

# 基于 Canny 算子的焊缝图像边缘提取技术

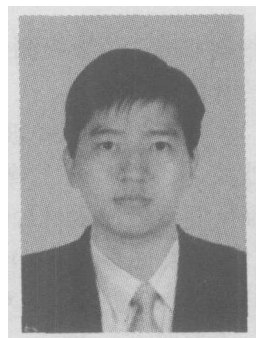
谢志孟, 高向东

(广东工业大学 机电工程学院, 广州 510090)

**摘 要:** 焊缝边缘是焊缝图像的最主要特征, 选用适当的边缘检测算子得到准确的焊缝信息是焊缝图像处理的关键步骤。选用并研究 Canny 算子来提取焊缝的边缘特征, 详尽地叙述 Canny 算子的基本原理和算法实现过程。最后为了验证 Canny 边缘检测算子的效果, 分别用 Canny、Kirsch、Prewitt、Robert、Sobel 和 Gauss Laplace 算子对焊缝图像进行边缘检测试验, 根据边缘处理结果和焊缝中心坐标图像, 得出 Canny 边缘检测算子是边缘检测的一种十分有效的方法, 适合于视觉传感的焊缝跟踪图像处理过程。

**关键词:** Canny 算子; 边缘检测; 焊缝跟踪; 图像处理

**中图分类号:** TG402 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2006)01-29-05



谢志孟

## 0 序 言

随着计算机视觉技术的发展, 视觉传感技术广泛应用于焊缝跟踪过程<sup>[1, 2]</sup>。视觉传感器具有信息量大、与工件不接触、灵敏度和精度高、抗电磁干扰能力强等优点, 适合各种坡口形状, 而且可以同时进行焊缝跟踪控制和焊接质量的控制。图像处理是视觉传感焊缝跟踪技术的软核心, 主要任务是将视觉传感器所采集的图像信息进行加工处理, 提取焊缝的特征信息, 通过一定的算法获得焊缝偏差信号。在示教型焊缝跟踪过程中, 焊炬运动轨迹直接依赖于焊前的焊缝坐标方程。因此, 焊前通过图像处理得出准确的焊缝中心的位置对于自主焊缝识别、焊接路径规划、提高系统跟踪精度具有非常重要的意义。

焊缝边缘是焊缝图像最主要的特征, 也是描述焊缝形态特征, 进行图像分析, 确定焊缝中心位置的基础。由于焊缝图像存在大量的噪音信号, 焊件的表面状况和光照环境也对图像处理结果有较大的影响, 故在图像处理中应选取适当的边缘检测算子准确地提取焊缝边缘特征, 减少噪声引起的虚假边缘干扰。比较常使用的边缘检测算子有 Robert、Prewitt、Kirsch、Sobel、Gauss-Laplace、Canny 等, 结合焊缝提取实际情况, 采用 Canny 算子来提取焊缝的边缘特征, 并用相对局域扫描法得出焊缝中心曲线, 最后的结果表明其焊缝中心曲线和实际焊缝中心曲线

非常接近, 连续性好, 效果理想。

## 1 Canny 边缘检测算子的原理

John Canny 提出了关于边缘检测算子的三个最佳准则。

(1) 信噪比准则。即丢失真实边缘检测的概率要低, 同时将非边缘点误判为边缘点的概率也要低。信噪比的数学表达式为

$$SNR = \frac{\left| \int_{-\infty}^{+\infty} G(-x)f(x)dx \right|}{\sigma \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} f^2(x)dx}}, \quad (1)$$

式中:  $f(x)$  为边界是  $[-\omega, +\omega]$  的滤波器的脉冲响应;  $G(-x)$  为边缘函数;  $\sigma$  为高斯噪声的均方差。若信噪比越大, 则边缘提取质量越好。

(2) 定位精度准则。即检测出来边缘上的点应该和实际边缘的点最相近。定位精度的数学表达式为

$$Location = \frac{\left| \int_{-\infty}^{+\infty} G'(-x)f'(x)dx \right|}{\sigma \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} f'^2(x)dx}}, \quad (2)$$

