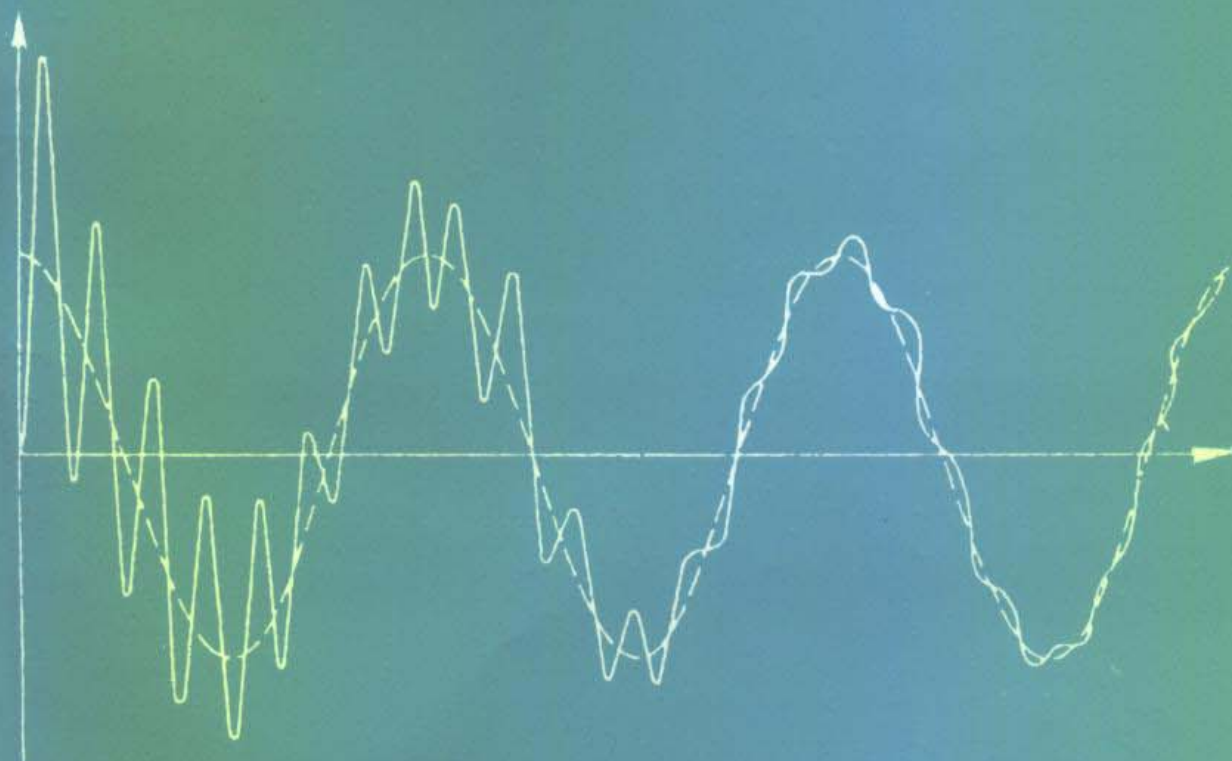


# 实用振动工程

(3)

## 振动测量与试验

主编 张阿舟 诸德超 姚起杭 顾松年  
主审 赵今诚 朱德懋 张克荣 杨学勤



航空工业出版社

TB/23

Z10

3

# 实用振动工程

(3)

## 振动测量与试验

主编 张阿舟 诸德超 姚起杭 顾松年  
主审 赵令诚 朱德懋 张克荣 杨学勤

航空工业出版社

1997

## 前 言

一般认为,振动是物体在时间过程中发生的一种往复式位形变化现象,它是物质运动的一种带有普遍意义的重要形式。从自然界到工业技术领域,振动现象屡见不鲜;特别是现代社会中所有各工业部门——各类振动机械、动力装置、电子产品、仪器仪表、各类建筑物和各种运输工具……无一不存在振动问题,也无一不需要应用振动技术。

尽管有关振动理论和应用技术方面的文献和专著已经不少,但本书编者认为,真正能够使理论和应用技术相结合、系统地反映和体现当前快速发展中的工程实用振动技术的书籍仍不多见。随着我国工业建设和国民经济的蓬勃发展,各行业工程技术界人士对于这一种著作的需求已经越来越迫切了。

