

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2023

公路桥梁自恢复型黏滞性阻尼器

Spring Viscous Dampers for Highway Bridges

（征求意见稿）

2023-08-11

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国交通运输协会 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 符号 2

5 结构形式、规格和型号 3

5.1 结构形式 3

5.2 规格 3

5.3 型号 4

6 技术要求 4

6.1 工作条件 4

6.2 结构外观 4

6.3 材料 4

6.4 工艺性能 5

6.5 力学性能 5

7 试验方法 6

7.1 结构外观 6

7.2 材料 6

7.3 工艺性能 7

7.4 力学性能 7

8 检验规则 7

8.1 检验分类 8

8.2 检验项目 8

8.3 判定规则 8

9 标志、包装、运输和贮存 9

9.1 标志 9

9.2 包装 9

9.3 运输 9

9.4 贮存 9

附 录 A （资料性）耐压性能试验 10

附 录 B （规范性）慢速性能试验 11

附 录 C （规范性）速度相关性能试验 13

附 录 D （规范性）弹簧刚度试验 14

附 录 E （规范性）频率相关性试验 15

附 录 F （规范性）温度相关性能试验 16

附 录 G （规范性）地震作用性能试验 17

附 录 H （规范性）风振荷载性能试验 18

附 录 I （规范性）疲劳与耐磨性能试验 19

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。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司、武汉鑫拓力工程技术有限公司、中铁大桥科学研究院有限公司。

本文件主要起草人：陈楚龙、刘新华、王铖铖、余顺新、丁少凌、朱玉、吴成亮、张坤、易蓓、闫蕾蕾、夏飞、付坤、张春华、李东超、聂宏伟、丁德豪、李秋、欧阳泽卉、袁勤、卢傲、刘颖、沈文爱。

公路桥梁自恢复型黏滞性阻尼器

1 范围

本文件规定了公路桥梁自恢复型黏滞性阻尼器的分类、型号、结构型式与规格，技术要求，试验方法，检验规则，标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于公路桥梁自恢复型黏滞性阻尼器的生产和检验。

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 197 普通螺纹 公差
- GB/T 223 钢铁及合金 含量的测定
- GB/T 226 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法
- GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法
- 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 1220 不锈钢棒
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 1800.1 产品几何规范（GPS）极限与配合 第1部分：公差、偏差和配合的基础
- GB/T 1804 一般公差 未注公差的线性角度尺寸的公差
- GB/T 1814 钢材断口检验法
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 4162 锻轧钢棒超声检测方法
- GB/T 7314 金属材料 室温压缩试验方法
- GB/T 9163 关节轴承 向心关节轴承
- 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 13913 金属覆盖层 化学镀镍—磷合金镀层 规范和试验方法（ISO 4527：2003，IDT）
- HG/T 2366 二甲基硅油
- JB/T 4730.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测
- JB/T 4730.4 承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测
- JB/T 4730.5 承压设备无损检测 第5部分：渗透检测
- JB/T 6396 大型合金结构钢锻件 技术条件
- JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
- SH/T 0692 防锈油

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 自恢复型黏滞性阻尼器 spring viscous dampers

