连铸结晶器在线热像图绘制的方法

何 $\mathbb{C}^{1,2^{1}}$, 贺东风^{1) \boxtimes}, 徐安军¹⁾, 汪红兵³⁾, 田乃媛¹⁾, 常 圣¹⁾, ト 刚¹⁾

1) 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083 2) 安徽工业大学冶金工程学院,马鞍山 243002

3) 北京科技大学计算机与通讯工程学院,北京 100083

⊠ 通信作者 E-mail: hdfcn@163.com

摘 要 为实现结晶器过程可视化和辅助漏钢预报技术,提出一种等值线区域填充法快速高效绘制直观的结晶器在线热像 图的方法. 该方法通过离散数据网格化、等值线生成和等值多边形填充绘制云图. 其中,等值线生成采用网格序列法和单元 剖分法结合,避免了已往的等值线追踪和二义性问题,高效准确,实现简单. 将该方法与扫描母元法相比,前者绘制云图速度 快,保证了精度和质量,优于后者,且算法复杂度的分析也证明了前者时间效率较高. 实际应用结果表明,该方法绘制的结晶 器在线热像图能很好地反映正常和非正常情况下结晶器内部温度场的特征,可满足实际生产要求.

关键词 连铸;结晶器;温度分布;绘图;等值线;可视化 分类号 TF777

A method for plotting the on-line thermal map of a continuous casting mould

 $\textit{HE Fei}^{1\ 2} \textit{, HE Dong-feng}^{1) \boxtimes} \textit{, XU An-jun}^{1} \textit{, WANG Hong-bing}^{3} \textit{, TIAN Nai-yuan}^{1} \textit{, CHANG Sheng}^{1} \textit{, BU Gang}^{1}$

1) School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

2) School of Metallurgical Engineering , Anhui University of Technology , Maanshan 234002 , China

3) School of Computer and Communication Engineering , University of Science and Technology Beijing , Beijing 100083 , China

🖾 Corresponding author , E-mail: hdfcn@163.com

ABSTRACT To realize the visualization of mould processes and to assist the breakout prediction technology, a contour region filling method was proposed to plot an intuitive on-line thermal map of a mould quickly and efficiently. This method uses discrete data gridding, contour line generating and contour polygon filling to plot the nephogram. A combination of the grid sequence method with the cell subdivision method is adopted for contour line generating, which is more efficient, accurate and simple because of avoiding the contour line tracking and ambiguity. The method was compared with the scan parent element method. The results indicate that the former can plot the nephogram rapidly, ensure its precision and quality, so is better than the latter. Algorithm complexity analysis also proves that the time efficiency of the former is higher. Practical application results show that the on-line thermal map based on the method can reflect the temperature field characteristics of the mould in normal and abnormal conditions well, and is satisfactory for the process of practical production.

KEY WORDS continuous casting; moulds; temperature distribution; mapping; contours; visualization

在连铸过程中,结晶器作为连铸机的心脏,直接 影响着连铸坯质量和连铸机生产率,也成为高效连 铸技术发展的关键环节.因此,对结晶器冶金过程 实现有效的在线监控非常重要.结晶器在线热像图 是实现结晶器过程可视化和漏钢预报系统的重要组 成部分 对实时监控掌握和深入研究结晶器内的冶 金行为提供了一种有效的分析手段 ,也对指导连铸 生产操作提供重要的依据.

在已往的很多研究中,对结晶器在线热像图在 连铸过程中的应用做了大量的介绍,如热像图对黏

收稿日期: 2013-09-11

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(FRF-BR-10-027B)

DOI: 10. 13374/j. issn1001-053x. 2014. 07. 015; http://journals.ustb.edu.cn

结漏钢、冷点、凹陷或纵裂、热点、浸入式水口工作状 态的监控 从热像图判断结晶器锥度大小和保护渣 熔化及润滑状况等^[1-5]. 但是,关于结晶器在线热 像图绘制方法的研究报道却很少. 在线热像图的绘 制不只是通过采用简单的插值算法绘制温度云图, 还必须兼顾实时性、准确性和图像质量. 结晶器热 像图的准确定义是指通过结晶器铜板上有限个热电 偶检测的温度 借助一定的算法 得到整个结晶器铜 板的温度场 在计算机监视屏上显示出来 实现可视 化^[5].结晶器在线热像图是一种动态的二维结晶器 铜板温度云图 非静态云图 因此要求绘制速度快 , 可实现在线可视化,且图像质量和精度有保证,能反 映出温度场的变化特征.本文提出了一种等值线区 域填充法快速高效绘制结晶器在线热像图. 通过 结合网格序列法^[6]和单元剖分法^[7]的思想绘制等 值线并填充等值区域形成云图,可解决已往繁琐 的等值线追踪和二义性问题.本文方法与基于像 素点填充的扫描母元法^[8]进行了比较,并应用于 实际生产.

