

# KJS-1 型压痕应变法应力测试系统

## 用 户 指 南

© 2011 v4.0 版权所有  
南京贺普科技有限公司

# 内容提要

	页 码
第一篇：KJS-1 型压痕法应力测试系统简介	2
第二篇：应力测试的一般步骤	7
第三篇：KJS-1 型压痕应力测试仪使用说明	11
附录： 1、计算常数的实验标定（二向应变片）	18
2、应力测试常用附件参考列表	23
3、应力测试步骤快速指南	24

# 第一篇

## KJS-1 型压痕法应力测试系统简介

## 一、概 述

压痕应变法（以下简称压痕法）测量残余应力是中国科学院金属研究所上世纪 90 年代初提出并研究、拥有自主知识产权的专利技术，该方法利用测量球形压头产生的压痕外弹性区的应变变化来计算残余应力。由我所负责编制的国内外首部采用压痕应变法测量（焊接）残余应力的标准——《金属材料 残余应力测定 压痕应变法》，已通过国家标准委员会的批准并对外发布，标准编号为 GB/T 24179-2009。KJS-1 型压痕法应力测试系统是目前最新型设备，主要包括 KJS-1 型压痕应力测试仪和压痕制造系统两部分，下图 1-1 为该测量系统组成图。



图 1-1 KJS-1 型压痕法应力测试系统





导向筒

压盖 调

节螺钉 上锁紧

帽

支腿螺杆

下锁紧帽（带缺口）

磁性吸盘

图 1-3 固定底座



图 1-4 对中显微镜

本设备最大测量误差小于 15~20MPa，主要用于测量材料硬度小于 HRC50 的场合。

## 二、产品成套性

1. KJS-1 型压痕应力测试仪（含连接线和平衡电阻）	1 台
2. 电源线	1 根
3. USB 连线	1 根
4. 专用应变花（两向）	10 片
5. 压痕打击装置	1 个
6. 对中显微镜	1 只
7. 永磁式固定底座	1 个
8. 起座器（用于起动粘于非铁磁材料的吸盘）	1 个
9. 光盘（PDA 与电脑同步软件、产品使用说明 PDF 版、使用说明演示等）	1 片
10. 产品说明书	1 本
11. 产品合格证	1 份
12. 包装箱	1 个

# 第二篇

## 应力测试的一般步骤



压痕法残余应力测试的一般步骤可以被分解为三大步：被测构件表面准备、应变片粘贴、压痕制造和数据处理。附录 2 和附录 3 分别给出了应力测试常用的附件工具和测试步骤快速指南。

## 一、被测构件表面准备

表面状态好坏直接影响应力测量结果，一般情况按以下四步顺序进行：

- 1、确定测量位置： 根据应力分析要求和被测构件表面的可操作状态来确定。
- 2、表面粗磨： 用砂轮对焊缝进行表面平整或进行除锈，打磨时要用力均匀、适当，不可用力过猛和长时间打磨一个地方。打磨区域能满足应变片粘贴要求即可，磨削量不要太大。
- 3、表面抛光： 此步骤对表面进行光滑处理，同时可进一步减小由于表面粗磨造成的附加应力影响。
- 4、表面手工打磨处理： 此步骤可使表面机械打磨引入的附加应力减至最小，同时便于粘贴应变片。此时可采用 100~200# 的砂布，在两个相互垂直的方向上来回打磨。

## 二、应变片粘贴

应变片粘贴质量是应力测量结果准确与否的关键，要求实验人员严格按程序执行。主要过程如下：

- 1、用干净棉纱蘸上丙酮单向擦拭表面，直至清洁。所用丙酮应是新鲜的，不可采用回收的旧丙酮。
- 2、确认周围没有明显的灰尘干扰，在准备好的专用应变片（二向应变片/三向应变片，建议选用中航电测仪器股份有限公司生产的专用应变片，见附录四）背面均匀涂抹一薄层新鲜 502 快干胶（建议用北京化工厂的），对准测试部位放好，必要时用镊子轻轻移动和触摸应变片调整位置。

