

ICS: 93.080.30

CCS: Q85

**T/GLYH**

中关村中科公路养护产业技术联盟团体标准

T/GLYH 00X—2022

---

## 桥梁可感知聚氨酯弹性体支承装置

Perceptible polyurethane elastomer supporting devices  
for highway bridges

(征求意见稿)

2022—XX—XX 发布

2022—XX—XX 实施

---

中关村中科公路养护产业技术联盟 发布



## 目 次

前 言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语、定义和符号 .....	2
4 分类、型号及结构型式 .....	5
5 技术要求 .....	9
6 试验方法 .....	16
7 检验规则 .....	19
8 标志、包装、运输和储存 .....	21
附 录 A（规范性附录） 成品支承装置力传感器性能试验 .....	22
附 录 B（规范性附录） 成品支承装置位移传感器性能试验 .....	24
附 录 C（资料性附录） 可感知聚氨酯弹性体支承装置规格系列 .....	26



## 前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《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。

本文件的编制参考了 GB 20688.2《橡胶支座：第二部分 桥梁隔震橡胶支座》、JT/T 842《公路桥梁高阻尼隔震橡胶支座》和 JT/T 4《公路桥梁板式橡胶支座》。

本文件采用浇筑型聚氨酯替代了原有橡胶，支承装置结构根据聚氨酯力学性能特性在现有橡胶支座的结构上进行了删减、优化和修改。为便于实现桥梁结构的智能化养护，支承装置设置了竖向荷载传感器和水平位移传感器（也可通过算法采集竖向压缩变形和转动变形）可实现竖向载荷、水平位移及转角等数据的自动化采集与传输，本文件还包括与传感器配套使用的数据采集器，并对数据采集器的主要性能做出规定。为配合支撑装置的选型使用，本文件在规范性附录中规定了传感器的主要技术参数，并在资料性附录中规定了支承装置的主要规格尺寸和技术参数。

本文件主要起草单位：陕西直道致远工程科技有限公司、 、 、 、 。

请注意本文件的某些内容可能涉及到专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中关村中科公路养护产业技术创新联盟提出并归口。

本文件主要起草人：王伟、 、 、 、 。

本标准参与审查人员： 、 、 、 、 。



# 桥梁可感知聚氨酯弹性体支承装置

## 1 范围

本标准规定了桥梁可感知聚氨酯弹性体支承装置（PPED）的产品分类、型号、结构型式、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和储存等。

本标准适用于承载力为 232kN~25967kN 具有超高阻尼、高承载性能的可感知聚氨酯弹性体支承装置，适用于抗震设防烈度为 8 度（B 类及以下桥梁）及以下地震烈度区的公路及市政桥梁工程。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 528	硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定
GB/T 529	硫化橡胶或热塑性橡胶撕裂强度的测定（裤形、直角形和新月形试样）
GB/T 699	优质碳素结构钢
GB/T 700	碳素结构钢
GB/T 1591	低合金高强度结构钢
GB/T 1682	硫化橡胶低温脆性的测定 单试样法
GB/T 1804	一般公差 未注公差的线性及角度尺寸的公差
GB/T 3077	合金结构钢
GB/T 3280	不锈钢冷轧钢板和钢带
GB/T 3512	硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验
GB/T 6031	硫化橡胶或热塑性橡胶硬度的测定（10~100IRHD）
GB/T 7665	传感器通用术语
GB/T 7759	硫化橡胶或热塑性橡胶 常温、高温和低温下压缩永久变形测定
GB/T 7762	硫化橡胶或热塑性橡胶 耐臭氧龟裂 静态拉伸试验
GB/T 8923	涂装前钢板表面锈蚀等级和除锈等级
GB/T 9870.1	硫化橡胶或热塑性橡胶 动态性能的测定 第1部分 通则
GB/T 11211	硫化橡胶或热塑性橡胶 与金属粘合强度的测定 二板法
GB/T 12832	橡胶结晶效应的测定 硬度测量法
GB/T 18684	锌铬涂层 技术条件
GB/T 20688.1-2007	橡胶支座 第1部分 隔震橡胶支座试验方法
GB 20688.2	橡胶支座 第2部分 桥梁隔震橡胶支座
GB/T 28857	直流差动变压器式位移传感器

GB/T 33010	力传感器的检验
CJJ 166	城市桥梁抗震设计规范
HG/T 2198	硫化橡胶物理试验方法的一般要求
HG/T 2502	5201硅脂
JB/T 8928	钢铁制件机械镀锌
JT/T 4-2019	公路桥梁板式橡胶支座
JT/T 722	公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
JT/T 842-2012	公路桥梁高阻尼隔震橡胶支座
JT/T 901	桥梁支座用高分子滑板材料
JTG/T 2231-01	公路桥梁抗震设计规范
JTG/T 2231-02	公路桥梁抗震性能评价细则

### 3 术语、定义和符号

#### 3.1 术语和定义

GB 20688.2和GB/T 7665界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

##### 3.1.1

**桥梁可感知聚氨酯弹性体支承装置 PPED Perceptible polyurethane elastomer supporting devices for highway bridges (PPED)**

用聚氨酯弹性体制成具有高阻尼、高承载力性能的可感知桥梁支承装置，通过可感知聚氨酯弹性体支承装置在水平方向大位移剪切变形及滞回耗能实现减隔震功能，通过支承装置内部设置的高性能智慧感知元件可实时监测支承装置的力学性能、位移等关键参数。

##### 3.1.2

**有效尺寸 effective size**

支承装置内部弹性体（或加劲钢板）直径。

##### 3.1.3

**竖向压缩刚度 vertical compression stiffness**

$K_v$

设计竖向承压力与竖向变形量之比。

##### 3.1.4

**水平屈服力 horizontal yielding force**

$Q_y$

在支承装置滞回曲线（荷载—位移）中，屈服点对应的支座水平力。

##### 3.1.5

**初始水平刚度 horizontal stiffness before yielding**

$K_1$ 

在装置滞回曲线（荷载—位移）中，屈服点前的直线斜率。

**3.1.6**

**屈服后水平刚度 horizontal stiffness after yielding**

 $K_2$ 

在装置滞回曲线（荷载—位移）中，屈服点后的直线斜率。

**3.1.7**

**水平等效刚度 horizontal equivalent stiffness**

 $K_h$ 

在装置滞回曲线（荷载—位移）中，连接最高峰值点与最低峰值点之间的直线斜率。

**3.1.8**

**等效阻尼比 equivalent damping ratio**

 $\xi$ 

一个荷载循环所吸收的能量与弹性变形能之比，即  $\xi = W_d / (2\pi W)$ 。

**3.1.9**

**力传感器 force transducer**

能感受力并将输入力转换成与其成比例的输出量（通常为电参数）的装置。

**3.1.10**

**安全过载力 overload, safe**

 $F_s$ 

力传感器允许施加的最大轴向力，当该力卸除后，力传感器的技术指标保持不变。

**3.1.11**

**位移传感器 displacement transducer**

能感受位移并将输入位移转换成与其成比例的输出量（通常为电参数）的装置。

**3.2 符号**

下列符号适用于本文件。

$BR_a$ —— 自动平衡范围（传感器），单位为微应变（ $\mu \varepsilon$ ）；

$d$ —— 规格，单位为毫米（mm）；

$d_0$ —— 有效尺寸（一般指加劲板平面尺寸），单位为毫米（mm）；

$E_b$ —— 基本误差（传感器），单位为满量程百分比（%FS）；

$E_\varepsilon$ —— 应变示值误差（传感器），单位为微应变（ $\mu \varepsilon$ ）；

$F_R$ —— 频响范围（传感器），单位为赫兹（Hz）；

- $F_s$ ——安全过载力（传感器），单位为满量程百分比（%FS）；  
 $F_0$ ——额定力（传感器），单位为千牛（kN）；  
 $G$ ——剪切模量，单位为兆帕（MPa）；  
 $h$ ——总高度（不含预埋板厚度），单位为毫米（mm）；  
 $K_1$ ——初始水平刚度，单位为千牛每毫米（kN/mm）；  
 $K_2$ ——屈服后水平刚度，单位为千牛每毫米（kN/mm）；  
 $K_h$ ——水平等效刚度，单位为千牛每毫米（kN/mm）；  
 $K_v$ ——竖向压缩刚度，单位为千牛每毫米（kN/mm）；  
 $L$ ——直线度（传感器），单位为满量程百分比（%FS）；  
 $N_p$ ——噪声（传感器），单位为微应变（ $\mu \varepsilon$ ）；  
 $P_0$ ——设计压力（承载力），单位为千牛（kN）；  
 $P_{VC}$ ——设计荷载（传感器），单位为千牛（kN）；  
 $P_{max}$ ——最大设计压力，单位为千牛（kN）；  
 $P_{min}$ ——最小设计压力，单位为千牛（kN）；  
 $Q_f$ ——设计摩擦起滑力，单位为千牛（kN）；  
 $Q_y$ ——水平屈服力，单位为千牛（kN）；  
 $R$ ——重复性（传感器），单位为满量程百分比（%FS）；  
 $RP_{min}$ ——最小分辨率（传感器），单位为微应变（ $\mu \varepsilon$ ）；  
 $S$ ——输出灵敏度（传感器），单位为毫伏每伏（mV/V）；  
 $S_b$ ——长期稳定性（传感器），单位为满量程百分比（%FS）；  
 $S_s$ ——输出灵敏度（传感器），单位为满量程百分比（%FS）；  
 $S_0$ ——设计量程（传感器），单位为毫米（mm）；  
 $S_e$ ——应变量程（传感器），单位为微应变（ $\mu \varepsilon$ ）；  
 $T_r$ ——弹性体层总厚度  $T_r = n \times t_r$ ，单位为毫米（mm）；  
 $T_c$ ——温度补偿范围（传感器），单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；  
 $T_s$ ——存储温度（传感器），单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；  
 $T_w$ ——工作温度范围（传感器），单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；  
 $t_r$ ——单层聚氨酯厚度，单位为毫米（mm）；  
 $X_y$ ——屈服位移，单位为毫米（mm）；  
 $X_0$ ——设计剪切位移，单位为毫米（mm）；  
 $X_1$ ——容许剪切位移，单位为毫米（mm）；  
 $X_2$ ——极限剪切位移，单位为毫米（mm）；  
 $Y$ ——压缩变形量，单位为毫米（mm）；

- $\alpha$  —— 剪切角，单位为弧度（rad）；
- $\gamma_s$  —— 反复加载试验时的剪应变；
- $\gamma_u$  —— 极限性能试验时的剪应变；
- $\gamma_e$  —— 大变形剪切试验时的剪应变；
- $\gamma_0$  —— 设计剪应变（100%剪应变）；
- $\varepsilon$  —— 压应变；
- $\theta$  —— 设计转角，单位为弧度（rad）；
- $\mu$  —— 等效阻尼比，单位为百分比（%）；
- $\xi$  —— 等效阻尼比，单位为百分比（%）；
- $\sigma_t$  —— 设计拉应力，单位为兆帕（MPa）；
- $\sigma_0$  —— 设计压应力，单位为兆帕（MPa）。

## 4 分类、型号及结构型式

### 4.1 分类

#### 4.1.1 按结构分类

支承装置按其结构分为：

- I 型 —— 支承装置本体（弹性体和加劲板）与上、下预埋板间用摩擦副连接；
- II 型 —— 支承装置本体（弹性体和加劲板）与上、下预埋板间用摩擦副连接；
- III 型 —— 支承装置本体（弹性体、加劲板、上封板、下封板）与上、下连接板采用连接螺栓和卡榫连接；
- JZ 型 —— 支承装置本体（弹性体、加劲板、上封板、下封板、下座板）与上、下连接板采用连接螺栓和卡榫连接；
- H 型 —— 支承装置本体（弹性体、加劲板、滑板）与不锈钢板、下预埋板用摩擦副连接。

### 4.2 型号

支承装置型号表示方法如下：

PPED (□)-d□-G□-e□

- 
- 设计位移方向（纵桥向）滑动位移量；
  - 设计剪切模量，分为2.5、3.7、4.7（MPa），单个可省略；
  - 规格， $d \times b$ ，单位为毫米（mm）；
  - 结构类型，分为 I 型、II 型、III 型、JZ 型（滑动减震型）、H 型（滑动型）；
  - 桥梁可感知聚氨酯弹性体支承装置名称代号 PPED，不装传感器时为 PED。

#### 示例1:

II 型聚氨酯弹性体支承装置直径320mm，高度168mm，剪切模量3.7MPa，型号表示为：PED（II）-d320×168。

#### 示例2:

III型可感知聚氨酯弹性体支承装置直径320mm，高度168mm，剪切模量3.7MPa，型号表示为：PPED（III）-d320×168-G3.7。

**示例3:**

JZ型可感知聚氨酯弹性体支承装置直径320mm，高度168mm，剪切模量3.7MPa，滑动位移50mm，型号表示为：PPED（JZ）-d320×168-G3.7-e50。

