)
			第10章	信号的相关分析和试验结果的回归分析	(268)
			10.1	时域信号的相关分析	(268)
			10.1.1	自相关函数	(268)
			10.1.2	互相关函数	(270)

10.1.3	相关系数函数	(271)	11.1.5	电子控制系统 ECU	(298)
10.1.4	相关函数的推广	(272)	11.2	以电动机作为驱动的机器	
10.1.5	相关函数的工程应用	(272)		自动控制	(302)
10.2	小波分析理论简介	(274)	11.2.1	数控机床环境量检测传	
10.2.1	短时傅里叶变换	(274)		感器	(302)
10.2.2	小波函数	(276)	11.2.2	数控机床位置检测	(303)
10.2.3	连续小波变换	(278)	11.2.3	压力的检测	(303)
10.2.4	离散小波变换	(279)	11.2.4	速度的检测	(303)
10.2.5	多分辨率分析	(279)	11.2.5	机械位移和角位移的	
10.2.6	一维 Mallat 算法	(280)		测量	(303)
10.2.7	小波包分析	(281)	11.2.6	刀具磨损的监控	(303)
10.2.8	小波分析在信号降噪中		11.2.7	霍尔传感器	(304)
	的应用	(283)	11.2.8	旋转编码器	(305)
10.3	试验结果的回归分析	(285)	11.3	以流体介质为动力驱动的机	
10.3.1	回归方程形式的确定	(285)		器或装置的自动控制	(307)
10.3.2	线性回归转换	(286)	11.3.1	全自动牙轮钻机的控制	
10.3.3	线性回归方程中常数的			项目	(307)
	估计	(287)	11.3.2	主风压自动控制系统和轴压	
10.3.4	回归方程的精度	(288)		限制系统	(308)
第 11 章 传感器在自动控制中的			11.3.3	膜片式应变压力传感	
	应用	(291)		器	(308)
11.1	以发动机为动力驱动的车		11.3.4	主风压自动控制系统	(309)
	辆自动控制	(291)	11.3.5	轴压限制系统的自动	
11.1.1	汽车控制系统的基本			控制	(311)
	组成	(291)	附录 A	轮次分布表	(314)
11.1.2	汽车自动控制的范围	(293)	附录 B	χ^2 分布表	(315)
11.1.3	发动机电子控制系统	(293)	参考文献	(317)
11.1.4	空气流量传感器	(296)			

0.1 为什么学习测试技术

高校应该培养产品的设计和从事科学实验研究的双重人才。

实际上,在培养设计型人才方面,各校和企业都十分重视。随着计算机技术的发展,设计方法很快跟上了世界最新技术的发展潮流。各校纷纷开设了各种计算机辅助设计技术,如 CAD/CAE/CAM 课程及其相关的应用软件 ADAMS/ANSYS/CATIA 等。目前,计算机辅助设计技术已经突破了二维图纸电子化的框架,转向以三维实体建模、动力学模拟仿真和有限元分析为主线的虚拟样机制作技术,为产品设计带来了全新的发展空间。

但计算机辅助设计是以能提供准确的边界条件、正确的参数值和系数值为前提的,否则计算结果毫无意义,而结构分析的一个难点就是施加载荷的不定因素。在实际作业中,工作装置主要承受随机载荷,因而结构受到非线性影响,很难建立数学模型,大量零部件实际所受到的载荷到底有多大,往往难以明确计算,常常出现利用 CAE 计算,10 个人却得到 10 种不同计算结果的情况。因而往往要借助测试技术进行现场测试或在专门的试验台架上测试出某些参数,再利用这些参数与 CAE 计算结果进行比对,修正和完善计算程序。

国外新产品开发的流程大致如图 0-1 所示,其中①表示新产品经过 CAE 工程师的设计,制作样机;②表示经过试验工程师/试验员的检测,检测强度、刚度和性能等参数;③表示试验人员把检测结果反馈给 CAE 工程师;④表示设计人员对计算结果进行修正,积累经验,重新设计,使产品性能得到提高。

因此在世界一流的产品制造公司里面,80%的工程师在做产品的性能开发,不断地试验,不断地测试性能参数,因为性能是工业产品的“DNA”,性能决定了产品的品牌,性能是吸引顾客最重要的因素,而测试技术是提高产品性能的灵魂。国外的试验场地或试验中心多以精良的测试仪器和试验手段作支撑。