式中:  $f'(x)$  和  $G'(-x)$  分别是  $f(x)$  和  $G(-x)$  的一阶导数。Location 的值越大, 则定位精度就越大。

(3) 单边缘响应准则。即要保证单边缘只有一个像素响应, 检测算子的脉冲的响应导数的零交叉点平均距离  $d(f')$  应满足  $f''(x)$  为  $f(x)$  的二阶导数, 即

收稿日期: 2004-10-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60375012); 广东省自然科学基金资助项目(020176)

$$d(f')=\pi\left\{\frac{\int_{-\infty}^{+\infty}f''(x)dx}{\int_{-\infty}^{+\infty}f''(x)dx}\right\}.$$
 (3)

2 Canny焊缝边缘检测算法的实现

根据 Canny边缘检测原理,可以得到相应的边缘检测算法。

(1) 用 3×3 高斯滤波器对焊缝原图像  $G$  进行图像滤波,去除图像中的噪声,得到图像  $I(x,y)$ ,其中高斯空间系数  $\sigma$  对处理结果影响较大。

(2) 计算图像  $I(x,y)$  每个像素的梯度  $M$  和方向  $Q$  采用 2×2 模板作为对  $x$  方向和  $y$  方向的偏微分的一阶近似<sup>[3~5]</sup>,即

$$p=\frac{1}{2}\begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad q=\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}.$$

则梯度大小  $M$  和方向  $Q$  为

$$M=\sqrt{p^2+q^2}, \quad Q=\arctan\left(\frac{q}{p}\right).$$

(3) 对梯度图像进行非极大值抑制。像素  $I(i,j)$  的梯度方向  $Q(i,j)$  可被定义为属于如图 1 所示的四个区之一,在每一点上,邻域的中心像素  $I(i,j)$  与沿着梯度方向  $Q(i,j)$  的两个元素进行比较,如果在邻域中心点处的梯度值  $M(i,j)$  不比沿梯度线方向上的两个相邻点幅值大,则把  $I(i,j)$  的灰度设为零。

2	3	4
1	$I(i,j)$	1
4	3	2

图 1 扇区示意图

Fig 1 Sector figure

(4) 对梯度图像进行双阈值操作和边缘连接。选用两个阈值  $T_1$  和  $T_2$ ,  $T_2=2\times T_1$ 。对于经过非极大值压抑处理的图像  $J(i,j)$ ,如果像素点的梯度值  $M(i,j)\geq T_2$ ,则直接把此像素点标记为边缘像素点;如像素点的梯度值  $M(i,j)\leq T_1$ ,则把此像素点标记为非边缘像素点;如像素点的梯度值  $T_1<M(i,j)<T_2$ ,则标记此像素点为“准像素点”。在双阈值标记完之后,搜索图像中的“准像素点”,并选择其 8 个邻域点的位置寻找是否有梯度值  $M(i,j)\geq T_2$  的点存在,则标记此像素点为边缘,否则标记此像素点为非边缘像素点。

3 试验结果分析

为了验证 Canny 边缘检测算子的效果,分别用 Canny( $\sigma=1/16$   $T_2=26$   $T_1=13$ ), Kirsch, Prewitt, Robert, Sobel 和 Gauss-Laplace 算子对图 2 的焊缝原始图像进行边缘检测试验。在进行边缘检测前,首先对原始图像进行中值滤波。边缘检测结果如图 3 所示,其中分图题表示算子名称。

