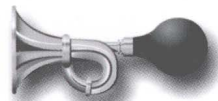


汽车实用技术 

汽车噪声 与 振动故障

的诊断及排除

张超群 陈文川 编著
闫光辉 杨 华 审校



汽车实用技术

汽车噪声与振动故障的 诊断及排除

张超群 陈文川 编著
闫光辉 杨 华 审校

科学出版社

北京

图字: 01-2010-3890 号

内 容 简 介

本书为“汽车实用技术”丛书之一。书中首先介绍关于振动和声音的基本概念,然后阐述汽车噪声的分类及各种汽车噪声是如何产生的,针对这些噪声,书中给出相应的故障诊断程序及诊断方法,并对这些故障的排除方法进行详细说明,最后介绍一些故障排除的实例。为方便读者阅读和学习,书末附录中给出汽车振动及噪声的相关术语的中英文对照、术语解释及各章的部分习题答案。

本书实用性极强,可供汽车维修技术人员和工科院校汽车专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车噪声与振动故障的诊断及排除/张超群,陈文川编著. —北京:科学出版社,2010

(汽车实用技术)

ISBN 978-7-03-029365-7

I. 汽… II. ①张…②陈… III. ①汽车噪声-故障诊断
②汽车噪声-车辆修理 ③汽车-振动-故障诊断 ④汽车-振动-车辆修理
IV. ①U467.4②U472.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 209454 号

责任编辑:喻永光 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:李 力

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2011 年 1 月第一次印刷 印张: 15

印数: 1—5 000 字数: 230 000

定 价: 36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书为(台湾)五南图书出版股份有限公司授权科学出版社有限责任公司在大陆地区出版发行简体字版本。

作者简介

张超群

现职:南台科技大学机械工程系副教授

学历:美国辛辛那提大学机械工程博士

专长:汽车噪音及振动、多体动力学、车辆动力学

证照:汽车修护乙级技术士

著作:《应用力学—静力学》(新文京)、《应用力学—动力学》(新文京)

陈文川

现职:南台科技大学机械工程系先进车辆组技士

学历:南台工商专科学校机械工程科汽车组(二专部)

南台科技大学工业工程与管理研究所硕士

专长:汽机车修护与检验(汽机车修护 15 年经验)、人因工程

证照:汽车修护乙级技术士、机车修护丙级技术士、小客车检验员

前 言

随着生活水平的提高,人们对汽车质量和舒适性的要求也比从前严苛,希望汽车在使用时能保持平顺与静音。当汽车出现噪声或振动问题时,除了造成驾驶和乘客厌烦外,也很可能是汽车某部位出现故障前的征兆。因此,汽车维修店的技师是否有能力作较有系统和效率的诊断与维修,便成为重要的课题。此外,工科院校汽车运用及车辆工程专业的学生,也缺少汽车噪声及振动故障排除这方面的课程和训练。他们毕业后到维修厂当技师时,大多数都凭经验与尝试错误的方法进行汽车噪声及振动问题的诊断与维修,有时花了许多时间及很大力气,仍未能找出故障原因。

本书可作为工科院校汽车运用或车辆工程专业的学生或维修技师在汽车噪声振动与问题上故障排除的参考书。全书共分5章,第1章介绍振动的基本概念;第2章介绍声音的基本概念;第3章按发动机、底盘、车身的分类简介常见的汽车噪声;第4章说明汽车噪声与振动问题的故障诊断程序、诊断注意事项、传统诊断及掌上型振动噪声分析仪法,最后叙述如何应用排除可疑系统和零部件法以缩小故障源;第5章将汽车噪声与振动问题作有效的归类,说明问题的现象、产生原理及故障排除。在附录中我们介绍振动和噪声的一些基本名词和术语。对于只想了解汽车噪声与振动问题故障诊断和排除的读者,可直接从第3章开始读起;对于想多了解一些振动与噪声原理的读者,则可从第1章读起。限于篇幅我们只对振动和噪声的重要原理作基本介绍,读者欲进一步了解,可参考相关的振动与噪声书籍。