本书是航空工业系统所属院校院所从事振动应用研究的专家们的集体创作。众所周知,由于现代飞行器在动力装置、使用环境以及安全要求方面的特点,飞行器结构动力学问题以及与之伴随出现的各种类型的振动问题,它们的理论分析方法及软件、控制设计技术和测量、分析、试验技术一直是各国航空工业界非常重视的研究课题。我国航空工业部门从七十年代起就组织各院校院所同行协作开展对这些技术进行发展与应用研究,并且已经积累了大量研究成果和应用技术,从而为编写本书奠定了技术基础。

本书对各类振动问题的分析和阐述着重致力于反映有关技术方法的通用性,同时也力求本书反映当前该项技术发展的国际先进水平。因而本书各部分内容对其它工业部门需要的各类振动应用技术也完全具有实际应用价值和指导意义。

为了给需要应用振动技术的有关工程技术人员提供简要的基础知识和较为详尽的实际应用方法,本书按振动基本理论、动力分析方法和软件介绍、振动控制设计和实际控制技术、结构动力学设计和修改分析、振动测量和动态数据处理方法、结构动力特性试验和参数识别技术、振动诊断及动力环境试验方法等内容分别进行介绍,并分类编为振动理论与分析、振动控制与设计、振动测量与试验共三册出版。

本书编委会全体同仁对大力支持本书编写与出版的中国航空科学技术研究院、飞机结构强度研究所、航空工业出版社和航空工业部飞机动力环境课题组以及所有为本书出版付出过辛勤劳动的人们致以衷心的感谢。

《实用振动工程》编委会

一九九七年四月

## 《实用振动工程》编委会

主编：张阿舟 诸德超 姚起杭 顾松年  
主审：赵令诚 朱德懋 张克荣 杨学勤  
编委：张阿舟 赵令诚 诸德超 朱德懋 姚起杭 张克荣  
顾松年 屈见忠 周传荣 张世基 李军杰 杨学勤  
张曾鋈 施荣明 龚庆祥 姜节胜 顾仲权 齐丕骞  
胡丙相 朱善庆 秦桂骧 周枝伦 张 鹏 潘树祥  
钟德钧 何联珠 王宝禄 张秀义 傅 博

## 第三册 振动测量与试验

主编：姚起杭 屈见忠  
主审：张克荣 杨学勤  
编委：姚起杭 张克荣 屈见忠 周传荣 姜节胜  
杨学勤 龚庆祥 周枝伦 钟德钧 傅 博

# 目 次

<b>第一章 振动标准</b> .....	(1)
1.1 引言 .....	(1)
1.2 标准机构与组织 .....	(2)
1.3 振动标准的分类 .....	(3)
1.3.1 评价性振动标准 .....	(3)
1.3.2 精密仪器设备的允许振动 .....	(5)
1.3.3 振动对人的影响和评价标准 .....	(6)
1.3.4 考核性振动标准.....	(12)
1.3.5 服务性振动标准.....	(14)
1.4 振动标准的制订.....	(14)
1.4.1 制订振动标准的原则.....	(14)
1.4.2 基本要求.....	(15)
1.4.3 组织形式和编制程序.....	(15)
1.4.4 实例——制订飞机机载设备振动环境试验标准有关问题.....	(15)
1.5 几项主要振动试验标准介绍.....	(18)
1.5.1 机械设备振动环境条件及试验方法.....	(18)
1.5.2 综合环境试验.....	(19)
1.5.3 飞机地面振动试验标准.....	(19)
1.5.4 起落架落震试验.....	(20)
<b>参考文献</b> .....	(20)
<b>第二章 振动测量技术</b> .....	(22)
2.1 引言.....	(22)
2.2 振动传感器的类型.....	(22)
2.2.1 位移式振动传感器.....	(22)
2.2.2 磁电式速度传感器.....	(24)
2.2.3 压电式加速度传感器.....	(24)
2.2.4 压阻式加速度传感器.....	(26)
2.2.5 应变式加速度传感器.....	(26)
2.2.6 电容式传感器.....	(28)
2.2.7 电涡流式传感器.....	(30)
2.3 振动传感器主要特性.....	(31)
2.3.1 传感器的幅频特性.....	(31)
2.3.2 灵敏度.....	(33)
2.3.3 相频特性.....	(33)
2.3.4 线性度.....	(34)

