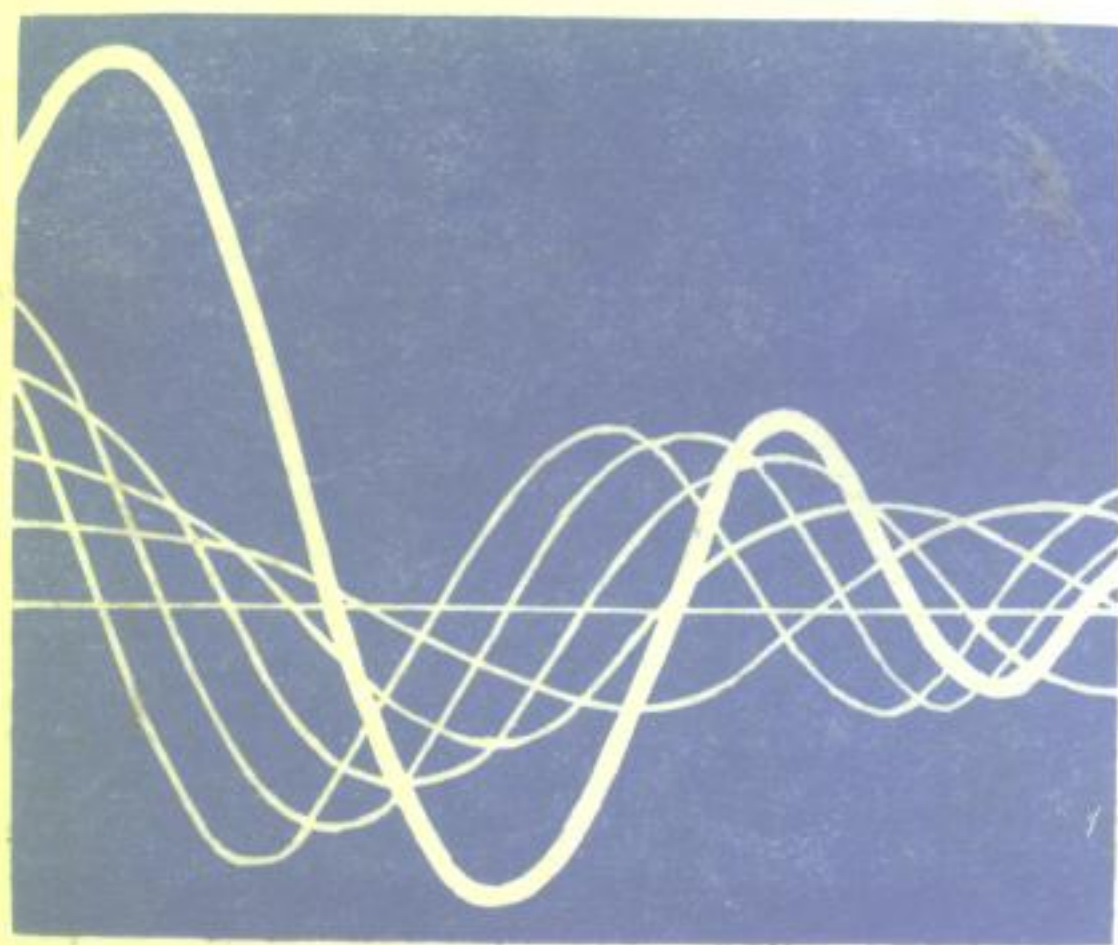


机械动力学工程应用丛书

阻尼技术的工程应用



戴德沛 主编

清华大学出版社

TH113

D10

352259

机械动力学工程应用丛书

中国振动工程学会机械动力学学会审定

阻尼技术的工程应用

戴德沛 主编



清华大学出版社

内 容 简 介

这是一本专门介绍阻尼技术的书籍。书中简明的叙述了阻尼技术的基本概念，阻尼产生机理及数学描述，阻尼材料及阻尼基本结构。并以众多的工程实例介绍了阻尼技术在机械动力工业、交通运输工业、轻工纺织工业、航天航空工业以及工程抗震防振中的应用。反映了作者们新的研究成果。书中理论分析简明扼要，理论与实际结合紧密，通俗易懂，实用性强。

本书可供工程技术人员和高等院校师生参考。

44.135

(京)新登字 158 号

机械动力学工程应用丛书

阻尼技术的工程应用

戴德沛 主编

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

清华大学印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本: 850 × 118 1/32 印张: 12.5 字数: 324 千字