1 连铸结晶器

本文所研究的 H 炼钢厂板坯连铸结晶器 ,是一 种组合式直结晶器,其长度为900mm,对应板坯断 面为 230 mm × (900~2150) mm 结晶器宽度和厚度 根据板坯断面调整 拉速为 0.80~2.03 m·min⁻¹ 结 晶器振动采用液压驱动和正弦振动曲线,结晶器液 位检测采用电磁涡流传感器,正常液位为100 mm, SEN 采用平底双侧孔水口.结晶器铜板热电偶布置 示意图如图 1. 固定侧(外弧)和活动侧(内弧)宽面 各安装7行12列共84个热电偶 左右窄面各安装4 行2列共8个热电偶 总共184个热电偶 同时对各 热电偶按图 1 进行编号标记,如 7G 表示第 7 行 G 列热电偶. 热电偶安装如图 2 所示. 采用 K 型热电 偶 测量热电偶的形式采用测量点与补偿导线分布 安装 电偶采用弹簧预紧力压接和卡箍固定方式连 接. 热电偶被安装定位以检测与钢液接触的铜板热 面温度. 结晶器铜板厚度均为41 mm ,宽面铜板上热 电偶插入深度(指距离铜板冷面的距离)是 20.5 mm,窄面铜板上热电偶插入深度是 20 mm.

2 结晶器在线热像图的绘制方法

结晶器在线热像图是一种动态温度云图,需 要一种快速高效的温度云图绘制方法.目前常用 的温度云图绘制方法有等值线区域填充法^[9-10]、 扫描线法^[11]和扫描母元法^[8,13].扫描线法和扫描



图1 结晶器铜板热电偶布置示意图(单位:mm)

Fig. 1 Schematic diagram of thermocouple arrangement in the mould copper plate (unit: mm)



Fig. 2 Installation of thermocouples in the mould copper plate

母元法较相似,都是基于像素的云图填充方法.扫 描母元法相比扫描线法,具有精度高、效率高和实现简单等特点^[8].在实际应用中一般采用等值线 区域填充法.所以本文分别用扫描母元法和等值 线区域填充法绘制结晶器在线热像图,并进行了 比较.

2.1 基于像素点填充的扫描母元法

扫描母元法是一种基于像素的云图填充方法, 其基本思想是采用自然坐标系中母元被划分为矩形 子域,然后用一条水平线,依次扫描母元中子域的顶 点,利用顶点的自然坐标以及等参单元的形函数计 算实际坐标及温度值.利用实际坐标找到像素,通 过温度值求出颜色,把像素设置为求出的颜色,画出 单元的云图,逐步画出每个单元的云图,就得到了整 个温度云图.实现该方法的程序流程图如图3所 示.其中,单元内任一点坐标和温度根据有限元理 论,采用八节点四边形等参单元的插值函数计算. 扫描母元法的关键参数是步长 dR 和 dS,直接影响 云图质量和绘制速度.



Fig. 3 Flow chart of the scan parent element method

2.2 等值线区域填充法

等值线区域填充法的基本思想是先绘制等值 线,再在相邻的两条等值线之间的区域填充特定的 颜色形成云图.等值线的绘制是关键环节,目前有 网格序列法和等值线序列法^[6].网格序列法存在等 值线拓扑连接的二义性;等值线序列法具有繁琐的 等值线游动追踪等问题.本文结合网格序列法和单 元剖分法的思想生成等值线.首先,根据网格序列 法按矩形网格单元的排列顺序,逐个处理每个矩形 单元,寻找矩形单元内相应的等值线.然后,利用单 元剖分法将矩形单元内有值线提取转换为三角形单 元内等值线的提取,有效解决了等值线二义性问题, 并且不需要进行等值线追踪.该方法实现简单,效 率高,也保证了精度.

