

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号



团 体 标 准

T/CASME XXXX—2025

汽车悬架用磁流变阻尼控制减振器

Magnetorheological damping control shock absorber for automotive suspension

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国中小商业企业协会 发 布

汽车悬架用磁流变阻尼控制减振器

1 范围

本文件规定了汽车悬架用磁流变阻尼控制减振器的结构型式、技术要求、检查与试验方法、检验规则、标志、包装、运输及贮存。

本文件适用于汽车悬架用磁流变阻尼控制减振器的研发与生产。

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 699 优质碳素结构钢
GB/T 1184 形状和位置公差未注公差值
GB/T 1800 产品几何规范（GPS）
GB/T 1804 一般公差未注公差的线性角度尺寸的公差
GB/T 2270 不锈钢无缝钢管
GB/T 3730.1 汽车和挂车类型的术语和定义
GB/T 11379 金属覆盖层 工程用铬电镀层
GB/T 12332 金属覆盖层 工程用镍电镀层
GB/T 15089 机动车辆及挂车分类
JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
JB/T 12512-2015 磁流变液
QC/T 484 汽车油漆涂层
QC/T 491-2018 汽车减振器性能要求及台架试验方法
QC/T 572 汽车清洁度工作导则测定方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

磁流变悬架 magnetorheological suspension (MRS)

一种利用磁流变减振器来调节悬架阻尼的汽车悬架系统。

3.2

磁流变液 magnetorheological fluid (MRF)

一种由高磁导率、低磁滞性的微米级软磁颗粒和非导磁液体混合而成的悬浮液，该悬浮液在零磁场条件下呈现出低黏度的牛顿流体特性；而在强磁场作用下，则呈现出高黏度、低流动性的宾汉流体特性。

3.3

磁流变减振器 magnetorheological fluid damper (MRD)