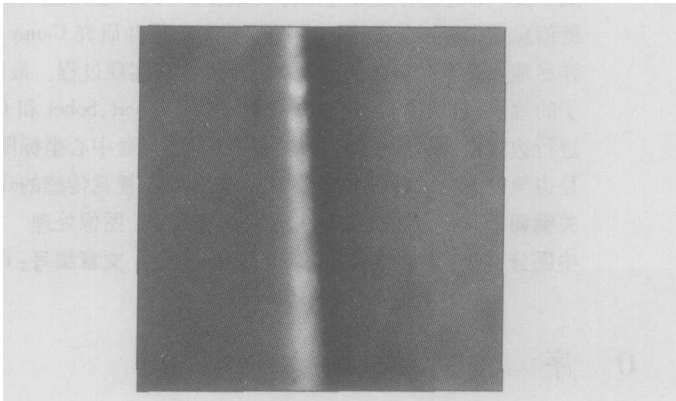


图 2 焊缝原始图像 (256 级灰度, 150 Pixel×150 Pixel)

Fig 2 Original weld image

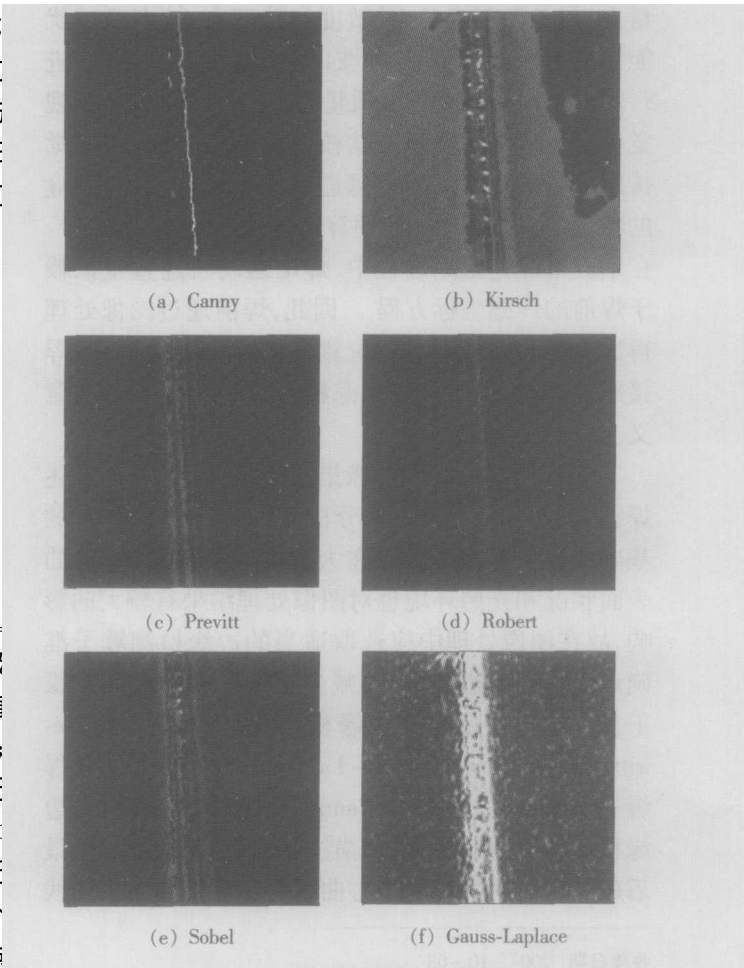


图 3 焊缝图像边缘检测结果

Fig 3 Results of weld edge detection

为了进一步分析处理结果, 分别对图 3 系列图像进行二值化处理, 每幅图像二值化处理所选用的分割阈值都经过了优化, 此分割阈值在有效分割阈值范围内, 且根据此分割阈值所得到的焊缝中心曲线和实际焊缝中心曲线的标准误差值最小。二值化后的图像如图 4 所示, 其中分图题表示算子名称, 分图题括号内数值为分割阈值。