关于利用等值线区域填充法绘制云图的主要步骤包括离散数据网格化、等值线的绘制和等值区域的填充.实现该方法的程序流程图如图 4. 其中,三角形单元内等值线生成和等值多边形填充即三角形单元云图绘制,如图 5. 另外,在相邻四个热电偶构成的矩形网格内,矩形边界上网格点温度采用拉格朗日线性插值法计算,矩形内部网格点温度根据矩形顶点四个热电偶温度采用反距离加权插值法^[13]计算,如下式所示:

$$T = \sum_{i=1}^{q} \frac{T_i}{d_i^p} / \sum_{i=1}^{q} \frac{1}{d_i^p}.$$
 (1)

式中:q为相邻四个热电偶构成的矩形顶点的数目, 为4; T_i 为矩形顶点的热电偶温度i = 1,2,3,4; d_i 为插值点到矩形顶点的直线距离;p是加权幂指数, 通过实验选取1较合适.

在绘制三角形单元云图时,如图 5 所示,若保证 三角形单元足够小,可直接用直线段画三角形单元 内等值线,为此选择合适的 m 和 n 值非常重要,它 将影响到等值线的精度和绘制速度. 同时,相邻等 值线温差 ΔT 的选择也十分重要,直接影响整个云 图的精度、质量和绘制速度.



图 4 等值线区域填充法程序流程图

Fig. 4 Flow chart of the contour region filling method

2.3 温度和颜色的映射关系

温度和颜色的映射关系采用拉格朗日插值法求 得 如图 6 所示.本文颜色模式采用 RGB 模型,将 温度范围 [*T*_{min},*T*_{max}]等分为五段温度区间,对应五 段颜色区间.这里,*T*_{min}和*T*_{max}的值可根据实际需要 设置.对于某一个温度*T*,首先判断在哪一个温度 区间,比如*T*₁ < *T* < *T*₂,然后利用拉格朗日线性插值 法求对应的颜色,如下式所示:

$$Color = \frac{T - T_1}{T_2 - T_1} (Color2 - Color1) + Color1.$$
(2)





Fig. 5 Flow chart of plotting the nephogram by triangle elements



Fig. 6 Mapping relationship between temperature and color

2.4 仿真实验

利用 Delphi 语言和 Windows 图像设备接口 GDI,在同样的机器运行环境下,即 CPU 为 Intel Core2 Duo,主频2.33 GHz,内存2 GB,操作系统 Windows XP SP3,根据上述算法,编制两种结晶器热像 图,进行绘制速度、准确性和图像质量的比较,以及 算法复杂度^[14]的分析.

以绘制结晶器活动侧热像图为例,结晶器活动 侧实际尺寸见图1,对应铜板热电偶温度数据如表 1. 首先 根据铜板活动侧实际尺寸按一定比例缩小 确定屏幕显示的云图尺寸,以适合程序界面显示. 这里云图尺寸为 582 × 191 像素. 然后,根据此要求 分别用基于像素点填充的扫描母元法和等值线区域 填充法绘制云图. 为了保证云图的准确性和图像 质量,通过多次仿真实验,确定扫描母元法的关键 参数 dR 和 dS 分别为 $\frac{7}{740}$ 和 $\frac{7}{444}$ 像素,等值线区域 填充法的关键参数 m_n 和 ΔT 分别为 2、2 和 0.5 ℃. 最后,得出这两种方法绘制的温度云图结果, 如图 7 所示.

由图 7(a) 和(b) 可知: 在图像质量上, 扫描母 元绘制的彩色温度云图质量较高, 颜色之间过渡也 很自然; 而等值线区域填充法, 在局部区域, 颜色之 间过渡有层次感, 如图 7(b) 上的 B 区域, 但从整体 上看云图质量还是满足要求的. 在准确性上, 结合 表1 热电偶温度数据, 可知两种方法绘制的温度云 图非常接近, 均能很好地反映出结晶器活动侧铜板 温度场特征. 但是, 在绘制速度上, 扫描母元法云图 绘制时间为 2312 ms, 而等值线区域填充法只需 188 ms. 现场热电偶温度数据采集周期是 1000 ms, 扫描 母元法云图绘制时间远大于温度数据采集周期, 无 法保证云图实时性, 而等值线区域填充法绘制速度 快, 完全能满足实时性要求, 是较优的选择. 图 7 (c) 是利用等值线区域填充法绘制的温度云图中 B 区域的等值线分布.