一种包含磁流变液的用于吸收和减缓机械振动的装置，其阻尼特性可以通过改变磁场强度来调节，通常用于车辆悬挂系统。

3.4

响应时间 response time

磁流变减振器的响应时间定义为室温下从其初始阻尼力值瞬间变到初始阻尼力与稳态阻尼力之差的63.2%所需要的时间，一般为毫秒级（ms）。

3.5

阻尼力范围 damping force range

磁流变减振器在设定电流、温度、速度和频率等工作条件下产生的输出力范围，阻尼力通常可分为黏性阻尼力和库伦阻尼力，单位为牛（N）。

3.6

工作频带 working band

磁流变减振器在正常工作下工作频率的范围，通常可分为低频带、中频带和高频带，单位为赫兹（Hz）。

3.7

耐久性 durability

磁流变减振器在确定实验条件下的台架试验寿命或车辆道路试验寿命。

3.8

动态响应 dynamic response

磁流变减振器对快速变化的振动输入的响应能力。

3.9

零场黏度 off-state viscosity

在确定的剪切速率及环境温度条件下，磁流变液在零磁场时的动力黏度值，单位为帕秒（Pa·s）。

3.10

磁致剪切应力 on-state shear stress

在确定的剪切速率及环境温度条件下，磁流变液在0.5T磁场时的剪切应力值，单位为千帕（kPa）。

3.11

抗沉降性 anti-settlement stability

在室温环境下，磁流变液静置一定时间后的沉降程度。

3.12

抗团聚性 anti-aggregation stability

在室温环境下，容器中磁流变液静置一定时间后，沉降部分的松软程度。

3.13

工作温度范围 working temperature range

磁流变液或磁流变减振器能正常工作的温度变化范围一般为-40℃到80℃，具体情况主要取决于载体液

3.14

噪声 noise

磁流变减振器在工作时产生的不规则信号，通常是指声音，单位为分贝（dB）。

3.15

摩擦力 friction force

磁流变减振器在工作时磁流变液分散相与减振器活塞杆等部件接触产生的摩擦力，单位为牛（N）。

4 基本尺寸和参数

4.1 型式

减振器型式示意图如图1所示：

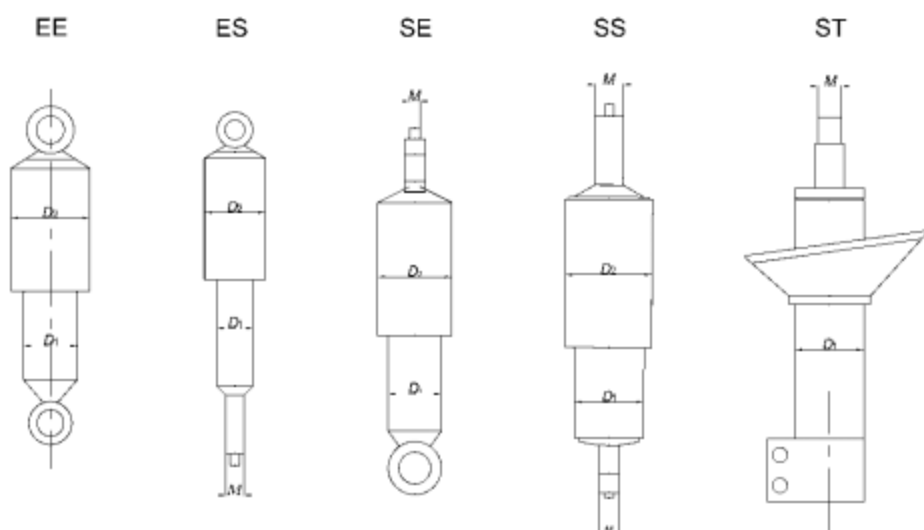


图1 减振器型式示意图

注1: EE:两端吊环型;ES:上端吊环下端螺杆型;SE:下端吊环上端螺杆型;SS:两端螺杆型;ST:支柱式。
注2: D:储油桶外径;D:防尘罩外径;M:螺纹。

4.2 基本结构

减振器结构示意图如图2所示:

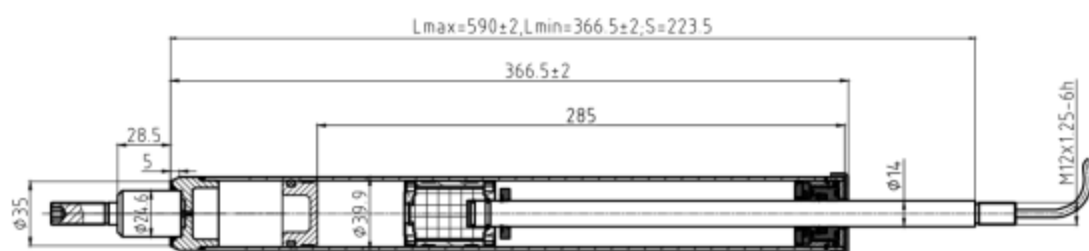


图2 减振器结构示意图

4.3 外形尺寸

4.3.1 流变减振器的工作缸直径 D

基于阻尼力需求,根据阻尼力公式(1)

$$F = \frac{\tau_y \times A_p \times L_e}{g} \quad (1)$$

式中:

F ——最大阻尼力,单位为牛(N);

τ_y ——磁流变液的屈服应力,单位为帕(Pa);

A_p ——为活塞有效面积,单位为平方毫米(mm^2), $A_p = \frac{\pi D^2}{4}$;

L_e ——是有效磁场长度,单位为毫米(mm);

g ——流场间隙,单位为毫米(mm)。

将活塞面积代入公式(2),得到:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times F \times g}{\pi \times \tau_y \times L_e}} \quad (2)$$

4.3.2 磁流变减振器的活塞杆直径 d

基于屈服强度，活塞杆需承受压缩载荷，避免失效。按公式（3）

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (1)$$

式中：

F_{cr} ——屈服临界载荷，单位为牛（N），设计时取 $F_{cr} \geq F$ ；

E ——活塞杆材料的弹性模量，单位为帕（Pa）；

I ——活塞杆截面惯性矩，单位为（ mm^4 ）， $I = \frac{\pi d^4}{64}$ ；

K ——长度系数，固定端-自由端 K 取 2；

L ——活塞杆长度，单位为毫米（mm）。

按公式（4）解得活塞杆直径 d ：

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 F \cdot (KL)^2}{\pi^3 \cdot E \cdot 10^6}} \quad (2)$$