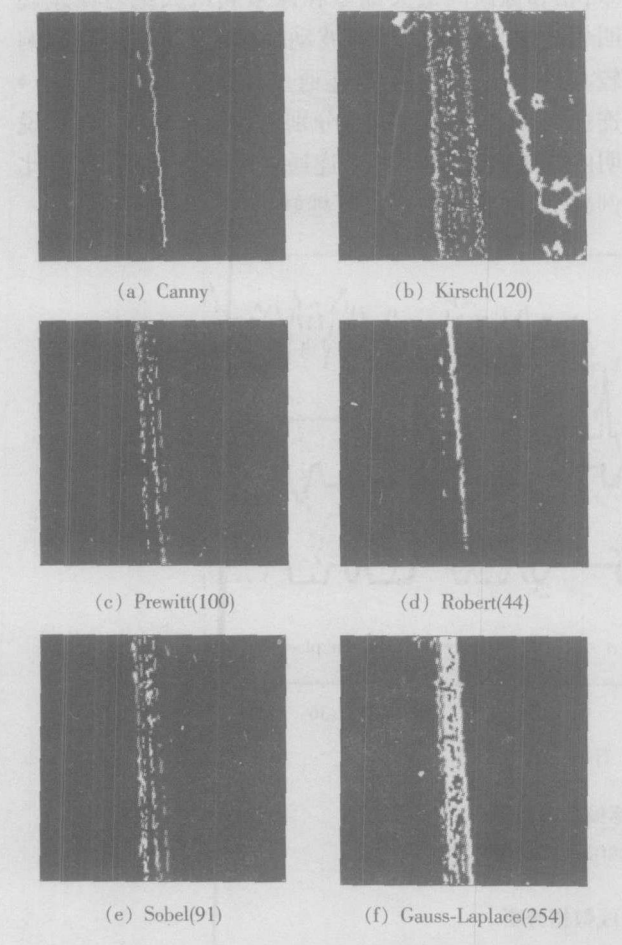


图 4 焊缝图像二值化处理结果

Fig 4 Binary images

最后利用相对局域扫描法对图 4 的每一副图像进行扫描, 得出焊缝中心坐标, 并与实际焊缝中心坐标相比较, 来评价各算子的优劣。

相对局域扫描法是扫描连续非折线形边缘的一种方法, 它在扫描图像的每一行像素时, 只认为基于一行中心坐标的一个特定范围的像素点才是有效检测点, 而范围之外的像素点则认为是图像的孤点, 不进行检测。在试验中, 图像中每两个像素之间的当量距离为  $46\mu\text{m}$ , 取扫描范围为上一行中心坐标的  $\pm 10$  个像素, 即连续两行焊缝中心点连线与水平线的最小夹角为  $57.5^\circ$ , 扫描范围为  $46\mu\text{m} \times 20 = 920\mu\text{m}$ 。焊缝图像处理区域为  $150\text{Pixel} \times 150\text{Pixel}$ , 扫描区域总长 150 行, 算法实现如下。

(1) 定义变量, 并对变量进行初始化。变量说明如下。

- leftpoint[ i ]: 记录每行焊缝左极限  $x$  坐标值。
- rightpoint[ i ]: 记录每行焊缝右极限  $x$  坐标值。
- result[ i ]: 记录每行焊缝中心的  $x$  坐标。
- ScanFlag 表示在当前行已扫描到白点。

(2) 从第  $i$  行开始扫描, 扫描的列范围是 result[  $i - 1$  ] - 10 到 result[  $i - 1$  ] + 10。

(3) 当扫描第一个白点时, 将白点的列值赋给 leftpoint[ i ] 和 rightpoint[ i ], 并置扫描标记 ScanFlag = TRUE (真); 继续扫描, 如有另外的白点, 则将白点的列值赋给 rightpoint[ i ]。

(4) 如果 ScanFlag 为 TRUE, 则第  $i$  行中点坐标列值 result[ i ] = ( leftpoint[ i ] + rightpoint[ i ] ) / 2; 如果 ScanFlag = FALSE (假), 则第  $i$  行中点坐标列值 result[ i ] = result[  $i - 1$  ]; 置 ScanFlag = FALSE。

