

团 体 标 准

T/CASMES 480—2024

零刚度隔振系统技术规范

Technical specification for zero stiffness vibration isolation system

2024 - 12 - 25 发布

2024 - 12 - 31 实施

中国中小企业协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 技术要求 1

5 试验方法 3

6 检验规则 6

7 标志、包装、运输和贮存 7

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由上海路博减振科技股份有限公司提出。

本文件由中国中小企业协会归口。

本文件起草单位：上海路博减振科技股份有限公司、北京精连智胜科技有限公司、中国电子系统工程第二建设有限公司、中国船舶集团有限公司第七一一研究所、江苏路博减振技术有限公司。

本文件主要起草人：欧阳郁汀、杨昊林、拜立岗、范文焜、诸龙。

零刚度隔振系统技术规范

1 范围

本文件规定了零刚度隔振系统的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。
本文件适用于零刚度隔振系统的生产和检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 2298 机械振动、冲击与状态监测 词汇
- GB/T 2423.10 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）
- GB/T 6587 电子测量仪器通用规范
- GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第 1 部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划
- GB/T 13306 标牌

3 术语和定义

GB/T 2298 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

隔振器 vibration isolator
具有衰减振动功能的支撑元件。

3.2

零刚度隔振器 zero stiffness vibration isolator
基于零刚度振动控制技术、自适应姿态电控技术、正负刚度匹配机制与基于波阻设计的结构匹配方法制备的被动减振降噪装置。

3.3

传递率 transmissibility
振动系统在受迫振动时，位移响应幅值与外加激励位移幅值的比值。对于对振源采取隔振措施的情况，传递率表示隔振体系输出位移与扰力幅值作用下系统静位移之比；对于对仪器、仪表、机器等设备采取隔振措施的情况，传递率表示隔振体系输出位移与输入干扰位移之比。

4 技术要求

4.1 外观质量

- 4.1.1 产品表面应干净整洁，无明显油污、色渍、划痕等缺陷。
- 4.1.2 上下断面应无明显凹凸不平，侧面、顶面、地面不应有裂纹，侧面、上下端面不应钢板外露。
- 4.1.3 塑料件应塑化良好，无明显气泡、黑点、变形、划伤等缺陷。
- 4.1.4 金属件表面应光滑，色泽一致，镀层（如有）无脱皮、起泡、锈迹等缺陷。

4.1.5 产品应颜色均匀，无褪色、落色现象，同批产品应无明显色差。

4.2 尺寸偏差

应符合表 1 的规定。

表1 尺寸偏差

项目		允许偏差
外形尺寸, mm	长度	设计值±1
	宽度	设计值±1
	高度	设计值±1
夹片厚度, mm		设计厚度×(1±10%)
顶杆直径, mm		设计直径×(1±2%)
侧表面垂直度, mm		≤0.5%

4.3 装配质量

产品零部件应齐全、完整，装配牢固，连接可靠。活动部件应运动灵活，固定部件应无脱落现象，紧固件不应有锤伤、锈蚀，应紧固无松动，位置均匀。

4.4 平台表面平面度

平台台面任一 100 mm×100 mm 面积范围内平面度不应大于 2 μm。

4.5 动态性能

4.5.1 竖向动态性能

在适用荷载范围内，隔振系统的竖向动态性能应符合下列要求：

- a) 在 0.5 Hz 到 500 Hz 频段内，传递率不大于 2；
- b) 在 2 Hz 峰值加速度指标满足不大于 20%（13.98 dB）的减振效率；
- c) 在 5 Hz 峰值加速度指标满足不大于 10%（20.00 dB）的减振效率；
- d) 在 2 Hz~50 Hz 均方根值加速度指标满足不大于 15%（16.48 dB）的减振效率；
- e) 在 50 Hz~300 Hz 均方根值加速度指标满足不大于 4%（27.96 dB）的减振效率。

4.5.2 水平向动态性能

4.5.2.1 小于额定荷载 80% 时，隔振系统的水平动态性能应符合下列要求：

- a) 在 0.5 Hz 到 500 Hz 频段内，传递率不大于 3；
- b) 在 5 Hz 峰值加速度指标满足不大于 50%（6.02 dB）的减振效率；
- c) 在 10 Hz 峰值加速度指标满足不大于 17%（15.39 dB）的减振效率；
- d) 在 2 Hz~50 Hz 均方根值加速度指标满足不大于 40%（7.96 dB）的减振效率；
- e) 在 50 Hz~300 Hz 均方根值加速度指标满足不大于 6%（24.44 dB）的减振效率。