关于算法复杂度分析,扫描母元法是基于像素 点填充方法,需根据实际坐标系和自然坐标系的映 射关系,遍历计算单元内所有像素点温度和颜色,所 以其时间复杂度如下式:

$$O(M \cdot n_p) = O\left(7 \times 12 \times \frac{2}{\mathrm{d}R} \times \frac{2}{\mathrm{d}S}\right) =$$
$$O\left(84 \times \frac{2}{7/740} \times \frac{2}{7/444}\right) \approx O(336 \times 6705). \quad (3)$$

式中 *M* 为扫描母元法对应的网格单元数 ,*n*_p 为单元内像素点数. 而等值线区域填充法 ,其问题规模与网格单元数 *N* 和等值线条数 *n*₁ 有关 ,所以其时间复杂度如下式:

$$O(N \bullet n_1) = O\left(7 \times 12 \times m \times n \times 4 \times \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{\Delta T}\right) = O\left(336 \times 4 \times \frac{180 - 20}{0.5}\right) = O(336 \times 1280).$$
(4)

其中,式(4)计算的是最坏情况下的时间复杂度,此时所有单元内等值线条数 n₁ 取极限值 320.比较式(3)和(4)可知,等值线区域填充法时间复杂度明显小于扫描母元法.由此可见,从算法复杂度上也证

 $^{\circ}$ C

明等值线区域填充法的时间效率较高.

对于结晶器在线热像图,云图绘制速度是关键, 准确性和图像质量也要保证要求,这样才能实现高 效准确可视化.所以,从以上仿真实验对云图绘制 速度、准确性和图像质量的比较,以及两种算法复杂 度的分析,可知等值线区域填充法是一种较优的结 晶器在线热像图绘制方法,而基于像素点填充的扫 描母元法时间效率较低,不能满足要求.

表1 结晶器铜板活动侧热电偶温度实测数据

 $Table \ 1 \quad {\rm Actual \ temperature \ data \ of \ thermocouples \ on \ loose \ side \ of \ mould \ copper \ plate}$

行	列											
	А	В	С	D	Е	F	G	Н	Ι	J	K	L
1	38.7	47.1	156.3	145.9	148.4	167.0	99. 9	146.8	154.4	46.5	46.3	38.6
2	38.6	44. 7	168.2	99.8	131.3	143.6	143.6	140.9	142.4	147.5	44. 7	38.0
3	38.5	43.8	136.0	120. 8	119.9	114.8	121.9	115.2	119.8	136.0	44.0	38.3
4	38.3	43.4	150.9	132.7	126.6	113.8	121.5	119.8	123.0	105.8	43.0	38.0
5	38.5	43.1	99.5	112. 1	110.7	114.6	129.5	123.8	124.9	135.4	43.0	38.4
6	37.7	43.1	105.8	111.4	105.4	103.4	113.1	104.9	108.5	110.9	43.1	38.5
7	37.8	45.6	122. 8	126.7	130.6	116.6	123.6	101.9	116.4	117.0	47.2	38.3



图 7 结晶器活动侧温度云图.(a) 扫描母元法(绘制时间:2312 ms);(b) 等值线区域填充法(绘制时间:188 ms);(c) B 区域等值 线分布

Fig. 7 Temperature nephograms for the loose side of the mould: (a) scan parent element method (plotting time: 2312 ms); (b) contour region filling method (plotting time: 188 ms); (c) distribution of contour lines at location B

3 实际应用

利用等值线区域填充法编制了 H 炼钢厂板坯 连铸结晶器在线热像图,并进行了实际应用.现场 操作人员通过结晶器在线热像图,可非常直观地监 控结晶器内部温度场的变化情况,为及时判断并采 取措施防止各种异常事件的发生提供了帮助.

本文针对实际应用结果,分析了正常和非正常 情况下的各种热像图,如图8~图11所示.其中,虚 线是铜板热电偶布置图,虚线外部云图根据实际需 要通过增加虚拟热电偶点绘制,虚拟热电偶点温度 等于边界热电偶点温度.