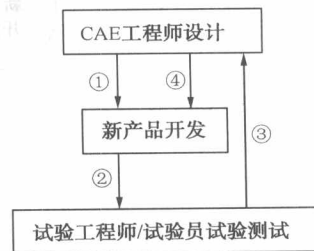


图 0-1 国外新产品开发的流程

而在中国的大部分产品制造公司里,新产品的开发流程如图 0-2 所示,其中①表示购买样机;②表示测绘样机,绘制草图,制作 CAD;③表示依样制作“新”产品;④表示产品投入市场后,在使用中出现的问题,问题反馈给设计人员,修改错误,不断完善新产品。因此 80% 的中国工程师是在做 CAD 设计,对试验和测试技术的基本知识知道得很少,重视得不够。貌似国外同类产品的中国产品,性能上可能大打折扣。

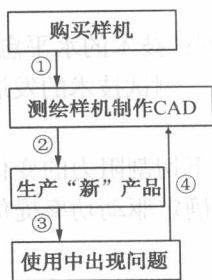


图 0-2 国内大部分新产品的开发流程

能根据研究项目独立安排、设计试验方案,能正确选择测试系统,能熟练操作仪器,能测试出各类设计人员关心的机械性能参数,甚至可以独立选用各种型号的传感器进行生产线自动控制改造,应该是一个本科生、研究生必备的技能。机械工程测试技术这门课程,正是训练学生的这个技能的。

测试和试验往往要花费许多精力和时间,但得到的仅仅是一些数据,没有产品设计的成果那么直观和立竿见影,这是试验研究不被重视的原因之一。

科学的进步与发展，与测试技术的发展是同步前进的。产品的先进性、前瞻性和产品的质量是一个企业的生命线，建立企业的科研团队和试验队伍，利用测试技术和试验技术去保证自己的产品领先于国内、国际先进水平，是我国企业界应该提上日程的问题。

0.2 测试技术的作用

机械行业的发展离不开测试技术，它促进了科学研究和产品设计的发展，其独特的作用见图 0-3。

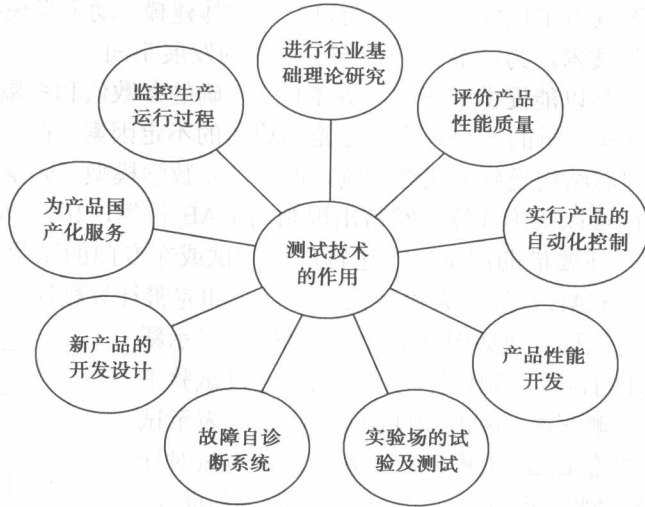


图 0-3 测试技术的作用

1. 为行业的基础理论研究提供科学的依据

各个行业都有自己的基础理论研究方向，如汽车行业研究行驶理论，机械制造行业研究刀具切削理论，工程机械行业研究插入阻力、挖掘阻力，等等。其试验称为基础理论研究试验，往往依赖于测试技术去完成。

因此，测试技术的水平在很大程度上决定了科学研究的深度和广度。测试技术的水平愈高，所提供的信息愈丰富、愈可靠，科学研究取得突破性进展的可能性就愈大。测试技术的发展推动着现代科学技术的进步。

例如，通过安装在斗轮挖掘机铲斗销轴处的传感器，测试在各种工况下切割阻力的变化规律，可以建立切割阻力与驱动扭矩之间的公式，为合理设计铲斗的结构和确定驱动功率提供科学依据。