4.5.2.2 大于额定荷载 80% 时，隔振系统的水平动态性能应符合下列要求：

- a) 在 0.5 Hz 到 500 Hz 频段内，传递率不大于 2；
- b) 在 2 Hz 峰值加速度指标满足不大于 20%（13.98 dB）的减振效率；
- c) 在 5 Hz 峰值加速度指标满足不大于 10%（20.00 dB）的减振效率；
- d) 在 2 Hz~50 Hz 均方根值加速度指标满足不大于 15%（16.48 dB）的减振效率；
- e) 在 50 Hz~300 Hz 均方根值加速度指标满足不大于 4%（27.96 dB）的减振效率。

4.6 静态性能

弹簧刚度允许偏差范围不应超过[设计刚度×(1±10%)]。

4.7 可靠性

平均故障间隔时间（MTBF）应大于或等于 7 000 h。

5 试验方法

5.1 外观质量

明亮光线下，目测检查。

5.2 尺寸偏差

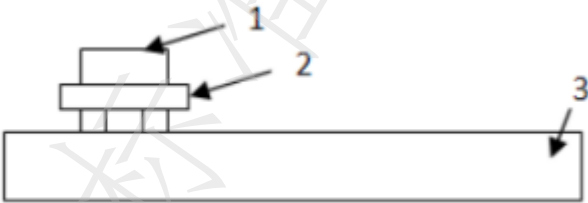
使用符合精度要求的量具测量。

5.3 装配质量

手触、实际操作检查。

5.4 平台平面平整度

将固定有水平仪的桥板置于被测平台上，按图 1 所示首尾衔接地拖动桥板，测出被测平面上相邻两点连线相对测量基面的倾斜角，通过数据处理求出平面度误差。水平仪测量分辨率应优于 5 μm/m。



标引序号说明：
1——水平仪；
2——桥板；
3——被测平台。

图1 平面度测量示意图

5.5 动态性能

5.5.1 检测方法

按 GB/T 2423.10 的规定进行。

5.5.2 检测点

应选择不少于 3 个检测点作为隔振性能评估点，如图 2 所示。宜选择不少于 4 个检测点作为隔振性能评估点。

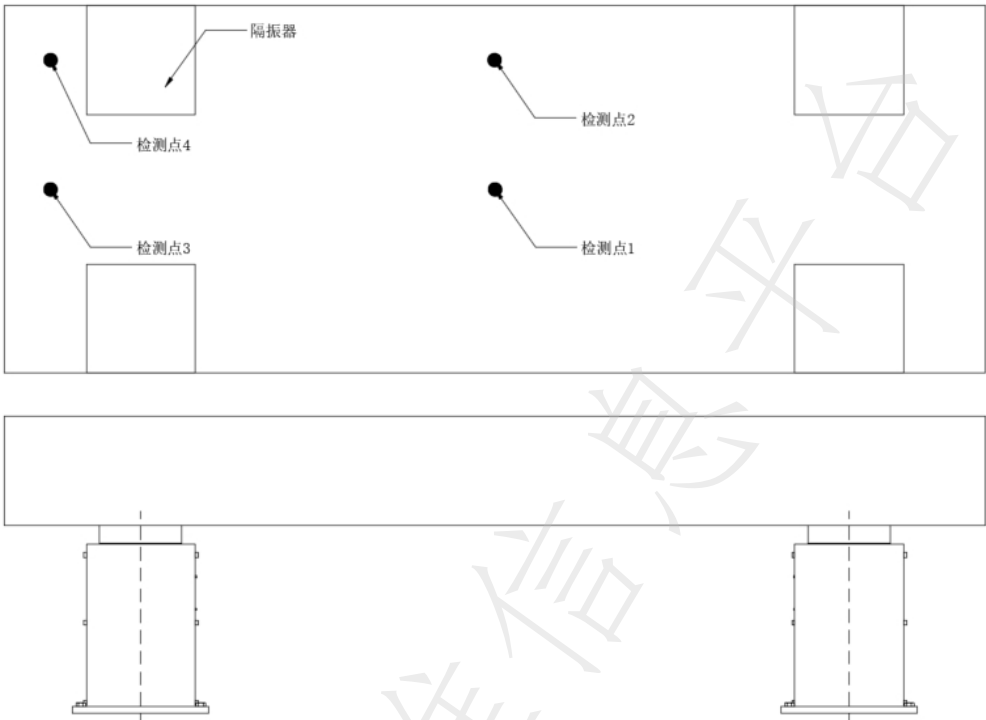


图2 检测点

5.5.3 检测方向

以振动输入隔振器的点为坐标原点测量振动，测量方向中，竖向以重力加速度方向为基准，水平方向为垂直于竖向的平面构成；测量的三个方向应正交。

5.5.4 检测频率

在每个检测点上按表 2 测量频率对应的振动信号。

表2 检测频率

频率编号	-3	-2	-1	0	1	2	3	频率误差, Hz
频率, Hz	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	±0.05
频率编号	4	5	6	7	8	9	10	频率误差, Hz
频率, Hz	2.5	3.2	4	5	6.3	8	10	±10%
频率编号	11	12	13	14	15	16	17	频率误差, Hz
频率, Hz	12.6	16	20	25	32	40	50	±10%
频率编号	18	19	20	21	22	23	24	频率误差, Hz
频率, Hz	64	80	100	125	160	200	250	±10%