以黏滞流体为阻尼介质，用于吸收、耗散外部输入能量的装置，并且具有弹性自恢复功能，属于速度相关的被动型阻尼器。

3.2 初始长度 initial length

自恢复型黏滞性阻尼器活塞位于缸体内居中位置时，两端轴承间的中心距。

3.3 设计行程 design displacement

自恢复型黏滞性阻尼器处于初始长度时，允许产生的最大伸长量或缩短量。

3.4 设计风振位移 design wind vibration displacement

桥梁结构遭遇设计基准风速时，自恢复型黏滞性阻尼器产生的最大位移。

3.5 设计抗震位移 design seismic displacement

桥梁结构遭遇抗震设防烈度的地震时，自恢复型黏滞性阻尼器产生的位移。

3.6 设计弹性位移 design elastic displacement

自恢复型黏滞性阻尼器发挥弹性功能的位移。

3.7 设计阻尼力 design damping force

自恢复型黏滞性阻尼器在正常工作状态下产生的最大黏滞力与最大弹簧力之和。

3.8 设计黏滞力 viscous damping force

活塞在缸体内运动时，自恢复型黏滞性阻尼器产生的最大黏滞阻尼力。

3.9 运动速度 movement velocity

自恢复型黏滞性阻尼器活塞与缸体的相对运动速度。

3.10 速度指数 speed index

自恢复型黏滞性阻尼器阻尼力与速度关系的幂指数参数。

3.11 阻尼系数 damping coefficient

自恢复型黏滞性阻尼器在以单位速度运动时所产生的阻尼力之值。

3.12 设计工作频率 design working frequency

自恢复型黏滞性阻尼器在正常工作状态下每秒可往复运动的次数。

3.13 弹簧刚度 spring stiffness

自恢复型黏滞性阻尼器产生的弹簧力与弹性位移的比值。

4 符号

下列符号适用于本文件。

F—设计阻尼力，单位为千牛（kN）；

F_k —设计弹簧力，单位为千牛（kN）；

F_v —设计黏滞力，单位为千牛（kN）；

F_a —实际阻尼力，单位为千牛（kN）；

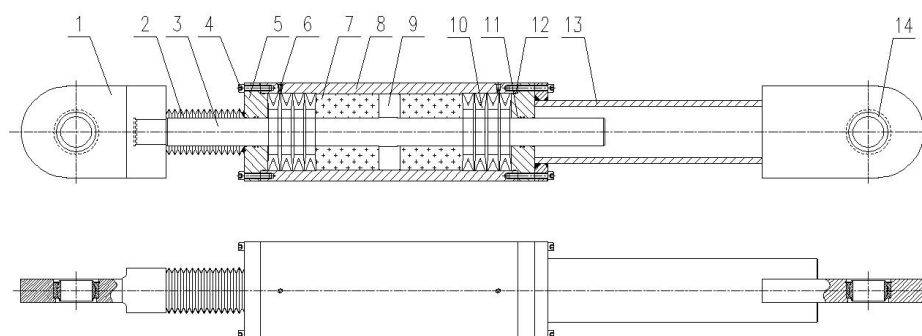
F_{a2} —第二个循环的实际阻尼力，单位为千牛（kN）；

F_{a5} —第五个循环的实际阻尼力，单位为千牛（kN）；
 F_{a1999} —第1999个循环的实际阻尼力，单位为千牛（kN）；
 F_{th} —理论阻尼力，单位为千牛（kN）；
 f —加载频率，单位为赫（Hz）；
 f_d —设计工作频率，单位为赫（Hz）；
 P_F —对应于设计阻尼力的最大压强，单位为兆帕（MPa）；
 S_d —设计位移，单位为毫米（mm）；
 S_k —设计弹性位移，单位为毫米（mm）；
 S_{eq} —设计地震位移，单位为毫米（mm）；
 S_{wv} —设计风振位移，单位为毫米（mm）；
 u —加载位移，单位为毫米（mm）；
 v_F —设计运动速度，单位为米每秒（m/s）；
 η_1 —地震阻尼衰减率；
 η_2 —风振阻尼衰减率。

5 结构形式、规格和型号

5.1 结构形式

自恢复型黏滞性阻尼器由缸筒、活塞、活塞杆、弹性元件、端盖、阻尼介质、密封部件及连接部件组成，结构示意图见图1。



说明：

1—耳板组件；	2—防尘罩；	3—活塞杆；	4—高强度连接螺栓；	5—端盖；
6—堵头；	7—阻尼介质；	8—缸筒；	9—活塞；	10—弹性元件；
11—密封部件（动密封）；	12—密封部件（静密封）；	13—连接缸筒；	14—轴承	

图1 自恢复型黏滞性阻尼器结构示意图

5.2 规格

5.2.1 自恢复型黏滞性阻尼器规格系列按设计阻尼力分为10级：500，750，1000，1250，1500，2000，2500，3000，3500，4000kN。

5.2.2 设计位移分为10级：±100，±200，±300，±400，±500，±600，±700，±800，±900，±1000mm。

5.3 型号

自恢复型黏滞性阻尼器型号表示方法如下：



示例: FSD-2000(/2000)±500(/±300)-2000-0.3, 表示设计阻尼力为 2000kN, 设计弹簧刚度 2000 kN/m, 设计位移±500mm, 设计弹性位移±300mm, 阻尼系数 $2000 \text{ kN} / (\text{m}/\text{s})^{0.3}$, 速度指数 0.3 的公路桥梁自恢复型黏滞性阻尼器。

6 技术要求

6.1 工作条件

自恢复型黏滞性阻尼器适用环境温度为-25℃~50℃。应避免长时间阳光直射和雨水浸淋, 周围应无强磁场源、强电场源和高温热源。

6.2 结构外观

6.2.1 自恢复型黏滞性阻尼器活塞杆宜采用整体结构, 缸筒与端盖连接采用高强度螺栓进行连接, 并对高强连接螺栓施加预紧力, 阻尼参数通过小孔或间隙实现。自恢复型黏滞性阻尼器实际位移应不小于位移设计值。

6.2.2 自恢复型黏滞性阻尼器的外形尺寸应符合设计图要求, 表面应光洁, 无凹坑或划痕, 无漏油, 无机械损伤, 漆膜表面光滑, 不应有漏喷、流痕、橘皮等现象。

6.3 材料

6.3.1 钢材应采用锻钢或轧钢, 不应采用铸钢。优质碳素结构钢、低合金高强度结构钢、合金结构钢、不锈钢等原材料应符合 GB/T 699、GB/T 1591、GB/T3077、GB/T1220 的规定。

6.3.2 活塞杆应采用力学性能不低于 40Cr 的合金结构钢, 化学成分、力学性能应符合 GB/T 3077 的规定; 或采用力学性能不低于 14Cr17Ni2 的不锈钢, 化学成分、力学性能应符合 GB/T 1220 的规定。

6.3.3 缸体、活塞应采用力学性能不低于 40Cr 的合金结构钢, 化学成分、力学性能应符合 GB/T 3077 的规定。

6.3.4 耳板、端盖、连接缸筒应采用力学性能不低于 45 号钢的优质碳素结构钢, 化学成分、力学性能应符合 GB/T 699 的规定; 或采用力学性能不低于 Q355B 的低合金高强度结构钢, 化学成分、力学性能应符合 GB/T 1591 的规定。

6.3.5 阻尼介质要求黏温关系稳定、压缩刚度稳定、闪点高、不易燃烧、不易挥发、无毒、抗老化性能强。宜选用无色透明, 无可见机械杂质, 理化性能符合 HG/T 2366 中规定的二甲基硅油。