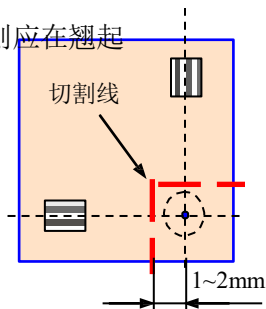
🔔 粘贴时尽量保证两个相互垂直的应变栅分别与焊缝（或主应力方向）平行和垂直。胶层应尽量薄，否则会影响打击效果和模糊应变片上的对中点。

已知主应力方向或应变片粘贴方向与主应力夹角小于  $10^\circ$  时；或已知最大主应力小于 0.5 倍的材料屈服应力时，可选用二向片。其它情况选择用三向应变片。

3、将聚乙烯塑料薄膜放在应变片上方，再用大拇指滚压 1~2 分钟。

4、等待 10 分钟左右，可沿切向轻轻揭起塑料膜，观察应变片应没有任何翘起（否则应在翘起部位渗入一点胶水，再放上塑料纸按压一会）。然后在应变片引出线附近粘贴接线端子。

5、在距离打击点 1~2mm 范围内用刀片各划一刀（见右图虚线），以切断应变片基片与压痕打击处的联系。观察此时割痕附近的基片有无翘起，一旦发生此种情况应考虑重新渗胶再按压应变片。



### 三、制造压痕和数据处理

粘贴应变片后约 1~3 小时（取决于环境温度，温度越高，时间越短），可进行压痕制造和数据处理工作：

1、将应变片按第三篇中关于应力测试仪的接线方法进行接线，按“初值”键，观察应变平衡情况。

2、将对中底座大致以应变片为中心放置（对于非铁磁材料，可用 502 胶水粘于被测材料上，测量完成后用起座器起下），然后插入显微镜，必要时可轻轻移动底座，再通过底座上的调整螺丝微量调整显微镜镜筒，将应变片上的压痕打击点与显微镜中心点调节至重合。

为使打击点完全对中，应转动镜筒观察镜筒中的十字线中心是否围绕打击点均匀转动。

调整底座上的三个支腿高度使压痕打击杆垂直打击钢板表面，特别在测量角焊缝时要注意垂直度的调整。

测量角焊缝时将底座上的三个支腿螺杆斜置放入下锁紧帽上的缺口中，同时将导向筒短截段向上放置。

3、拔出显微镜，将打击杆拉杆拉伸至锁扣相应档位（一般为一档），然后插入底座中。按“应力”键，将初始值归零（此时应已新建一个文件名）。

注意：为满足不同材料的测量需要，拉杆锁扣位置共分 3 档。对于不同材料应采用不同档位，保证打出的压痕直径在 1.0~1.1mm 之间，建议如下：

- I. 硬度  $HB < 200$ ，或屈服点小于 600MPa，采用第 1 档；
- II. 硬度  $HB = 200 \sim 300$ ，或屈服点小于 900MPa，采用第 2 档；
- III. 硬度  $HB > 300$ ，或屈服点大于 900MPa，采用第 3 档；

4、捏住滚花扶手处并向应变片方向用力，使打击头紧贴钢板表面，按动压痕打击装置上的脱扣按钮。

6、此时应变输出 C1、C2、C3（或  $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ 、 $\varepsilon_3$ ）值即为压痕打击后的应变增量，S1、S2（ $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ ）为该点的应力值。待仪器循环检测约 5 秒钟，C1、C2（ $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ 、 $\varepsilon_3$ ）值趋于稳定后按“初值”键进行下一测点的测量。

🔔 每测一点，仪器将自动测量、记录、计算和存储有关数据。

🔔 测量之前应在“参数表”中选择正确的材料型号（见下篇）。在特殊情况下，如仪器不具备该种材料又急于测量，可采用如下近似方法：选择屈服强度最为接近的材料，然后将应力输出结果乘以一个系数，该系数等于所选材料的屈服点除以实际材料的屈服点。

🔔 本系统附带 1 种材料的计算常数（如用户没有特殊要求，一般为 Q345 碳钢，屈服点为 345MPa），供用户免费使用。对于其它不同类型的材料，用户可以参照附录 1 自行标定，也可由设备商有偿提供。