2.3.5	动态范围	(34)
2.3.6	横向灵敏度	(34)
2.3.7	温度响应	(35)
2.3.8	安装共振频率	(35)
2.3.9	非振动环境特性	(35)
2.3.10	其他	(35)
2.4	前置放大器和滤波器	(35)
2.4.1	电压前置放大器	(36)
2.4.2	电荷前置放大器	(38)
2.4.3	滤波器	(39)
2.5	磁带记录器	(41)
2.5.1	模拟式磁带记录器	(41)
2.5.2	数字式磁带记录器	(43)
2.6	振动测量校准	(43)
2.6.1	校准内容	(43)
2.6.2	校准方法	(44)
2.6.3	校准实施	(46)
2.6.4	振动台及其特性	(48)
2.7	测振仪器的选择	(50)
2.7.1	传感器的选择	(50)
2.7.2	测试系统的选择	(51)
2.8	冲击测量技术	(52)
2.8.1	冲击测量的瞬态响应	(52)
2.8.2	冲击测量设备的选择	(56)
2.9	冲击测量校准	(59)
2.9.1	比较法校准	(60)
2.9.2	绝对法校准	(62)
2.10	全息振动分析	(63)
2.10.1	全息干涉的概念	(64)
2.10.2	时间平均法	(65)
2.10.3	参考光正弦波相位调制法	(68)
2.10.4	改良型时间平均法	(69)
2.10.5	频闪观测法	(71)
2.10.6	全息振动分析的应用	(72)
附录 A	分贝的使用及换算	(73)
附录 B	振动位移、速度、加速度和频率的换算及图表	(77)
附录 C	法定计量单位和工程用单位换算表	(77)
附录 D	国内外部分振动传感器主要性能、生产厂家一览表	(79)
	参考文献	(82)

<b>第三章 振动数据分析方法</b> .....	(83)
3.1 前言 .....	(83)
3.2 数据检验 .....	(83)
3.2.1 数据分类检验 .....	(83)
3.2.2 平稳性检验 .....	(85)
3.2.3 各态历经性检验 .....	(86)
3.2.4 正态性检验 .....	(86)
3.2.5 随机信号中周期分量的鉴别与分离 .....	(87)
3.3 数据预处理 .....	(89)
3.3.1 不合理点的消除 .....	(89)
3.3.2 消除趋势项 .....	(89)
3.4 数字分析基础 .....	(90)
3.4.1 采样和混叠 .....	(91)
3.4.2 量化和量化误差 .....	(94)
3.4.3 有限傅里叶变换和数学谱窗 .....	(95)
3.4.4 快速傅里叶变换(FFT)和细化 FFT .....	(96)
3.5 周期性数据分析方法 .....	(103)
3.5.1 频谱分析 .....	(103)
3.5.2 分析参数选择 .....	(103)
3.6 随机数据分析方法 .....	(104)
3.6.1 参数估计和统计误差 .....	(104)
3.6.2 均值 .....	(105)
3.6.3 均方值 .....	(105)
3.6.4 幅值概率密度函数 .....	(106)
3.6.5 联合幅值概率密度函数 .....	(107)
3.6.6 自相关函数 .....	(107)
3.6.7 互相关函数 .....	(109)
3.6.8 自谱密度函数 .....	(110)
3.6.9 互谱密度函数 .....	(117)
3.6.10 相干函数 .....	(118)
3.6.11 频率响应函数 .....	(120)
3.6.12 倒频谱与复倒频谱 .....	(121)
3.6.13 最大熵谱分析 .....	(122)
3.7 非平稳随机数据的分析方法 .....	(127)
3.7.1 非平稳随机数据的特征 .....	(127)
3.7.2 非平稳数据的近似分析方法 .....	(129)
3.8 瞬态数据分析方法 .....	(131)
3.8.1 瞬态信号的描述 .....	(131)
3.8.2 冲击响应谱的定义和分类 .....	(132)