6.3.6 密封件要求耐久性和耐磨性满足设计要求, 防尘罩要求耐久性满足设计要求, 并具有可更换性。

6.4 工艺性能

6.4.1 热处理应符合下列规定：

- a) 锻钢件应进行热处理，热处理后力学性能应符合 JB/T 6396 的规定。
- b) 轧钢件应进行热处理、热处理宜采用退火，退火后优质碳素结构钢、低合金高强度结构钢、合金结构钢、不锈钢的硬度应分别符合 GB/T 699、GB/T 1591、GB/T 3077 和 GB/T 1220 的规定。

6.4.2 机加工应包括下列内容：

- a) 缸体内表面和活塞杆表面尺寸公差不应低于 GB/T 1800.1 中 IT8 级的规定；未注尺寸公差不应低于 GB/T 1184 中 c 级的规定。
- b) 缸体内表面和活塞杆表面圆柱度不应低于 GB/T 1184 中 6 级的规定；未注尺寸公差不应低于 GB/T 1184 中 L 级的规定。
- c) 传递荷载的螺纹连接副螺纹精度不应低于 GB/T 197 中 7H/6g 级的规定。
- d) 轴承应选用向心关节轴承，其外形尺寸、公差应符合 GB/T 9163 的规定。
- e) 缸筒内表面、活塞杆表面粗糙度不应低于 $R_a0.4$ 的要求；安装密封件的沟槽表面粗糙度不应低于 $R_a1.6$ 的要求。
- f) 活塞杆、缸体、活塞、端盖的配合面和摩擦面目视不应有凹坑、划痕等缺陷。

6.4.3 探伤应包括下列内容：

- a) 缸体、活塞杆应进行磁粉或渗透探伤，表面不应有任何裂纹、白点和横向缺陷显示，磁粉探伤的质量分级应符合 JB/T 4730.4 中 I 级的规定；渗透探伤的质量分级应符合 JB/T 4730.5 中 I 级的规定。
- b) 缸体、连接缸筒、活塞耳环、端盖应进行超声波探伤，超声波探伤质量分级应符合 JB/T 4730.3 中 II 的规定；活塞杆应进行超声波探伤，超声波探伤质量分级应符合 GB/T 4162 中 A 级的规定。

6.4.4 防腐应包括下列内容：

- a) 活塞杆表面可采用镀铬、镀镍、镍铬共镀或化学镀镍磷合金，基底材料为合金钢时，镀铬、镀镍、镍铬共镀镀层厚度不低于 $70\mu\text{m}$ ，化学镀镍磷合金镀层厚度不低于 $40\mu\text{m}$ ；基底材料为不锈钢时，镀铬、镀镍、镍铬共镀镀层厚度不低于 $40\mu\text{m}$ ，化学镀镍磷合金镀层厚度不低于 $20\mu\text{m}$ 。硬铬层、镍铬共镀层的技术要求应符合 GB/T 11379 的规定，镍层的技术要求应符合 GB/T 12332 的规定，化学镀镍磷合金层的技术要求应符合 GB/T 13913 的规定。
- b) 自恢复型黏滞性阻尼器成品外露表面除活塞杆外均应进行防腐涂装。涂层应按照 JT/T 722 的长效型体系相关要求执行，对于有特殊防腐要求的地区，相应提高涂层等级。

6.4.5 装配应包括下列内容：

- a) 所有待装配的金属部件，都应有生产厂家质量检验部门的合格标记。密封件、轴承、阻尼介质等外购部件应有厂家提供的合格证明，方可进行装配。
- b) 已涂装金属部件在涂装未干透前，不应进行装配。
- c) 金属部件装配前，应将铁屑、毛刺、油污和泥沙等杂物清除干净。其配合面和摩擦面不应有锈蚀、凹坑和影响使用性能及寿命的划痕。相互配合面均应洁净。
- d) 装配过程中应防止密封件损坏，密封件不应有划伤、碰伤及挤压变形等受损现象。
- e) 阻尼介质在缸体内应填充满。缸体密封后不应解封，若有特殊情况需要解封，应由生产厂家进行解封及重新密封的操作。解封后应重新填充阻尼介质至解封前状态，方可重新密封。
- f) 装配完成后，轴承内外表面均用 SH/T 0692 中 L-RD-4-3 防锈油进行防腐。

6.5 力学性能

6.5.1 自恢复型黏滞性阻尼器设计阻尼力 F 与设计弹簧力 F_k 及设计黏滞力 F_v 的关系按式 (1) ~ (3) 计算, 其中, F_k 取 0.4~0.6 倍的 F_v :

$$F = F_k + F_v \quad (1)$$

$$F_k = KS_k \quad (2)$$

$$F_v = Cv^\alpha \quad (3)$$

式中:

K —设计弹簧刚度, 单位为千牛每毫米 (kN/mm)

S_k —设计弹性位移, 单位为毫米 (mm), 取值范围: 0.5~1.0 倍的设计位移 S_d ;

v —运动速度, 单位为米每秒 (m/s);

C —阻尼系数, 单位为千牛每米每秒 (kN/(m/s))