1991 年 10 月第 1 版

1991 年 10 月第 1 次印刷

印数: 0001—1500

ISBN 7-302-00877-9/TB·9

定价: 7.80 元

《机械动力学工程应用丛书》

编辑委员会

主任委员：郦 明

副主任委员：曹金榜

委 员：于骏一 王奇浩 王启义
陈克强 陈家骥 金瑞淇
贺兴书 廖伯瑜 戴德沛

关于《机械动力学工程应用丛书》

当今世界，对机械的高速化、大型化、精密化和自动化的需求与日俱增。这一不可逆转的趋势，使得振动和动态设计日益成为现代科技发展的一个重大领域，特别是近二十年来，电子和计算机技术给动态研究提供了更加广阔的天地和全新的境界。

顺应这一发展形势，一些志同道合者在 1981 年成立了全国机床动力学研究会（1985 年改名为中国振动工程学会机械动力学学会），十年来，这些同行们不但各自苦心钻研，奋力实践，而且作为一个学术性群体，经常聚首，磋切学问，交流成果，特别是为社会主义生产建设服务的成果。

这次本学会主持编写的“机械动力学工程应用丛书”是一部应用性的技术丛书，贯注着将科学技术转化为生产力的强烈意向，力求理论联系实际，深入浅出，简洁实用。丛书共分八册，将在五年内陆续出版。其主要对象是从事生产实际工作的科技人员，也可作为高等工程院校师生的专业参考书。

本丛书的编著者都是长期从事振动和动态设计诸领域研究的专家学者，他们愿将毕生琢磨领悟之所得无私地和盘托出，既是学问与信息的传播，也是感情和心血的奉献，以此表达对我国现代机械工业发展的深切期望。

在丛书编写过程中，国内外的一些企业、院校、研究所和清华大学出版社，在资料、人力、财力上给予我们许多帮助，在此致以衷心的感谢和敬意。

中国振动工程学会机械动力学学会

1991.1

• iii •

序 言

阻尼减振降噪技术(简称阻尼技术)是一项新技术。正确地使用这项技术,可以提高各类机械产品及工程结构的抗振性和稳定性,延长其工作寿命,也可以使某些大型结构如土木建筑结构在发生地震灾害时得到抗震保护。这项技术还能有效地降低噪声,防止噪声对环境的污染。由于机械产品的振动和噪声水平已成为现代产品内在质量的重要标志之一,所以,阻尼技术在提高产品质量方面也有重要作用。总之,阻尼技术的推广应用不仅有显著的社会效益,而且有重大的经济价值。

阻尼技术的应用范围十分宽阔,几乎涉及到国民经济的各主要工业领域,如航天航空工业;机械动力工业;交通运输工业;电力电子工业;轻工纺织工业;仪器仪表工业;军事国防工业;家用电器工业以至运动器材工业等等。和阻尼技术同步发展的阻尼器材工业还是一项具有广阔前途的新型材料工业。事实证明:阻尼技术的工程应用已经受到各行各业的广泛重视。

本书是一本供工程界应用的技术性书籍,用以阐明阻尼技术的原理、方法及应用,介绍和其相关的新技术。本书的重点是工程应用,希望能帮助读者掌握这项技术的适用场合、技术要点、应用方法,并联系到作者们研究工作的成果,介绍一些成功的应用实例,以便使理论联系实际,解决工程实际问题。

全书分十章,由戴德沛担任主编,孙庆鸿主审。各章的编写者为:第一、二章,戴德沛;第三章,陈花玲、荣钟汇;第四、七、八章,黄协清;第五、六章,张升陞;第九章,胡选利;第十章,肖颖。肖颖并对全书作了技术性加工。

本书作为《机械动力学的工程应用丛书》之一,是由中国振

动工程学会机械动力学学会组织编写及出版的。为学会发挥学术和技术交流作用贡献了一份力量。

本书除了为工程技术人员提供一本技术参考书外，也可作为有关专业的研究人员及高等院校师生教学、科研工作的参考书。

作者水平有限，难免发生一些错误，请读者不吝指正。

目 录

序 言

第一章 阻尼减振降噪技术的概况	1
1.1 阻尼减振降噪技术的定义与作用	1
一、振动与噪声的控制	1
二、阻尼减振降噪技术的定义与目的	4
三、阻尼技术的内容和范围	5
1.2 阻尼技术的工程应用	7
一、在航天航空工程中的应用	7
二、在核工业及军事装备上的应用	9
三、在陆上交通运输部门及各种车辆上的应用	10
四、在重工业及电力、机械部门的应用	11
五、在轻工业及纺织工业部门的应用	12
六、在大型建筑物及土木结构上的应用	13
1.3 阻尼技术的现状及发展	14
参考文献	16
第二章 阻尼的产生机理及数学描述	17
2.1 阻尼的产生机理	17
一、工程材料的材料阻尼	17
二、流体的粘滞阻尼	24
三、结合面阻尼与库仑摩擦阻尼	26
四、冲击阻尼	30