5.5.5 检测强度

检测强度宜根据在实际环境中测量的振动信号在各中心频率点的 1/3 倍频程等级确定微振动振动台台面的振动强度。试验人员应根据实际环境测量的振动信号的 1/3 倍频程分析得到环境振动等级，测试结果填写在表 3 速度有效值（ $\mu\text{m/s}$ ）和 VC 等级一栏中。根据所填写的 VC 等级在表 4 中查找对应模拟微振动振动台台面 VC 监测电压，其中，压电式加速度传感器灵敏度为 50 V/g。表 3 中最小监测电压由隔振效率综合决定。台面监测电压不小于 VC 监测电压和最小监测电压二者的最大值。

表3 微振动模拟振动台台面振动监测低电压

频率, Hz		0.5	0.63	0.80	1.00	1.25	1.60	2.00
环境振动	速度有效值, μ m/s							
	VC 等级							
VC 监测电压, mV								
最小监测电压, mV		0.12	0.12	0.16	0.25	0.37	0.52	0.70
台面监测电压, mV								
频率, Hz		2.50	3.20	4.00	5.00	6.30	8.00	10.00
环境振动	速度有效值, μ m/s							
	VC 等级							
VC 监测电压, mV								
最小监测电压, mV		0.93	1.20	1.55	1.97	2.51	3.17	4.01
台面监测电压, mV								
频率, Hz		12.60	16.00	20.00	25.00	32.00	40.00	50.00
环境振动	速度有效值, μ m/s							
	VC 等级							
VC 监测电压, mV								
最小监测电压, mV		5.06	6.39	8.05	10.15	12.79	16.12	20.31
台面监测电压, mV								
频率, Hz		64.00	80.00	100.00	125.00	160.00	200.00	250.00
环境振动	速度有效值, μ m/s							
	VC 等级							
VC 监测电压, mV								
最小监测电压, mV		25.60	32.25	40.64	51.20	64.51	81.27	102.40
台面监测电压, mV								

表4 振动台模拟不同强度等级振动与台面监测传感器电压输出对照表

频率 Hz	电压, mV						
	VC-A	VC-B	VC-C	VC-D	VC-E	VC-F	VC-G
0.05	1.11	5.55E-01	2.78E-01	1.39E-01	6.94E-02	3.47E-02	1.74E-02
0.63	1.40	7.00E-01	3.50E-01	1.75E-01	8.75E-02	4.37E-02	2.19E-02
0.80	1.78	8.89E-01	4.44E-01	2.22E-01	1.11E-01	5.55E-02	2.78E-02
1.00	2.22	1.11	5.55E-01	2.78E-01	1.39E-01	6.94E-02	3.47E-02
1.25	2.78	1.39	6.94E-01	3.47E-01	1.74E-01	8.68E-02	4.34E-02
1.60	3.55	1.78	8.89E-01	4.44E-01	2.22E-01	1.11E-01	5.55E-02
2.00	4.44	2.22	1.11	5.55E-01	2.78E-01	1.39E-01	6.94E-02
2.50	5.55	2.78	1.39	6.94E-01	3.47E-01	1.74E-01	8.68E-02
3.20	7.11	3.55	1.78	8.89E-01	4.44E-01	2.22E-01	1.11E-01
4.00	8.89	4.44	2.22	1.11	5.55E-01	2.78E-01	1.39E-01
5.00	11.11	5.55	2.78	1.39	6.94E-01	3.47E-01	1.74E-01
6.30	14.00	7.00	3.50	1.75	8.75E-01	4.37E-01	2.19E-01
8.00	17.77	8.89	4.44	2.22	1.11	5.55E-01	2.78E-01
10.00	22.21	11.11	5.55	2.78	1.39	6.94E-01	3.47E-01
12.60	27.99	14.00	7.00	3.50	1.75	8.75E-01	4.36E-01
16.00	35.54	17.77	8.89	4.44	2.22	1.11	5.55E-01
20.00	44.43	22.21	11.11	5.55	2.78	1.39	6.94E-01
25.00	55.54	27.77	13.88	6.94	3.47	1.74	8.68E-01