🔔 测量 Q235 或 Q345 高匹配焊缝应力时，一般要将最终应力值乘以一个系数（系数范围 0.9~0.6）。该系数具体数值等于母材屈服点除以熔敷金属屈服点（查阅厂家焊材说明书，一般为 350~430MPa）。

# 第三篇

## KJS-1 型压痕应力测试仪

### 使用说明

## 一. 主要技术规格

1. 测点数: 3 点应变读取、2 点应力自动显示
2. 测量频率: 3 次/每秒/每通道
3. 量程:  $\pm 16000 \mu\epsilon$
4. 分辨率:  $1 \mu\epsilon$
5. 灵敏系数: 0~9.99 线性可调
6. 桥路类型: 公补
7. 重量/体积: 2.5kg /230×210×140cm
8. 电源输入: 交流 220V/50Hz
9. 工作环境: 相对湿度不大于 80%, 温度 0~40℃
10. 仪器自带内存, 存储深度 128M, 保存间隔 0~99 秒任意设置, 可通过数据线与计算机同步进行数据传输与分析处理。

## 二. 使用注意事项

1. 使用前请检查输入电压, 确保 220V。如误接 380V, 将彻底烧坏仪器! 仪器尽可能远离强磁场。
2. 接线端子应保证连接牢固, 并保证在测量过程中不再触碰 (包括导线和插接端子), 以避免人为造成数据漂移。补偿片和工作片尽量处于相同的温度环境下, 避免阳光直射和空气剧烈流动造成测量不稳定。

### 三. 应变片连接方法

1. 测量残余应力时采用公共补偿连接法，补偿片连接在补偿两个端子上（出厂时已连接专用平衡电阻，用户还可用根据测量环境温度的变化考虑改成连接现场测量应变片）。
2. 在 CH1~CH3 各通道 A、B 点接入测量用应变片（测量焊缝双向应力时 CH3 一般不接）。CH1、CH2 和 CH3 应变值对应屏幕上的  $C1/\epsilon_1$ 、 $C2/\epsilon_2$  和  $C3/\epsilon_3$ 。

### 四. 操作说明

1、软件运行（以使用二向应变片为例） 接通电源设备自动进入测量界面，或快捷方式“我的设\ResidentFlash\压痕应力测试仪.exe”，双击进入 工作界面，也可点快捷方式“压痕应力测试仪.exe”。本系统内装二向应力和三向应力两种测量软件。开机时自 动进入二向测量界面，用户根据实际测量情况可自行选择测量软件，运行后的软件主界面如下图所示：



## 2、软件的操作

### 2.1 新建

在“实时值”界面点“新建”建立一个文件名。

ⓘ 必须先新建一个文件才能记录保存测量的数据，文件格式是文本文件(.txt)格式，如果没有新建文件，软件会提示：请先新建文件。新建的文件必须存放在“**ResidentFlash**”目录下。

如果采集时间较长（如超过 100h），可以保存外接优盘或采集结束后与计算机同步传输拷贝到电脑中。

**2.2 初值** 连接好各测量通道，运行软件进入“实时值”界面，点“初值”观察各通道平衡状态，保持设备在

此状态运行 10 分钟以上进行适当的预热。

**2.3 应力**,

预热结束后点“应力”设备进入应变采集工作状态，此时“实时值”界面显示实时的测量应变值和计算结果。应变值及计算的应力值被同时保存在新建的文件中。再点“初值”即可停止计算、记录。

**2.4 打开**

点“打开”打开已保存的文件，数据以列表的形式显示。如果数据文件太大，软件可能打不开数据，这时可以把数据拷贝到电脑中打开，在电脑中可以方便地进行后期分析处理操作。

**2.5 参数表** 运行软件后在参数表界面，可以设置“被测材料”、“修正因子”、“灵敏系数”、“时间间隔”。“被测材料”——根据被测材料的类型选择相应的“被测材料”。“修正因子”——最后计算应力值乘以的系数，一般情况下为 0.95（用户一般不要改变）。“灵敏系数”——根据应变片的灵敏系数，按上下箭头改变大小或直接输入数值进行修改。“应变增益”——仪器内置数值为\_\_\_\_\_，用户不可改动（仪器检定时除外）。