五、磁电效应产生的阻尼	32
2.2 阻尼耗能量的分析与数学描述	34
2.3 阻尼值的测量和阻尼的间接表示法	40
一、自由振动法	41
二、频率响应法	43
三、复刚度法	47
四、各种阻尼特征值的相互联系	47
参考文献	48
第三章 阻尼材料及其物理机械性能	50
3.1 阻尼材料的性能指标及其分类	50
3.2 粘弹性阻尼材料及其性能	55
一、兰陵橡胶厂生产的粘弹性阻尼材料	56
二、无锡减振器厂生产的粘弹性阻尼材料	60
三、南洋阻尼材料厂生产的粘弹性阻尼材料	61
四、航天部北京材料工艺研究所研制的阻尼材料	64
五、中国船舶工业总公司七院研制的阻尼材料	65
3.3 阻尼涂料及其性能	65
一、开林油漆厂生产的阻尼涂料	70
二、中国船舶工业总公司材料研究所研制的 阻尼涂料	70
3.4 沥青型阻尼材料及其性能	71
3.5 复合型阻尼金属板材及其性能	74
一、复合型阻尼金属板的性能	75
二、复合型阻尼钢板的应用	76
三、国内复合阻尼钢板的生产情况简介	76
3.6 阻尼合金及其性能	80
一、阻尼合金的分类	80
二、阻尼合金的性质	81

三、阻尼合金的应用	83
四、国内阻尼合金生产及使用状况	84
3.7 特种阻尼材料	88
一、高温条件下使用的玻璃状阻尼陶瓷	88
二、抗静电阻尼材料	90
三、抗冲击隔热阻尼材料	90
3.8 吸声、隔声材料及其性能	90
一、吸声、隔声材料的性能指标	90
二、吸声材料及其性能	92
三、隔声材料及其性能	96
参考文献	98

第四章 阻尼基本结构及结构优化	100
4.1 阻尼基本结构的分类	100
4.2 用于振动隔离的阻尼减振器件	100
一、金属弹簧减振器	102
二、粘弹性材料减振器	103
三、空气弹簧减振器	104
四、干摩擦阻尼减振器	105
4.3 降低和吸收振动的阻尼吸振器件	109
一、油液阻尼吸振器	109
二、阻尼动力吸振器	110
三、冲击阻尼吸振器	112
4.4 附加阻尼结构	121
一、自由阻尼结构	121
二、约束阻尼结构	126
三、附加阻尼结构设计的其它问题	133
4.5 气体薄膜阻尼结构	138
一、气体薄膜阻尼结构的阻尼机理	139

二、气体薄膜阻尼结构损耗因子的预估·····	140
三、影响气体薄膜阻尼结构损耗因子的相关因素···	143
四、气体薄膜阻尼结构的应用·····	148
4.6 接合面阻尼及结构·····	149
参考文献·····	152

第五章 阻尼技术在机床及其它机械设备上的应用····· 154

5.1 机械设备常用的阻尼减振技术·····	154
一、应用大阻尼材料制作零部件·····	154
二、附加阻尼器及动力吸振器·····	155
三、表面附加阻尼结构·····	155
四、阻尼减振器·····	157
五、钢板焊接结构的阻尼焊接法·····	158
5.2 机床上应用的阻尼结构和阻尼装置·····	158
一、阻尼镗杆·····	158
二、磨齿机阻尼曲柄连杆机构·····	161
三、混凝土机床基础件·····	162
四、机床主轴油膜辅助支承·····	165
5.3 机床阻尼降噪技术·····	167
一、车床轻型阻尼隔声罩·····	167
二、低噪声自动车床料管·····	171
三、冲床的阻尼减振降噪方法·····	174
5.4 应用附加阻尼结构提高重型机床焊接基础件的 动态特性·····	178
一、机床焊接基础件存在的问题·····	178
二、钢板焊接立柱模型的有限元分析·····	178
三、立柱模型的实验模态分析·····	181
四、立柱-横梁模型的实验模态分析·····	184
五、16m 立车立柱的阻尼处理·····	184