4.3.3 磁流变减振器最大外径尺寸

最大外径可描述如公式（5）

$$D_{max} = D + 2t_{wall} + 2t_{magnetic} \quad (1)$$

式中：

D ——工作缸直径，单位为毫米（mm）；

t_{wall} ——缸体壁厚，单位为毫米（mm），用于承受工作压力；

$t_{magnetic}$ ——磁屏蔽层厚度：防止磁场泄露；

其他外壳设计裕量已在壁厚中考虑；

缸体壁厚 t_{wall} 可描述如公式（6）：

$$t_{wall} = \frac{p \cdot D}{2\sigma_s / F} \quad (2)$$

式中：

P ——工作压力，单位为兆帕（MPa），一般为 2-10MPa；

σ_s ——材料许用应力，单位为兆帕（MPa），取决于缸体材料；

F ——安全系数，一般取 1.5-2.0。

磁屏蔽层厚度 $t_{magnetic}$ 根据磁场强度和屏蔽设计要求决定： $t_{magnetic}$ 一般取 2-5mm。

5 技术要求

5.1 基本要求

磁流变减振器应具有较好的可靠性、环境适应性、便于维修以保障汽车的正常行驶。

5.2 性能要求

5.2.1 实测滞回曲线应光滑，无异常。

5.2.2 减振器示功图应丰满、圆滑，不得有空程、畸形等缺陷。

5.2.3 减振器在示功试验中，不得有漏油和明显的噪声等异常现象。

5.2.4 磁流变减振器额定阻尼力范围：磁流变减振器额定阻尼力通常是指常温时（ 25 ± 2 ）℃，活塞速度为 100 mm/s 时的阻力。必要时，制造商可与用户协商确定实验条件对减振器产品进行评价。额定复原阻力 P_r 与额定压缩阻力 P_c 与阀系设计有关，表 1 所列数据可作为参考

表 1 磁流变减振器额定阻尼力范围

工作缸直径/mm		26	30	40	45	50
压缩阻力/N	0电流	40±20%	40±20%	75±20%	120~400±20%	150~550±20%
	最大电流	210±15%	240±15%	1300±15%	1500~2500±15%	2000~4000±15%
复原阻力/N	0电流	40±20%	40±20%	75±20%	120~400±20%	150~550±20%
	最大电流	210±15%	240±15%	1300±15%	500~2500±15%	2000~4000±15%

5.2.5 磁流变液主要由载体液、软磁性颗粒以及稳定剂等配制而成，具体要求如下：

- 一般使用羟基铁粉作为软磁性颗粒，其体积分数一般在 20%~40% 左右。
- 载体液是磁流变液的主体部分，要求黏度低、热稳定性好。在汽车用磁流变减振器中载体液最常用的为合成矿物油。相应的磁流变液型号为 MPF-ZGY，其密度在 2.65~2.75g/m³ 之间，使用温度一般要求在 -40~130℃ 之间。
- 稳定剂的主要作用是维持磁流变液中软磁性颗粒均匀分散，尽量减少其聚集和沉降，通常的做法是添加表面活性剂或者保护性胶体。

5.2.6 零场黏度：MPF-ZGY 型磁流变液在室温 25℃ 下的零场黏度 ≤ 1.5Pa·s。据等温时效原理，通过测试磁流变液在 90℃ 的条件下静置后的黏度，可以定性的描述出在室温 25℃ 下长期静置的磁流变液的黏度，如公式 (7) 所示：

$$\eta_{25}(t_1) = 1.05\eta_{90}(t_2) - 1.32 = 1.05\eta_0 e^{0.17t_2} - 1.32 \quad (1)$$

式中：

- $\eta_{25}(t_1)$ ——磁流变液在室温下静置时的黏度；
 t_1 ——磁流变液在室温下静置的时间，单位为月；
 t_2 ——在 90℃ 条件下静置的时间，单位为小时 (h)，在 48h 以内；
 η_0 ——磁流变液在室温下、剪切速率为 0.1s⁻¹ 时的黏度；
 $\eta_{90}(t_2)$ ——在磁流变液在 90℃ 条件下静置后的黏度。

