

中华人民共和国航空航天工业部  
航空工业标准

HB 6442-90

飞机液压导管及连接件弯曲疲劳试验

19 — — 发布

1990—12—01 实施

中华人民共和国航空航天工业部

批准

## 飞机液压导管及连接件弯曲疲劳试验 代替

## 1 主题内容与适用范围

本标准规定了液压金属导管及连接件弯曲疲劳试验方法和要求。

本标准适用于各种强度的可拆卸式或不可拆卸式的液压金属导管及连接件弯曲疲劳强度试验。

## 2 试验要求

## 2.1 试验应力

试验样件的最大许可弯曲疲劳应力决定于组合应力  $S_f$ 。组合应力由拉伸应力  $S_p$  和弯曲应力  $S$  组成, 即  $S_f = S + S_p$ 。

一般地, 组合应力按照导管及连接件弯曲强度设计要求取  $\sigma_b/4$ 。如有特殊需要, 可另行规定。

拉伸应力  $S_p$  是因内压而产生的, 其大小与内压和导管的内外径有关。拉伸应力可以用应变仪测量, 也可以通过计算求出。

如果采用测量法, 则应在导管轴向和周向至少各贴一个应变片, 且用平面应力应变公式进行计算:

$$S_p = \frac{E}{1-\mu^2} (\epsilon_x + \mu \epsilon_\theta) \dots \dots \dots (1)$$

式中:  $\epsilon_x$  —— 由测量得到的轴向应变,  $\mu\epsilon$ ;

$\epsilon_\theta$  —— 由测量得到的周向应变,  $\mu\epsilon$ ;

$E$  —— 导管材料的弹性模量, Pa;

$\mu$  —— 导管材料的泊松比。

如果采用计算法，则应使用下列轴向拉伸应力公式：

$$S_p = Pd^2 / (D^2 - d^2) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：  $p$  —— 导管内部压力，Pa；  
 $D$  —— 导管外径，mm；  
 $d$  —— 导管内径，mm。