5.5 其它机械设备上应用的阻尼降噪技术.....	187
一、齿轮变速箱的阻尼降噪.....	188
二、圆锯的阻尼降噪.....	193
三、打桩机的阻尼降噪.....	197
四、压缩机阻尼降噪.....	198
五、干泵的阻尼降噪.....	198
参考文献	199
第六章 阻尼技术在车辆和船舶上的应用.....	201
6.1 阻尼技术在车船上应用的几个主要方面.....	201
一、振动的隔离.....	201
二、薄壁结构振动的抑制.....	202
三、发动机噪声控制.....	203
6.2 车船发动机振动的隔离.....	203
一、车船发动机用减振器的基本要求.....	203
二、车船发动机用减振器的种类和性能.....	205
6.3 汽车车内噪声的阻尼控制.....	210
一、车身板结构声辐射的抑制.....	211
二、发动机噪声的隔离.....	215
三、车内声振特性分析方法.....	217
四、小轿车的车内降噪.....	221
五、大型客车的车内降噪.....	229
六、发动机的阻尼降噪.....	239
6.4 拖拉机和装载机噪声的阻尼控制.....	243
一、拖拉机驾驶室噪声控制.....	243
二、装载机驾驶室噪声控制.....	246
三、变速箱噪声控制.....	248
6.5 船舶振动和噪声的阻尼控制.....	250
一、船体振动的阻尼控制.....	250

二、船舱室噪声和振动的阻尼控制.....	252
参考文献	258
第七章 阻尼技术在纺织工业噪声治理中的应用.....	261
7.1 纺织工业噪声特点及其产生原因.....	261
7.2 1511G 型织机的噪声治理措施.....	262
一、织机的声学特性与噪声源的识别.....	262
二、有梭织机的噪声治理原理.....	264
三、1511G 型织机的噪声治理措施.....	271
7.3 丝织机和细纱机的噪声治理措施.....	280
一、丝织机噪声治理的阻尼技术措施.....	280
二、细纱机噪声治理的阻尼技术措施.....	281
参考文献	283
第八章 阻尼技术在轻工机械中的减振降噪应用.....	284
8.1 板壳件的减振降噪.....	284
8.2 阻尼技术在轻工机器设备中的隔振应用.....	286
一、工业缝纫用机器设备的噪声治理.....	286
二、风机及高压泵等设备的隔振降噪效果.....	287
8.3 阻尼技术在隔声设计中的应用.....	289
8.4 阻尼技术在输送设备降噪中的应用.....	291
8.5 阻尼技术在印刷机械减振降噪中的应用.....	293
一、四色印刷机 (ORIS) 传纸滚筒的降噪 模拟实验.....	293
二、四开平台印刷机的噪声治理措施.....	296
三、冲击阻尼吸振器降低印刷机印刷板 滚筒的振动.....	297
8.6 家用洗衣机噪声治理措施与效果.....	299
一、电机隔振参数的改进.....	299

二、内胆的隔振·····	300
三、内胆与外壁之间插入阻尼材料·····	302
四、定时器的隔声处理·····	302
参考文献·····	303
第九章 阻尼技术在航天航空工程中的应用·····	304
9.1 整体阻尼结构·····	305
一、飞行器继电器板的阻尼处理·····	305
二、飞行器惯性平台结构的阻尼处理·····	307
三、各种仪器托架及支撑结构的阻尼处理·····	307
四、飞机发动机叶片的阻尼处理·····	309
9.2 航天航空工程结构的局部阻尼处理·····	311
一、自由阻尼层的位置优化·····	311
二、约束阻尼结构的位置优化·····	312
三、工程应用举例·····	315
9.3 航天仪器结构的粘弹性边界阻尼结构 及减振设计·····	318
一、粘弹性边界阻尼结构·····	318
二、航天结构的减振设计·····	322
9.4 航天结构的综合阻尼处理实例分析·····	324
一、部件和组件的综合阻尼处理·····	324
二、子系统的阻尼结构设计·····	327
9.5 阻尼技术在飞机舱内噪声控制中的应用·····	333
一、喷气式飞机舱内声学处理中阻尼技术的应用·····	333
二、螺旋桨飞机舱内噪声控制及阻尼处理技术·····	340
9.6 振动阻尼的主动控制技术·····	345
一、主动控制的基本概念·····	346
二、阻尼主动控制的实现·····	348
三、结构控制举例·····	349
参考文献·····	360