5.3 工艺要求

5.3.1 热处理

整体减振器中活塞杆作为主要零件，需要进行热处理，参考如下：

- 淬火处理。将活塞杆加热到 800~860℃，保温 50~100 分钟，然后用淬火油冷却至 360~420℃。接着加热至 550~580℃ 并保温 30~100 分钟；
- 低温回火。将淬火后的活塞杆加热至 220~260℃，保温 30~60 分钟，自然空冷，然后加热至 420~450℃ 并保温 30~80 分钟，随炉冷却至 300℃ 以下后空冷至室温。
- 高频感应淬火。采用移动式高频感应淬火设备，对活塞杆表面进行淬火处理。此方法可以细化马氏体组织，提高硬度和耐磨性。
- 活塞杆一般采用 35 或 45 钢。其硬度应符合 GB/T 699 的规定。

5.3.2 机加工

5.3.2.1 工作缸缸体内表面和活塞杆表面尺寸公差不应低于 GB/T 1800 中 IT8 级的规定；未注尺寸公差值不应低于 GB/T 1804 中 c 级的规定。

5.3.2.2 缸体内表面圆柱度和活塞杆表面圆柱度公差等级不应低于 GB/T 1184 中 5 级的规定；未注公差值不应低于 GB/T 1184 中 L 级的规定。

5.3.2.3 缸体内表面、活塞杆表面粗糙度不应低于 Ra0.8 的要求；安装密封件的沟槽表面粗糙度不应低于 Ra1.6 的要求。

5.3.2.4 活塞杆、缸体、活塞、端盖的配合面和摩擦面不应有凹坑、划痕等缺陷。相互配合面均应洁净，应将铁屑、毛刺、油污和泥砂等杂质清除干净。

5.3.3 防腐

5.3.3.1 活塞杆表面镀硬铬、镀镍或铬镍共镀，硬铬层应符合 GB/T 11379 的规定，镍层应符合 GB/T 12332 的规定。

5.3.3.2 工作缸外表面及附缸外表面应进行电镀锌处理。装配完成后，外露表面除活塞杆外均应喷涂一道防腐面漆。

5.3.3.3 连接构件防腐涂层应符合 JT/T 722 中涂层配套体系编号为“S05”的规定。

5.4 安装要求

5.4.1 安装位置：确保减振器的安装位置与车辆设计一致，避免出现偏差。

5.4.2 连接方式：检查减振器的连接方式（如螺栓、焊接等），确保安装牢固。

5.4.3 角度调整：根据车辆悬架系统的设计要求，对减振器的安装角度进行调整，确保最佳工作状态。

5.4.4 电气连接：可调节和集成传感器型减振器需要进行电气连接，确保信号传输稳定。

5.5 其他要求

磁流变减振器外观应平整，无机械损伤，无锈蚀，无渗漏，标识清晰。连接构件应无锈蚀，无毛刺、裂痕等缺陷，外表面腐蚀涂层均匀，无漏涂、挂流等缺陷。

6 试验方法

6.1 示功特性

6.1.1 安装磁流变减振器于示功测试台上，连接传感器以记录阻尼力和位移数据。

6.1.2 按照预定的速度（如 0.079 m/s、0.131 m/s、0.26 m/s、0.314 m/s、0.52 m/s、0.75 m/s、1.04 m/s 等）进行正弦波激励测试，记录各个速度下的阻尼力变化曲线。经供需双方约定，也可进行其他速度下的示功特性试验。

6.1.3 逐步调整磁场强度（从 0% 至 100%），记录不同磁场强度下的阻尼力。

6.1.4 分析数据，绘制阻尼力-位移曲线和阻尼力-速度曲线，评估减振器的阻尼性能。

6.2 动态响应试验

6.2.1 将磁流变减振器安装于动态响应测试台，连接电流控制器和数据采集系统。

6.2.2 试验条件如下：

- 试验前，对磁流变减振器在常温下放置 6 小时以上；
- 试验速度依次为 0.05 m/s、0.1 m/s、0.15 m/s、0.2 m/s、0.3 m/s，振幅：激励幅值为 30 mm；
- 激励电流分别为 0-1A、0-2A、1-0A、2-0A 四个阶跃变化；
- 试验开始时，对磁流变减振器先进行 100 次预拉，使其进入工作状态达到最佳工作温度；
- 试验时保持磁流变减振器与工作台垂直方向。

6.2.3 试验方法：控制器发出阶跃电流信号，一组施加于磁流变减振器之上，另一组传递给磁流变减振器性能试验台，与此同时试验台电动激振器开始激振，通过传感器采集阻尼力和位移信号。