“保存间隔”——按上下箭头改变保存时间间隔大小，在 1-99 秒内调整，默认间隔为 1 秒。“确定”——参数表中的各项参数修改完成后点“确定”软件会自动保存，下次运行软件会显示上次设置的值。参数表界面如下图所示：



## 2.6 数据表

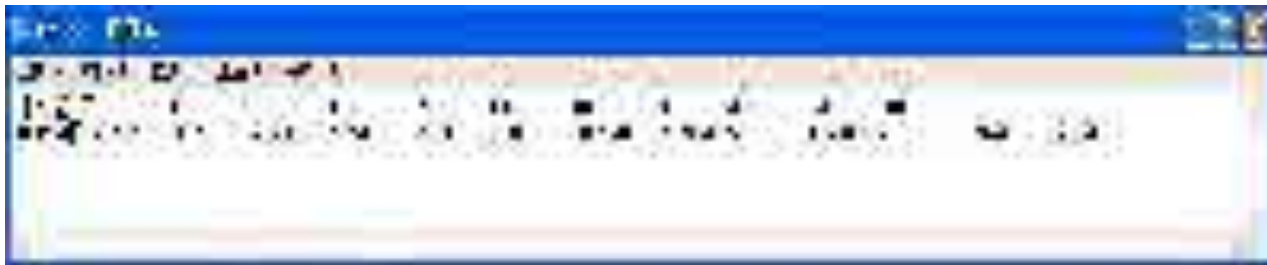
显示测量应变值、计算结果值的列表，为最近的 120 个值。

## 2.7 退出 点“退出”退出本程序。

### 3、钢种系数表修改

在路径“我的设备\ResidentFlash\压痕应力测试仪”下，DATA.txt 文件存放的是钢种系数表，程序在运行计算时自动调用此参数表。需要修改钢种系数时，只需修改这个文件的数据即可。修改方法：在个人电脑中先行修改并储存为 DATA.txt 文件，然后拷入应变仪覆盖上面的文件即可。也可在上述文件中直接添加修改。

完成的某钢种系数表如下图所示，图中各符号的意义参见附录中的标定说明。



## 六、维护与保管

1. 仪器必须放在清洁、干燥及无腐蚀介质的环境中。
2. 移动时防止剧烈震动和冲击。
3. 仪器使用完毕应及时将仪器放回包装箱内，以防灰尘并保护仪器。
4. 仪器长期不用时，应每季度通电试验一次，并检查仪器工作状态，通电时间 2~4 小时。
5. 仪器出现问题时，请与研制单位联系，禁止用户私自打开。

## 附录 1：计算常数的实验标定（二向应变片）

针对新增材料，需要输入仪器内部应力计算程序所需的各个常数，即通过实验方法进行标定得到包括  $E$ 、 $\nu$ 、 $S_s$ 、 $e_m$ 、 $a_0 \sim a_3$ 、 $b_0$ 、 $b_1$  等参数。

### 一、标定试板和设备

标定用试板必须采用与待测结构相同的材料制作而成，同时标定试板必须是无内应力的试板。标定时，如采用拉压试验机，推荐的试板尺寸为：500mm（长） $\times$ 80mm（宽） $\times$ 10mm（厚）。该尺寸可以保证在一块试板上进行 10~15 点（应变片）的试验工作（标定一条曲线所需的数量），还能够将底座直接附着在拉伸试板上。如果采用三点弯曲的加载方式，推荐试板尺寸为：500 mm（长） $\times$ 50mm（宽） $\times$ 16 mm（厚），采用此种标定方法比较简单，易于操作。

标定试板的表面要平整光洁（最好经过磨削加工），机加工后要进行退火消除应力处理。退火处理要避免材料力学性能变化，最好在真空炉或气氛炉中进行。

### 二、标定方法

1、采用拉伸方法时，从试板中心部位开始，向两头粘贴专用应变片，两个应变片的间距应大于 20mm。采用三点弯曲加载时，从试板中心部位开始，应在板宽方向从距板两边 15mm 处均布两个应变片（不是在中心线处贴一个），再向两头按相同位置布置，两个应变片间距大于 20mm。