弯曲应力是由外部施加给导管的弯曲产生的，其大小由  $S = \sigma_b/4 - S_p$  确定。

如图1所示为一个典型的应力循环图例。

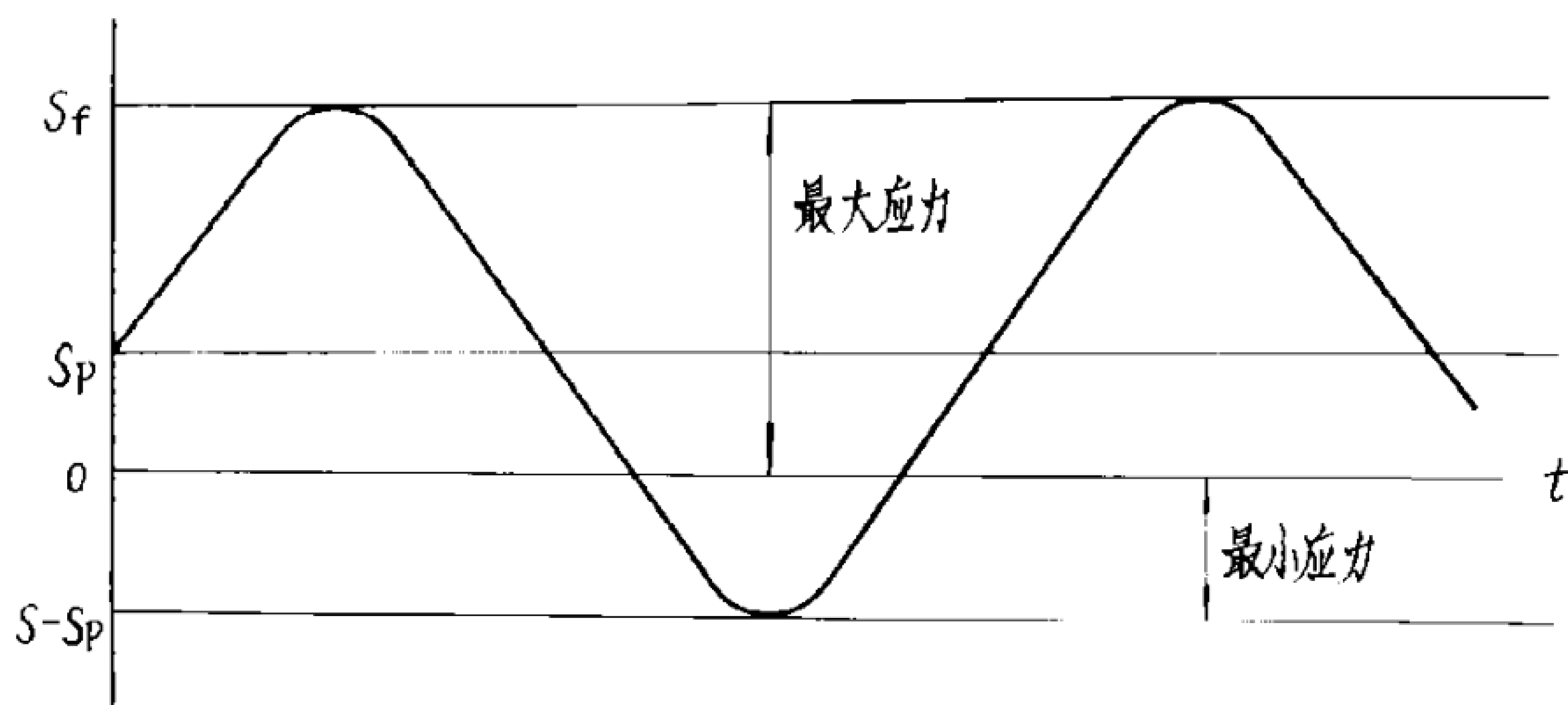


图1 典型交变应力循环

## 2.2 试验循环次数

弯曲试验件应能经受住  $10^7$  次循环，试验期间试件不允许发生任何故障。试验尽量不间断进行。

## 2.3 弯曲试验装置

试验装置应能对导管和直通接头、过隔板接头以及其他接头如弯接头，三通接头等试件进行试验。试验装置应能在试件中保持所需的恒压。液压油采用飞机系统用油。如果有专门的规定和要求，则试验装