**示例4:**

H型聚氨酯弹性体支承装置直径220mm，高度127mm，滑动位移50mm，型号表示为：PED（H）-d220×127-e50。

**4.3 结构型式**

**4.3.1 桥梁可感知聚氨酯弹性体支承装置 I 型结构**

I型支承装置由上锚固筋、上预埋板、弹性体、加劲板、下预埋板、下锚固筋、传感器组成，装置结构示意图1；

**4.3.2 桥梁可感知聚氨酯弹性体支承装置 II 型结构**

II型支承装置由上锚固筋、上预埋板、弹性体、加劲板、下预埋板、下锚固筋、传感器组成，装置结构示意图2；

**4.3.3 桥梁可感知聚氨酯弹性体支承装置 III 型结构**

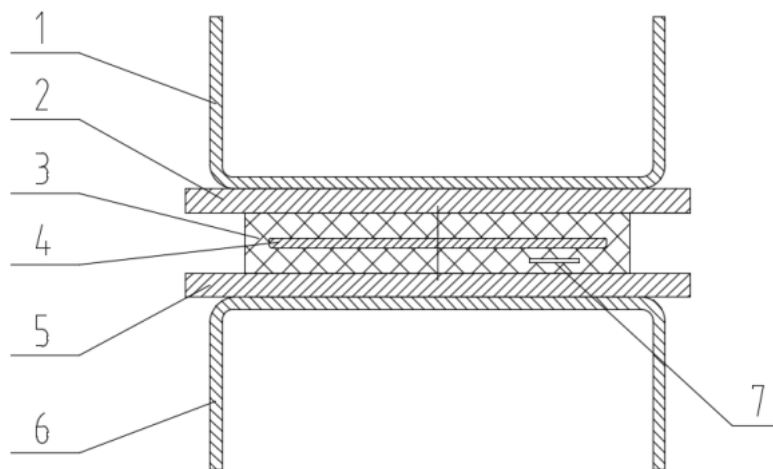
III型支承装置由上锚杆、上套筒、卡榫、上预埋板、上连接板、弹性体、加劲板、锚固螺栓、下连接板、下预埋板、下锚杆、连接螺栓、上封板、下封板、传感器、下套筒组成，装置结构示意图3；

**4.3.4 桥梁可感知聚氨酯弹性体支承装置 JZ 型结构**

JZ型支承装置由上锚杆、上套筒、卡榫、上预埋板、上连接板、弹性体、加劲板、锚固螺栓、滑板、不锈钢板、下连接板、下座板、传感器、连接螺栓、上封板、下封板、下套筒、下锚杆组成，装置结构示意图4；

**4.3.5 桥梁可感知聚氨酯弹性体支承装置 H 型结构**

H型支承装置由上锚固筋、上预埋板、上座板、不锈钢板、滑板、弹性体、加劲板、下预埋板、下锚固筋、传感器组成，装置结构示意图5；

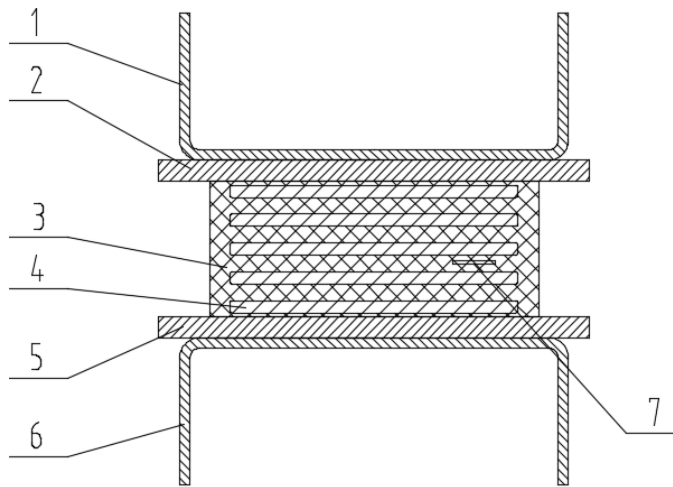


说明：

- |         |         |
|---------|---------|
| 1-上锚固筋； | 4-加劲板；  |
| 2-上预埋板； | 5-下预埋板； |

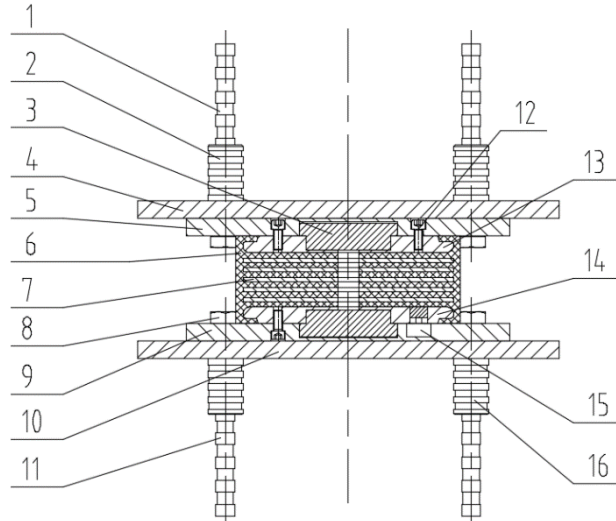
- 3-弹性体;
- 7-传感器。
- 6-下锚固筋;

**图 1 I型支承装置结构示意图**



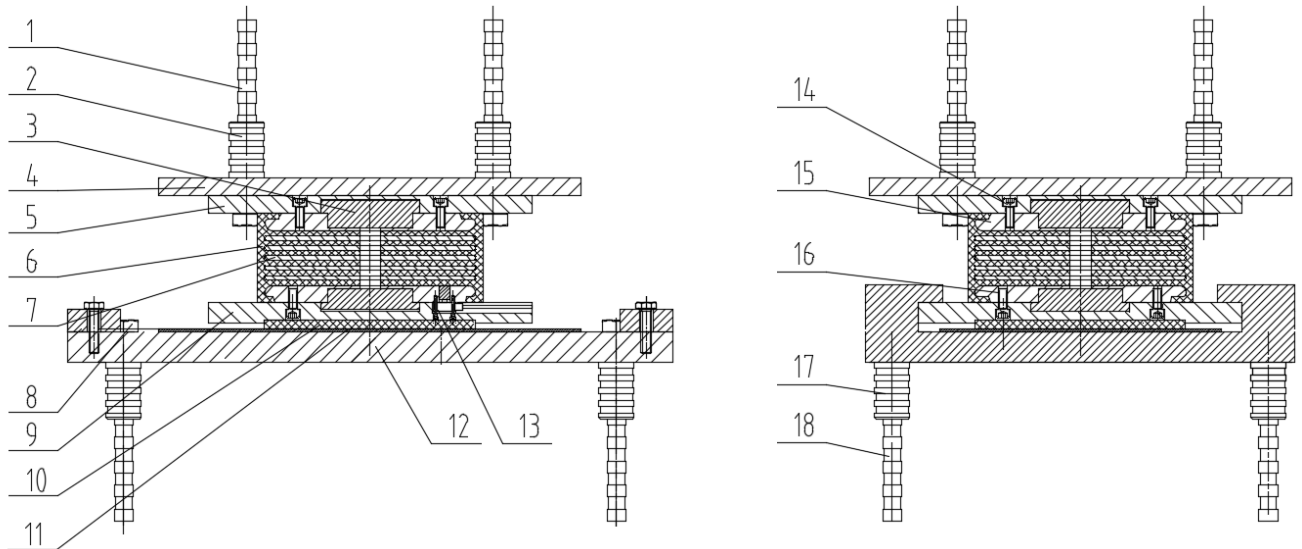
- 说明:
- 1-上锚固筋;
  - 2-上预埋板;
  - 3-弹性体;
  - 4-加劲板;
  - 5-下预埋板;
  - 6-下锚固筋;
  - 7-传感器。

**图 2 II型支承装置结构示意图**



- 说明:
- 1-上锚杆;
  - 2-上套筒;
  - 3-卡榫;
  - 4-上预埋板;
  - 5-上连接板;
  - 6-弹性体;
  - 7-加劲板;
  - 8-锚固螺栓;
  - 9-下连接板;
  - 10-下预埋板;
  - 11-下锚杆;
  - 12-连接螺栓;
  - 13-上封层板;
  - 14-下封层板;
  - 15-传感器组件;
  - 16-下套筒。

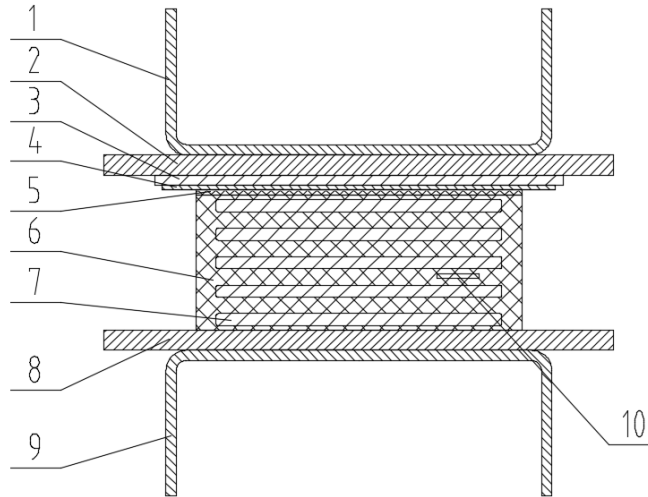
**图 3 III型支承装置结构示意图**



说明:

- |         |          |
|---------|----------|
| 1-上锚杆;  | 10-滑板;   |
| 2-上套筒;  | 11-不锈钢板; |
| 3-卡榫;   | 12-下座板;  |
| 4-上预埋板; | 13-传感器;  |
| 5-上连接板; | 14-连接螺栓; |
| 6-弹性体;  | 15-上封层板; |
| 7-加劲板;  | 16-下封层板; |
| 8-锚固螺栓; | 17-下套筒;  |
| 9-下连接板; | 18-下锚杆。  |

图4 JZ型支承装置结构示意图



说明:

- |         |         |
|---------|---------|
| 1-上锚固筋; | 6-弹性体;  |
| 2-上预埋板; | 7-加劲板;  |
| 3-上座板;  | 8-下预埋板; |
| 4-不锈钢板; | 9-下锚固筋; |
| 5-滑板;   | 10-传感器。 |

图5 H型支承装置结构示意图

## 5 技术要求

### 5.1 支承装置性能要求

5.1.1 支承装置设计要求、设计参数及验算方法按GB 20688.2、CJJ 166、JTG/T 2231-01、JTG/T 2231-02的规定进行。支承装置设计竖向、水平承载力，剪切、滑动位移，设计转角等应符合设计要求，其它性能指标应符合表1的规定。支承装置规格、性能参数等相关信息参见附录A。

表 1 可感知聚氨酯弹性体支承装置的性能要求

项 目		性能要求
竖向压缩刚度 ( $K_v$ ) kN/mm		$K_v \pm K_v \times 30\%$
压缩变形量 ( $Y$ ) mm		设计荷载下, $\leq$ 胶层总厚度的7%
水平等效刚度 ( $K_h$ ) kN/mm		$K_h \pm K_h \times 15\%$
设计转角 ( $\theta$ ) rad		见附录A
设计滑动摩擦系数 ( $\mu$ )	H型、JZ型	$\leq 0.03$ (与不锈钢板有硅脂润滑)
	JZ型	$0.05 \leq \mu \leq 0.10$ (与不锈钢板无硅脂润滑)
设计压应力 ( $\sigma_0$ ) MPa		17.5~25 (参考值, 具体见支承装置参数)
设计拉应力 ( $\sigma_t$ ) MPa	I型、II型、H型	0
	III型、JZ型	5.0
常规位移剪应变 ( $\gamma_0$ ) %		70 (I型、II型、III型、JZ型)
反复加载试验时的剪应变 ( $\gamma_s$ ) %		70 (I型、II型)
		100 (III型、JZ型)
地震容许剪应变 ( $\gamma_e$ ) %		150 (III型、JZ型)
地震极限剪应变 ( $\gamma_u$ ) %		175 (JZ型G4.7)
		200 (III型G2.5、III型G3.7、JZ型G3.7)
等效阻尼比 ( $\xi$ ) %		12, 15, 20 ( $\pm 15\%$ )
温度适用范围 $^{\circ}\text{C}$		-40 $^{\circ}\text{C}$ ~+60 $^{\circ}\text{C}$
注: 支承装置等效阻尼比分3级, 应在反复加载试验时的剪应变 ( $\gamma_s$ ) 下测试计算, 适用不同水平性能和结构型式。		

5.1.2 支承装置剪切模量随温度下降而递增, 当累年最冷月平均温度的平均值处于-10 $^{\circ}\text{C}$ ~0 $^{\circ}\text{C}$ 时, 装置设计剪切模量提高系数为 1.5; 当低于-10 $^{\circ}\text{C}$ 时, 提高系数为 1.8; 当低于-25 $^{\circ}\text{C}$ 时, 提高系数为 2.0 进行桥梁结构检算。