(5) 继续扫描下一行, 直到扫描完成。

最后得出的焊缝中心曲线和实际焊缝中心曲线的对比图像如图 5 所示 (分图题表示算子名称), 图中白色曲线为算子得出的中心曲线, 灰白色曲线为焊缝实际中心曲线。

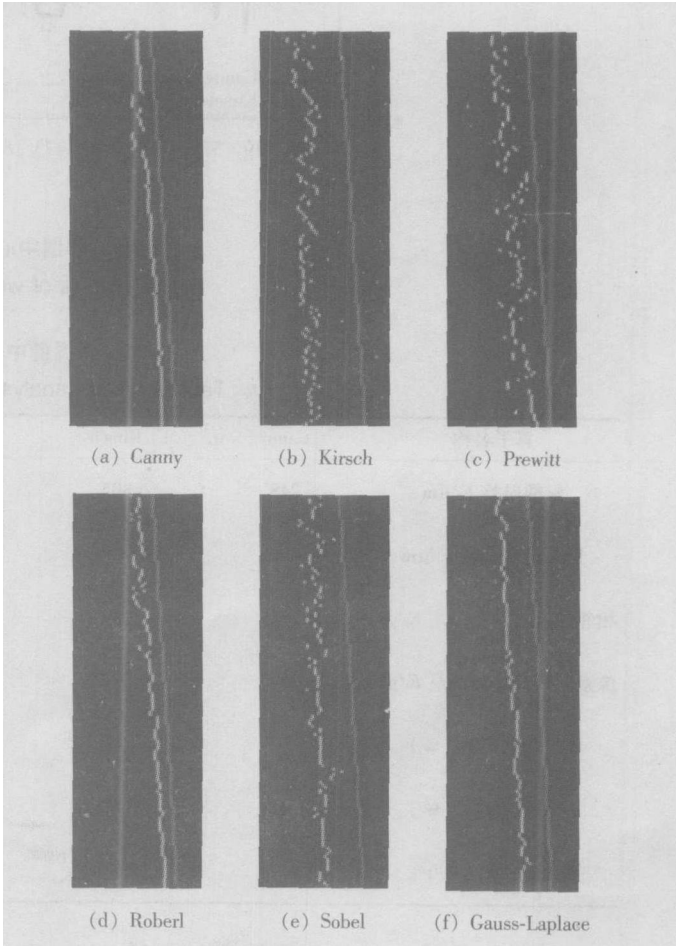


图 5 焊缝中心曲线对比

Fig. 5 Comparison of weld center curve

根据图 5 的中心坐标结果, 得出各算子的坐标偏差曲线图 (图 6) 和相关数据 (表 1)。数据定义如下

标准误差 = 
$$\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x}_i)^2}{N}}, \tag{4}$$

最大绝对偏差 = 
$$\max |x_i - \bar{x}_i|, \tag{5}$$

相邻像素间最大偏差 = 
$$\max |x_i - \bar{x}_{i+1}|, \tag{6}$$

像素间最大绝对偏差 = 
$$\max_{i \neq j} |x_i - x_j|, \tag{7}$$

式中:  $x_i$  为图像第  $i$  行的焊缝中心横坐标;  $\bar{x}_i$  为图像第  $i$  行实际焊缝中心横坐标;  $N$  为图像处理区域的列高度。

表 1(表中图例说明表示算子名称)中的 4 连通点是指中心坐标点的 4 连通区域存在着其它中心坐标点的像素点; 8 连通点是指除 4 连通点外, 中心坐标点的 8 连通区域存在着其它中心坐标点的像素点; 孤点是指中心坐标点的 8 连通区域不存在其它中心坐标点的像素点。

标准误差和最大绝对偏差说明焊缝中心的误差; 相邻像素间最大偏差和像素间最大绝对偏差说明焊缝中心曲线的横向波动, 对焊炬纠偏运动影响较大; 4 连通点比例、8 连通点比例和孤点比例是 4 连通点、8 连通点和孤点分别占边缘点的比例, 是说明曲线平滑度的参数, 4 连通点的比例越高, 孤点比例越小, 则曲线的平滑度越好。