2、在应变片充分干燥牢固后，先用 0.8 倍材料屈服强度的水平拉伸试板一次，观察各向应变片的应变变化情况，应保证应变片的初始读数基本不变（控制在  $2 \sim 5 \mu \epsilon$  之内），否则应再次拉伸观察或重新粘贴应变片。

3、建议选择 7 个应力水平进行标定，即 $-0.3\sigma_y$ 、 $-0.5\sigma_y$ 、零应力、 $0.3\sigma_y$ 、 $0.5\sigma_y$ 、 $0.7\sigma_y$  和  $0.8\sigma_y$ ，每个应力状态至少打击 2 点。打击零应力下的压痕时可将试板水平放置在工作台上，打击压痕时板材背面尽量不要悬空。

### 三、标定数据的处理

1、将所得数据按多项式三次方拟合绘制成如下图所示的标定曲线。横坐标为不同外加应力对应的弹性应变，纵坐标为压痕应变增量，即在特定压痕制造系统下，与外加弹性应变对应的输出应变值。需要特别说明的是，图中的短直线为外加纵向拉伸应变时打击压痕后横向应变片得到的应变增量分布特点，一般情况下当外加纵向拉伸应变超过 0.5 倍的屈服应变时会出现此偏离曲线的现象。

2. 常数的说明 E—材料弹性模量 u: 为材料

的三点弯曲标定泊松比 v: 为材料常规泊松

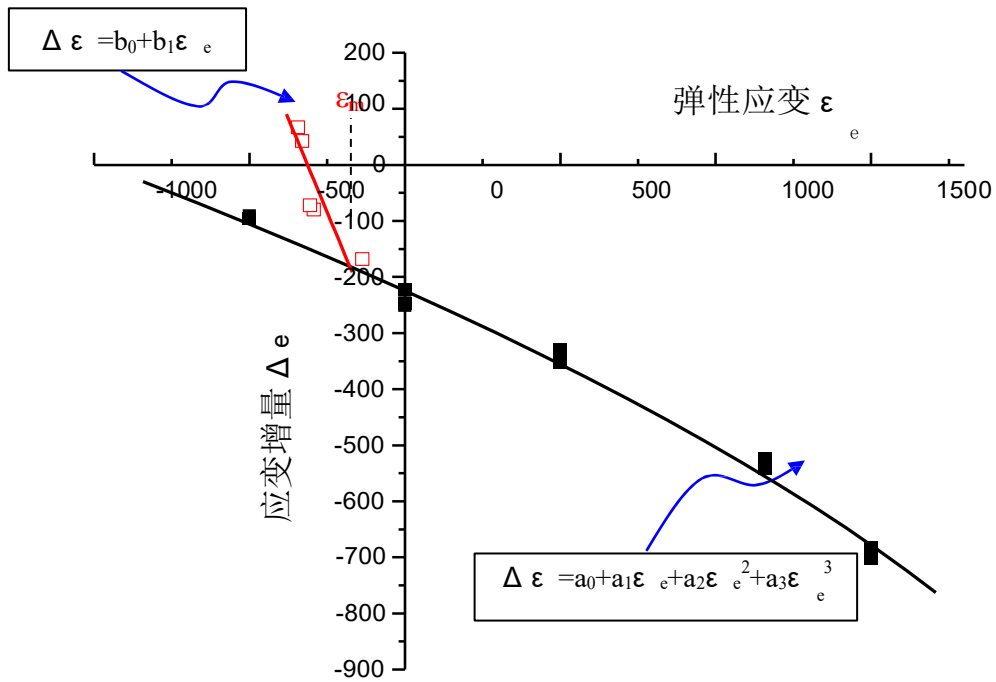
比 Ss: 为材料的屈服应变

em (同  $\epsilon_m$ ): 横向弹性应变修正拐点

a<sub>0</sub>~a<sub>3</sub>: 应变增量和残余应变多项式关系系数

b<sub>0</sub>~b<sub>1</sub>: 应变增量和残余应变横向修正线性关系系数

3、打开应力测试仪，按第三篇中的说明，在 DATA 文件中依次输入相应的各参数，保存后即可用于该材料的残余应力测试。也可在电脑中的 DATA 文件填加后拷贝到应变仪中。