5.1.3 支承装置剪切角  $\alpha$  正切值, 当不计制动力时,  $\tan \alpha \leq 0.5$ ; 当计入制动力时,  $\tan \alpha \leq 0.7$ 。

#### 5.1.4 支承装置传感器性能要求

##### 5.1.4.1 支承装置力传感器性能要求

支承装置在底板内部设置力传感器数量应圆周均匀布置或对称布置, 且应优先布置在横桥向; 传感

器数量应设置为偶数个，布置示意图见图 6。

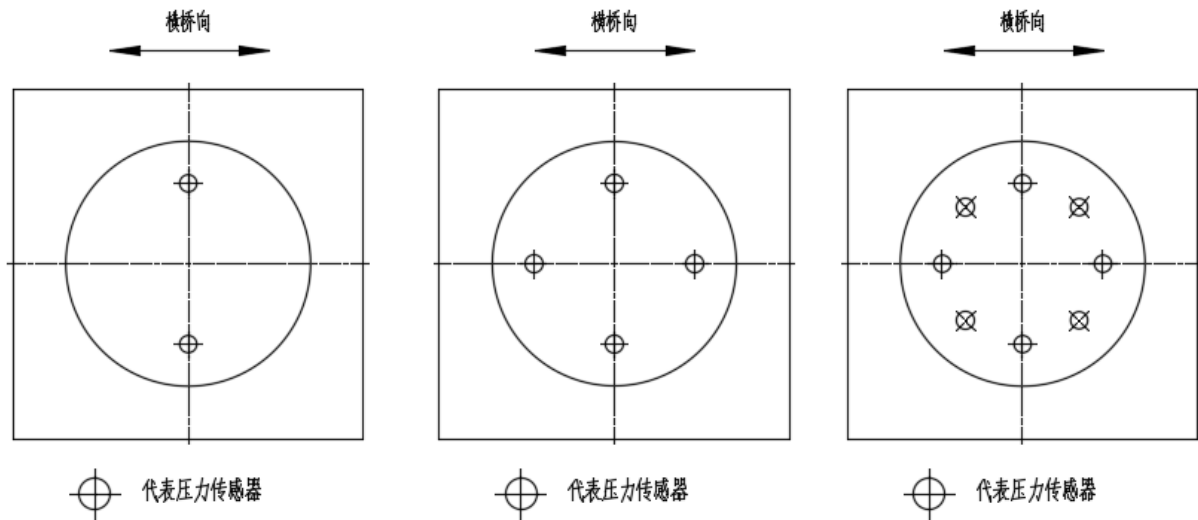


图 6 力传感器布置示意

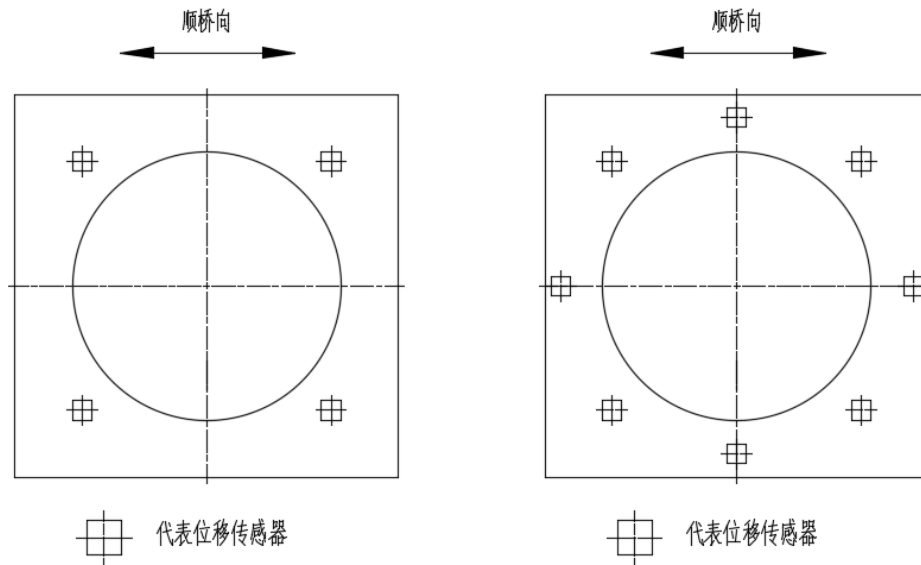
在力传感器设计额定力  $0.15P_{vc} \sim 1.3P_{vc}$  作用下，支承装置力传感器技术指标及性能应符合表 2 的规定。

表 2 力传感器技术指标及性能

项目	技术指标
额定力 ( $F_0$ ) kN	设计值
输出灵敏度 ( $S$ ) mV/V	$1.5 \pm 20\%$
直线度 ( $L$ ) %FS	0.5
长期稳定性 ( $S_b$ ) %FS	0.1
重复性 ( $R$ ) %FS	0.2
温度补偿范围 ( $T_c$ ) °C	$-10 \sim +50$
工作温度范围 ( $T_w$ ) °C	$-20 \sim +60$
防护等级	IP67
安全过载力 ( $F_s$ ) %FS	150

#### 5.1.4.2 支承装置水平及竖向压缩位移传感器性能要求

支承装置在周边设置位移传感器数量应圆周均匀布置或对称布置，且应优先布置在四角方向；传感器数量应设置为四的倍数，布置示意图见图 7。



**图 7 位移传感器布置示意**

支承装置水平及竖向压缩位移传感器应不低于 GB/T 28857 中规定的 0.05 级准确度要求，其技术指标及性能应符合表 3 的规定。

**表 3 位移传感器技术指标及性能**

项目	技术指标
设计量程 ( $S_0$ ) mm	设计值
基本误差 ( $E_b$ ) %FS	0.05
直线度 ( $L$ ) %FS	0.5
重复性 ( $R$ ) %FS	0.2
存储温度 ( $T_s$ ) °C	-20~+80
工作温度范围 ( $T_w$ ) °C	0~+70
防护等级	IP65
安全量程 ( $S_s$ ) %FS	150

#### 5.1.4.3 数据采集系统性能要求

数据采集系统将实时采集传感器数据、自动存储、即时显示、即时反馈、自动处理、自动传输。传感器数据采集系统性能应符合表 4 的规定。

**表 4 支承装置用传感器数据采集系统性能**

项目	技术指标
应变示值误差 ( $E_\varepsilon$ ) $\mu\varepsilon$	$\pm (0.5\% \text{red} \pm 3 \mu\varepsilon)$
应变量程 ( $S_\varepsilon$ ) $\mu\varepsilon$	$\pm 50000$

项目	技术指标
最小分辨率 ( $RP_{min}$ ) $\mu\epsilon$	0.5
直线度 ( $L$ ) %FS	$\leq 0.1$
存储温度 ( $T_s$ ) $^{\circ}\text{C}$	-40~+60
工作温度范围 ( $T_w$ ) $^{\circ}\text{C}$	0~+40
频响范围 ( $F_R$ ) Hz	1000
AD 位数 (位)	24
自动平衡范围 ( $BR_a$ ) $\mu\epsilon$	$\pm 20000$
噪声 ( $N_p$ ) $\mu\epsilon$	$\leq 1$

## 5.2 力学相关稳定性要求

### 5.2.1 剪应变相关稳定性

在 $0.5\gamma_0$ 、 $1.0\gamma_0$ 、 $1.5\gamma_0$ 剪应变下，支承装置水平等效刚度和等效阻尼比的实测值变化率在 $\pm 15\%$ 以内。

### 5.2.2 压应力相关稳定性

在2.5, 10, 15, 20, 25MPa压应力下，支承装置水平等效刚度和等效阻尼比的实测值变化率在 $\pm 15\%$ 以内。

### 5.2.3 频率相关稳定性

在加载频率为0.01, 0.1, 0.5, 1.0Hz时，支承装置水平等效刚度和等效阻尼比的实测值变化率在 $\pm 15\%$ 以内。

### 5.2.4 重复加载次数相关稳定性

在剪切性能反复加载50次时，第1, 3, 5, 10, 20, 30, 50次循环的支承装置水平等效刚度和等效阻尼比的实测值变化率在 $\pm 15\%$ 以内。

### 5.2.5 温度相关稳定性

测定温度对剪切性能的相关影响时，支承装置水平等效刚度和等效阻尼比在试验测试温度下与基准温度下测试值的变化率应符合表5的规定。

**表 5 温度相关稳定性测试温度要求**

项 目	测试温度值 ( $\pm 2$ ) $^{\circ}\text{C}$				
	-25	-10	0	+23	+40
温度 $^{\circ}\text{C}$	-25	-10	0	+23	+40
变化率 %	-20~+80	-20~+50	-20~+35	基准值	$\pm 20$

### 5.3 极限性能要求

5.3.1 试件在设计压力作用下产生剪切位移，发生破坏、屈曲或翻滚时的剪应变应大于表1的规定。

5.3.2 对于III型、JZ型支承装置，在地震容许剪应变（ $\gamma_e$ ）下，承受设计拉力时，不应发生拉剪破坏。

5.3.3 支承装置竖向承载力应在最大设计压力  $P_{max}$  和最小设计压力  $P_{min}$  之间。

### 5.4 耐久性能要求

#### 5.4.1 老化性能

水平等效刚度和等效阻尼比允许变化率为 $\pm 30\%$ 。

#### 5.4.2 徐变性能

支承装置使用60年后徐变应变不超过10%。

#### 5.4.3 疲劳性能

水平等效刚度允许变化率为 $\pm 15\%$ ，试件外观无裂缝。

### 5.5 弹性体材料物理机械性能

5.5.1 支承装置用弹性体材料常规物理机械性能应符合表 6 的规定。

表 6 弹性体材料常规物理机械性能

性能		要求			试验方法
		G=2.5MPa	G=3.7MPa	G=4.7MPa	
硬度, HA/HD		邵氏 A: $85 \pm 5 \sim 97 \pm 2$			GB/T 6031
		邵氏 D: $42 \pm 2 \sim 61 \pm 2$			
拉伸强度, MPa		$\geq 30$	$\geq 35$	$\geq 40$	GB/T 528
拉断伸长率, %		$\geq 600$	$\geq 500$	$\geq 400$	
恒定压缩永久变形 <sup>a</sup> , % (试验条件: $70^\circ\text{C} \times 24\text{h}$ )		$\leq 20$	$\leq 25$	$\leq 30$	GB/T 7759
黏结强度	弹性体与金属黏结强度 (N/mm)	$\geq 17$	$\geq 15$	$\geq 13$	GB/T 11211
	弹性体与滑板黏结强度 (N/mm)	$\geq 10$			
耐臭氧老化 <sup>a</sup> (试验条件: 30%伸长, $40^\circ\text{C} \times 96\text{h}$ )		$1 \times 10^{-4}\%$ 无龟裂			GB/T 7762
热空气老化 <sup>a</sup>	试验条件: $^\circ\text{C}, \text{h}$	70, 168			GB/T 3512 GB/T 528
	拉伸强度变化率, %	$\pm 10$			
	拉断伸长率变化率, %	$\pm 20$			
	硬度变化, HA/HD	$\pm 4$			
拉伸永久变形, %		$\leq 10$	$\leq 12$	$\leq 13$	GB/T 528
撕裂强度, kN/m		$\geq 70$	$\geq 120$	$\geq 150$	GB/T 529

a 所示性能测试项目的频率为每半年 1 次。

5.5.3 型式检验增加的弹性体材料物理机械性能应符合表 7 的规定。

**表 7 型式检验增加的弹性体材料物理机械性能**

性 能	试验项目	要 求	试验方法
热空气老化性能 70℃×168h	100%拉应变时的定伸应力变化率 %	≤ 25	GB/T 3512 GB/T 528
剪切性能	剪切模量和等效阻尼比的温度相关性 %	≤ 20	GB/T 9870.1
脆性性能	脆性温度 ℃	G=2.5, ≤-60 G=3.7, ≤-50 G=4.7, ≤-40	GB/T 1682
低温结晶性能	硬度变化率【-40℃时】 %	≤ 20	GB/T 12832

## 5.6 钢材

5.6.1 支承装置上下座板、上下连接板、卡榫、上下封层板和加劲板采用 Q355 低合金高强度结构钢，其性能应符合 GB/T 1591 的规定。

5.6.2 不锈钢板牌号应采用 0Cr17Ni12Mo2、0Cr19Ni13Mo3 或 1Cr18Ni9T，其化学成分及力学性能应符合 GB/T 3280 的有关规定；其表面粗糙度 Ra 的值应小于 0.8 μm，表面硬度应为 HV150~HV200，表面平面度最大偏差不应大于 0.0003d。