第十章 阻尼技术在工程抗震防振中的应用	363
10.1 增加结构阻尼力的防震方法.....	363
10.2 动态阻尼效应的应用.....	366
10.3 附加阻尼减震器的应用.....	369
10.4 基础滑动摩擦减震.....	373
10.5 干摩擦节点减震.....	378
10.6 桥梁抗震设计中的阻尼应用.....	379
一、新西兰桥梁抗震装置的开发.....	379
二、桥梁抗震应用情况.....	383
参考文献	383

第一章 阻尼减振降噪技术的概况

1.1 阻尼减振降噪技术的定义与作用

一、振动与噪声的控制

工程结构其中主要指机械结构在受到激励以后会产生振动与噪声，这是一种普遍的物理现象。这种现象有时可以用来为人类服务。例如，古庙钟声就是古钟受敲击后振动辐射出受人欢迎的悦耳声。机械加工中的振动切削；上下料机构使用的振动料斗；分选砂粒使用的振动筛；使用超声技术进行检测、清洗等等，就是这类有用的实例。但是多数情况下，振动、冲击、噪声，会对生产及生活产生严重危害，必须采取各种有效措施，加以严格控制。

我国是一个多地震的国家，地震灾害是十分可怕的，有名的唐山地震造成了四十万人伤亡，整个城市的建筑物几乎全部倒塌。专家们认为：地震造成人畜伤亡的主要原因是建筑物的倾倒，房屋及其他建筑物如在设计时采用抗震结构，将大幅度降低地震造成的危害。对于贮存有毒物质的大型容器；具有放射性物质的生产工厂；结构强度更为严格的高层建筑等，更应该在建设的同时，采取有效的抗震安全措施，对地震产生的破坏加以控制。地震波是一种具有宽频特性的随机波，它使建筑物受激励后产生振动响应并发生破坏，破坏的原因属于共振损坏。

另一种振动破坏，叫冲击损坏。冲击损坏造成的损失也是惊人的。例如我国每年工业产品在运输过程中因冲击损坏造成的损失往往超过一百亿元。因此，产品包装具有良好的抗冲击性能就

有十分重要的意义。同时，防止或减轻冲击损坏造成的危害在工业生产领域里存在众多的实际问题。例如汽车及其他运输工具应改善抗冲击性能，使在事故发生时减轻灾害损失及人员伤亡；又如高速转动的砂轮一旦损坏飞散，其防护罩应对工作人员作有效的防护。所以，冲击的防止和控制也是十分重要的。

振动还使结构件产生动应力而造成疲劳损坏。拖车的牵引钩，喷气发动机的喷气导管，其损坏的原因主要是振动疲劳或声疲劳。各类交通工具在高级路面上行驶或在高低不平的路面上行驶，其大修周期可以相差三一五倍，以至十倍。就这一点造成的损失也是惊人的。

所以，振动是造成工程结构损坏及寿命降低的重要原因之一，必须加以控制。

其次，机械产品的振动和噪声水平，日益成为产品质量的重要指标，甚至也是衡量一个国家工业技术水平的一项重要指标。例如，可移动的战术雷达，因为机架受动力源振动的影响，振动就必须控制在较低的水平上，否则，雷达的工作质量将受到影响。当然，振动水平的高低就成了战术雷达这一产品的一项重要质量指标。更为普遍的是以噪声水平作为衡量产品内在质量的一

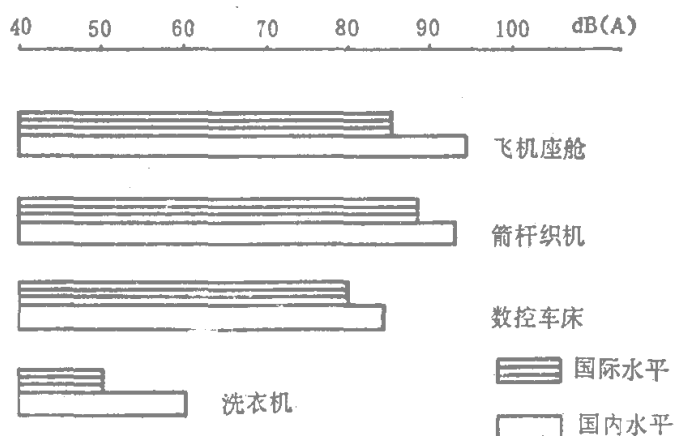


图 1-1 几种主要产品的噪声水平比较