置应能够在受控制的恒温下进行试验。另外，试验装置还可有一套自动切断装置的增压系统，即当出现故障或压力降低时，切断装置应能自动工作，其原理图如图2所示。

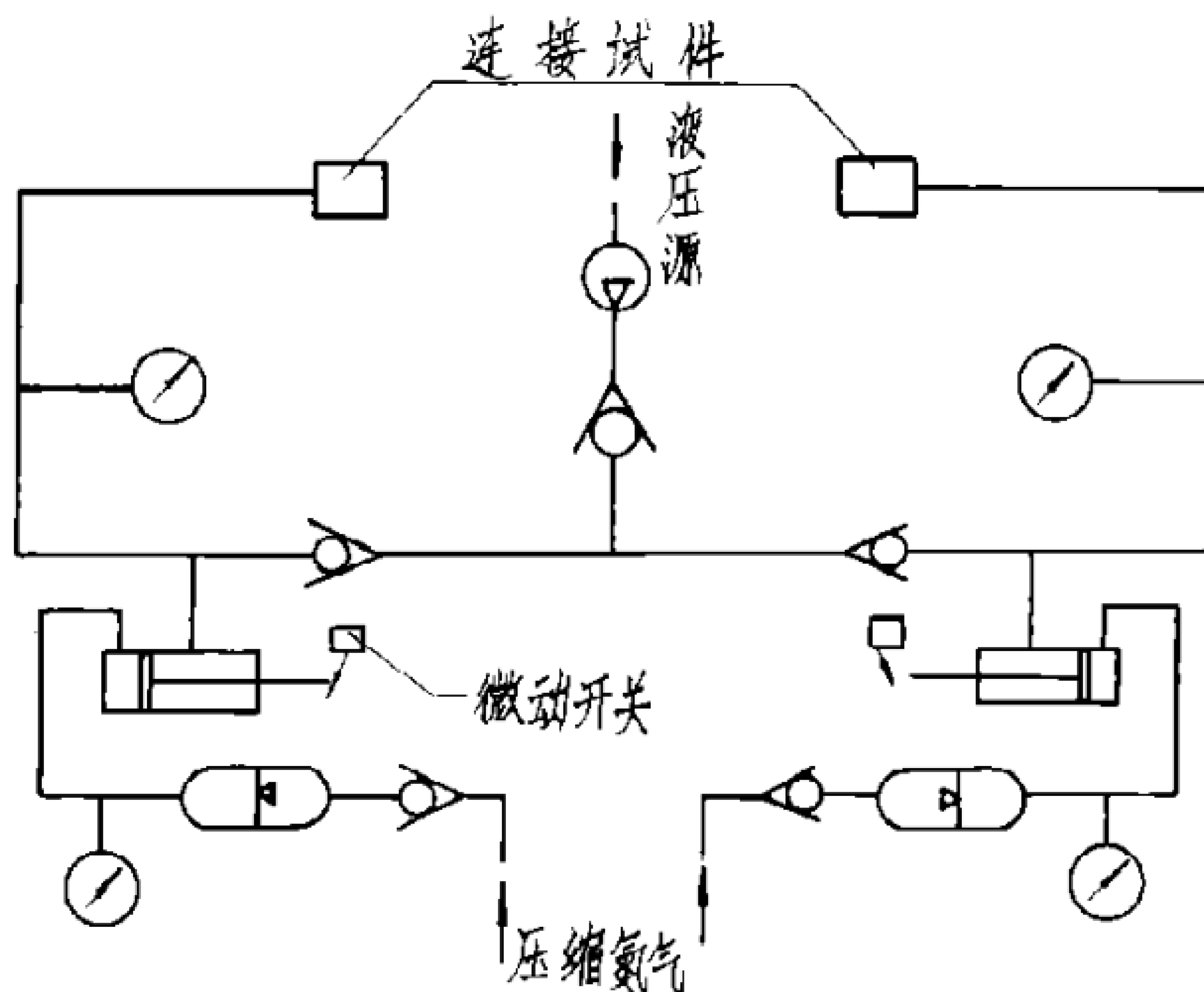


图2 自动切断装置增压系统原理图

#### 2.4 弯曲试件

试件由接头和导管组合件组成。每种规格取六套试件进行弯曲试验。试验前仔细检查并记录导管的实际管径和壁厚。建议检查导管的直线度，如不直则在导管端偏离中心所在平面内标注记号或删除。

## 2.5 试验仪器和应变片

试验时应有一套完整的调试、检查和监测仪器；每个试验件上都应贴应变片。建议采用  $3 \times 5$  的应变片，并且应尽量贴在靠近最大应力处，必要时应根据计算予以修正。

在平面悬臂梁和平面简支梁试验中，每个试件至少贴一个应变片，如图3、图4所示。也可贴两个应变片，其方式任选。在旋转弯曲试验中，应变片布置如图5所示，两者之间相隔  $90^\circ$ 。也可在 X 轴和 Y 轴方向上成对地贴上四个应变片。