岩石、金属和土壤等破坏机理的研究则往往决定了机械产品发展的方向。例如，对岩石破碎机理的研究，是为了寻求最好的钻进方法，研究的结果导致了从“钢绳冲击钻机（磕头钻）→火钻→潜孔钻机→牙轮钻机”的发展历程，工作效率从穿一个孔需要 24h 到目前的 0.5h。

2. 为产品的开发和设计提供技术支持

测试技术可以为产品的开发和设计提供技术支持。在机械工程零部件及整机的设计、研制和使用等工作中，会遇到大量的结构强度、结构动力学、寿命和可靠性等问题。一方面，应根

据载荷和使用条件进行强度和振动等计算分析;另一方面则需要根据实际或模拟条件进行试验应力分析和振动响应特性的实验分析,两者相辅相成。当计算分析困难时,则主要靠试验研究提供可靠的数据。因此,测试技术是产品开发和设计的工具。

对有故障的构件进行测试,找出最大应力值及分析破坏原因,是重新合理设计产品的一种手段。因为测试可以发现应力的变化规律,找到最大应力点的位置、大小和方向。

一个杆件的截面多大最合理?什么形状最优?杆件不坏并不意味着最合理,往往存在着强度储备过高而造成原材料浪费的问题。测试可以弥补理论设计的不足。

例如,20世纪80年代,我国某厂曾对一台刚刚进行了可靠性试验的日本推土机进行解体拆卸,发现左侧履带架出现明显变形。是什么原因造成的?最后通过测试应力的方法找到了答案。

逆止器是应用在大型胶带机上的制动器,其原理是在内外套之间安装数个异形块,外套顺转时异形块倒下,外套逆转时异形块立起,从而阻止内外套之间的运动,达到制动目的。沈阳某工厂设计了逆止力矩为 $90\,000\text{N}\cdot\text{m}$ 的逆止器,在测试试验时,发现逆止器顺转时,摩擦引起的温度很高,表面温度最高时达 80°C ,这是不允许的;在逆止时,逆止角过大,逆止力矩达不到预定值,甚至发生过内套涨裂的情形。这说明异形块形状设计不合理。后来通过数次试验,数次修改,才使产品满足要求。如果没有反复的试验和测试,逆止器的研制根本不会成功。

对工业产品的测试试验研究,往往可以有效解决产品在开发研究过程中无法通过理论计算和分析得到有效解决的问题,如产品的抗撞特性、安全性能研究等。

破坏性试验(Destructive Test)是指产品在试验后不能使用,或已失去原有功能的实验,往往是在人为设定的特殊条件下进行的,如汽车碰撞试验、工程机械驾驶室防倾翻的ROPS试验、防落物的FOPS试验等。破坏性试验往往是在相关的检测手段与高速摄像监视配合下进行的。

几乎所有的产品在定型之前,都要经过无数次的破坏性试验,又在一次次的改进后才最终成为过得硬产品。例如,美国曾对小型汽车进行了一系列的撞击10m高的易碎柱子和撞击木质标牌的破坏性试验,以检验汽车的安全性能。通过这些试验,最终确定了在汽车上使用中空的弹性材料作为缓冲物,以解决汽车受撞击的问题。

在英国的汽车撞击试验中,发现当卡车以 80km/h 的速度撞击缓冲物时,缓冲物倒塌了,卡车只受轻伤,且只需略维修即可继续使用。因此为了安全起见,英国强制性地的高速路上设置了该种防撞击缓冲物。

3. 可以评价产品质量

测试技术可以评价产品的制造质量、工作质量、结构强度和经济效益。

机器的质量检查性测试试验,针对目前生产的产品,定期进行质量检查试验,评价产品质量的稳定性,及时检查出产品存在的问题。检查内容包括产品的性能、强度、寿命、可靠性、可维修性、废品率和使用期等。

新产品定型测试试验是在新机械产品投产以前,按规程进行全面适应性和使用性的形式试验,在试验中测试全部参数。有些产品的测试试验还必须在热带、高原和严寒等不同条件下进行。国家规定,必须经对口的权威质检部门和认证机构的检测,合格以后出具检测报告,才允许开鉴定会,才能进行小批量生产。在定型试验中,不允许出现重大损坏、性能恶化及维修频繁等情况。且所有的检测依据都应遵循检测试验标准来进行。