6.2.4 分析数据，评估减振器的响应时间和频率响应特性。

6.3 高低温循环试验

6.3.1 评估磁流变减振器在高低温环境下的工作稳定性。

6.3.2 将磁流变减振器置于高低温试验箱中，按设定的高温（如 +80℃）和低温（如 -40℃）条件进行循环测试，每个温度保持 4 小时。

6.3.3 在循环测试期间，每隔 2 小时进行阻尼力特性测试，记录数据，在试验中（加载位移 ±5 mm，频率 1 Hz）：

- 试验过程应运行平稳、无卡滞；
- 实测阻尼力值取最后 3 次循环所对应的最大阻尼力平均值；
- 阻尼力-位移滞回曲线应光滑，无异常。

6.3.4 循环完成后，再进行一次完整的阻尼力特性测试，比较高低温循环前后的性能变化。

6.4 耐久性测试

6.4.1 试件应尽可能地去除尘罩等影响散热的相关功能部位及附件，以提升冷却效果。

6.4.2 对试件进行称量，记录耐久前试件质量 m_0 。

6.4.3 将样品安装至耐久试验台上，温度测量单元应安装在减振器储液缸外径导向器外壁上且位于储液缸上端向下 20mm 以上的位置，并与外部进行隔热处理。试验过程中，允许采用强制冷却的方式对减振器进行散热。

6.4.4 按下述两种条件的一种进行试验，试验过程中应保证减振器温度控制在 $(70 \pm 10)^\circ\text{C}$ 的范围内，按照预定的速度（如 0.079 m/s、0.131m/s、0.26m/s、0.314 m/s、0.52m/s、0.75 m/s、1.04m/s 等）进行正弦波激励测试：

- a) 低频端（上端）试验条件为 $f_1=1\text{Hz}$ ，测试行程 $s_1=80\text{mm}$ ，高频端（下端）试验条件为 $f_2=12\text{Hz}$ ，测试行程 $s_2=20\text{mm}$ ；
- b) 低频端（上端）试验条件为 $f_1=1.67\text{Hz}$ ，测试行程 $s_1=100\text{mm}$ ，高频端（下端）试验条件为 $f_2=10\text{Hz}$ ，测试行程 $s_2=16\text{mm}$ 。
- c) 试验过程中，当温度超出温度范围要求时，允许试验设备带动减振器活塞进行低速往复运动加快样品在强制冷却环境下的冷却，但进行冷却的循环次数不应计入耐久性试验循环次数。

6.4.5 试验循环次数按高频端计算累计，不应低于 3000000 次。

6.5 泥水试验

6.5.1 车辆减振器台架泥水特性试验中，对用于配制标准泥水的标准泥微粒有如下品质要求：

- a) 泥微粒进入油封过程中，其本身硬度起着重要作用。因此，泥微粒应选用高强、耐磨材料。
- b) 减振器标准泥水特性台架试验属于强化试验，减振器温升大而快。标准泥微粒还应能够适应低温试验。按北方汽车质量监督检验鉴定试验所减振器检验总站 98 年度推荐标准，在 $-40^\circ\text{C} \sim 148^\circ\text{C}$ 温度范围内，标准泥微粒膨胀系数小于 0.1%。
- c) 标准泥微粒颗粒度约为 740 目。

6.5.2 选择合格的减振器样品，确保其未经使用且完好无损。同时，准备好实验所需的泥浆、水池、测量工具等。

6.5.3 将减振器完全浸入泥浆中，保持 24 小时，期间每隔两小时然后取出并检查其外观和性能。这一过程中，需要记录减振器的状态变化，如是否有泥浆渗入、油封是否完好等。