表4 振动台模拟不同强度等级振动与台面监测传感器电压输出对照表（续）

频率 Hz	电压，mV						
	VC-A	VC-B	VC-C	VC-D	VC-E	VC-F	VC-G
32.00	71.09	35.54	17.77	8.89	4.44	2.22	1.11
40.00	88.86	44.43	22.21	11.11	5.55	2.78	1.39
50.00	111.07	55.54	27.77	13.88	6.94	3.47	1.74
64.00	142.17	69.42	35.54	17.77	8.89	4.44	2.22
80.00	177.72	88.86	44.43	22.21	11.11	5.55	2.78
100.00	222.14	111.07	55.54	27.77	13.88	6.94	3.47
125.00	277.68	138.84	69.42	34.71	17.36	8.68	4.34
160.00	355.43	177.72	88.86	44.43	22.21	11.11	5.55
200.00	444.29	222.14	111.07	55.54	27.77	13.88	6.94
250.00	555.36	277.68	138.84	69.42	34.71	17.36	8.68

5.6 静态性能

采用递增载荷法或标准的通用试验机加载法，测定钢弹簧静态变形量，绘制静态特征曲线，计算钢弹簧静刚度。

5.7 可靠性

按 GB/T 6587 的规定进行。

6 检验规则

6.1 检验分类

检验分为出厂检验和型式检验。

6.2 组批

以同一工艺、同一原辅材料生产的同一规格产品为一组批。

6.3 出厂检验

6.3.1 产品应经制造商质量检验部门检验合格并附合格证后，方可出厂。

6.3.2 出厂检验项目按表 5 执行。

表5 检验项目

检验项目	出厂检验	型式检验
外观质量	√	√
尺寸偏差	√	√
装配质量	√	√
平台平面平整度	√	√
动态性能	√	√
静态性能	√	√
可靠性	—	√
注：“√”为需要检验的项目；“—”为无需检验的项目。		

6.3.3 外观质量、尺寸偏差、装配质量、平台平面平整度当批量小于 26 件时，应进行全数检验；当批量大于 26 件时，进行抽样检验，抽样按 GB/T 2828.1 计数抽样检验程序一次性抽样方案的规定进行，检验水平为Ⅱ，接收质量限（AQL）取 6.5。动态性能和静态性能为全数检验。

6.3.4 抽样检验时，若样本中发现不合格数小于等于接收数（Ac），则判定该批产品出厂检验合格；若

样本中发现的不合格数大于等于拒收数 (Re)，该判该批产品出厂检验不合格。

6.4 型式检验

6.4.1 正常生产时每年进行一次型式检验；有下列情况之一的也应进行型式检验：

- a) 新产品试制鉴定时；
- b) 正式生产，如原料、工艺有较大改变可能影响到产品的质量时；
- c) 出厂检验的结果与上次型式检验有较大差异时；
- d) 产品停产 12 个月以上重新恢复生产时；
- e) 行业主管部门或质量管理部门提出要求时。

6.4.2 型式检验项目按表 5 执行。

6.4.3 型式检验应从出厂检验合格产品中随机抽取，抽取数量应满足检测要求。

6.4.4 当型式检验结果全部符合本文件要求时，判型式检验合格。若检验中出现任何一项不符合，允许加倍重新抽取样品进行复检，复检后，若全部符合本文件要求时，判型式检验合格，否则为不合格。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志

7.1.1 应在产品明显位置设置标牌，标牌应符合 GB/T 13306 的规定。应包括以下内容：

- a) 名称、型号、出厂编号；
- b) 主要技术参数；
- c) 制造商名称；
- d) 出厂日期。

7.1.2 包装箱外应有符合 GB/T 191 规定的“禁止翻滚”“怕湿”“小心轻放”等字样或符号。

7.1.3 包装箱外应有下列文字标明：

- a) 收货单位名称和地址；
- b) 发货单位名称和地址及制造厂名；
- c) 产品型号；
- d) 产品净重及连同包装箱的毛重；
- e) 包装箱尺寸。

7.1.4 产品外露金属件表面及安装孔应做防锈处理。

7.1.5 随行文件应装入内有防潮剂的密封塑料袋中，应包括下列内容：

- a) 装箱清单；
- b) 产品合格证书。

7.2 运输和贮存

7.2.1 包装好的产品应能承受任何方式运输，但应避免被雨雪淋袭。

7.2.2 产品在处于自由状态下贮存，贮存环境温度为 0℃~40℃，相对湿度不大于 80%。

7.2.3 贮存期间应避免阳光直接照射，不应与油类、漆类、盐雾、臭氧及其他对性能产生影响的物质接触。

7.2.4 贮存时离发热、发光源应大于 1 m。

7.2.5 贮存期从出厂日期起为 2 a，使用期一般为 8 a~10 a，最长使用期不应超过 12 a。