α —速度指数, 取值范围 0.1~1.0。

6.5.2 自恢复型黏滞性阻尼器在 1.5 倍对应于设计阻尼力的最大压强 P_F 下, 持荷 120s, 不应出现泄漏、部件损坏等现象。

6.5.3 自恢复型黏滞性阻尼器以速度 0.01mm/s~0.1mm/s 慢速运动时, 实际阻尼力不应大于设计阻尼力 F 的 10%。

6.5.4 在设计运动速度的 0.1 倍~1.0 倍范围内, 实际阻尼力相对于理论阻尼力 F_{th} 的偏差不应超过 $\pm 15\%$ 。

6.5.5 自恢复型黏滞性阻尼器在匀速运动下, 实际弹簧刚度相对于设计弹簧刚度的偏差不应超过 $\pm 15\%$ 。

6.5.6 在设计运动速度, 频率为 0.5-2.0 倍设计工作频率 (f_d) 范围内, 各实际阻尼力之间的偏差不应超过 $\pm 15\%$ 。

6.5.7 在 -25°C 和 50°C 时的实际阻尼值, 相对于 20°C 的实际阻尼值的偏差不应超过 $\pm 15\%$ 。

6.5.8 在模拟地震工况条件下, 实际阻尼力相对理论阻尼力 (F_{th}) 的偏差不得超过 $\pm 15\%$, 实际阻尼力的衰减率 (η_1) 不得超过 15%。

6.5.9 在模拟风振条件下, 实际阻尼力的衰减率 (η_2) 不得超过 15%。

6.5.10 加载次数不少于 50000 次且密封件与金属部件的摩擦位移不低于 $\pm 5\text{mm}$ 的条件下, 不应出现泄漏、部件损坏等现象。。

7 试验方法

7.1 结构外观

7.1.1 自恢复型黏滞性阻尼器成品外形尺寸用直尺、游标卡尺等常规量具检测, 外观质量采用目测或借助放大镜检测。

7.1.2 应对自恢复型黏滞性阻尼器进行全位移循环测试。阻尼器可以不注入硅油。

7.2 材料

7.2.1 钢材应符合下列规定:

- 钢材力学性能检测按 GB/T 228.1 和 GB/T 7314 的规定进行, 化学成分检测按 GB/T 223 的规定进行。
- 钢材内部缺陷检测按 GB/T 226 和 GB/T 1814 的规定进行。

7.2.2 阻尼介质外观采用目视法检测。硅油的各项理化性能指标测定按照 HG/T 2366 的规定进行。

7.3 工艺性能

7.3.1 热处理应符合下列规定：

- a) 锻钢件热处理后的力学性能试验按 JB/T 6396 的规定进行。
- b) 轧钢件热处理后的硬度试验按 GB/T 231.1 的规定进行。

7.3.2 机加工应符合下列规定：

- a) 金属部件的尺寸公差用直尺、游标卡尺、千分尺等常规量具检测，形位公差用专用仪器和设备检测。
- b) 金属部件粗糙度用粗糙度检测仪器检测。金属部件的凹坑、划痕等表面缺陷用目视法检测。

7.3.3 探伤应符合下列规定：

- a) 磁粉探伤方法按 JB/T 4730.4 的规定进行，渗透探伤方法按 JB/T 4730.5 的规定进行。
- b) 缸体、连接缸筒、活塞、耳环、端盖的超声波探伤方法按 JB/T 4730.3 的规定进行，活塞杆的超声波探伤方法按 GB/T 4162 的规定进行。

7.3.4 防腐应符合下列规定：

- a) 活塞杆镀层厚度用金属镀层测厚仪检测，镀层的表面质量采用目视法检测。
- b) 自恢复型黏滞性阻尼器成品涂层的检测方法按 JT/T 722 的规定进行。

7.4 力学性能

7.4.1 在需要通过试验设备加载的试验中，控制试样运动应采用位移控制法。

7.4.2 试验设备的精度应满足以下要求：静态误差不超过 $\pm 0.5\%FS$ ，动态误差不超过 $\pm 3\%FS$ 。

注1：FS代表试验设备的满量程

7.4.3 测试时应应对阻尼器进行温度监控，可以根据厂家要求监控两个温度点。温度的记录应在测试前的5分钟进行，以及测试后持续15分钟。

7.4.4 自恢复型黏滞性阻尼器的耐压性能试验方法见附件 A。

7.4.5 自恢复型黏滞性阻尼器的慢速性能试验方法见附件 B。

7.4.6 自恢复型黏滞性阻尼器的速度相关性能试验方法见附录 C。

7.4.7 自恢复型黏滞性阻尼器的弹簧刚度试验方法见附录 D。

7.4.8 自恢复型黏滞性阻尼器的频率相关性能试验方法见附录 E。

7.4.9 自恢复型黏滞性阻尼器的温度相关性能试验方法见附录 F。

7.4.10 自恢复型黏滞性阻尼器的地震相关性能试验方法见附录 G。

7.4.11 自恢复型黏滞性阻尼器的风振荷载性能试验方法见附录 H。

7.4.12 自恢复型黏滞性阻尼器的疲劳与耐磨性能试验方法见附录 I。

8 检验规则

8.1 检验分类

8.1.1 自恢复型黏滞性阻尼器的检验分为原材料检验、型式检验和出厂检验三类。

8.1.2 出现下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品定型或首次生产时；
- b) 正式生产后，如结构、材料或工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 正常生产时，定期每两年进行一次检验；
- d) 产品停产一年以上，恢复生产时；
- e) 国家质量监督机构提出进行型式检验的要求时；
- f) 因特殊需要应进行型式检验时。