汽车噪声与振动问题千变万化,我们当然不可能将所有的故障现象和解决方法详细列出,成为包治百病的书。但我们应用噪声和振动的基础理论,介绍较有系统和效率的诊断方法,并将汽车上常出现的噪声与振动问题作系统化归类,希望能够对汽车噪声与振动问题的诊断及故障排除产生举一反三的作用。

使用本书时可搭配汽车噪声与振动问题故障排除多媒体教学课件(该课件可从网站 www.okbook.com.cn 下载),以达到事半功倍的效果。



编者特别感谢台湾“国科会”科教处提供经费补助,许哲嘉和吴宗霖两位老师的鼎力协助,以及许多专题制作学生的帮忙。尤其要感谢许家诚、韩松志、李政乐、郑嘉皇、陈信宏、孙楷伦、陈俊安、吴綾芹、王宏文、陈英鑫、黄建璋、朱名扬、白佳立等同学的打字、绘图及制作动画,本书才能够完成。

编者才疏学浅,虽经多次校稿,但疏漏之处在所难免,恳请读者不吝指正。

张超群 陈文川

目 录

第 1 章 振动的基本概念	1
1.1 引 言	1
1.2 振动的分类	3
1.2.1 按系统的输入类型分类	3
1.2.2 按系统的输出(振动规律)类型分类	3
1.2.3 按系统的自由度分类	4
1.2.4 按描述系统的微分方程分类	5
1.3 简谐振动	5
1.4 单自由度系统的自由振动	10
1.4.1 单自由度弹簧-质量系统	11
1.5 阻尼系统的自由振动	16
1.5.1 阻 尼	16
1.5.2 振动微分方程	16
1.5.3 低阻尼系统	17
1.5.4 临界阻尼系统	19
1.5.5 过阻尼系统	19
1.6 简谐力引起的强迫运动	21
1.6.1 黏性阻尼系统	21
1.6.2 频率响应	24
1.7 车速、转速与频率	30
1.8 隔 振	33



1.9 减 震	34
习 题	36
第 2 章 声音的基本概念	37
2.1 引 言	37
2.2 声音的产生与传播	37
2.2.1 声音产生的原理	41
2.3 声音的基本计量	43
2.3.1 频率和周期	43
2.3.2 波长和声速	43
2.3.3 质点振动速度	44
2.3.4 声压及其有效值	45
2.3.5 声 强	45
2.3.6 声功率	46
2.4 声波的传播特性	48
2.4.1 声波的反射和折射	48
2.4.2 声波的绕射	50
2.5 声级、振动级及分贝	51
2.5.1 分 贝	51
2.5.2 声 级	51
2.5.3 振动级	54
2.5.4 分贝相加	55
2.5.5 分贝相减	55
2.6 频谱分析	57
2.6.1 倍频程分析	58
2.6.2 恒定百分比带宽分析	60
2.6.3 恒定带宽分析	60
2.7 指向特性	62
2.8 声波传至板状物的特性	63
2.8.1 声波的吸收	64
2.8.2 声波的反射	64
2.8.3 声波的透射	65

2.8.4 声波的传递损失	65
2.9 拍与驻波	67
2.9.1 拍	67
2.9.2 驻 波	69
2.10 多普勒效应	70
2.11 共 鸣	71
2.12 声阻抗与电路类比	72
2.12.1 声阻抗	72
2.12.2 阻抗匹配	73
2.12.3 电路类比	74
2.12.4 振动-电路类比	75
2.12.5 声-电路类比	76
2.13 人耳听觉基本特征	79
2.13.1 音 调	79
2.13.2 音 色	79
2.13.3 响度和响度级	80
2.13.4 加权声级	84
2.14 噪声源的分类及诊断	86
2.14.1 噪声源的分类	86
2.14.2 噪声源诊断的目的	88
2.14.3 噪声源的一般诊断法	88
2.14.4 噪声的现场测量	90
2.15 噪声控制的一般方法	92
2.15.1 从声源上降低噪声	92
2.15.2 从传播路径上降低噪声	93
2.15.3 对接收者进行防护	97
习 题	98
第 3 章 汽车噪声	99
3.1 汽车噪声的分类	99
3.2 发动机噪声	100
3.2.1 表面辐射噪声	100