5.6.3 上下预埋板采用碳素结构钢，其性能应符合 GB/T 700 的规定。

5.6.4 套筒、锚杆采用优质碳素结构钢，其性能应符合 GB/T 699 的规定。

5.6.5 螺栓采用合金结构钢，其性能应符合 GB/T 3077 的规定。

## 5.7 滑板

5.7.1 滑板应采用聚四氟乙烯滑板或改性聚四氟乙烯滑板，其性能应符合 JT/T 901 的规定。

5.7.2 滑板直径小于等于 500mm 的，其厚度不应低于 2mm；滑板直径大于 500mm 的，其厚度不应低于 3mm。

## 5.8 硅脂

5.8.1 应采用 5201-2 硅脂。材料性能应符合 HG/T 2502 中一等品的规定。

5.8.2 经检验，应保证在支座使用范围内部干涸，不应有害滑移面材料，并应具有良好的抗臭氧、防腐蚀和防水性能，且不应含有机机械杂质。

## 5.9 粘接剂

粘接剂应不可溶并具有热固性，其质量应稳定；弹性体与金属、弹性体与滑板的粘接强度应符合表 6 的规定。

## 5.10 外观质量要求

支承装置表面应光滑平整，外观质量应符合表 8 的规定。

表 8 外观要求

缺陷名称	质量指标
缺料	缺料面积不超过150mm <sup>2</sup> ，不应多于2处 内部嵌件不允许外露
凹凸不平	凹凸不超过1mm，面积不超过50mm <sup>2</sup> ，不应多于3处
气泡、杂质	不允许
裂纹（侧面）	不允许
钢板外露（侧面）	不允许
掉块、崩裂、机械损伤	不允许
钢板与弹性体粘结处开裂或剥离	不允许
支承装置表面平整度	不大于支承装置平面直径的0.4%

### 5.11 解剖性能要求

支承装置解剖后应符合表9的规定。

表 9 解剖性能要求

项目名称	解剖检验指标
锯开后弹性体厚度	弹性体厚度应均匀，单层弹性体厚度 $t_r$ 偏差应符合： $t_r \leq 10\text{mm}$ 时，偏差为 $\pm 0.4\text{mm}$ ； $10\text{mm} < t_r \leq 20\text{mm}$ 时，偏差为 $\pm 0.7\text{mm}$ ； $t_r > 20\text{mm}$ 时，偏差为 $\pm 1.0\text{mm}$
钢板与弹性体粘结	钢板与弹性体粘结应牢固，且无离层现象
剥离弹性体层（应按HG/T 2198规定制成试样）	剥离弹性体层后，测定的弹性体性能与表3的规定相比，拉伸强度的下降率不应大于15%，扯断伸长率的下降率不应大于20%

### 5.12 尺寸公差及组装要求

支承装置平面尺寸允许偏差、装置本体高度、总装高度允许偏差、装置平整度偏差、装置水平偏移允许偏差、连接板平面尺寸允许偏差、连接板厚度允许偏差、连接螺栓孔位置允许偏差应符合GB 20688.2的规定。未注尺寸公差应按GB/T 1804中c级的规定进行。各部件检验合格后方可进行装配。

### 5.13 支承装置防腐涂装

**5.13.1** 支承装置钢件外露表面（弹性体、不锈钢板及滑板表面除外）应进行表面防腐蚀处理。

**5.13.2** 待涂装表面应进行表面预处理，清除附在表面的杂质，用稀释剂或清洗剂除去油污和脏物。

**5.13.3** 用喷射或抛射除锈法将涂装表面的氧化皮、铁锈及其它杂质清除干净后，用真空吸尘器将钢材表面清除一次。经喷射或抛射处理后表面应符合GB/T 8923中Sa2.5级的规定。

**5.13.4** 装置使用在JT/T 722中的C1~C3腐蚀环境，支座外露钢件表面采用JT/T 722中配套编号为S05的涂装配套体系；若使用在C4~C5-M的腐蚀环境，则采用配套编号为S07、S09或S11的涂装配套体系。所有涂装配套体系的面漆均采用橘黄色。

**5.13.5** 涂装表面处理、涂装要求及涂层质量应符合 JT/T 722 的规定。

**5.13.6** 支承装置用锚固螺栓采用多元合金共渗或锌铬镀层等方法进行防护处理，应符合 GB/T 18684 的规定；套筒和锚杆宜采用镀锌进行防护处理，应符合 JB/T 8928 的规定。

## **6 试验方法**

### **6.1 试验样品**

支承装置及弹性体材料试验用样品及缩尺模型应符合 GB/T 20688.1 和 GB 20688.2 的规定，其中型式检验用支承装置规格宜采用 D220、D445 和 D620。

### **6.2 试验条件及设备要求**

**6.2.1** 除 6.7.5 外，试验温度为  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

**6.2.2** 除 6.7.3 外，受试验条件限制时，测试的频率不应低于 0.01Hz。

**6.2.3** 剪切试验宜采用单剪试验，摩擦力对剪力的修正按 GB/T 20688.1-2007 附录 E 的规定进行，摩擦力应小于剪力的 3%。

### **6.3 材料**

#### **6.3.1 弹性体**

支承装置弹性体材料试验方法应按表6和表7的规定进行。

#### **6.3.2 滑板**

支承装置用聚四氟乙烯滑板和改性聚四氟乙烯滑板的相对密度、拉伸强度、断裂伸长率和摩擦系数测定应按 JT/T 901 的规定进行。

#### **6.3.3 硅脂**

支承装置用硅脂材料试验方法应按 HG/T 2502 的规定进行。

#### **6.3.4 粘结剂**

弹性体与钢板或滑板粘接的剥离强度的测定应按 GB/T 11211 的规定进行。

#### **6.3.5 力传感器**

支承装置用力传感器性能试验方法按 GB/T 33010 的规定进行。

#### **6.3.6 位移传感器**

支承装置用位移传感器性能试验方法按 GB/T 28857 的规定进行。

### **6.4 外观质量**

支承装置外观质量检查，用目测或量具方法应按表8的规定进行。

## 6.5 外形尺寸

6.5.1 支承装置外形尺寸应用钢直尺测量，高度应用游标卡尺或量规测量。

6.5.2 对支承装置的直径、高度应至少测量四次，测点应垂直交叉并测量圆心处高度。

6.5.3 外形尺寸和高度取实测平均值。

## 6.6 成品支承装置力学性能试验

### 6.6.1 竖向压缩刚度试验

成品支承装置竖向压缩刚度应按GB/T 20688.1-2007中6.3.1的试验方法在下列条件下进行：

——加载方法：应按GB/T 20688.1-2007中6.3.1.3的方法1进行；

——加载应力：从2.5MPa加载到设计压应力。

### 6.6.2 压缩变形试验

成品支承装置压缩变形应按GB/T 20688.1-2007中6.3.1的试验方法在下列条件下进行：

——加载方法：应按GB/T 20688.1-2007中6.3.1.3的方法1进行；

——加载应力：从2.5MPa加载到设计压应力。

压缩变形量应取第三个循环从2.5MPa加载到设计压应力的竖向变形值。

### 6.6.3 水平等效刚度和等效阻尼比试验

成品支承装置水平等效刚度和等效阻尼比应按GB/T 20688.1-2007中6.3.2的试验方法在下列条件下进行：

——加载方法：应按GB/T 20688.1-2007中6.3.2.2的方法做3次或11次循环进行；

——加载应力：竖向加载应力为17.5MPa；

——反复加载剪应变（ $\gamma_s$ ）：按表1规定对支承装置水平性能分别进行；

——加载频率：循环剪切位移测试频率采用0.05Hz。

水平等效刚度和等效阻尼比应取第3次循环的测试值，或取第2~11次循环的测试平均值应按GB/T 20688.1-2007中6.3.2.3的规定计算。

### 6.6.4 大变形剪切试验

竖向施加17.5MPa压应力后，按表1装置容许剪应变循环加载水平位移，加载到末端停留时间不应低于2min，循环剪切位移测试频率采用0.5Hz，循环次数不应低于11次，装置外观应无异常或损伤。

### 6.6.5 拉伸性能试验

成品支承装置的拉伸性能应按GB/T 20688.1-2007中6.6的试验方法，在表1规定的设计拉应力和容许剪应变下进行，试验后装置外观应无异常或损伤。

### 6.6.6 成品支承装置传感器性能试验

#### 6.6.6.1 成品支承装置压力传感器性能试验

成品支承装置力传感器性能试验应按附录A的规定进行。

#### 6.6.6.2 成品支承装置位移传感器性能试验

成品支承装置位移传感器性能试验应按附录B的规定进行。

### 6.7 力学相关稳定性试验

#### 6.7.1 剪应变相关稳定性

竖向施加17.5MPa压应力后,按表1支承装置设计剪应变( $\gamma_0$ )的0.5, 1.0, 1.5倍递增施加水平位移,循环剪切位移测试频率采用0.5Hz,应按GB/T 20688.1-2007中6.4.1的试验方法进行。

#### 6.7.2 压应变相关稳定性

按表1对应的支承装置水平性能分别加载后,竖向按2.5, 10, 15, 20, 25MPa施加压应力,循环剪切位移测试频率采用0.5Hz,应按GB/T 20688.1-2007中6.4.2的试验方法进行,循环加载次数为三次,取第三次测试值计算。每种应力测试间隔时间至少8h。

#### 6.7.3 频率相关稳定性

竖向施加17.5MPa压应力,按表1对应的支承装置水平性能分别加载后,循环剪切位移加载频率采用0.01, 0.1, 0.5, 1.0Hz,应按GB/T 20688.1-2007中6.4.3的试验方法进行,循环加载次数三次,取第三次测试值计算。每种频率测试间隔时间至少8h。

#### 6.7.4 重复加载次数相关稳定性

竖向施加17.5MPa压应力,按表1对应的支承装置水平性能分别施加水平位移,循环剪切位移测试频率采用0.5Hz,应按GB/T 20688.1-2007中6.4.4的试验方法进行循环加载。基准值宜取第3次循环的测试值,或取第2~11次循环的测试平均值。试件在反复50次加载后应冷却至室温,冷却时间至少8h。

#### 6.7.5 温度相关稳定性

在5.2.5规定的温度条件下,竖向施加17.5MPa压应力,按100%与表1对应的支承装置水平性能加载后,循环剪切位移测试频率采用0.5Hz,应按GB/T 20688.1-2007中6.4.5的试验方法进行,循环加载次数为三次,取第三次测试值计算。

### 6.8 极限性能试验

竖向施加17.5MPa压应力,循环剪切位移测试频率采用0.5Hz,应按GB/T 20688.1-2007中6.5的试验方法进行。

### 6.9 耐久性能试验

#### 6.9.1 老化性能

老化性能试验按GB/T 20688.1-2007中6.7.1的规定进行。

#### 6.9.2 徐变性能

徐变性能试验按GB/T 20688.1-2007中6.7.2的规定进行。

### 6.9.3 疲劳性能

疲劳性能试验按GB/T 20688.1-2007中6.7.3的规定进行。

### 6.10 摩擦系数试验

成品支承装置的摩擦系数试验应按JT/T 4-2019中附录A.4.5的规定进行。

### 6.11 解剖性能试验

支承装置解剖检验随机应抽取一个弹性体层数大于三层的支承装置，将其沿垂直方向锯开，按表6的规定进行。

## 7 检验规则

### 7.1 检验分类

支承装置检验分原材料及部件进厂检验、产品出厂检验和型式检验三类。

#### 7.1.1 原材料及部件进厂检验

支承装置原材料及部件进厂检验，为支承装置加工原料及外协加工件进厂时进行的验收检验。

#### 7.1.2 产品出厂检验

支承装置在出厂时应经检测部门质量控制试验，检验合格后，附合格证书，方可出厂使用。

#### 7.1.3 型式检验

有下列情况之一时，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) 正式生产后，如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 正常生产时，每三年进行一次检验；
- d) 产品停产两年后，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- f) 国家质量监督机构或用户提出进行型式检验要求时。

### 7.2 检验项目及检验周期

#### 7.2.1 原材料及部件进厂检验

支承装置用原材料及部件进厂后检验项目及检验周期应符合表10的规定。对原材料及外协部件除有供应商的质保单外，支承装置生产厂应提供复检报告。

**表 10 支承装置用原材料及部件进厂检验项目及检验周期**

检验项目	技术要求	检验频次
弹性体物理机械性能	5.5	每批（不大于 500kg）

检验项目	技术要求	检验频次
钢材机械性能	5.6	每批
滑板物理机械性能	5.7	每批原料（不大于 100kg）一次
硅脂物理机械性能	5.8	每批（≤200kg）一次
粘结剂黏合性能	5.9	每批（≤50kg）一次
传感器性能	5.1.4	每批（≤100 个）一次

### 7.2.2 出厂检验

支承装置出厂检验项目及检验周期应符合表11的规定。

**表 11 支承装置出厂检验项目及检验周期**

检验项目	检验内容	技术要求	检验频次
支承装置部件	各部件尺寸	装置设计图	每个
	支承装置外观质量	5.11	每个
	支承装置组装高度偏差	5.12	每个
	支承装置表面防腐涂装	5.13	每个
成品支承装置	压缩性能	5.1, 6.6.1	装置总数的 20%, 7.3
	转动性能	5.1, 6.6.2	
	剪切性能	5.1, 6.6.3	
	大变形剪切性能	5.1, 6.6.4	每个工程项目 至少一次
	拉伸性能	5.1, 6.6.5	
	传感器性能	5.1, 6.6.6	
	摩擦性能	5.1, 6.10	装置总数的 0.5%
解剖性能	5.11, 6.11		