6.5.4 在实验结束后，对减振器进行进一步的性能检测，包括压缩和回弹阻尼力的测量、动态响应特性试验与示功特性试验，以评估其在泥水环境中的性能衰减情况。

6.6 湿热试验

6.6.1 评估减振器在高温高湿环境下的工作性能。

6.6.2 将减振器置于湿热试验箱中，环境条件设定为温度 $+60^\circ\text{C}$ ，相对湿度 95%。

6.6.3 试验时间为 240 小时，每隔 48 小时进行一次阻尼力特性测试，记录数据。

6.6.4 试验结束后，进行一次完整的阻尼力特性测试，评估减振器在湿热环境下的性能变化。

6.7 盐雾试验

减振器涂漆部位经过 240 小时盐雾试验后，符合 QC/T 484 中 TQ6 的规定。活塞杆耐腐蚀性要求在 48 小时后，无腐蚀失效。

6.8 摩擦力试验

6.8.1 减振器摩擦力试验的试验设备试验台主要由驱动系统、侧向加力系统和信号采集系三个部分组成。驱动系统由调速电机和同步带传动以及锥盘传动和丝杠螺母传动组成；侧向加力系统由一对横置的丝杠螺母和随动装置组成；信号采集系统由摩擦力传感器、侧向力传感器和位移传感器组成。

6.8.2 减振器摩擦力试验的试验条件如下：

- a) 试件温度： $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ；
- b) 试验行程：10 mm~60 mm；
- c) 方向：铅垂方向；
- d) 位置：大致在减振器行程的中间部分。
- e) 试验速度依次为 0.05m/s、0.1m/s、0.15m/s、0.2m/s、0.3m/s；激励电流以正弦波形式输入。

6.8.3 按公式(8)计算复原和压缩摩擦力的平均值:

$$F_r = \frac{F_{fr} - F_{fc}}{2} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

F_r ——平均摩擦力;

F_{fr} ——复摩擦力;

F_{fc} ——压缩摩擦力。

6.8.4 复原摩擦力和压缩摩擦力取曲线上的纵坐标交点值,即复原和压缩过程中在减振器中间位置的摩擦力。

6.9 磁流变材料试验

室温零场黏度、剪切应力、抗沉降性、抗团聚性、耐久性等试验按照JB/T 12512-2015中第5部分进行。

7 检验规则

7.1 检验分类

7.1.1 出厂检验

7.1.1.1 产品由制造厂质量检验部门验收并填写合格证,方可出厂。

7.1.1.2 减振器的出厂检验项目为本文件规定的6.1、6.2条要求,产品出厂时应对出厂检验项目进行全检。

7.1.2 型式检验

型式检验按本文件规定的全部试验项目进行。有下列情况之一时,一般应进行型式检验:

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定;
- b) 正常生产后,如原材料、工艺有较大改变;
- c) 正常生产时,定期或积累一定产量后,应周期性进行检验,型式检验周期应不大于12个月,耐久性试验每三年应不少于一次检验;
- d) 产品长期停产后,恢复生产;
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异;
- f) 国家质量监督机构提出进行型式检验的要求。

7.2 抽样规则

7.2.1 减振器应成批提交验收,每个检验批由相同原料按相同工艺在同一周期内生产构成。

7.2.2 型式检验样品在出厂检验合格批中抽取,样品数不少于2个。

7.3 判定规则

7.3.1 出厂检验项目不合格,则判定该产品为不合格。

7.3.2 型式检验时,只要有一项不合格,则应加倍抽样进行全部复验。若仍有一项不合格,则判定型式检验不合格。

8 标志、包装、运输及贮存

8.1 包装

产品包装应符合下列规定:

- a) 产品在包装前应清洁,用适宜的包装材料进行包装;
- b) 包装应保证在正常运输中不致使减振器损伤。

8.2 合格证

包装内应附有产品合格证，合格证应包括下列内容：

- a) 制造商名称；
- b) 产品名称、型号或零件号；
- c) 制造日期或生产批号；
- d) 质量检验部门签章。

8.3 标志

包装外部应标明：

- a) 发往地址及收货单位名称；
- b) 产品名称、型号或零件号、数量；
- c) 制造商名称、商标、地址；
- d) “轻放”“防潮”等字样或符号；
- e) 出厂日期。

8.4 贮存

减振器应保存在通风良好的室内仓库中，且要求做到：

- a) 避免太阳光直接照射；
- b) 离发热、发光源 1m 以外，贮存处温度不得超过 40℃；
- c) 避免受酸碱物质的污染；
- d) 使减振器处于自由状态；
- e) 避免受强磁场作用。

8.5 其他

对包装、标志、运输和贮存有特殊要求的，由供需双方协商。