3.8.3	冲击响应谱与傅里叶谱的关系 .....	(132)
3.8.4	冲击响应谱的计算方法 .....	(133)
3.8.5	冲击响应谱分析中的参数选择 .....	(133)
3.8.6	能量谱密度 .....	(134)
3.9	振动数据处理设备 .....	(135)
3.9.1	模拟式分析仪 .....	(135)
3.9.2	数字式分析仪 .....	(137)
3.9.3	模拟数字混合式分析仪 .....	(138)
	<b>参考文献</b> .....	(138)
<b>第四章</b>	<b>飞机地面振动试验技术</b> .....	(139)
4.1	飞机地面振动试验概述 .....	(139)
4.1.1	飞机地面振动试验的目的 .....	(139)
4.1.2	对被试飞机的要求 .....	(139)
4.1.3	试验状态与项目 .....	(139)
4.1.4	飞机地面振动试验的基本特点 .....	(140)
4.1.5	飞机地面振动试验的基本方法 .....	(140)
4.2	多点正弦激励纯模态试验技术 .....	(141)
4.2.1	飞机地面振动试验理论基础 .....	(141)
4.2.2	适调激振力的方法 .....	(144)
4.3	纯模态下动力参数测量方法 .....	(151)
4.3.1	概述 .....	(151)
4.3.2	固有频率的测量 .....	(151)
4.3.3	固有振型的测量 .....	(152)
4.3.4	阻尼因子和广义质量的测量 .....	(152)
4.4	多点正弦激励非适应力试验技术 .....	(160)
4.4.1	基本原理 .....	(160)
4.4.2	响应多项式拟合法 .....	(160)
4.4.3	纳特基法 .....	(163)
4.5	随机激励模态试验技术 .....	(165)
4.5.1	随机激励模态试验技术在飞机地面振动试验中的应用与发展 .....	(165)
4.5.2	随机激励频响函数测试技术 .....	(166)
4.5.3	随机激励下模态参数识别 .....	(175)
4.6	飞机地面振动试验的测试系统 .....	(175)
4.6.1	测试系统的重要性 .....	(175)
4.6.2	对测试系统的基本要求 .....	(176)
4.6.3	多点正弦激励模态试验系统 .....	(176)
4.6.4	多点随机激励模态试验系统 .....	(177)
4.7	飞机地面振动试验若干技术问题 .....	(178)
4.7.1	飞机的支持 .....	(178)



4.7.2	激振器布置及安装	(181)
4.7.3	传感器布置及安装	(183)
4.7.4	飞机振型判别	(184)
4.7.5	模态综合检验方法	(185)
4.8	飞机地面振动试验全过程工作程序	(187)
	<b>参考文献</b>	(187)
	<b>第五章 振动参数识别技术</b>	(189)
5.1	引言	(189)
5.2	振动系统描述与参数识别分类	(190)
5.2.1	描述离散振动系统的方法	(190)
5.2.2	参数识别的分类	(194)
5.3	模态参数识别的频域法	(195)
5.3.1	频响函数分量法	(195)
5.3.2	导纳圆拟合法	(197)
5.3.3	整体模态参数识别法	(201)
5.3.4	HP3565S 信号处理系统	(204)
5.4	模态参数识别的时域法	(206)
5.4.1	ITD 的单最小二乘法	(206)
5.4.2	ITD 的双最小二乘法	(208)
5.4.3	复指数法	(208)
5.4.4	多基准 ITD 法	(210)
5.4.5	随机减量法	(213)
5.5	模态参数识别的空间域正弦试验法	(216)
5.5.1	问题的提出	(216)
5.5.2	参数识别的某些概念	(217)
5.6	物理参数识别	(219)
5.6.1	完全模型与非完全模型	(219)
5.6.2	物理参数识别方法分类	(220)
5.6.3	摄动法	(220)
5.6.4	优化方法	(222)
5.6.5	矩阵分解法	(224)
5.7	非参数模型估计	(230)
5.7.1	频响函数的数字估计	(230)
5.7.2	频响函数的几种估计法	(231)
5.8	模态参数识别的试验技术	(233)
5.8.1	模态参数识别的方框原理图	(233)
5.8.2	试件的支持	(234)
5.8.3	激振器的使用	(235)
5.9	模态试验结果的分析与处理	(240)