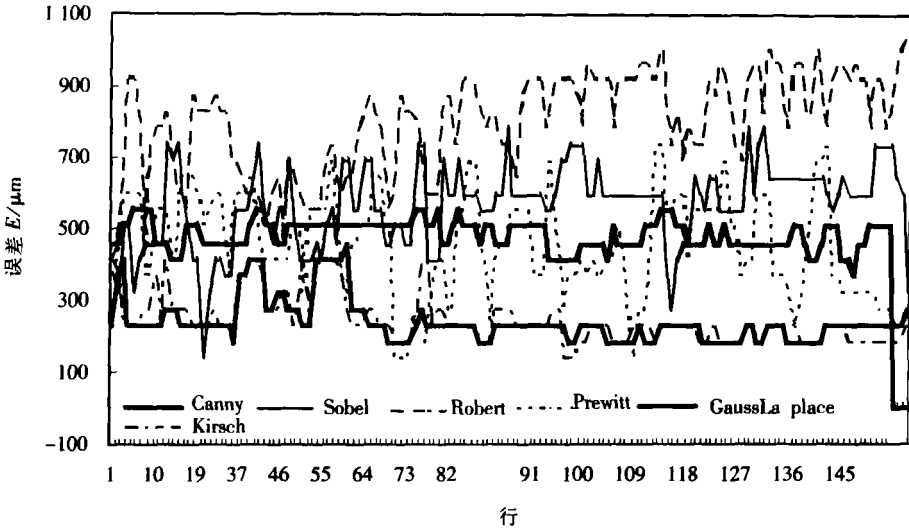


图 6 焊缝中心坐标偏差曲线图

Fig. 6 Errors of weld center coordinates

表 1 焊缝中心曲线数据分析

Table 1 Data analysis of weld center curves

算子名称	Canny	Kirsch	Prewitt	Robert	Sobel	Gauss Laplace
标准误差 $E/\mu\text{m}$	248	805	472	252	578	485
最大绝对偏差 $E/\mu\text{m}$	460	1 058	736	414	782	552
相邻像素间最大偏差 $E/\mu\text{m}$	276	644	598	276	644	184
像素间最大绝对偏差 $E/\mu\text{m}$	184	322	368	184	322	92
4 连通点比例 (%)	95.3	50	72	88.7	70.7	92
8 连通点比例 (%)	4	35.3	11.3	7.3	16.7	7.3
孤点比例 (%)	0.7	14.7	16.7	4	12.6	0.7

在计算中, 由于将实际焊缝中心曲线看作一条理想的斜线, 故计算的标准误差值会比实际误差值

偏大, 但从整体分析来看, 这不会影响各算子性能优 [下转第 36 页]

杂质气体的温度要比原始结构的情况下要低,因而与杂质气体发生反应的几率也会相应地降低。因此,改进后的焊接腔体结构能更有效地减少与杂质气体的化学反应程度,从而更有效地保护核电燃料棒。

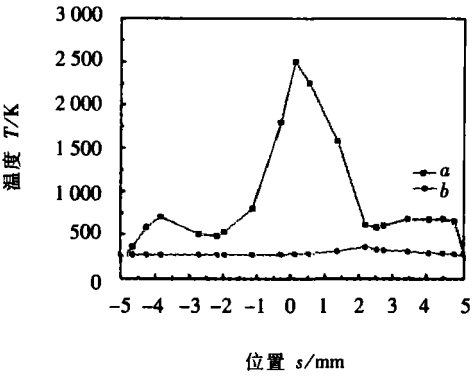


图 7 改进结构核电燃料棒旋转壁面周边网格节点处  
流场温度  
Fig 7 Temperature on computational grids around  
rotating wall of fuel stick with improved  
structure

3 结 论

针对目前核燃料棒焊接中存在的问题,利用计

算流体力学技术,采用贴体坐标和交错网格系统、网格自适应技术对核电燃料棒周边的网格进行自动加密与生成,并用 SMPLEC 算法对核电燃料棒、焊接腔体内的流场进行了联合计算。模拟结果表明改进后的结构,即将腔体出口口改为在腔体下方,且焊接腔体出口处给定适当负压,对防止腔体内空气混杂到焊件的周围,对提高焊接效率起到了一定的作用。

参考文献:

[ 1 ] 杨 林. 核电燃料棒 TC 焊机的研制 [ D ]. 上海: 上海大学, 2004.