## 3 试验方法

弯曲试验推荐按下述三种方法之一进行。

### 3.1 平面悬臂梁弯曲试验方法

#### 3.1.1 试验设备

弯曲试验装置应类似于图3所示。它包括一个振动台，一个可安装六套试件的歧管，一套给试件充压并能在试验中保持静态工作压力的液压系统。

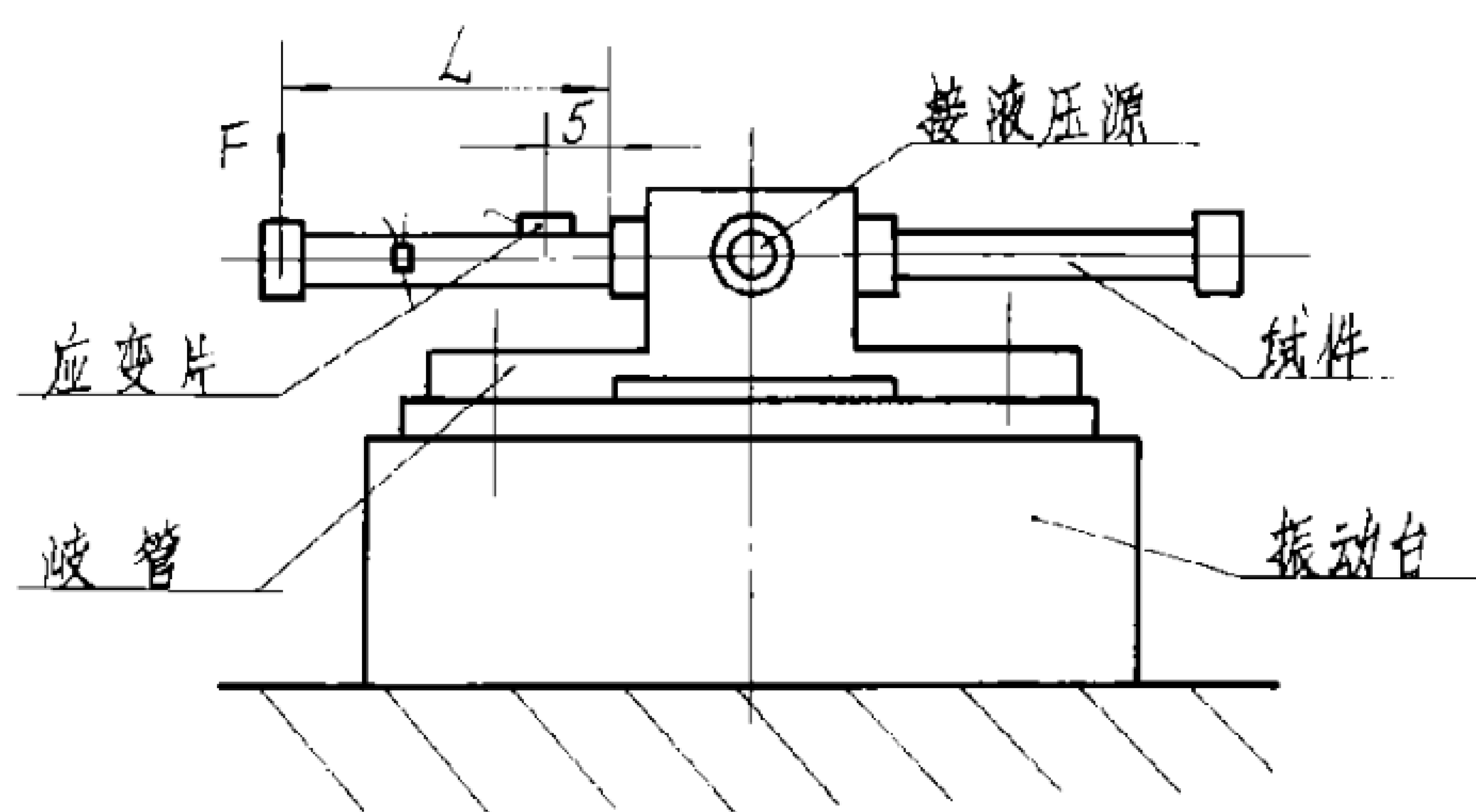


图3 平面悬臂梁弯曲试验示意图

试件对线地安装在歧管两侧，将歧管刚性地固定在振动台上，用一组软管组件使歧管与液压源或图2所示的增压系统相连。

试验也可采用其他方法，如机械运动方法进行，此时试件长度或偏移量可按3.3.2条的计算方法计算。

### 3.1.2 试验频率

推荐试验频率为25~140 Hz，最好取100 Hz。为了节省振动台的能量消耗，建议试验在共振状态附近进行。

### 3.1.3 试件长度

试件长度可按下列公式计算：

$$L^4 + \frac{2\pi ML^3}{(3\pi-8)(m+m_1)} = \frac{\pi^3 EJ}{64(3\pi-8)(m+m_1)f_1^2} \quad \text{----- (3)}$$

式中：  $L$  —— 悬臂梁试件的计算长度，m；  
 $f_1$  —— 试件的一阶谐振频率，Hz；  
 $M$  —— 自由端的集中质量，Kg；  
 $m$  —— 导管单位长度质量，Kg/m；  
 $m_1$  —— 导管内单位长度液压油质量，Kg/m；  
 $E$  —— 导管材料弹性模量，Pa；  
 $J$  —— 导管剖面惯性矩，m<sup>4</sup>。

### 3.1.4 试件弯曲应力标定

给准备好的试件静态加力 $F$ ，使其达到规定的弯曲应力 $S$ ，然后引入规定的系统压力 $P$ 。通过应变片，应变仪可以在示波器上显示出组合应力 $S_f$ 。