3.2.2	空气动力噪声	103
3.3	底盘噪声	105
3.3.1	传动系统噪声	106
3.3.2	转向系统噪声	107
3.3.3	轮胎噪声	108
3.3.4	制动噪声	109
3.4	车身噪声	111
3.4.1	风噪声	111
3.4.2	车内噪声	114
习 题		116
第 4 章	故障诊断程序及方法	117
4.1	诊断程序	118
4.1.1	听取与记录顾客的抱怨	118
4.1.2	试 车	118
4.2	诊断方法	121
4.2.1	传统诊断方法	121
4.2.2	应用掌上型振动噪声分析仪法	123
4.3	应用排除可疑系统和零部件法缩小故障源	127
4.4	实 例	131
习 题		136
第 5 章	问题分类及故障排除	137
5.1	引 言	137
5.2	与汽车噪声和振动问题诊断有关的基本原理	137
5.2.1	结构振动噪声	137
5.2.2	空气传音	139
5.3	汽车噪声与振动问题的归类	140
5.4	行驶或滑行	144
5.4.1	低速摆振	144
5.4.2	摇 振	144
5.4.3	高速摆振	148

5.4.4	油门踏板振动	151
5.4.5	换挡杆振动	152
5.4.6	舒适性不良	152
5.4.7	冲击噪声与振动	153
5.4.8	路面噪声	154
5.4.9	胎纹噪声	156
5.4.10	嗡鸣噪声	157
5.4.11	拍击噪声	161
5.4.12	发动机噪声	161
5.4.13	风噪声	163
5.4.14	变速箱噪声	164
5.4.15	差速器齿轮噪声	166
5.5	汽车异响	167
5.5.1	摇臂异响	167
5.5.2	爆震声异响	168
5.5.3	发电机轴承异响	169
5.5.4	皮带异响	170
5.5.5	水泵轴承异响	172
5.6	底盘异响	172
5.6.1	离合器导向轴承异响	172
5.6.2	离合器释放轴承异响	174
5.6.3	外半轴异响	174
5.6.4	减震器异响	176
5.6.5	连接杆及控制臂异响	177
5.6.6	连接杆球接头异响	178
5.6.7	转向机构异响	179
5.6.8	轮轴承异响	180
5.6.9	轮胎异响	182
5.6.10	制动异响	183
5.7	车身异响	184
5.7.1	仪表板异响	184
5.7.2	车门内饰板异响	185



5.7.3	后视镜风阻异响	186
5.7.4	车门缝异响	187
5.8	停 止	188
5.8.1	起动振动	188
5.8.2	怠速振动	189
5.9	制 动	190
5.9.1	制动振动	190
5.9.2	制动刺耳声	191
5.10	起 步	193
5.10.1	离合器抖动	193
5.10.2	起步振动	194
5.11	实 例	195
5.11.1	方向盘抖动问题	196
5.11.2	汽车异响或异常振动问题	196
5.11.3	气门异响问题	197
5.11.4	轮轴承异响问题	197
5.11.5	皮带异响问题	198
5.11.6	减震器异响问题	198
5.11.7	连接杆异响问题	199
5.11.8	排气噪声问题	200
5.11.9	底盘抖动问题	200
5.11.10	异常振动问题	200
5.11.11	金属敲击声	201
	习 题	202
	附录 1 有关振动的常用基本名词	205
	附录 2 有关噪声的常用基本名词	211
	附录 3 描述汽车噪声的常用术语	217
	附录 4 汽车噪声与振动故障常用术语	219
	附录 5 部分习题解答	223
	参考文献	227

第 1 章

振动的基本概念

本章说明振动的基本概念,让读者了解振动的基本知识,为故障诊断奠定理论基础。

1.1 引言

振动(vibration)是指物体以其平衡位置为中心所做的往复运动。一切具有质量及弹性的物体都具有振动的性质。因此,机械在工作中或工程结构在使用中都会产生不同程度的振动,所以在设计过程中必须考虑其振动的特性。声音也是由振动产生的,因此振动与噪声有密切关系。在各种不同领域中的振动现象,都有不同的特色,但大都可用相似的力学模型来描述。质量块、弹簧和阻尼器是振动系统的三个主要组件:质量块具有惯性的力学模型;弹簧通常不计质量,具有弹性的模型,能够储存能量;阻尼器既不具有惯性,也不具有弹性,它对运动产生阻力,是耗能组件。