[ 2 ] Yakhot V, Orszag S A. Renormalization group analysis of turbulence: Basic theory [ J ]. Journal of Scientific Computing, 1986, 1( 1): 39 - 51.

[ 3 ] Chow R, Cross M, Pericleous K. A natural extension of the conventional finite volume method into polygonal unstructured meshes for CFD application [ J ]. Applied Math. Modeling, 1996, 20 ( 2): 170 - 183.

[ 4 ] Van Doornal J R, Raithby G G. Enhancement of the SMPLE method for predicting incompressible fluid flows [ J ]. Numerical Heat Transfer, 1984 ( 7): 147 - 163.

作者简介: 郑 舒, 男, 1980 年 4 月出生, 硕士研究生。研究方向为计算机辅助设计 CAD/CAE 发表论文 1 篇。  
Email zheng shu@gmail.com

[ 上接第 32 页 ]

劣的比较结果。从焊缝中心图像和数据分析可以看出, Canny 焊缝中心图像和实际焊缝中心图像非常贴近, 而且综合其各参数值优于其它算子的结果, 偏差和横向波动幅度小, 曲线平滑度和连续性好, 检测效果良好。

4 结 论

Canny 边缘检测算子是一种十分有效的焊缝边缘检测方法, 其抗噪性能好, 定位精确度高。利用 Canny 对焊缝图像进行边缘检测, 检测出的焊缝边缘图像连续、清晰, 适用于视觉传感的焊缝跟踪图像处理过程。

参考文献:

[ 1 ] 林尚扬, 陈善本, 李成桐. 焊接机器人及其应用 [ M ]. 北京: 机械工业出版社, 2000.

[ 2 ] 高向东, 罗锡柱. 基于卡尔曼滤波的焊缝检测技术研究 [ J ]. 机械工程学报, 2004, 40( 4): 172 - 176.

[ 3 ] John Canny. A computational approach to edge detection [ J ]. IEEE Transaction Pattern Analysis, 1986, PAM 1-8, 679 - 698.

[ 4 ] 林 卉, 赵长胜, 舒 宁. 基于 Canny 算子的边缘检测及评价 [ J ]. 黑龙江工程学院学报, 2003, 17( 2): 3 - 6.

[ 5 ] 杨振亚, 白治江, 王成道. 自适应 Canny 边缘检测算法 [ J ]. 上海海运学院学报, 2003, 24( 4): 373 - 377.

作者简介: 谢志孟, 男, 1979 年出生, 硕士研究生。研究方向为制造自动化网络与测控技术, 发表论文 2 篇。  
Email gaoxid@senu.edu.cn

ture toughness test standard  $\delta - R$  Resistance curve tests were conducted with multiple specimens at 5 °C in welded joints of X56 pipeline steel. And then the  $\delta_{0.2}$  values of weld and HAZ were obtained. The assessment was carried out by using the maximum stress at different water depth and the stress concentration and residual stress were also considered. The tolerable surface flaw sizes were gained at perfect alignment and maximum allowable misalignment. This study lays the foundation for judging the acceptability of flaws.