### 7.2.3 型式检验

支承装置型式检验项目及检验周期应符合表12的规定。

**表 12 装置型式检验项目及检验周期**

检验项目	检验内容	技术要求	检验频次
支承装置及材料	支承装置原材料及部件性能	7.2.1	按 7.1.3 进行
	支承装置出厂检验项目	7.2.2	
	弹性体材料检验项目	5.5.3	
	传感器检验项目	5.1.4	

检验项目	检验内容	技术要求	检验频次
成品支承装置	力学相关稳定性	5.2, 6.7	按 7.1.3 进行
	极限性能	5.3, 6.8	
	耐久性能	5.4, 6.9	
	传感器性能	5.1.4	

### 7.3 抽样

支承装置出厂检验抽样应符合以下要求：

- a) 产品抽样数量应不少于总数的 20%，总数量不小于三件，每种规格的产品抽样数量不少于两件；若有不合格试样，则应按总数的 50%检测，若仍有不合格试样，则应 100%检测；
- b) 可根据用户需求确定产品的抽样数量，但不应低于上述规定的最少抽样比例。

### 7.4 判定规则

**7.4.1** 在进厂检验中发现不合格原料或部件不应使用；在整体支承装置组装过程中发现不合格部件应进行更换，直至全部检验项目均合格。

**7.4.2** 出厂检验成品支承装置性能可采用随机抽样的方式确定检测试样。若有一件抽样试样的一项性能不合格，则该次抽样检验不合格。不合格品不应出厂。

**7.4.3** 支承装置外观质量检查，若有两项及以上不允许项目则直接报废，不应使用。其余不合格产品可进行一次修补，修补后仍不合格应报废处理，不应使用。

## 8 标志、包装、运输和储存

支承装置的标志、包装、运输和储存应符合 JT/T 842-2012 中第 8 条的规定。

## 附录 A (规范性附录)

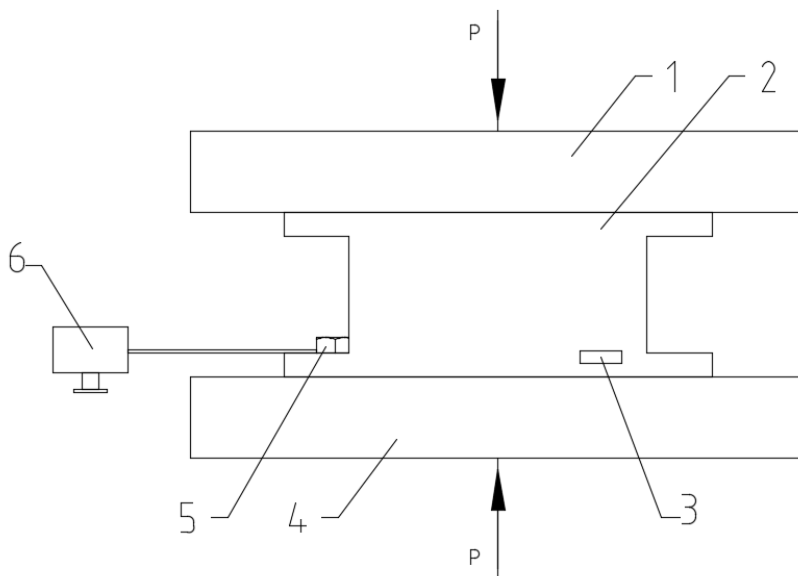
### 成品支承装置力传感器性能试验

#### A.1 试样

检测前应将可感知聚氨酯弹性体支承装置试样在  $23^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  环境温度下静置 24 小时以上。

#### A.2 检测装置

检测应在叠加式力标准机或计算机控制的材料力学性能试验机上进行，试验机的试验力不应小于待检试样设计承载力的 2 倍。检测装置应按图 A.1 所示进行布置。



说明：

- 1—试验机上承载板
- 2—受检支承装置
- 3—力传感器
- 4—试验机下承载板
- 5—数据采集器
- 6—计算机

**图 A.1 成品支承装置力传感器性能试验示意图**

#### A.3 压力试验应按照以下流程进行：

- a) 检查力传感器与支承装置是否良好接触，检查计算机读数是否正常。
- b) 正式加载前，应对支承装置进行预压，预压载荷为支承装置的设计承载力，载荷按  $0-P_0-0$  往复加载三次。
- c) 正式加载时，试验荷载由初始荷载  $0.15P_0$  至  $1.3P_0$  分为 10 级，每级荷载稳压 2 分钟后读取输出值。达到最大荷载并读完输出值后卸载至初始荷载，完成一个加载循环。以上加载循环连续进行 3 次。

d) 按GB/T 33010的规定计算支承装置的直线度和重复性。

**A.4** 输出灵敏度、长期稳定性和安全过载力应按 GB/T 33010 的规定进行。

#### **A.5 检测报告**

检测报告应包括以下内容：

- a) 检测概况：试样型号、检测设备型号和环境温度等；
- b) 检测过程描述，如有异常情况，应详细描述其发生过程；
- c) 加载和输出记录，直线度、重复性、输出灵敏度、长期稳定性和安全过载力的检测结果；
- d) 检测结构评定。

## 附录 B (规范性附录)

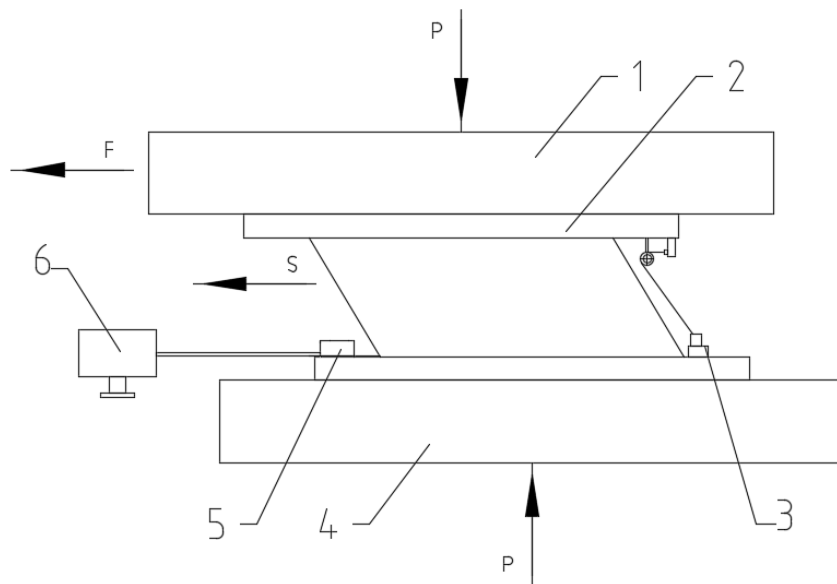
### 成品支承装置位移传感器性能试验

#### B.1 试样

检测前应将可感知聚氨酯弹性体支承装置试样在  $23^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  环境温度下静置 24 小时以上。

#### B.2 检测装置

检测应在计算机控制压剪试验机或系统上进行，试验机的试验力不应小于待检试样设计水平力和水平位移的 2 倍。检测装置应按图 B.1 所示进行布置。



说明：

- 1—试验机上承载板
- 2—受检支座
- 3—位移传感器
- 4—试验机下承载板
- 5—数据采集器
- 6—计算机

**图 B.1 成品支承装置位移传感器性能试验示意图**

#### B.3 剪切位移试验应按照以下流程进行：

- a) 检查位移传感器是否对中，拉线是否卡顿，检查计算机读数是否正常。
- b) 正式加载前，应对支承装置进行预压，预压载荷为支承装置的设计承载力，载荷按  $0-P_0-0$  往复加载三次；位移传感器将读取数值，其值为负值，为支承装置竖向压缩量。

- c) 水平位移正式加载：应按GB/T 20688.1-2007中6.3.2.2的方法做11次循环进行（竖向加载应力：竖向加载应力为17.5MPa；水平位移加载频率：循环剪切位移测试频率采用0.05Hz）。通过位移传感器读取其水平剪切变形量，其值为正值，应取第2~11次循环的测试平均值。
- d) 按GB/T 28857的规定计算支承装置的直线度和重复性。
- e) 根据位移传感器的不同几何位置和传感器的读取数值，计算支承装置实际剪切方向的位移值。

**B.4** 量程、基本误差和安全量程应按 GB/T 28857 的规定进行。

### **B.5 检测报告**

检测报告应包括以下内容：

- a) 检测概况：试样型号、检测设备型号和环境温度等；
- b) 检测过程描述，如有异常情况，应详细描述其发生过程；
- c) 加载和输出记录，直线度、重复性、量程、基本误差和安全量程的检测结果；
- d) 检测结构评定。

**附 录 C**  
**(资料性附录)**

**可感知聚氨酯弹性体支承装置规格系列**

**C.1 支承装置要求**

**C.1.1** 可感知聚氨酯弹性体支承装置规格系列及相关参数见表C.1~C.5，表中参数代号（符号）定义见3.2的规定。

**C.1.2** 以下支承装置参数系列表中，PPED（I）型、（II）型支承装置水平力学性能参数 $K_1$ ， $K_2$ ， $K_h$ ， $\xi$ 是在反复加载时的剪应变 $\gamma_s=70\%$ 时测定（或设计计算）的；PPED（III）型、（JZ）型支承装置水平力学性能参数 $K_1$ ， $K_2$ ， $K_h$ ， $\xi$ 是在反复加载时的剪应变 $\gamma_s=100\%$ 时测定（或设计计算）的。