去除静载荷开始振动，增加幅值直到示波器上显示出预先确定的组合应力值。

可以用其他方法如动态加载来标定组合弯曲应力。

允许用千分表和垂高计等监测试件的偏移量。

## 3.2 平面简支梁弯曲试验方法

### 3.2.1 试验设备

弯曲试验装置应类似于图 4 所示。它包括一个振动台，一套能使试件实现简支的夹具，一套给试件充压并能在试验中保持静态工作压力的液压系统。

试件对称地分布在试验夹具上，将试验夹具刚性固定在振动台上，用一组软管组件将试件与液压源或图 2 所示的增压系统相连。

### 3.2.2 试验频率

推荐试验频率为 25 ~ 140 Hz，最好取 100 Hz。为了节省振动台的能量消耗，建议试验在共振状态附近进行。

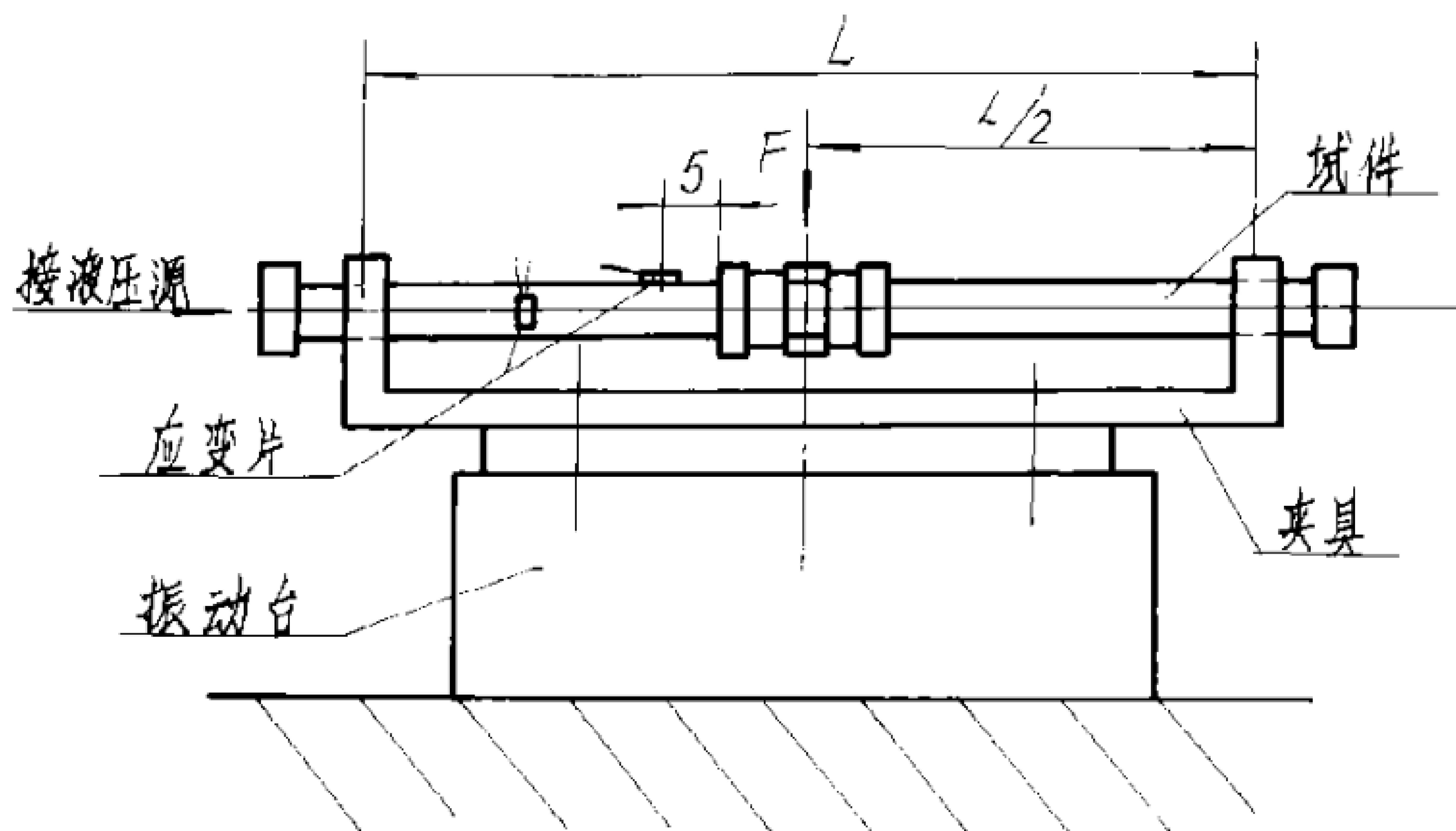


图4 平面简支梁弯曲试验示意图

### 3.2.3 试件长度

试件的长度可按下列公式计算：

$$L^4 + \frac{2M}{m + m_1} L^3 = \frac{\pi^2 EJ}{4(m + m_1) f_1^2} \quad (4)$$

式中：  
 $L$  —— 简支梁试件的计算长度，m；  
 $f_1$  —— 试件的一阶谐振频率，Hz；

- $M$  ——— 试件筒支中部的集中质量,  $\text{Kg}$ ;  
 $m$  ——— 导管单位长度质量,  $\text{Kg/m}$ ;  
 $m_1$  ——— 导管内单位长度液压油质量,  $\text{Kg/m}$ ;  
 $E$  ——— 导管材料弹性模量,  $\text{Pa}$ ;  
 $J$  ——— 导管剖面惯性矩,  $\text{m}^4$ 。