8.1.3 自恢复型黏滞性阻尼器应经制造厂家质量检验部门检验合格并附合格证明文件，方可出厂。

8.2 检验项目

8.2.1 自恢复型黏滞性阻尼器原材料检验的检验项目应符合表 1 的规定。

表 1 自恢复型黏滞性阻尼器原材料检验项目

检验项目	技术要求	试验方法	检验频次
钢材力学性能和化学成分	5.3.1	6.2.1	每批 100%
硅油理化性能	5.3.2	6.2.2	每批 1 次

8.2.2 自恢复型黏滞性阻尼器型式检验和出厂检验的检验项目应符合表 2 的规定。

表2 自恢复型黏滞性阻尼器型式检验和出厂检验

检验项目	技术要求	试验方法	型式检验	出厂检验	检验频次	
					型式检验	出厂检验
外观	6.2.2	7.1.1	+	+	100%	100%
防腐	6.4.4	7.3.4	+	-	不少于2件	/
位移测试	6.2.1	7.1.2	+	-	不少于2件	/
耐压性能	6.5.2	7.4.4	+	+	不少于2件	100%
慢速性能 ^a	6.5.3	7.4.5	△	△	不少于2件	20%，但不少于2件
速度相关性能	6.5.4	7.4.6	+	+	不少于2件	100%
弹簧刚度	6.5.5	7.4.7	+	+	不少于2件	100%
频率相关性能	6.5.6	7.4.8	+	-	不少于2件	/
温度相关性能	6.5.7	7.4.9	+	-	不少于1件	/
地震相关性能	6.5.8	7.4.10	+	-	不少于2件	/
风振荷载性能 ^b	6.5.9	7.4.11	△	-	不少于2件	/
疲劳与耐磨性能	6.5.10	7.4.12	+	-	不少于1件	/

注：“+”表示要进行该项检验，“-”表示不进行该项检验，“△”为选做，“/”表示无此项规定。

^a当温度工况未设置弹性位移时，该项为必检项。

^b当以风振荷载作用为主时，该项型式检验为必检项。

8.3 判定规则

8.3.1 检验项目全部合格则该批次原材料为合格。

8.3.2 型式检验采用随机抽样方式进行。型式检验项目全部合格，则该批产品为合格。当检验项目中有不合格项，应取双倍试样对不合格项目进行复检，复检后仍有不合格，则该批产品为不合格。

8.3.3 出厂检验应符合下列规定：

- a) 外观及尺寸、行程检验结果不符合本标准要求自恢复型黏滞性阻尼器成品，可对相关部件更换或返修，合格后方可出厂。
- b) 每批产品中的耐压性能和速度相关性能试验结果合格件可出厂，不合格件不应出厂。
- c) 慢速性能试验采取随机抽样检验方式进行。抽样试验全部合格，则该批产品为合格；若抽样试验有不合格件，应取双倍试样进行复检，复检后仍有不合格件，则该批产品为不合格。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

9.1.1 在自恢复型黏滞性阻尼器的明显部位应有清晰永久的标志，应包含以下内容：

- a) 产品名称、型号；
- b) 基本参数；
- c) 商标；
- d) 出厂编号；
- e) 出厂日期；
- f) 制造厂名；
- g) 执行标准号。

9.1.2 包装箱外部明显位置上应用产品名称、型号、商标、制造厂名等标志，有关标志的图式符号应符合 GB/T 191 的规定。

9.2 包装

9.2.1 每件产品应采用可靠包装或按用户要求包装，便于运输和搬运安全。

9.2.2 包装发货的每箱产品中应具备下列文件：

- a) 产品使用说明书
- b) 产品出厂检验合格证
- c) 装箱单

9.3 运输

9.3.1 运输过程中应注意防雨、防潮和防晒，严禁与有腐蚀性的化学品混运接触，并不应磕碰、超高码放。

9.4 贮存

9.4.1 产品应储存在干燥、通风、无阳光直射、无腐蚀性气体并远离热源的场所。

附 录 A（资料性）

耐压性能试验

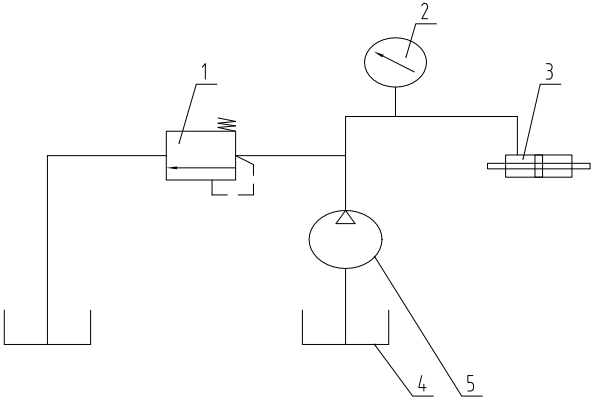
A.1 试样

自恢复型黏滞性阻尼器耐压性能试验应采用本体进行。

A.2 试验方法

试验按以下步骤进行：

- 耐压性能试验应在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的环境温度下进行。
- 按图 A.1，将试样的一个注油口与液压加载设备连接，确认注油口及其他部位密封好后，控制加载设备向注油口中注入与试样中相同的阻尼介质，使其内部压强缓慢上升；