**C.1.3** 本附录表中设计剪切位移 $X_0$ 值与支承装置弹性体总厚度 $T_r$ 值相关，即 $X_0=0.7 \times T_r$ ，表中未列出 $T_r$ 值。

**C.2 支承装置规格系列**

**C.2.1 PPED（I）型规格系列**

PPED（I）型支座结构示意图见图A.1，设计剪应变为70%，弹性体与钢板设计滑动摩擦系数 $\mu=0.2$ ，其它设计参数见表A.1。

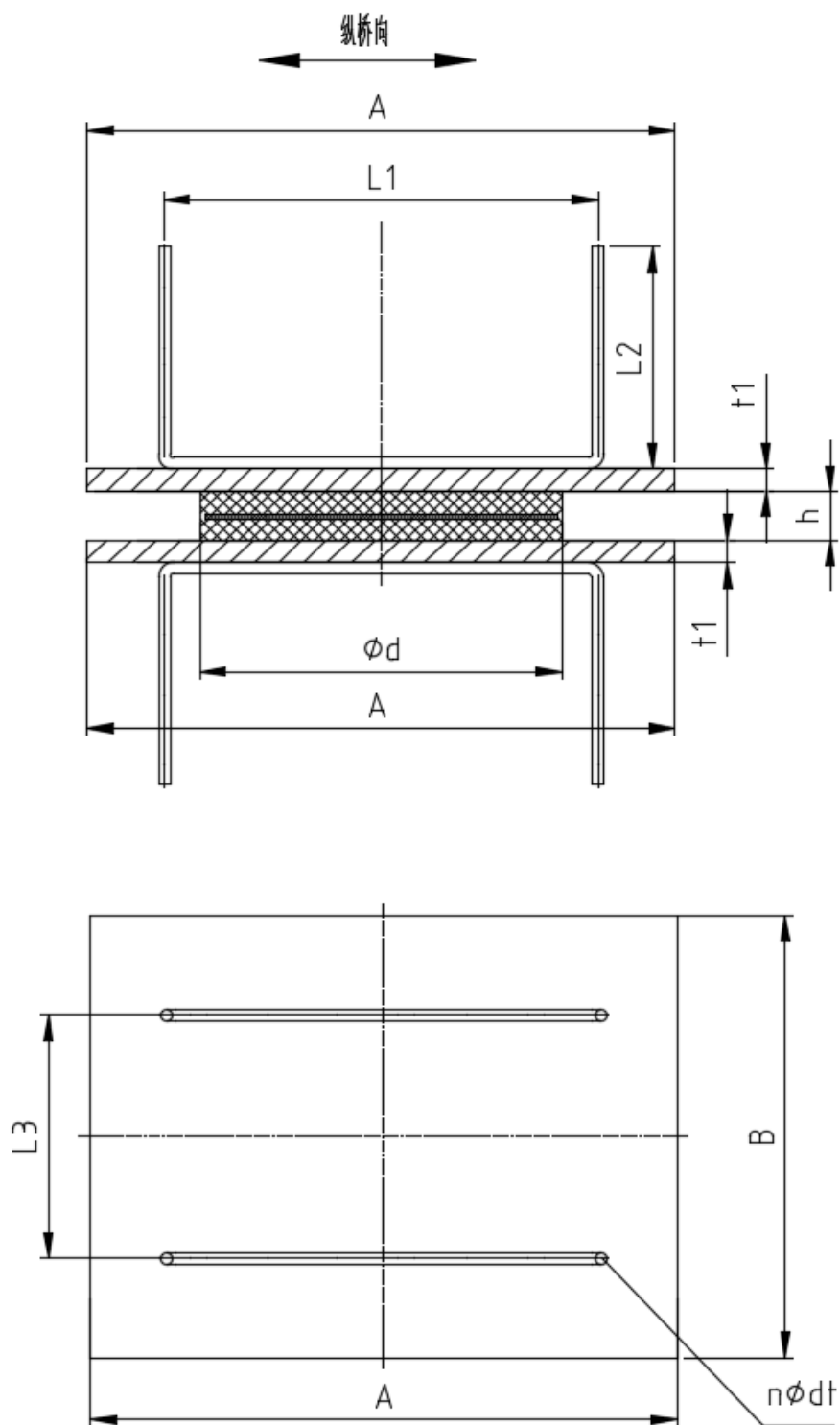


图 C.1 PPED (I) 型支承装置结构示意图

表 C.1 PPEd ( I ) 型可感知聚氨酯弹性体支承装置规格系列参数

序号	d (mm)	P <sub>0</sub> (kN)	K <sub>h</sub> (kN/mm)	K <sub>v</sub> (kN/mm)	ξ (%)	θ (rad)	X <sub>0</sub> (mm)	A (mm)	B (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	h (mm)	L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	dt (mm)	n (根)
1	170	232	3.46	547	20	0.005	17	245	245	20	38	220	500	100	20	2
2	220	445	4.92	839	20	0.005	21	295	295	20	46	250	500	130	20	2
3	270	727	5.77	1027	20	0.005	28	345	345	20	58	300	500	160	25	2
4	320	1078	6.92	1269	20	0.005	34	395	395	20	67	350	630	210	25	2
5	370	1497	8.07	1511	20	0.005	39	445	445	20	77	400	630	260	25	2
6	420	1985	9.23	1753	20	0.005	45	495	495	20	86	450	630	310	25	2
7	470	2541	9.34	1795	20	0.005	56	545	545	25	106	500	630	360	25	2
8	520	3167	11.54	2237	20	0.005	56	595	595	25	106	550	630	410	25	3
9	550	3861	13.96	2727	20	0.004	56	645	645	25	106	600	700	460	28	3
10	620	4624	16.61	3266	20	0.004	56	695	695	25	106	650	700	510	28	3
11	670	5455	14.18	2803	20	0.005	77	745	745	25	142	700	700	560	28	3
12	720	6355	14.95	2968	20	0.005	85	795	795	25	155	750	700	610	28	4
13	770	7324	17.16	3421	20	0.005	85	845	845	25	155	800	700	660	28	4
14	820	8362	19.52	3906	20	0.004	85	895	895	25	155	850	700	710	28	4

## C.2 PPED (II) 型支承装置规格系列

PPED (II) 型支承装置结构示意图C.2, 设计剪应变为70%, 弹性体与钢板设计滑动摩擦系数  $\mu = 0.2$ , 其它设计参数见表C.2。

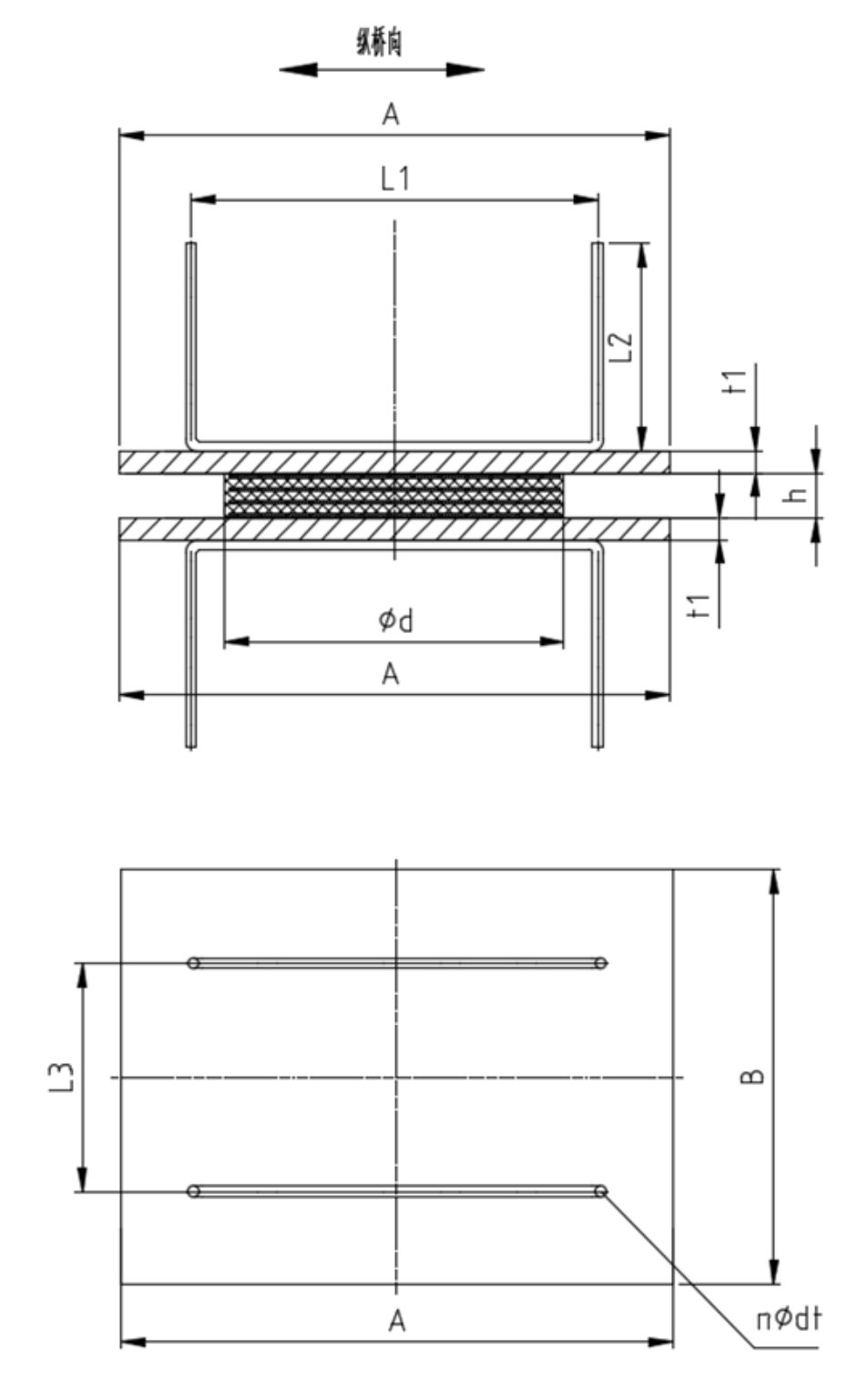


图 C.2 PPED (II) 型支承装置结构示意

表 C.2 PPED (II) 型圆形可感知聚氨酯弹性体支承装置规格系列参数

序号	d (mm)	P <sub>0</sub> (kN)	K <sub>h</sub> (kN/mm)	K <sub>v</sub> (kN/mm)	ξ (%)	θ (rad)	X <sub>0</sub> (mm)	A (mm)	B (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	t (mm)	L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	dt (mm)	n (根)
1	170	265	2.72	304	15	0.010	17	245	245	20	44	220	500	100	20	2
2	220	509	3.87	467	15	0.009	21	295	295	20	54	250	500	130	20	2
			2.42	292		0.015	34				84					
3	270	831	4.54	571	15	0.010	28	345	345	20	68	300	500	160	25	2
			3.24	408		0.014	39				94					
4	320	1232	5.45	706	15	0.010	34	395	395	20	81	350	630	210	25	2
			3.63	470		0.014	50				120					
5	370	1711	7.42	980	15	0.008	34	445	445	20	81	400	630	260	25	2
			4.05	535		0.015	62				146					
6	420	2268	8.30	1114	15	0.008	39	495	495	20	94	450	630	310	25	2
			4.47	600		0.015	73				172					
7	470	2904	9.19	1248	15	0.008	45	545	545	25	107	500	630	360	25	2
			5.25	713		0.015	78				185					
8	520	3619	10.09	1382	15	0.008	50	595	595	25	120	550	630	410	25	3
			6.05	829		0.014	84				198					
9	570	4412	10.99	1517	15	0.008	56	645	645	25	133	600	700	460	28	3
			6.87	948		0.014	90				211					
10	620	5284	11.89	1651	15	0.009	62	695	695	25	146	650	700	510	28	3
			7.69	1068		0.013	95				224					
11	670	6235	12.40	1732	15	0.009	69	745	745	25	163	700	700	560	28	3
			6.20	866		0.018	139				325					
12	720	7263	14.38	2018	15	0.008	69	795	795	25	163	750	700	610	28	4
			6.81	956		0.017	146				343					
13	770	8371	14.86	2093	15	0.008	77	845	845	25	181	800	700	660	28	4
			7.43	1046		0.017	154				361					
14	820	9557	15.37	2172	15	0.009	85	895	895	25	199	850	700	710	28	4
			8.05	1138		0.017	162				379					

### C.3 矩形支座规格系列

#### C.3 PPED (H) 型规格系列

PPED (H) 型支承装置结构示意见图C.3, 设计滑动位移量为 $\pm 50\text{mm}$ 、 $\pm 100\text{mm}$ 、 $\pm 150\text{mm}$ , 其它设计参数见表C.3。

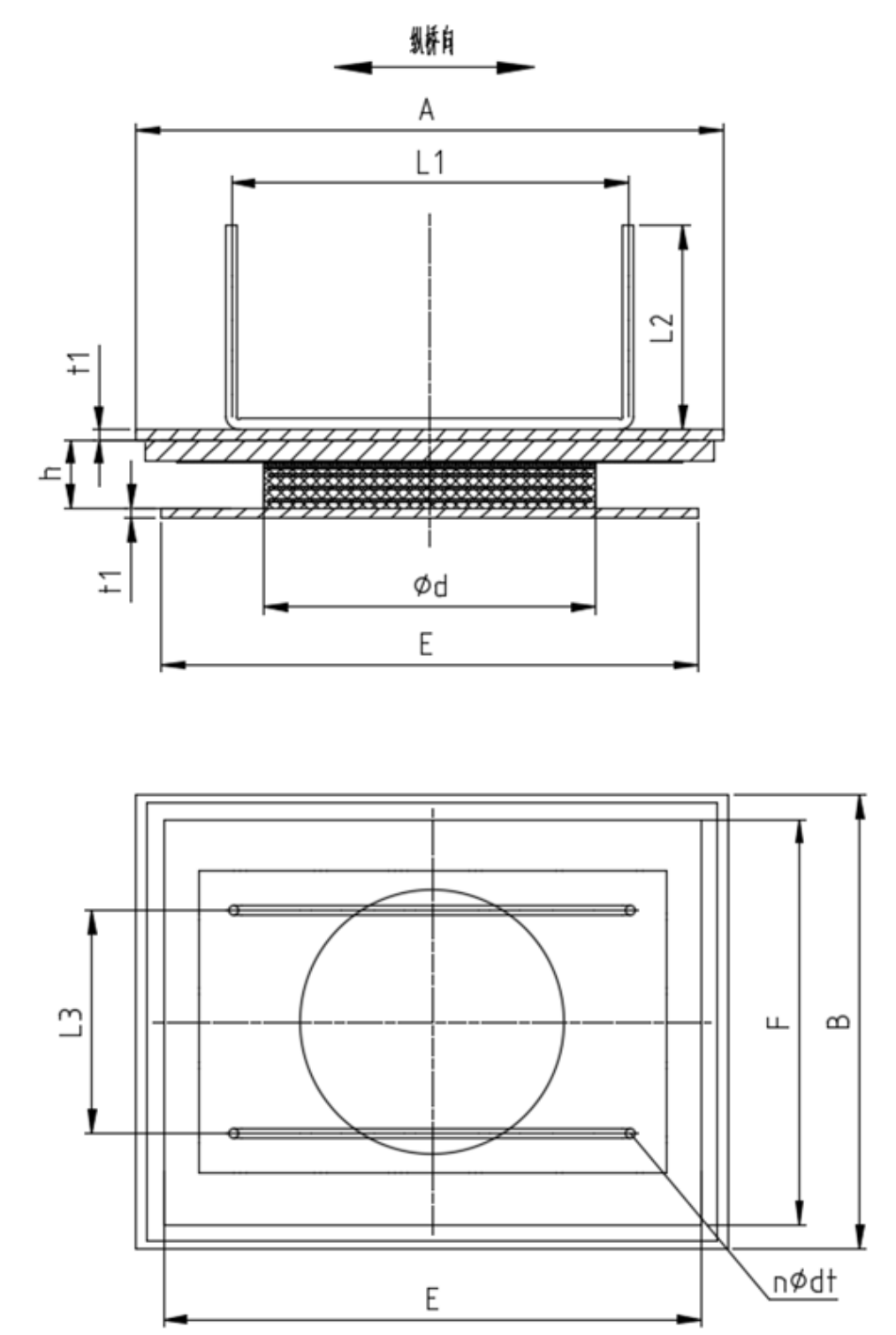


图 C.3 PPED (H) 型支承装置结构示意

表 C.3 PPEd (H) 型可感知聚氨酯弹性体支承装置规格系列参数

序号	d (mm)	P <sub>0</sub> (kN)	Kv (kN/mm)	θ (rad)	A (mm)	B (mm)	E (mm)	F (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	h (mm)	L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	dt (mm)	n (根)
1	170	265	304	0.010	420	280	245	245	20	57	220	500	100	20	2
2	220	509	467	0.009	445	305	295	295	20	66	250	500	130	20	2
3	270	831	476	0.012	495	355	345	345	20	92	300	500	160	25	2
4	320	1232	706	0.010	545	405	395	395	20	97	350	630	210	25	2
5	370	1711	840	0.010	595	455	445	445	20	109	400	630	260	25	2
6	420	2268	975	0.009	645	505	495	495	20	121	450	630	310	25	2
7	470	2904	1109	0.009	695	555	545	545	25	133	500	630	360	25	2
8	520	3619	1244	0.009	745	605	595	595	25	152	550	630	410	25	3
9	550	4412	1379	0.009	795	655	645	645	25	164	600	700	460	28	3
10	620	5284	1514	0.009	845	705	695	695	25	176	650	700	510	28	3
11	670	6235	1417	0.011	895	755	745	745	25	217	700	700	560	28	3
12	720	7263	1651	0.010	945	805	795	795	25	217	750	700	610	28	4
13	770	8371	1744	0.010	1000	863	845	845	25	239	800	700	660	28	4
14	820	9557	1991	0.010	1050	910	895	895	25	239	850	700	710	28	4