### 3.2.4 试件弯曲应力标定

给准备好的试件静态加力  $F$ , 使其达到规定的弯曲应力  $S$ , 然后引入规定的系统压力  $P$ 。通过应变片, 应变仪可以在示波器上显示出组合应力  $S_t$ 。

去除静载荷开始振动, 增加幅值到示波器上显示出预先确定的组合应力值。

可以用其他方法如动态加载来标定组合弯曲应力。

允许用千分表和垂高计等监测试件的偏移量。

## 3.3 旋转弯曲试验方法

### 3.3.1 试验设备

旋转弯曲试验设备应类似于图 5 所示。试验设备的尾座应设计成能在装配时和装上试件后调整其轴线位置, 并可作为压力转接管路, 试验设备的旋转头座应具有一套低摩擦自动定心轴承, 并应设计得能使试件最大偏移  $25 \text{ mm}$ , 且能在  $1500 \sim 3000 \text{ r/min}$  范围内的某一周率恒速转动。基座应是刚性的。

### 3.3.2 试件长度

旋转弯曲试件长度可按表 1 选取。

表 1

	表 1										mm
导管外径	5	6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
试件长度	130	155	180	190	230	245	255	280	305	355	400

旋转弯曲试件长度也可按下列公式计算

$$L = \sqrt{3ED\delta / 2S} \quad (5)$$

式中：  
 $L$  —— 旋转弯曲试件长度， $mm$ ；  
 $D$  —— 导管外径， $mm$ ；  
 $S$  —— 导管弯曲应力， $Pa$ ；  
 $E$  —— 导管材料弹性模量， $Pa$ ；  
 $X$  —— 试件偏移量， $mm$ 。