检测试验标准分为国际标准、区域标准、国家标准、行业标准和企业标准。检测标准首先

贯彻中国的国家标准,如果国家标准尚没有制定出来,优先考虑的顺序是 ISO 国际标准、区域标准、国外主要国家的标准、企业标准。

试验的标准主要对以下内容进行了统一和规定:

- ① 统一规定了试验项目、试验规程,并作为制定试验大纲、实施试验的依据;
- ② 规定了性能参数、技术要求、允许值,可作为试验结果评价的标准;
- ③ 规定了产品各项试验检测规程、操作方法,可作为产品定型、合格产品出厂验收标准。

如图 0-4 所示,即为在车辆动力性的检测中依据国家标准制定的检测项目。

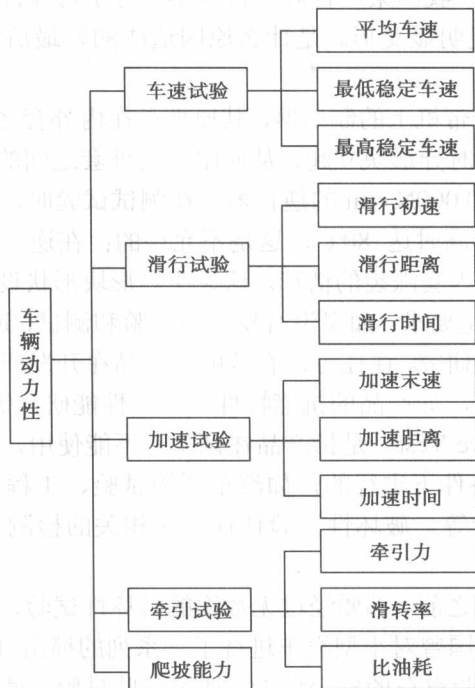


图 0-4 车辆动力性需检测的指标

4. 监控设备运行状态和运行条件及实现产品自动检验和质量控制

随着生产向机械化、自动化方向发展,就必须在生产过程中通过各种参数的测量、分析,进行控制和监视,才能保证产品的质量和生产的效率。检测技术就是利用传感器或检测仪器,将机器的各种参数转换为电信号,测试这些电信号,以检测、监视和控制各种静态参数及动态参数,使设备或系统正常运行,且处于最佳状态,从而保证生产安全、高效和高质量的。或者把这些电信号送入自动控制系统,自动调节设备运行状态。该技术被广泛地应用在电力、冶金、石化、化工和交通等行业,监控设备的工作状态。

一辆普通汽车需要配置 30~100 余种传感器及其配套测试仪表,用以检测发动机、车速、转矩、油压、油量、温度和振动等。一部豪华汽车则需要配置安装 100~200 个传感器,传感器数量的多少,标志着汽车的豪华程度。

在数控机床内部,也广泛使用了各种传感器及自动检测装置来监视加工中的各个环节,从而实现加工过程的自动检测和控制。例如,采用铂热电阻、热敏电阻、热电偶等传感器检测机床的轴温、压力油温、润滑油温、冷却空气的温度和电动机绕组温度等环境量的测量;采用电

阻式、电感式、电涡流式、霍尔式、光电式、超声波式传感器测量机床工作台、刀架等运动部件的位置,实现伺服控制;在刀具加工工件的过程中,进行力和加速度的测量,保证工件加工状态不超出设定的允许条件;机床在进行超精加工切削状态下,要使用传感器监控其动态稳定性、自激现象、加工精度,在线检测零件尺寸和精度。

同时可通过对机床的静、动态参数,如工件的加工精度、切削力、切削速度、位移、振动等机械量参数进行在线检测和自动调整,可使检测和生产加工同时进行,达到及时、主动地用检测结果对生产过程进行调节和控制,使其达到最佳运行状态,生产出合格产品的目的。

设备运行状态监控系统的特点是其传感器或仪器是安装在机器上的,它们是整机不可分割的组成部分。

5. 是实现自动化控制技术中不可缺少的重要环节

自动化技术可以降低人的劳动强度,提高工作效率和工作精度。现代工业生产与自动控制系统是以计算机为核心,以传感器为基础组成的。精确可靠的传感器是信息的获取与转换的组成环节,只有精确及时地将被控对象的各项参数检测出来并转换成易于传送和处理的信号,整个控制系统才能正常工作。检测与转换技术是自动检测技术和自动转换技术的总称。