说明：1——溢流阀；2——压力表；3——阻尼器试样；4——油箱；5——液压泵；

图 A.1 耐压性能试验示意

- 待压强上升至 $1.5P_{\max}$ 时，停止注入阻尼介质，并持荷 120s 以上。设计最大压强 P_F 由式 (A.1) 计算；

$$P_F = \frac{4F_F}{\pi(D^2 - d^2)} \quad (\text{A.1})$$

- 解除注油口与液压加载设备的连接，检查试样是否有阻尼介质泄漏和部件损坏等现象。

A.3 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- 环境温度、试验设备、试样规格、最高压力值、最高压力持续时间；
- 描述试验过程及试验结果，记录试验过程中异常情况；
- 压力表最高读数照片。

附录 B（规范性）

慢速性能试验

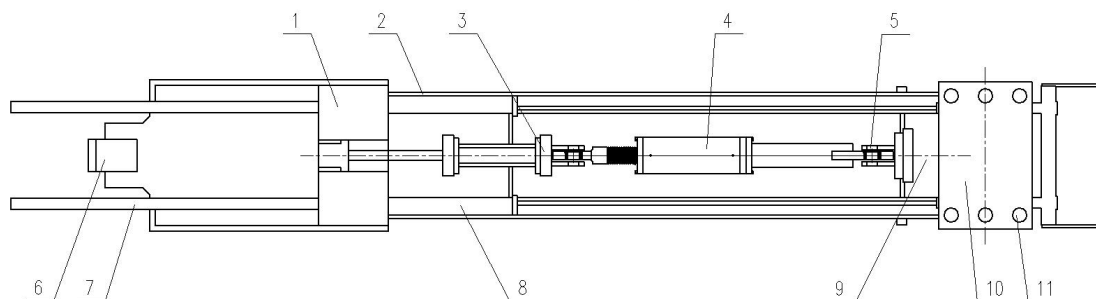
B.1 试样

自恢复型黏滞性阻尼器慢速性能试验应采用本体进行，受试验设备能力限制时可采用缩尺模型进行。缩尺模型只允许行程缩短，其他应与本体相同。

B.2 试验方法

试验按以下步骤进行：

- a) 慢速性能试验应在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的环境温度下进行。
- b) 图 B.1 给出了一种自恢复型黏滞性阻尼器测试装备及其连接方式示意图，根据试验装备的不同连接方式也会有所不同，但均需与实际工况吻合并避免对测试精度造成不利影响；



说明：1——底座；2——后座驱动器；3——前连接头；4——阻尼器试样；
5——后连接头；6——加载驱动器；7——位移传感器；8——导轨；
9——力传感器；10——后座；11——锁紧油缸。

图 B.1 试验设备及连接方式示意

- c) 在图 B.1 所示的试验设备上对试样加载，使其进行一个完整的位移循环运动；
- d) 加载方式为三角波加载（见图 B.2），运动速度 v 取 $0.01\text{ mm/s} \sim 0.1\text{ mm/s}$ ，加载振幅 A 不小于工程结构温度变化引起的阻尼器本身位移，且不小于 10 mm ，加载位移 u 按式 (B.1) 计算。

$$u = \begin{cases} vt & \left(0 \leq t \leq \frac{A}{v}\right) \\ 2A - vt & \left(\frac{A}{v} < t \leq \frac{3A}{v}\right) \\ vt - 4A & \left(\frac{3A}{v} < t \leq \frac{4A}{v}\right) \end{cases} \quad (\text{B.1})$$

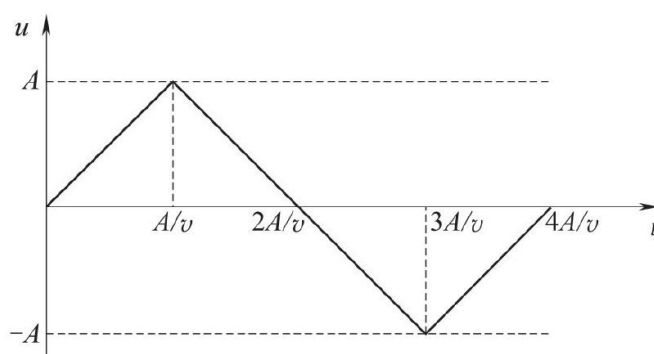


图 B.2 三角波波形

B.3 试验过程与数据

试验过程与数据应满足以下要求：

- a) 试验过程应运行平稳，无卡滞；
- b) 阻尼力时程曲线和位移时程曲线数据应全程连续记录。

B.4 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 环境温度、试验设备、试样规格、试验输入参数；
- b) 描述试验过程及试验结果，记录全程阻尼力时程曲线和位移时程曲线，以及试验过程中异常情况。