即给定某一个偏移量  $X$ ，计算试件长度  $L$ ；或给定某一个试件长度  $L$ ，计算偏移量  $X$ 。

试件长度和偏移量按图 5 测量。

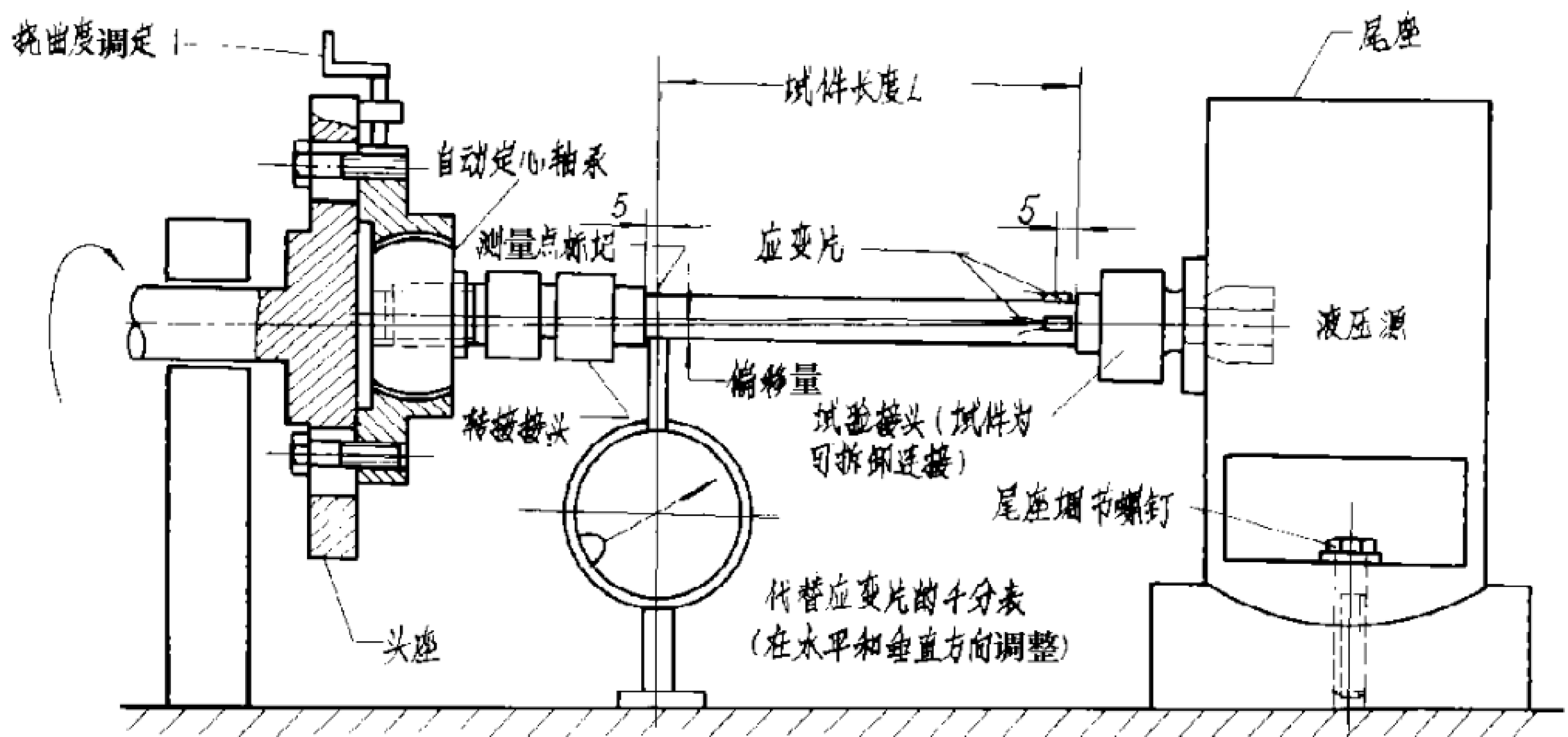


图5 旋转弯曲试验示意图

### 3.3.3 试件弯曲应力标定

试件所需的弯曲应力或应变变量是由在头座处对试件施加的挠曲（即偏移）而产生的。

将导管组件装入试验设备的尾座，用手拧紧可拆接头，随后进行调整，试件安装调整的具体方法如下：

如果採用贴应变片法，则首先测定并记录试件装入尾座时在自由状

态下的微应变读数，其次使头座端的自动定心轴承粗略地对中，并将试件转接接头拧入头座端，然后将尾座端接头小心地拧紧以防试件偏离中心。在拧紧后，则微应变读数相对上述自由状态的读数偏离应不大于 $\pm 20$ 个微应变。

如果采用上述计算法，也可不贴应变片，此时必须借助于导管被驱动的一端的一个（最好是两个）千分表使试件保持中心位置，在此对中位置将试件转接接头拧入头座端并拧紧调节螺栓后，试件的对称性须在水平和垂直两个位置进行检查，即用手转动头座的同时，每个千分表所指示的不对称偏移量应不大于  $0.08 \text{ mm}$ 。

为了便于检查，头座轴可以在其轴承中前后移动，当试件正确地对中后，则轴将会自由地转动。

当试件按上述方法调整后，调整头座端试件的偏移，使之产生所需的力矩以达到规定的弯曲应力  $S$ ，然后引入规定的系统压力  $P$ 。通过应变片可以在示波器上显示组合应力  $S_s$ ，或按计算法用千分表严格控制其偏移量。

以某一恒速开始转动进行试验。

---

### 附加说明

本标准由航空航天部三〇一所提出。

本标准由航空航天部六〇三所、三〇一所负责起草。