工业自动化主要包括单机(单台机器)系统自动化、生产过程自动化和工业系统管理自动化。

单机系统自动化的机器,如矿用钻机可以根据岩石硬度的变化,自动调节钻头处轴压力、回转扭矩、除尘的注水量和排渣风量。因此它可以使整机的振动减到最小,提高钻头的使用寿命,节省能源和水资源,提高工效,并且无需操纵机器。这些都是依靠各种传感器采集不同的信息,转换成电信号进行反馈,自动控制钻机运行的。

生产过程自动化指的是机器实现无人控制,工作人员可在远方控制室内,通过传感器等监控系统,监视并控制机器的工作情况。例如,斗轮堆取料机进行堆、取料作业时,操作人员可以通过计算机显示屏的画面切换,来了解斗轮堆取料机的工作位置和工作情况的图示,以及取煤量、悬臂角度、回转角度、大车位置、各驱动装置、辅助系统等各部件、各系统的各种运行参数并通过打印机获得所需要的数据。同时可以随时与主控室之间进行数据交换,使主控室可以设定各运行参数,并通过显示屏了解斗轮堆取料机的运行状况和故障原因等。生产过程自动化可以适应大型电厂、现代化港口等高度自动化生产的要求,并提高工作效率。

生产过程自动化涉及现场总线技术、现场传感器技术、计算机通信、计算机视觉系统和管理技术、故障诊断技术的综合运用。

工业系统管理自动化,如斗轮堆取料机制造厂与各用户联网,可以及时获取机器的使用信息 and 产品升级信息。

6. 测试技术可以组成故障自诊断系统

在化工、机械、电力、石油、煤炭和交通等行业中,一些大型设备通常在高温、高压、高速和大功率状态下运行,为了保证这些设备的安全运行,通常设有故障监测系统对温度、压力、流量、转速、振动和噪声等多种参数进行长期动态的监测,对故障进行早期诊断,避免突发事故,保证设备和人员的安全,提高经济效益。

故障自诊断系统,就是利用计算机来处理检测信息,进行分析、判断,及时诊断出设备故障并自动报警或采取相应对策的。该过程的技术则称为自动检测技术或故障自诊断系统。

7. 可以为专门实验场的现场测试服务

如汽车试验场,往往是一个占地面积几十平方千米的大型综合性试验基地。它包括各种车

辆实际可能遇到的一切典型使用条件的模拟设施, 如有高速环形跑道、各种坡道、滑台、涉水池、强化试验的各种路面、地面。强化路面试验行驶 1600km 相当于一般使用中行驶 160 000km, 强化程度达 1:100。汽车可以在试验场中完成各种性能、寿命试验。在试验场可深入研究汽车的各种性能、缩短试验周期、提高试验结果的可比性和试验工作的安全性。

试验场就是研究中心, 集中了各种大型精密的测试仪器和试验设备(研究中心常常拥有数千研究人员, 是一个包括许多学科、许多专业、许多科学技术领域的大规模科学实验集体)。

8. 是研究国外进口设备性能的工具

测试技术是研究国外进口设备性能的工具。在合资过程中, 外国公司往往不会把产品开发的整个程序和关键技术拿到中国来, 他们只是利用中国廉价的劳动力与资源, 把中国的工厂当作加工厂或装配厂。而且在与外方的合作中, 中方某些单位往往放弃了自我开发产品的能力, 过分依赖国外公司的技术, 丧失了独立自主的开发能力。我们要掌握开发的技术手段, 而不是专注于国外产品的具体结构与图纸。提升自己的开发能力, 其中关键一条就是通过试验测试手段摸清技术的关键, 为国产化生产服务。

有一次, 我们现场测试中德合作生产的斗轮挖掘机, 却遭到德国人的粗暴干涉, 他们指责我们是在“偷技术”, 可见就连普通的外国工人都懂得测试的重要性, 而我们许多单位的领导却不知道测试的重要意义。