振动问题所涉及的内容可用图 1.1 加以说明,图中所研究的振动问题的对象称为系统:系统所受的激振力、初始位移、初始速度等称为输入(input)或激

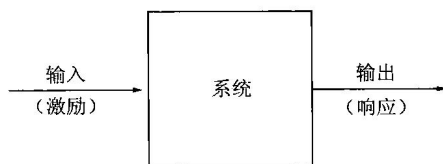


图 1.1 振动的框图表示



励(excitation);系统在输入下所产生的输出(output)称为系统的响应(response)。例如,图 1.2 为常见的弹簧-质量-阻尼器系统(spring-mass-damper system)的振动示意图,外力 $F_0 \sin \omega t$ 为激励;质量块 m 、弹簧 k 、阻尼器 c 构成振动系统;位移 x 为响应。又如,图 1.3 为汽车在不平路面行驶,研究乘坐舒适性的振动模型,汽车是一个振动系统,路面的不平度是激励,而汽车的上下跳动、侧倾(Roll)和俯仰运动(Pitch)便是响应。

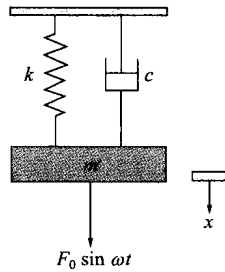


图 1.2 弹簧-质量-阻尼器系统

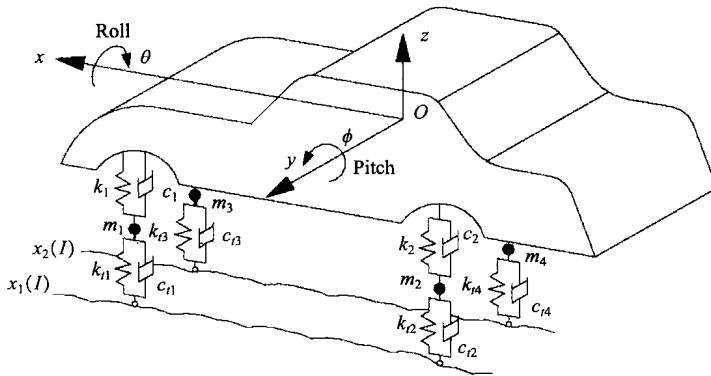


图 1.3 汽车乘坐舒适性振动模型

振动问题的研究包括:

- ① 已知激励,设计系统,使其响应满足某种特定的要求,称为振动设计;
- ② 已知激励与响应,研究输入是什么,称为振动环境预测;
- ③ 已知激励及系统,求响应,称为振动分析。

1.2 振动的分类

振动可按图 1.1 所示的框图加以分类,简述如下。

1.2.1 按系统的输入类型分类

1. 自由振动

自由振动(*free vibration*)是系统受初始条件(初始位移及初始速度)作用所产生的振动或原有外激振力取消后的振动,例如图 1.23 所示的弹簧-质量-阻尼器系统的振动,便是自由振动。

2. 强迫振动

强迫振动(*forced vibration*)是系统在外激励作用下所产生的振动,例如图 1.2 所示的振动,便是强迫振动;又如不平衡的轮胎旋转时所产生的离心力对汽车造成的振动,也是强迫振动。

3. 自激振动

自激振动(*self-excited vibration*)是系统在输入与输出之间有反馈特性,并有能量补充而产生的振动。汽车的低速摆振(*shimmy*)便是自激振动的一个例子。

1.2.2 按系统的输出(振动规律)类型分类

1. 简谐振动

简谐振动(*simple harmonic motion*)是输出为时间的正弦或余弦函数的振动。例如图 1.6 所示的弹簧-质量系统(*mass-spring system*)的振动就是简谐振动,因质量 m 的位移是时间的正弦或余弦函数。

2. 周期振动

周期振动(*periodic vibration*)的输出为时间的周期函数,即经过相等的时间间隔后,振动又重复。钟摆的摆动可视为周期振动的一个例子。

3. 暂态振动

暂态振动(*transient vibration*)是输出为时间的非周期函数,且存在的时间很短。例如以手敲击桌面所产生振动,桌面的振动不久后便停止,这种振动就是暂态振动。