注：表中 A 尺寸为滑动位移量为±100mm 时尺寸；当滑动位移量为±50mm 时，A-100mm；当滑动位移量为±150mm 时，A+100mm；其余依此类推。

#### C.4 PPED (III) 型规格系列

PPED (III) 型支承装置结构示意图C.4, 设计剪应变为70%, 容许剪应变为150%, 极限剪应变为200%, 其它设计参数见表C.4。

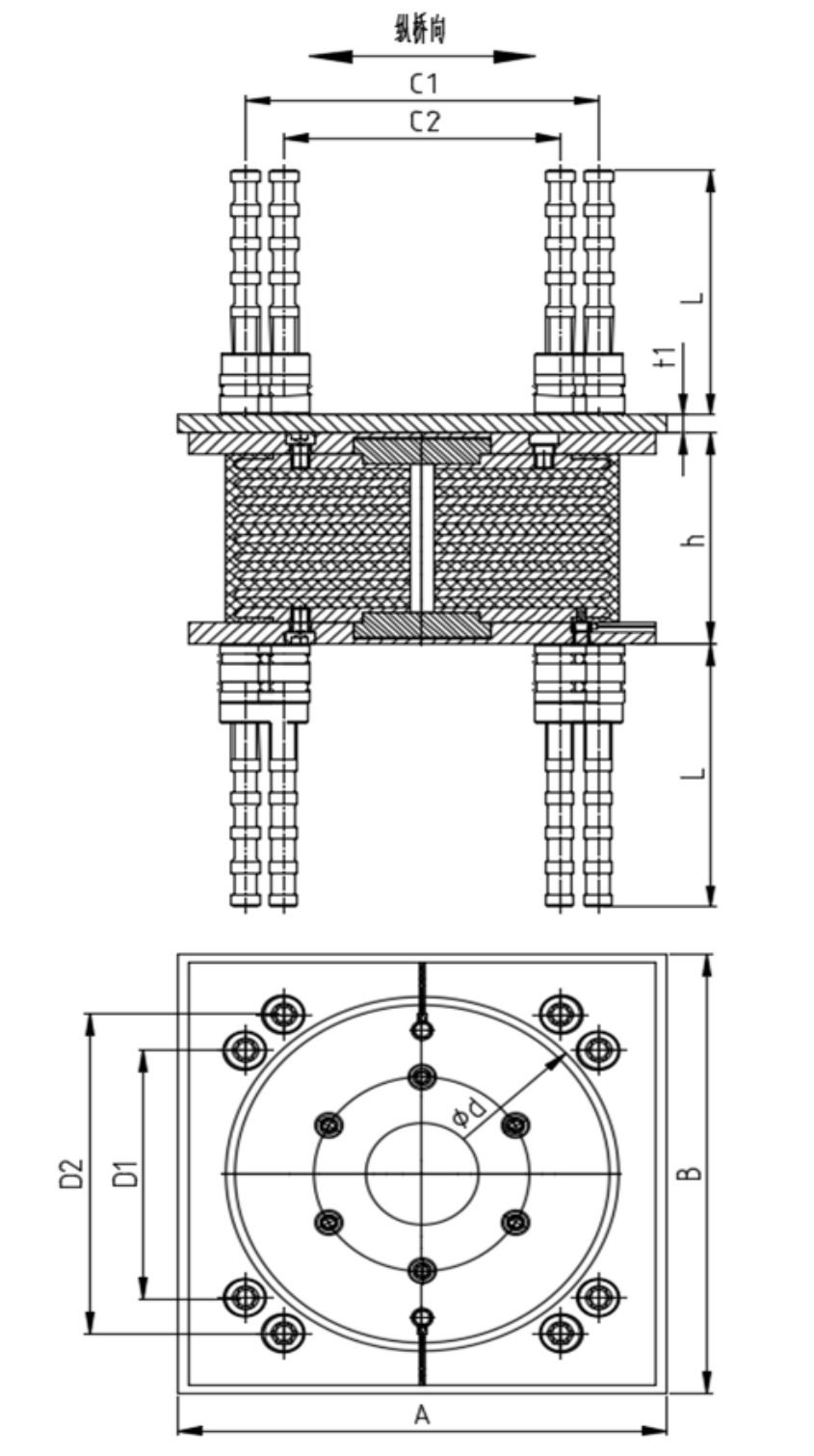


图 C.4 PPED (III) 型支承装置结构示意图

表 C.4 PPEd (III) 型可感知聚氨酯弹性体支承装置规格系列参数

序号	d (mm)	P <sub>0</sub> (kN)	G (MPa)	h (mm)	X <sub>0</sub> (mm)	X <sub>1</sub> (mm)	X <sub>2</sub> (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	A/B (mm)	C1/D1 (mm)	C2/D2 (mm)	L (mm)	θ (rad)	Q <sub>y</sub> (kN)	K <sub>1</sub> (kN/mm)	K <sub>2</sub> (kN/mm)	K <sub>h</sub> (kN/mm)	K <sub>v</sub> (kN/mm)	ξ (%)
1	170	442	2.5	68	12	24	32	20	260	190	190	105	0.009	19	8.31	2.77	3.55	528	12
			3.7	86	17	36	48						0.011	28	12.36	2.59	3.5	405	15
2	195	601	2.5	84	17	36	48	20	280	210	210	105	0.011	25	7.28	2.43	3.11	479	12
			3.7	100	23	48	64						0.013	36	12.18	2.55	3.45	413	15
3	220	785	2.5	106	23	48	64	20	290	220	220	105	0.013	31	6.96	2.32	2.97	469	12
			3.7	124	28	60	80						0.014	46	12.43	2.61	3.52	432	15
4	245	994	2.5	122	28	60	80	20	310	240	240	105	0.014	39	6.91	2.30	2.95	475	12
			3.7	142	34	72	96						0.015	57	12.82	2.69	3.63	456	15
5	270	1227	2.5	146	34	72	96	20	360	270	270	130	0.015	47	6.98	2.33	2.98	489	12
			3.7	184	45	96	128						0.018	70	11.69	2.45	3.31	422	15
6	295	1485	2.5	140	34	72	96	20	380	290	290	130	0.014	56	8.34	2.78	3.56	591	12
			3.7	188	51	108	144						0.018	83	12.39	2.60	3.51	454	15
7	320	1767	2.5	152	34	72	96	20	390	300	300	130	0.013	66	9.81	3.27	4.19	704	12
			3.7	222	56	120	160						0.019	98	13.13	2.75	3.72	486	15
8	345	2074	2.5	152	34	72	96	20	410	320	320	130	0.012	77	11.41	3.80	4.87	826	12
			3.7	254	68	144	192						0.021	114	12.71	2.66	3.6	475	15
9	370	2405	2.5	154	34	72	96	20	460	360	360	155	0.011	88	13.12	4.37	5.6	958	12
			3.7	272	73	156	208						0.021	131	13.52	2.83	3.83	509	15
10	395	2761	2.5	148	34	72	96	20	470	370	370	155	0.010	101	14.94	4.98	6.38	1100	12
			3.7	280	84	180	240						0.022	149	13.35	2.80	3.78	506	15
11	420	3142	2.5	198	47	99	132	20	510	400	400	170	0.013	114	12.30	4.10	5.25	910	12
			3.7	288	77	165	220						0.019	168	16.45	3.45	4.66	628	15
12	445	3547	2.5	209	54	116	154	20	510	410	410	150	0.015	128	11.83	3.94	5.05	881	12
			3.7	309	85	182	242						0.020	189	16.81	3.52	4.76	645	15
13	470	3976	2.5	221	54	116	154	20	570	450	450	190	0.014	143	13.19	4.40	5.63	987	12
			3.7	334	93	198	264						0.021	211	17.16	3.60	4.86	663	15
14	495	4430	2.5	225	54	116	154	20	570	460	460	165	0.013	158	14.64	4.88	6.25	1100	12
			3.7	338	93	198	264						0.019	234	19.03	3.99	5.39	738	15

序号	d (mm)	P <sub>0</sub> (kN)	G (MPa)	h (mm)	X0 (mm)	X1 (mm)	X2 (mm)	t1 (mm)	A/B (mm)	C1/D1 (mm)	C2/D2 (mm)	L (mm)	θ (rad)	Q <sub>y</sub> (kN)	K1 (kN/mm)	K2 (kN/mm)	Kh (kN/mm)	Kv (kN/mm)	ξ (%)
15	520	4909	2.5	237	54	116	154	20	720	460	600	210	0.012	175	16.16	5.39	6.9	1219	12
			3.7	329	85	182	242						0.017	258	22.91	4.80	6.49	893	15
16	570	5940	2.5	246	59	126	168	20	750	490	630	210	0.012	210	17.78	5.93	7.59	1352	12
			3.7	364	101	216	288						0.018	311	23.16	4.86	6.56	907	15
17	620	7069	2.5	261	64	137	182	20	790	530	670	210	0.012	248	19.42	6.47	8.29	1485	12
			3.7	367	101	215	286						0.017	367	27.57	5.78	7.81	1087	15
18	670	8296	2.5	268	69	147	196	25	825	560	700	210	0.012	290	21.06	7.02	8.99	1619	12
			3.7	374	108	231	308						0.017	429	29.91	6.27	8.47	1185	15
19	720	9621	2.5	318	84	180	240	25	895	610	760	225	0.014	335	19.86	6.62	8.48	1533	12
			3.7	411	116	248	330						0.016	495	32.24	6.76	9.13	1283	15
20	770	11045	2.5	345	90	192	256	25	965	650	820	245	0.014	383	21.29	7.10	9.09	1650	12
			3.7	473	135	288	384						0.018	566	31.67	6.64	8.97	1266	15
21	820	12566	2.5	357	96	204	272	25	995	690	850	245	0.014	434	22.74	7.58	9.71	1767	12
			3.7	489	143	306	408						0.018	642	33.82	7.09	9.58	1355	15
22	870	14186	2.5	384	101	216	288	25	1035	720	890	245	0.014	489	24.17	8.06	10.32	1884	12
			3.7	526	152	324	432						0.018	723	35.94	7.54	10.18	1445	15
23	920	15904	2.5	396	107	228	304	25	1095	760	940	260	0.014	547	25.60	8.53	10.93	2001	12
			3.7	544	160	342	456						0.018	809	38.10	7.99	10.79	1535	15
24	970	17721	2.5	413	112	240	320	25	1135	800	980	260	0.014	608	27.05	9.02	11.55	2118	12
			3.7	569	168	360	480						0.018	898	40.21	8.43	11.39	1624	15
25	1020	19635	2.5	481	133	284	378	30	1200	840	1030	280	0.015	672	25.32	8.44	10.81	1986	12
			3.7	610	177	378	504						0.018	994	42.37	8.88	12	1714	15
26	1070	21648	2.5	492	139	297	396	30	1240	880	1070	280	0.015	739	26.58	8.86	11.35	2090	12
			3.7	624	185	396	528						0.018	1093	44.49	9.33	12.6	1804	15
27	1120	23758	2.5	521	145	311	414	30	1300	920	1120	300	0.015	810	27.87	9.29	11.9	2194	12
			3.7	661	194	414	552						0.018	1199	46.64	9.78	13.21	1894	15
28	1170	25967	2.5	542	152	324	432	30	1370	960	1180	320	0.015	884	29.14	9.71	12.44	2299	12
			3.7	685	202	432	576						0.018	1307	48.76	10.22	13.81	1984	15