附录 C（规范性）

速度相关性能试验

C.1 试样

自恢复型黏滞性阻尼器速度相关性能试验应采用本体进行，受试验设备能力限制时可采用缩尺模型进行。缩尺模型只允许位移缩短，其他应与本体相同。

C.2 试验方法

试验按以下步骤进行：

- 速度相关性能试验应在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的环境温度下进行。
- 在图 B.1 所示的设备上对试样进行加载，使其在 $0.1v_F$ 、 $0.25v_F$ 、 $0.50v_F$ 、 $0.75v_F$ 、 $1.0v_F$ 等五个不同速度（ v ）下分别进行三个完整的位移循环测试。
- 加载频率 f 为设计工作频率 f_d ，加载振幅 A 按式（C.1）计算；

$$A = \frac{v}{2\pi f} \quad (\text{C.1})$$

- 加载方式为正弦波加载，加载位移 u 按式（C.2）计算；

$$u = A \sin(2\pi f t) \quad (\text{C.2})$$

- 对试样温度进行监测，超过指定温度时应暂停试验。

C.3 试验过程与数据

试验过程与数据应满足以下要求：

- 理论阻尼力 F_{th} 按式（1）计算；
- 实际阻尼力取值以第二个滞回圈在 $50\%+A$ 和 $50\%-A$ 处与力轴平行的轴的截距平均值。

$$F_a = \frac{F_a^{(+)} + |F_a^{(-)}|}{2}$$

- 阻尼力——位移滞回曲线应光滑，无异常；阻尼力时程曲线、位移时程曲线和阻尼力——位移滞回曲线数据应全程连续记录。

C.4 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- 环境温度、试验设备、试样规格、试验输入参数；
- 描述试验过程及试验结果，记录全程阻尼力时程曲线、位移时程曲线和阻尼力——位移滞回曲线，以及试验过程中异常情况。

附 录 D（规范性）

弹簧刚度试验

D.1 试样

自恢复型黏滞性阻尼器弹簧刚度性能试验应采用本体进行，受试验设备能力限制时可采用缩尺模型进行。缩尺模型只允许位移缩短，其他应与本体相同。

D.2 试验方法

试验按以下步骤进行：

- a) 弹簧刚度试验应在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的环境温度下进行。
- b) 在图 B.1 所示的试验设备上对试样加载，使其进行一个完整的位移循环运动；
- c) 加载方式为三角波加载（见图 B.2），运动速度 (v) 不小于 1mm/s ，加载振幅 A 为设计弹性位移 S_k ，加载位移 (u) 按式 (B.1) 计算。

D.3 试验过程与数据

试验过程与数据应满足以下要求：

- a) 试验过程应运行平稳，无卡滞；
- b) 力时程曲线和位移时程曲线数据应全程连续记录。

D.4 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 环境温度、试验设备、试样规格、试验输入参数；
- b) 描述试验过程及试验结果，记录全程阻尼力时程曲线和位移时程曲线，以及试验过程中异常情况。
- c) 弹簧刚度 K 按式 (D.1) 计算：

$$K = \frac{F_K}{S_K} \quad (\text{D.1})$$

附录 E（规范性）

频率相关性试验

E.1 试样

自恢复型黏滞性阻尼器频率相关性能试验应采用本体进行，受试验设备能力限制时可采用缩尺模型进行。缩尺模型只允许位移缩短，其他应与本体相同。

E.2 试验方法

试验按以下步骤进行：

- a) 频率相关性能试验应在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的环境温度下进行。
- b) 在图 B.1 所示的设备上对试样进行加载，使其在 $0.5f_d$ 、 $0.75f_d$ 、 $1.0f_d$ 、 $1.5f_d$ 、 $2.0f_d$ 等五个不同加载频率（ f ）下以相同运动速度（ v ）分别进行三个完整的位移循环测试。
- c) 加载振幅（ A ）按式（E.1）计算：

$$A = \frac{V_F}{2\pi f} \quad (\text{E.1})$$

- d) 加载方式为正弦波加载，加载位移 u 按式（C.2）计算；
- e) 加载振幅（ A ）应控制在设计位移（ S_d ）内，否则加载频率（ f ）相应改变
- f) 对试样温度进行监测，超过指定温度时应暂停试验。

E.3 试验过程与数据

试验过程与数据应满足以下要求：

- a) 理论阻尼力（ F_{th} ）按式（1）计算；
- b) 实际阻尼力取值以第二个滞回圈在 $50\%+A$ 和 $50\%-A$ 处与力轴平行的轴的截距平均值。

$$F_a = \frac{F_a^{(+)} + |F_a^{(-)}|}{2}$$

- c) 阻尼力——位移滞回曲线应光滑，无异常；阻尼力时程曲线、位移时程曲线和阻尼力——位移滞回曲线数据应全程连续记录。

E.4 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 环境温度、试验设备、试样规格、试验输入参数；
- b) 描述试验过程及试验结果，记录全程阻尼力时程曲线、位移时程曲线和阻尼力——位移滞回曲线，以及试验过程中异常情况。

附录 F (规范性)

温度相关性能试验

F.1 试样

自恢复型黏滞性阻尼器温度相关性能试验应采用本体进行,受试验设备能力限制时可采用缩尺模型进行。缩尺模型只允许位移缩短,其他应与本体相同。

F.2 试验方法

试验按以下步骤进行:

- 温度相关性能试验应分别在-25℃、20℃、50℃的温度下进行。
- 试样应在所需试验温度环境下放置不小于 24h,试样取出后需采取保温措施并在 15min 中内完成试验。
- 在图 B.1 所示的试验设备上对试样加载,使其连续进行三个完整的位移循环运动。
- 加载方式为正弦波加载,加载位移 u 按式 (C.2) 计算;
- 加载频率 f 为设计工作频率 (f_d),加载振幅 (A) 为设计地震位移 (S_{eq}),若缩尺模型的位移小于设计地震位移 (S_{eq}),则在不改变最大加载速度的前提下可以减小加载振幅 (A)
- 对试样温度进行监测,超过指定温度时应暂停试验。