4. 随机振动

随机振动(random vibration)的输出不是时间的确定性函数,因而不可预测,只能用概率统计的方法来研究。例如路面的不平度不能用确定性函数描述,它引起的振动就是随机振动。

1.2.3 按系统的自由度分类

1. 单自由度系统

单自由度系统(single degree-of-freedom system)的振动只需用一个独立坐标来描述。例如图 1.2 所示的弹簧-质量-阻尼器系统,只需要一个坐标 x 便可描述质量块 m 的运动。

2. 多自由度系统

多自由度系统(multidegree-of-freedom system)的振动需用两个以上的独立坐标来描述。构成此类系统的组件有质量块、弹簧与阻尼器,因此亦称为离散系统(discrete system)。例如图 1.4 所示为弹簧-质量-阻尼器系统,需用坐标 x_1 和 x_2 描述其运动,故其自由度为 2。

3. 连续系统

连续系统(continuous system)中弹性体(如板、梁等)的振动需用无限多个独立坐标来描述。弹性体的质量、弹性和阻尼是连续分布的,故称连续系统。此类系统亦称无限自由度系统,以区别于上述单自由度和多自由度系统。例如图 1.5 所示的音叉的振动,就是属于连续系统的振动。

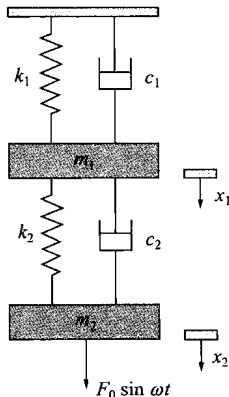


图 1.4 双自由度弹簧-质量-阻尼器系统

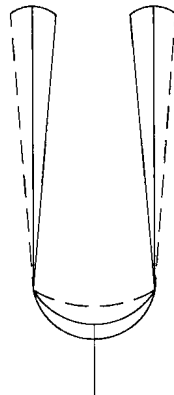


图 1.5 音叉的振动

1.2.4 按描述系统的微分方程分类

1. 线性振动

线性振动(linear vibration)可用常系数线性微分方程来描述。例如单自由度弹簧质量系统的振动方程为 $m\ddot{x}+kx=0$, 这是常系数线性微分方程, 故称为线性振动。

2. 非线性振动

非线性振动(nonlinear vibration)需用非线性微分方程来描述, 即微分方程中含有非线性项。例如对含有非线性软弹簧的弹簧-质量系统的振动方程可写成 $m\ddot{x}+ax-bx^3=0$, 因方程含非线性项 bx^3 , 故称为非线性振动。

1.3 简谐振动

振动是一种来回的往复运动, 因此具有频率的特性, 频率代表振动的快慢; 而且是在一定距离内运动, 故具有振幅, 它代表振动的强度; 此外振动又与起始位置有关, 故用相位代表某瞬间振动体与固定位置的关系或是某瞬间两个振动体位置的相对关系。本节用简谐振动来说明这些概念。

简谐振动是周期振动中最简单的一种。它可以用挂在一个很轻弹簧上的质量块 m 的运动来说明, 如图 1.6 所示。将质量块离开它的静平衡位置后再释放, 它将上下振动。如果在质量块上放一个小光源, 则质量块的振动能用一条做等速运动的感光纸带记录下来。这种运动过程可用正弦函数表示为

$$x = A \sin \frac{2\pi}{T}t \quad (1.1)$$

式中, A 为振幅(amplitude), 表示质量块离开平衡位置的最大距离; T 为周期(period), 表示质量块往复振动一次所需的时间, 或者说当 $t=T$ 时, 运动将重复。

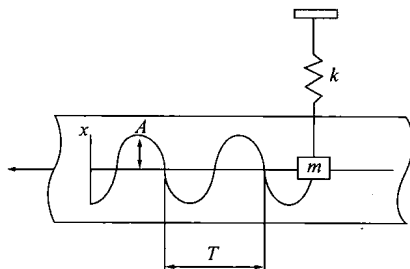


图 1.6 简谐运动的显示与记录