9. 可以为其他实验方法服务

模型试验法又称模拟试验。这种方法利用相似三定理, 可以把预期设计的机器的整机或工作装置等部件(原型)进行放大或缩小, 做成模型, 通过对模型模拟试验和测试发现问题, 解决问题, 完善产品性能或设计理论。这种方法最大的好处是可以避免一旦设计原型失败所造成的巨大浪费。如一台造价数亿的 3600m²/h 型斗轮挖掘机, 如果不在模型试验的基础上就直接设计制造, 一旦失败将会带来巨大浪费。我国在二十世纪七八十年代, 生产制造了许多台平巷掘进机, 产量超过了当时世界各国的总和, 但没有一台好用, 造成了人力、物力的巨大浪费。

模型试验需要测试技术进行各种各样的性能参数的测试。

模型试验还可以解决不易或不能直接在某些真实条件下进行的试验, 如月球车的设计与试验, 只能在地球上模拟月球的条件进行试验研究。

再如正交试验也需要测试技术进行配合。试验最优化不需要事先建模就很容易实现。试验的最优化设计可以以最少的试验次数得出令人信服的试验结论, 取得最优的配方、设计参数的最优搭配及最优的生产工艺等。如采用正交表, 可以用 27 次试验代替 1 594 323 次试验。日本曾在 20 世纪 50 年代后期开始使用这项技术迅速使工业崛起。实验优化试验技术被当作日本的国宝, 实验设计课程是日本所有大学必开设的课程。

测试技术还可以为可靠性试验等其他试验方法服务。

第 1 章

电测法的基本原理和信号的变换

电测法属于测试技术范畴。所谓测试就是用试验（实验）的方法，借助于测试仪器或试验设备，得到被测量数据大小与变化规律的过程，即测试技术是研究对象的状态、运动和特征等信息的一门技术。

与测试技术密切相关的试验有基础理论研究试验、整机或零部件的强度试验、模拟试验、破坏性试验、安全性试验、可靠性试验、产品性能的验证性试验、正交试验等。

测试仪器包括信号的采集、测量、记录、采样、分析等仪器，如各种类型的传感器、应变仪、电荷放大器、磁带记录仪、数据采集系统、微机等。有时还需要通过试验设备，如振动试验台进行激振，使用试验机施加力，以获取通过直接测量无法得到的有用信息。

测试技术发展到今天已完全突破了原有的单一的测量意义，它综合了测量、控制、模型及仿真、信号处理和分析、网络、系统辨识和参数估计、人工智能、神经网络等技术，成为了一门独立发展的学科。这些内容中的每一部分，都在发展和完善着。

1.1 电测法的基本原理

测试的对象是机械量，又称非电量，而测试的手段是采用电测的方法。那么机械工程领域中的非电量包括哪些内容？

1.1.1 非电量测试的研究对象

机械工程领域中测试的对象主要有 3 部分。

1. 应变的测量

设计构件的结构，或校核构件强度的主要依据是构件的受力大小和方向。但是一个构件在一部机器工作中所受的载荷往往难以确定，因为载荷往往是动态的随机载荷，再加上构件结构复杂，受力分析困难，数学模型往往建立不起来，于是就要借助于现场实测构件的应力大小和方向。因此在机械工程领域测试的对象之一是应变（Strain）测量。构件的应变可以直接反映应力的大小和变化规律，测试应变相当于研究构件的应力和强度。

好比一个人肚子痛去医院看病，医生难以确诊，但可以让病人验尿、验血、做心电图、做 CT……这其实就是医学上的检测技术。面对检验数据，医生心里有了数，对病情的诊断就有了把握，会立即制订出治疗方案。那么，对于一位机械设计师来讲，有了现场实测的构件的应力大小和方向，就相当于医生拿到了“化验单”，设计计算也就迎刃而解了。

应变测量可以在时域上获得构件的应力最大值（峰值、峰峰值）、最小值、平均值，以及最大主应力的大小、方向和变化规律。时域测量也叫做瞬态测量，主要测量被测量随时间的变化规律。当然对于动态信号的测量，还可将获得的时域信号进行频域分析，获得动态信号的频率结构组成。

应变测量的方法是在被测构件上沿主应力方向粘贴应变片，对构件实行静态加载或动态加载后，利用测量系统测试出应变的大小及其变化规律。

例如，重型矿用自卸汽车车架是各总成的安装基体，车架结构复杂，后安装架、纵梁、扭