5.9.1	模态试验中的非线性 .....	(240)
5.9.2	由复模态参数求固有模态参数的方法 .....	(241)
5.9.3	轻型结构的模态试验 .....	(243)
5.9.4	试验结果的检验和有限元分析与试验模态分析间的比较 .....	(244)
5.10	载荷识别 .....	(248)
	<b>参考文献</b> .....	(249)
<b>第六章</b>	<b>机械与结构故障的振动诊断</b> .....	(251)
6.1	引言 .....	(251)
6.1.1	故障诊断的意义 .....	(251)
6.1.2	故障的振动诊断 .....	(253)
6.1.3	机械故障与结构故障 .....	(262)
6.1.4	振动诊断技术的现状与展望 .....	(264)
6.2	振动诊断的理论基础 .....	(266)
6.2.1	故障信息与振动信号 .....	(266)
6.2.2	故障的振动信号提取与处理技术 .....	(271)
6.2.3	结构故障建模与识别 .....	(280)
6.3	机械故障的振动诊断的应用与监测技术 .....	(296)
6.3.1	滚动轴承故障的常用诊断与监测技术 .....	(296)
6.3.2	齿轮箱的振动监测技术 .....	(302)
	<b>参考文献</b> .....	(315)
<b>第七章</b>	<b>动力环境试验</b> .....	(316)
7.1	引言 .....	(316)
7.1.1	动力环境试验的目的 .....	(316)
7.1.2	动力环境试验的发展历程 .....	(317)
7.1.3	动力环境试验的分类 .....	(317)
7.2	故障模式与破坏模型分析 .....	(320)
7.2.1	动力环境引起的故障模式 .....	(320)
7.2.2	动力环境破坏模型分析 .....	(320)
7.3	动力环境条件的模拟 .....	(323)
7.3.1	动力环境条件模拟的一般原则 .....	(323)
7.3.2	振动环境试验的模拟原理 .....	(324)
7.4	动力环境试验的一般程序与通用试验技术 .....	(326)
7.4.1	编写试验任务书 .....	(327)
7.4.2	编写试验大纲 .....	(329)
7.4.3	试验夹具的设计与制造 .....	(329)
7.4.4	试品的安装 .....	(333)
7.4.5	初始检测,中间检测与最终检测 .....	(333)
7.4.6	试验 .....	(333)
7.5	振动环境试验 .....	(334)

7.5.1	振动环境试验设计	(334)
7.5.2	振动环境试验设备	(344)
7.5.3	磁带随机振动试验	(353)
7.5.4	加速等效振动试验设计	(357)
7.6	冲击试验	(358)
7.6.1	冲击试验类型	(358)
7.6.2	冲击试验方法	(359)
7.6.3	冲击试验设备	(363)
7.6.4	冲击测量设备	(364)
7.6.5	试验中的一些技术要求	(364)
7.7	运输振动模拟试验	(365)
7.7.1	试验目的与试验特点	(365)
7.7.2	试验方法与试验设备	(365)
7.8	晃动与晃振试验	(366)
7.8.1	试验目的与特点	(366)
7.8.2	试验方法	(367)
7.8.3	晃动试验要求	(367)
7.9	声振试验	(367)
7.9.1	声振试验的目的及适用范围	(367)
7.9.2	噪声源及其声压级	(368)
7.9.3	声振试验方法	(369)
7.9.4	声振试验设备	(371)
7.10	炮击振动试验	(373)
7.10.1	试验目的与特点	(373)
7.10.2	试验方法	(373)
7.10.3	试验中一些特定的技术要求	(378)
7.11	综合环境试验	(378)
7.11.1	环境应力综合作用分析	(378)
7.11.2	综合环境试验的优点	(379)
7.11.3	综合环境试验设备	(380)
	<b>参考文献</b>	<b>(381)</b>
<b>第八章</b>	<b>起落架动力试验技术</b>	<b>(383)</b>
8.1	引言	(383)
8.2	起落架落震试验	(383)
8.2.1	落震试验目的与试验要求	(383)
8.2.2	落震试验技术	(384)
8.2.3	落震试验设备	(394)
8.3	前轮摆振试验	(398)
8.3.1	摆振运动方程组	(398)

8.3.2 摆振试验技术 .....	(400)
8.3.3 摆振试验设备 .....	(414)
参考文献 .....	(417)

# 第一章 振动标准

## 1.1 引言

振动标准主要用作：(1)制订产品设计和研制技术方案的依据；(2)统一控制和检验产品质量的依据；(3)选择和评定同类产品的依据；(4)签订供需协议的依据。

广义而言，振动标准在形式上包括产品在振动方面的标准、规范、方法、技术条件、技术要求、检定规程等。例如振动环境试验标准、电动机的机械振动及对其振动程度的评价、振动环境测量一般技术要求、振动加速度计校准技术要求、测量数据处理一般技术要求、振动环境测量数据的归纳方法、振动台检定规程、振动设计规范和标准大纲以及振动名词术语等。振动标准可以独立存在，也可能包含在产品通用或专用技术条件中。