**C.5 PPED (JZ) 型矩形规格系列**

PPED (JZ) 型矩形支座结构示意图C.5, 设计剪应变为100%, 容许剪应变为150%, 极限剪应变为175%; 有硅脂润滑时, 摩擦系数  $\mu \leq 0.03$ ; 无润滑时, 摩擦系数  $\mu \leq 0.10$ ; 设计滑动位移量为  $\pm 50\text{mm}$ 、 $\pm 100\text{mm}$ 、 $\pm 150\text{mm}$ , 其它设计参数见表C.5。

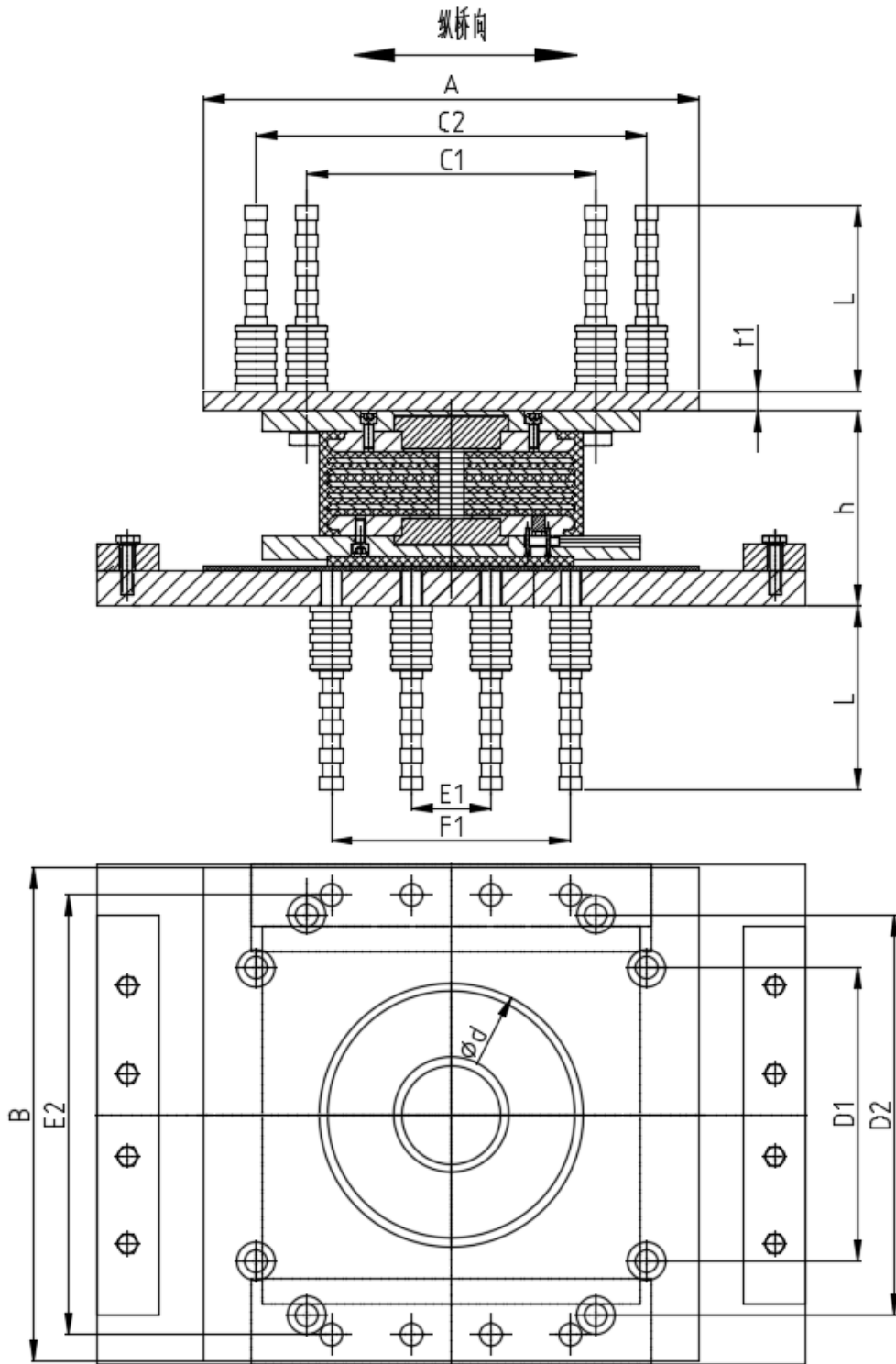


图 C.5 PPED (JZ) 型支承装置结构示意图

表 C.5 PPEd (JZ) 型可感知聚氨酯弹性体支承装置规格系列参数

序号	d (mm)	P <sub>0</sub> (kN)	G (MPa)	h (mm)	X <sub>0</sub> (mm)	X <sub>1</sub> (mm)	X <sub>2</sub> (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	A/B (mm)	C1/D2 (mm)	D1/C2 (mm)	E <sub>1</sub> (mm)	F <sub>1</sub> (mm)	E <sub>2</sub> (mm)	L (mm)	θ (rad)	Q <sub>f</sub> (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	K <sub>1</sub> (kN/mm)	K <sub>2</sub> (kN/mm)	Kh (kN/mm)	K <sub>v</sub> (kN/mm)	ξ (%)
1	170	442	3.7	93	17	36	48	20	260	200	210	72	216	274	28	0.011	35	28	12.36	2.59	3.5	405	15
			4.7	141	23	48	56								105	0.008	35	49	10.53	2.11	3.33	546	20
2	195	601	3.7	110	23	48	64	20	280	210	220	76	228	296	28	0.013	48	36	12.18	2.55	3.45	413	15
			4.7	157	28	60	70								105	0.009	48	64	11.10	2.22	3.51	595	20
3	220	785	3.7	147	34	72	96	20	290	250	260	78	234	311	33	0.017	63	46	10.34	2.17	2.93	360	15
			4.7	210	40	84	98								130	0.011	63	82	10.09	2.02	3.19	555	20
4	245	994	3.7	165	40	84	112	20	310	270	280	82	246	331	33	0.017	80	57	10.98	2.30	3.11	391	15
			4.7	242	51	108	126								130	0.012	80	102	9.74	1.95	3.08	546	20
5	270	1227	3.7	183	45	96	128	20	360	300	310	92	276	386	43	0.018	98	70	11.69	2.45	3.31	422	15
			4.7	276	62	132	154								155	0.014	98	124	9.68	1.94	3.06	552	20
6	295	1485	3.7	173	45	96	128	20	380	330	340	96	288	411	48	0.016	119	83	13.95	2.92	3.95	510	15
			4.7	275	62	132	154								170	0.012	119	148	11.54	2.31	3.65	668	20
7	320	1767	3.7	205	51	108	144	20	390	350	360	98	294	421	48	0.017	141	98	14.58	3.06	4.13	540	15
			4.7	331	73	156	182								170	0.013	141	173	11.48	2.30	3.63	672	20
8	345	2074	3.7	205	51	108	144	20	410	380	390	102	306	445	53	0.015	166	114	16.95	3.55	4.8	634	15
			4.7	283	56	120	140								190	0.010	166	202	17.36	3.47	5.49	1026	20
9	370	2405	3.7	207	51	108	144	20	440	400	410	108	324	475	53	0.014	192	131	19.52	4.09	5.53	735	15
			4.7	285	56	120	140								190	0.009	192	232	19.98	4.00	6.32	1189	20
10	395	2761	3.7	195	51	108	144	20	470	430	440	114	342	510	58	0.013	221	149	22.24	4.66	6.3	844	15
			4.7	286	56	120	140								210	0.008	221	265	22.77	4.55	7.2	1365	20
11	420	3142	3.7	277	77	165	220	20	520	460	470	124	372	564	63	0.019	251	168	16.45	3.45	4.66	628	15
			4.7	354	77	165	193								225	0.011	251	299	18.72	3.74	5.92	1130	20
12	445	3547	3.7	277	77	165	220	20	560	470	490	132	396	604	63	0.018	284	189	18.47	3.87	5.23	709	15
			4.7	356	77	165	193								225	0.010	284	336	21.03	4.21	6.65	1275	20
13	470	3976	3.7	281	77	165	220	20	570	510	520	134	402	619	68	0.017	318	211	20.62	4.32	5.84	795	15
			4.7	394	85	182	212								245	0.010	318	375	21.31	4.26	6.74	1300	20
14	495	4430	3.7	285	77	165	220	20	590	520	540	138	414	639	68	0.016	354	234	22.84	4.79	6.47	886	15
			4.7	398	85	182	212								245	0.010	354	416	23.65	4.73	7.48	1448	20

序号	d (mm)	P <sub>0</sub> (kN)	G (MPa)	h (mm)	X0 (mm)	X1 (mm)	X2 (mm)	t1 (mm)	A/B (mm)	C1/D2 (mm)	D1/C2 (mm)	E1 (mm)	F1 (mm)	E2 (mm)	L (mm)	θ (rad)	Q <sub>f</sub> (kN)	Q <sub>y</sub> (kN)	K1 (kN/mm)	K2 (kN/mm)	Kh (kN/mm)	Kv (kN/mm)	ξ (%)
15	520	4909	3.7	302	77	165	220	20	670	550	560	154	462	719	68	0.015	393	258	25.21	5.28	7.14	982	15
			4.7	400	85	182	212								245	0.009	393	459	26.09	5.22	8.25	1605	20
16	570	5940	3.7	336	93	198	264	20	700	580	600	160	480	749	68	0.017	475	310	25.24	5.29	7.15	990	15
			4.7	413	93	198	231								245	0.009	475	551	28.74	5.75	9.09	1780	20
17	620	7069	3.7	361	101	215	286	20	740	620	630	168	504	789	68	0.017	566	367	27.57	5.78	7.81	1087	15
			4.7	440	101	215	250								245	0.009	566	652	31.37	6.27	9.92	1955	20
18	670	8296	3.7	369	108	231	308	25	775	660	670	174	522	819	68	0.017	664	429	29.91	6.27	8.47	1185	15
			4.7	448	108	231	270								245	0.009	664	761	34.02	6.80	10.76	2131	20
19	720	9621	3.7	412	116	248	330	25	845	690	700	188	564	883	68	0.016	770	495	32.24	6.76	9.13	1283	15
			4.7	491	116	248	289								245	0.009	770	879	36.68	7.34	11.6	2307	20
20	770	11045	3.7	464	135	288	384	25	875	730	740	194	582	918	68	0.018	884	566	31.67	6.64	8.97	1266	15
			4.7	545	135	288	336								245	0.010	884	1006	36.05	7.21	11.4	2276	20
21	820	12566	3.7	482	143	306	408	25	935	760	770	206	618	982	68	0.018	1005	642	33.82	7.09	9.58	1355	15
			4.7	561	143	306	357								245	0.010	1005	1141	38.48	7.70	12.17	2437	20
22	870	14186	3.7	495	152	324	432	25	975	800	810	214	642	1027	68	0.018	1135	723	35.94	7.54	10.18	1445	15
			4.7	574	152	324	378								245	0.010	1135	1284	40.92	8.18	12.94	2598	20
23	920	15904	3.7	533	160	342	456	25	1035	830	840	226	678	1091	68	0.018	1272	809	38.10	7.99	10.79	1535	15
			4.7	614	160	342	399								245	0.01	1272	1435	43.32	8.66	13.7	2760	20
24	970	17721	3.7	560	168	360	480	25	1105	870	880	240	720	1164	68	0.018	1418	898	40.21	8.43	11.39	1624	15
			4.7	641	168	360	420								245	0.010	1418	1596	45.76	9.15	14.47	2921	20
25	1020	19635	3.7	591	177	378	504	30	1140	930	940	246	738	1200	78	0.018	1571	994	42.37	8.88	12	1714	15
			4.7	687	177	378	441								280	0.010	1571	1765	48.19	9.64	15.24	3082	20
26	1070	21648	3.7	605	185	396	528	30	1210	960	980	260	780	1273	78	0.018	1732	1093	44.49	9.33	12.6	1804	15
			4.7	701	185	396	462								280	0.010	1732	1942	50.63	10.13	16.01	3244	20
27	1120	23758	3.7	636	194	414	552	30	1240	1010	1020	266	798	1309	83	0.018	1901	1199	46.64	9.78	13.21	1894	15
			4.7	732	194	414	483								300	0.010	1901	2128	53.06	10.61	16.78	3405	20
28	1170	25967	3.7	650	202	432	576	30	1310	1060	1080	280	840	1382	93	0.018	2077	1307	48.76	10.22	13.81	1984	15
			4.7	763	202	432	504								320	0.010	2077	2323	55.50	11.10	17.55	3567	20

注：表中 E1、F1 尺寸为滑动位移量为±100mm 时尺寸；当滑动位移量为±50mm 时，E1/F1-100mm；当滑动位移量为±150mm 时，E1/F1+100mm；其余依此类推。表中 Q<sub>f</sub> 值为竖向荷载 P<sub>0</sub>，摩擦系数 μ=0.08（无润滑）下的计算值。