F.3 试验过程与数据

试验过程与数据应满足以下要求:

- 理论阻尼力 (F_{th}) 按式 (1) 计算;
- 实际阻尼力取值以第二个滞回圈在 50%+A 和 50%-A 处与力轴平行的轴的截距平均值。

$$F_a = \frac{F_a^{(+)} + |F_a^{(-)}|}{2}$$

- 阻尼力——位移滞回曲线应光滑,无异常;阻尼力时程曲线、位移时程曲线和阻尼力——位移滞回曲线数据应全程连续记录。

F.4 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- 环境温度、试验设备、试样规格、试验输入参数;
- 描述试验过程及试验结果,记录全程阻尼力时程曲线、位移时程曲线和阻尼力——位移滞回曲线,以及试验过程中异常情况。

附录 G（规范性）

地震作用性能试验

G.1 试样

自恢复型黏滞性阻尼器地震作用性能试验应采用本体进行，受试验设备能力限制时可采用缩尺模型进行。缩尺模型只允许位移缩短，其他应与本体相同。

G.2 试验方法

试验按以下步骤进行：

- 地震作用性能试验应在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的环境温度下进行。
- 在图 B.1 所示的设备上对试样进行加载，使其进行连续六个完整的位移循环运动。
- 加载方式为正弦波加载，加载位移 u 按式 (C.2) 计算；
- 加载频率 (f) 为设计工作频率 (f_d)，加载振幅 (A) 为设计地震位移 (S_{eq})
- 连续记录全程阻尼力时程曲线、位移时程曲线和阻尼力——位移滞回曲线。
- 对试样温度进行监测，超过指定温度时应暂停试验。

G.3 试验过程与数据

试验过程与数据应满足以下要求：

- 理论阻尼力 (F_{th}) 按式 (1) 计算；
- 地震阻尼衰减率 (η_1) 由式 (F.1) 计算；

$$\eta_1 = \frac{F_{a2} - F_{a5}}{F_{a2}} \times 100\% \quad (\text{G.1})$$

- 阻尼力——位移滞回曲线应饱满、光滑，无异常；试验结束后试样应无泄漏、部件损坏等现象

G.4 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- 环境温度、试验设备、试样规格、试验输入参数；
- 描述试验过程及试验结果，记录全程阻尼力时程曲线、位移时程曲线和阻尼力——位移滞回曲线，以及试验过程中异常情况。

附录 H（规范性）

风振荷载性能试验

H.1 试样

自恢复型黏滞性阻尼器风振荷载性能试验应采用本体进行，受试验设备能力限制时可采用缩尺模型进行。缩尺模型只允许位移缩短，其他应与本体相同。

H.2 试验方法

试验按以下步骤进行：

- 风振荷载性能试验应在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的环境温度下进行。
- 在图 B.1 所示的设备上对试样进行加载，使其进行 2000 个完整的位移循环运动。
- 加载方式为正弦波加载，加载位移 u 按式 (C.2) 计算；
- 加载频率 (f) 为设计工作频率 (f_d)，加载振幅 (A) 为设计风振位移 (S_{wv})
- 对试样温度进行监测，超过指定温度时应暂停试验。

H.3 试验过程与数据

试验过程与数据应满足以下要求：

- 理论阻尼力 (F_{th}) 按式 (1) 计算；
- 地震阻尼衰减率 (η_2) 由式 (H.1) 计算；

$$\eta_2 = \frac{F_{a2} - F_{a1999}}{F_{a2}} \times 100\% \quad (\text{H.1})$$

- 试验过程中试样应运行平稳，无卡滞；试验结束后试样应无泄漏、部件损坏等现象

H.4 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- 环境温度、试验设备、试样规格、试验输入参数；
- 描述试验过程及试验结果，记录全程阻尼力时程曲线、位移时程曲线和阻尼力——位移滞回曲线，以及试验过程中异常情况。

附录 I（规范性）

疲劳与耐磨性能试验

I.1 试样

自恢复型黏滞性阻尼器疲劳与耐磨性能试验应采用本体进行，受试验设备能力限制时可采用缩尺模型进行。缩尺模型只允许位移缩短，其他应与本体相同。

I.2 试验方法

试验按以下步骤进行：

- 疲劳与耐磨性能试验应在 $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下进行。
- 在图 B.1 所示的设备上对试样进行加载，使其进行 50000 个完整的位移循环运动。
- 加载方式为正弦波加载，加载位移 u 按式 (C.2) 计算；
- 加载振幅 (A) 为 $\pm 5\text{mm}$ 且不小于期望最大热位移，加载频率 (f) 不小于 0.5Hz
- 对试样温度进行监测，超过指定温度时应暂停试验。

I.3 试验过程与数据

试验过程与数据应满足以下要求：

- 试验过程中应运行平稳，无卡滞；
- 记录阻尼力—位移滞回曲线数据，数量不少于 600 个循环，应包含最前 200 个循环和最后 200 个循环。

I.4 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- 环境温度、试验设备、试样规格、试验输入参数；
- 描述试验过程及试验结果，记录阻尼力——位移滞回曲线，以及试验过程中异常情况。