本章主要介绍振动试验标准，特别着重于航空振动试验标准。以下各节简略介绍各类振动标准，制订振动试验标准的有关问题，并对航空方面的几项振动标准加以介绍和评价。

制订一项合适的振动试验标准，不仅对于鉴定和评价产品设计，检验产品生产和工艺质量，保证产品使用的可靠性和安全是必要的，而且对提高劳动生产率，保证效率，改进生产管理，建立良好生产秩序与严格质量控制也具有重要意义。

标准在文字上应简单明了，编排上应方便使用，内容上应确切无误。

国家标准 GB3935·1—83 中对标准所下的定义是：“标准是对重复性事物和概念所做的统一规定。它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础，经有关方面协商一致，由主管机构批准，以特定形式发布，作为共同遵守的准则和依据。”

振动试验标准属于技术标准中的方法标准类。作为标准，它当然具有标准定义所包含的内涵。首先，振动试验标准规定的应用也应是一重复性事物。所谓“重复”指的是同一事物反复多次出现的性质。事物具有重复出现的特性，才有制订标准的必要。例如同一种产品多次重复进行振动试验，才需要制订试验标准。

其次，标准的本质特征是统一。振动试验标准就是从试验条件和试验方法的角度进行统一。“统一”，并不意味着全部统死，全部统到只有一种。有时可能规定多种方法供选择，针对不同情况规定试验条件，或许对某项试验的某个问题只提出原则要求。标准的作用归根结底来源于统一，来源于必要合理的统一规定。如果一项振动试验不需要进行科学的、合理的、有效的统一，就没有必要制订该项标准。

第三，标准的基础是科学技术和实践经验的综合成果。在制订振动试验标准时应充分考虑振动科学领域的新成就、新技术和振动试验中积累起来的先进经验。当然，对这些有关的新成果、新技术、先进经验要经过充分的分析比较再运用到标准中来，这样才能使制订的标准反映相应的技术发展水平。

第四，标准的制订要重视研究、验证、继承、改进，也要能够代表有关各方(如研究、生产、使用、供应、销售)，特别是用户的要求和利益，这就有必要进行充分的协商，从全局利益出发作出规定，使标准既体现出它的科学性、先进性，又体现出它的实用性。这些特

性越突出，在执行中便越有权威。

第五，标准文件有着自己的一套格式和制订颁发的程序。不同级别的标准有不同的批准和解释机构，并以不同形式颁布，在不同范围内作为共同遵守的准则和依据。

## 1.2 标准机构与组织

一般民用产品的标准方面，两个权威性的国际机构是“国际标准化组织（ISO）”和“国际电工委员会（IEC）”。

ISO 成立于 1947 年。其宗旨是：在世界范围内促进标准化工作的发展，以利于国际物资交流和互助，并扩大知识、科学、技术和经济方面的合作。ISO 主要活动是制订国际标准，协调世界范围内的标准化工作，组织各成员国和技术委员会进行情报交流以及与其它国际机构就标准化问题进行合作。

ISO 按专业组成各类技术委员会（TC），由（TC）及其下设的分委员会（SC）和工作组（WG）来负责制订标准。振动标准的活动由“机械振动和冲击技术委员会 TC108”指导。航空和宇航方面的振动标准则由 TC20，SC5 负责制订。我国于 1978 年 9 月以中国标准化协会（CAS）名义参加 ISO，为正式成员国，并以积极成员国（P 成员）身份参加 TC108 和 TC20 的活动。

IEC 成立于 1906 年。IEC 的宗旨是促进电气化、电子工程领域的标准化及有关问题的国际合作，增进国际间的相互了解。其工作领域几乎包括了电工技术的各个方面，如电力、电子、电信和原子能方面的电工技术等。

IEC 的标准也按专业分类，由各技术委员会（TC）、分技术委员会（SC）和工作组（WG）负责制订。在 IEC 中，振动标准的活动由“技术委员会 50”指导。我国于 1957 年以“中华人民共和国动力会议”名义参加 IEC，作为 IEC 的国家委员会。1960 年 9 月改由“中国电机工程学会”作为 IEC 国家委员会，参加 IEC 各项活动。