**Keywords** British standard tolerable size engineering critical assessment

#### Finite element analyses of instantaneous stresses of hot plate welded joint of plastic pressure pipes

WANG Jian ping<sup>1</sup>, HUO Li xing<sup>1</sup>, GU Kan feng<sup>2</sup> (1. School of Materials Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015, China). p21 – 25

**Abstract** Based on constitutive relationship of thermal viscoelastic integral model considering the properties of material which depend great on temperature fluctuation and the effect of phase transition latent heat, heat force coupling function and load step character of ANSYS were employed to simulate the hot plate welding procedure of high density polyethylene (HDPE) plastic pressure pipe. The finite element analyses on stresses distribution of welded joint was conducted and transient stresses distribution pattern in axial, radial and circumferential directions were obtained. Residual stresses was measured by the math method and the sachsmethod and it showed that the actual measured results of the residual stresses are basically coincident with the results of numerical analysis.

**Keywords** high density polyethylene pressure pipe hot plate welded joint instantaneous stress finite element analyses

#### Effect of single component fluoride flux on TIG arc shape for Tial

LIXiao hong, ZHANG Lian feng, DU Yu xiao (Beijing Aeronautical Manufacturing Technology Research Institute, Beijing 100024, China). p26 – 28

**Abstract** BT20 titanium alloy of 2.5 mm thickness was welded by conventional TIG and single component fluoride flux TIG respectively. The results showed that the influences of different single component fluorides on the shape of arc are different. And the relationship of arc shape and the weld penetration was also obtained.

**Keywords** single component fluoride flux A-TIG welding arc shape

#### Edge detection of weld image based on Canny operator

XIE Zhi meng, GAO Xiang dong (Department of Mechanical and Electrical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China). p29 – 32, 36

**Abstract** Weld edge is the most important characteristic in a weld

image. The fact of selecting an appropriate edge detecting operator and obtaining the accurate weld edge information is a key process in weld image processing. The canny operator was used to extract the weld edge and its principle and implementation were discussed. And the canny operator, kirsch operator, pruwitt operator, robert operator, sobel operator and gauss laplace operator were applied in detecting the weld edges to test the effects respectively. The analysis of the weld image and weld center coordinates showed that the canny operator is a very effective way to detect the weld edge and also suitable for the seam tracking process based on vision sensors.

**Key words** Canny operator edge detection seam tracking image processing

#### Numerical simulation of improving welding efficiency of TIG surface protection

ZHENG Shu<sup>1</sup>, HU Guo hui<sup>1</sup>, CHEN Fang quan<sup>2</sup>, YANG Huan ming<sup>3</sup> (1. Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai University, Shanghai 200072, China; 2. College of Manufacturing Automation, Shanghai University, Shanghai 200436, China; 3. Jian Zhong Chemicals Corporation, Sichuan Yibin 644000, China). p33 – 36

**Abstract** Based on the Navier-Stokes equation and renormalization group (RNG)  $k-\epsilon$  turbulence model, the flows around the nuclear fuel stick and the weld cavity were simulated numerically by the SIMPLEC algorithm. The body fitted coordinates, staggered grid method and self adaptive technique was utilized in this study. Through the analysis of flow around the nuclear fuel stick and the weld cavity, the defect of the old structure was found out and two methods to improve the welding efficiency were proposed.

**Key words** computational fluid dynamics nuclear fuel stick SIMPLEC algorithm

#### Superplastic solid state welding of dissimilar steels under different microstructure by ultra fining treatment

ZHANG Ke ke<sup>1</sup>, YANG Yun lin<sup>1</sup>, ZHAO Ning<sup>2</sup>, WANG Chang sheng<sup>1</sup>, WANG Yao li<sup>1</sup> (1. Material Science and Engineering College, Henan University of Science and Technology, Henan Luoyang 471003, China; 2. School of Material Science and Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China). p37 – 40

**Abstract** The microstructures of 40Cr and T10A steel and its surfaces were ultra-fined through salt bath cyclic quenching, high frequency hardening and laser hardening. Then influence of the welded surface microstructure of steels on the process and joint quality of isothermal superplastic solid state welding (ISSW) for 40Cr/T10A dissimilar steels was studied. The experimental results showed that the welded surface microstructure of steel plays an important role in the formation of ESW joint. The welding temperature of ESW extends to low temperature ranges and the initial strain rate extends to higher strain rate ranges while having finer