二向应变片标定拟合曲线

## 其它说明：关于采用三向应变片进行应力标定的方法

以上是采用二向应变片标定已知主应力方向情况下的步骤。对于应力超过材料屈服点 50%且未知主应力方向的情况，就需要采用三向应变片进行测量。测量系数同样需要采用应变片进行标定。

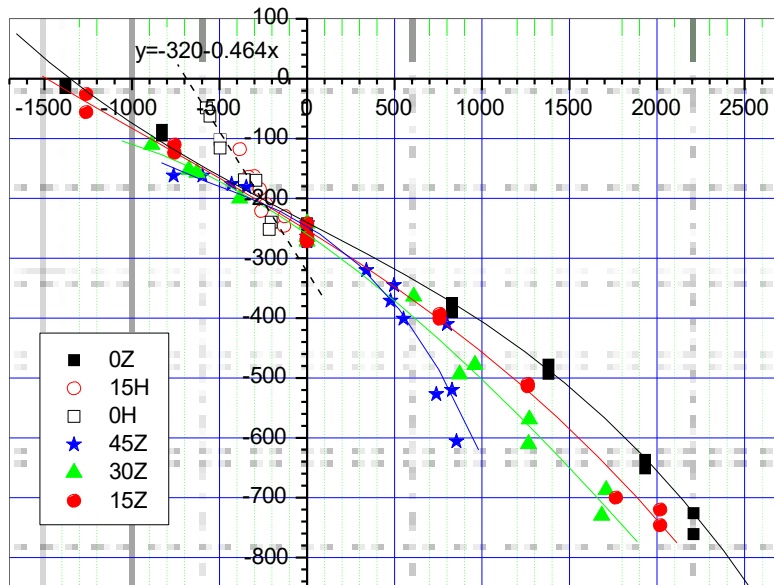
采用三向应变片进行标定时，步骤与上基本相同，只是为了确定应变增量与方向角的关系，还需要增加至少在与主应力成 15°、30°、45° 等几种情况，以便拟合公式。下图为采用三向应变片标定出来的曲线。根据标定结果，采用软件进行拟合分析，应得出如下形式的关系式：

$$z = (a1+a2*x+a3*x^2+a4*x^3+a5*y)/(1+a6*x+a7*x^2+a8*y+a9*y^2)$$

式中：z-应变增量 x-弹性应变 y-角度

将公式中的 a1~a9 系数添加至用于三向应变片测量的 DATA.txt 中即可。拟合公式时应注意以下原则：

- (1) 不同材料均应具备同一形式的拟合公式。
- (2) 注重不同角度变化的规律性，特别是高拉伸应力下数据的重合。
- (3) 误差系数 R 值尽量高，一般不小于 0.998。



三向应变片标定曲线

附录 2:

应力测试常用附件（工具）参考列表

附件名称	用途	说明
0. 附件包	盛装下列工具	铝箱或皮箱
1. 剪刀	修剪引线等	医用剪
2. 角向砂轮机	表面打磨	小型 ( $\phi 100\text{mm}$ )
3. 砂轮、砂布轮	磨削、抛光	
4. 砂布	手工打磨表面	100#
5. 502 快干胶	粘贴应变片	北京化工厂, 20g 装
6. 棉纱 (或脱脂棉)	表面清洁用	最好为白色
7. 丙酮 (石油醚)	擦洗表面	工业纯即可
8. 镊子	拿、放应变片等	医用金属镊子
9. 接线端子	固定应变片接线	采用印刷线路板割制
10. 应变片	BA120-1BA(11)-ZKY	汉中电测仪器厂生产
11. 卷尺	测量测点所在位置	3~5m 长
12. 裁纸刀	切割应变片	
13. 塑料薄膜	粘贴应变片用	与 502 胶不反应
14. 电烙铁	焊接接线端子	30W 内热式
15. 焊锡丝、焊膏	同上	
16. 钢板尺	调整三脚高度	15cm
17. 钳子	备用	
18. 万用表	备用	
19. 绝缘胶带	备用	



### 附录 3：应力测试步骤快速指南