ISO 与 IEC 是两个互为补充的国际组织，并共同建立国际标准化体系。IEC 负责有关电气工程和电子领域国际标准化工作，其它领域的工作由 ISO 负责。

除 ISO 和 IEC 外，国际上的标准组织和机构还有很多。ISO 公布的制订国际标准的有 22 个国际组织如国际计量局（BIPM）、国际材料试验与结构研究所联合会（RILEM）等；国际上有权威的区域性标准化机构有欧洲标准化委员会（CEN），欧洲电工标准化委员会（CENELEC）；有权威的标准化团体机构有美国材料与试验协会（ASTM），美国保险商实验室（UL）；世界主要经济发达国家标准化机构有美国国家标准学会（ANSI），英国标准学会（BSI），法国标准化协会（ANFOR），德国标准化学会（DIN），日本工业标准调查会（JISC）。

各国家及区域性标准化机构或组织的标准一般均按专业分类，例如，美国国家标准：S2—冲击与振动；美国军用标准：ENVIR—环境条件和试验方法；法国标准：E90—机械振动和机械冲击；德国标准：0270—机械振动、一般声学；0280—振动和噪声测量，一般消除噪声。大部分标准分类中并无振动这一专项，振动标准常含在某专业类产品的标准内，例如日本标准航空类代号为 W，其分类仪表代号为 60~69，航空仪表的振动试验方法的标准则为 JISW6051。检索国外振动标准要利用有关标准目录，按分类进行查找。

### 1.3 振动标准的分类

根据振动标准的基本作用可将其分为评价性振动标准，考核性振动标准，服务性振动标准。但有些振动标准在评价性、考核性和服务性上兼而有之，或具有其中两方面的作用。

#### 1.3.1 评价性振动标准

评价性振动标准是针对那些本身就作为振源存在的设备（如电机、压气机、机床、齿轮装置、风扇等）给出所用振动极限值，以此鉴别机械振动对于设备质量的影响，评价设备的振动水平，及其对环境的影响。

表 1-1 表示旋转式机器的振动分级表，转速范围为 10~200r/s。它用来对相同类型机器的可靠性、安全性和对环境的影响进行比较。

表 1-1 机器振动分级表(ISO2372)

振动强度	适用机器类别			
振动速度 $V_{rms}$ (mm/s)	I 类	II 类	III 类	IV 类
0.28	A	A	A	A
0.45				
0.71	B	B	B	B
1.12				
1.8	C	C	C	C
2.8				
4.5	D	D	D	D
7.1				
11.2	D	D	D	D
18				
28	D	D	D	D
45				

注：(1) I 类为小型电机(小于 15kW 的电动机等)；II 类为中型机器(15~75kW 的电动机等)；III 类为大型原动机(硬基础)；IV 类为大型原动机(弹性基础)。

(2) A、B、C、D 为振动级别。A 级好，B 级满意，C 级不满意，D 级不允许。

测量速度  $rms$  值应在轴承壳的三个正交方向上。

表 1-2 给出了对转速为 10~200r/s、功率大于 300kW 的大型原动机和其它有旋转质量的大型机器的振动特性的评定准则。作为此类机器的例子有电动机、发动机、蒸汽轮机和燃气轮机、涡轮压缩机、涡轮泵和鼓风机等。

表 1-2 振动质量的判别

振动速度 振动速度 $V_{rms}$ (mm/s)	支承类别	
	刚性支承	挠性支承
0.46	好	好
0.71		
1.12		
1.8	满意	满意
2.8		
4.6	不满意	不满意
7.1		
11.2		不允许
18.0		
28.0		
71.0		

不同国家，工业部门、商业协会对电机制订的允许振动标准是各不相同的。有些用位移峰—峰值，有的是速度峰值或 rms 值。通常每个标准都专门说明试验安装方法，提供试验中所使用仪表的指导性意见，给出测量步骤，并提供保养方面的资料。

表 1-3 和表 1-4 是美国电器制造商协会 (NEMA) 制订的大于 1 马力交直流电机的振动和大型感应电机的振动标准。表中列出了允许的最大位移幅值。

表 1-3 大于 1 马力电机最大允许振动(NEMA MG<sub>1</sub>-12.05)

转速(rpm)	峰—峰位移幅值( $\mu\text{m}$ )
3000~4000	25.4
1500~2999	38.1
1000~1499	50.8
999 及其以下	63.6

注：对于交流电机，使用最高同步转速；对于直流电机，使用最大功率转速；对于串联和多功能电机，使用工作转速。

表 1-5 是美国石油学会(API)制订的关于成形绕组鼠笼式感应电机(200 马力以上)最大允许振动值的标准。

ISO 制订的轴高 80~400mm 电机的质量标准如表 1-6。该标准给出了不同质量级别、不同转速和不同轴高电机的推荐振动极限。标准特别说明了电机的安装、测量点(轴承壳)和测试时的运转情况。

表 1-4 大型感应电机最大允许振动(NEMA MG<sub>1</sub>-20.52)

转速 (rpm)	峰—峰位移幅值( $\mu\text{m}$ )
3000 及其以上	25.4
1500~2999	50.8
1000~1499	63.6
999 及其以下	76.2

表 1-5 成形绕组鼠笼式感应电机最大允许振动(API STD 541)

同步转速(rpm)	峰—峰位移幅值( $\mu\text{m}$ )	
	弹性支座	刚性支座
720~1499	50.8	63.6
1500~3000	38.1	50.8
3000 及其以上	25.4	25.4



表 1-6 以振动速度幅值为根据的电机质量标准(ISO/IS 2373)

质量 级别	转速 (rpm)	轴高 $H$ (mm)最大速度振幅 rms (mm/s)		
		$80 < H < 132$	$132 < H < 325$	$225 < H < 400$
N(正常级)	600~3600	1.8	2.8	4.5
R(优良级)	600~1800	0.71	1.12	1.8
	1800~3600	1.12	1.8	2.8
S(特殊级)	600~1800	0.45	0.71	1.12
	1800~3600	0.71	1.12	1.8

表中所推荐的“N”级的界限值适用于一般电机。当要求机器的等级比表中列出的等级还要高时,可将“S”级的界限值用 1.6 或 1.6 的倍数除之,即成为该机器的等级界限值。

IEC 也有类似的规定如表 1-7。如果要求机器的振动小于表中给定的值,则建议从 0.45, 0.71, 1.12, 1.8, 2.8mm/s 速度系列中选取。

我国标准规定了不同质量级别的乘客电梯和病床电梯的轿厢运行时的水平方向和垂直方向振动加速度的允许值,用时域记录的振动曲线中的单峰值表示,如表 1-8。

表 1-7 电机振动界限值

转速 (rpm)	轴高 $H$ (mm),最大振动速度有效值			
	机器处于自由悬置状态			刚性安装
	$56 \leq H \leq 132$ (mm/s)	$132 < H \leq 225$ (mm/s)	$H > 225$ (mm/s)	$H > 400$ (mm/s)
600~1800	1.8	1.8	2.8	2.8
1801~3600	1.8	2.8	4.5	2.8

我国标准还规定电梯各机构和电气设备在工作时不得有异常撞击声或响声,对不同级别的乘客电梯和病床电梯的总噪声水平的限制值如表 1-9 所示。

表 1-8 以振动速度表示的电梯质量等级标准(GB10058-88),单位  $\text{cm/s}^2$

项目 \ 等级	等级		
	合格品	一等品	优等品
垂直振动加速度	$\leq 25$	$\leq 15$	$\leq 7$
水平振动加速度	$\leq 15$	$\leq 10$	$\leq 7$

表 1-9 乘客电梯和病床电梯的总噪声限制值(GB10058-88),单位 dB(A)

项目 \ 等级	等级		
	合格品	一等品	优等品
机房噪声	$\leq 80$	$\leq 75$	$\leq 70$
运行中轿厢内噪声	$\leq 55$	$\leq 52$	$\leq 48$
开关门过程噪声	$\leq 65$	$\leq 60$	$\leq 50$

### 1.3.2 精密仪器设备的允许振动

为了保证精密仪器和设备能在足够长的使用期内正常工作,精密仪器或设备在环境影响下的振动应限制在一定的界限之内,这个界限值称为允许振动。这实际上就是对仪器或设备所处振动环境的限制或评价。不同仪器或设备,其允许振动的衡量标准和数值大小是不同的,见表 1-10、表 1-11。常用的衡量标准有振幅、速度和加速度,分别称为允许振幅  $A$ 、允许速度  $v$  和允许加速度  $a$ 。允许振动数值的大小是在支承仪器、设备的台座或基础顶面计