图 8 正常情况下热像图(铸坯宽度:1500 mm) Fig. 8 Thermal map in normal state (slab width: 1500 mm)



Fig. 9 Thermal map for a slab with cracks (slab width: 1500 mm)

图 8 为正常情况下一种典型的宽面热像图. 在 结晶器弯月面及附近处,对应温度高,颜色较亮稳 定,且没有较大的温度变化;在结晶器中下部,对应 温度逐渐降低,颜色逐渐变暗,纵向温度梯度较明 显. 在正常的稳定浇铸条件下铜板热电偶温度变化



图 10 不同拉速的热像图(铸坯宽度: 1600 mm). (a) 1.25 m • min ⁻¹; (b) 0.9 m • min ⁻¹ Fig. 10 Thermal maps for different casting speeds (slab width: 1600 mm): (a) 1.25 m • min ⁻¹; (b) 0.9 m • min ⁻¹

较平稳,对应热像图颜色也较稳定.图9为铸坯有 凹陷和冷点的热像图.在凹陷和冷点处温度明显低 于周围,颜色很暗,一般是由于液面波动过大,对应 位置的保护渣熔化不好,或是结晶器锥度不合适引 起.图10是在同一铸坯断面下不同拉速的热像图. 拉速从1.25m•min⁻¹下降到0.9m•min⁻¹,整个铜板 温度明显降低,对应颜色也明显变暗;在高拉速时, 坯壳较薄,传热较快,铜板温度高. 图 11 是一次结晶器宽面黏结漏钢过程的热像 图. 在实际浇铸过程中,黏结是从结晶器弯月面开 始,由于保护渣润滑不良或液面波动过大等原因,使 弯月面强度下降出现破损,导致钢液直接和铜板接 触就会发生黏结,黏结点在结晶器振动和拉坯双重 作用下不断向下移动,坯壳不断被撕裂,并向下和两 侧扩展,形成 V 形撕裂线,而裂口处的铜板温度会 升高,当黏结点下移到结晶器出口时就会出现漏钢.



图 11 一次黏结漏钢过程不同时刻的热像图(铸坯宽度:2000 mm). (a) 06:17:31; (b) 06:17:41; (c) 06:17:51; (d) 06:18:01; (e) 06: 18:11; (f) 06:18:16; (g) 06:18:26; (h) 06:18:31

Fig. 11 Thermal maps at different time for a sticking-type breakout process (slab width: 2000 mm): (a) 06:17:31; (b) 06:17:41; (c) 06:17:51; (d) 06:18:01; (e) 06:18:11; (f) 06:18:16; (g) 06:18:26; (h) 06:18:31

表现在热像图上,正常状态时,如图11(a),黏结发 生时,在弯月面附近产生颜色明亮的热点,如图11 (b)和(c)的E列,然后热点不断向下移动,形成一 个V形的明亮区域,不断向下和两侧扩展,如图11 (d)~(g)的E列,如果热点下移到结晶器出口,如 图11(h)的E列,就会发生漏钢.由上可知,黏结漏 钢可以通过热像图很明显地判断出来,更加形象地 显示了黏结裂口的形成和传播过程.另外,图11和 图8也表现了两种不同铸坯宽度对应的热像图,说 明热像图显示的宽度可以随铸坯断面尺寸而变化.

综上所述,基于等值线区域填充法的结晶器在 线热像图在实际应用时,能很好地反映正常和非正 常浇铸状态下结晶器内部温度场的特征,是实现结 晶器过程可视化和辅助漏钢预报技术的重要手段.

4 结论

(1)针对结晶器在线热像图的特点,本文提出 了一种等值线区域填充法准确快速高效绘制结晶器 在线热像图,并与基于像素点填充的扫描母元法进 行了比较.仿真实验结果表明,等值线区域填充法 绘制云图速度快,也保证了云图准确性和图像质量, 优于扫描母元法.算法复杂度分析也证明等值线区 域填充法具有较高的时间效率.

(2)等值线区域填充法,先通过离散数据网格 化将结晶器铜板划分为多个小矩形单元组成的矩形 网格,再通过网格序列法和单元剖分法的思想生成 等值线,将矩形单元内等值线提取转换为三角形单 元内等值线的提取,可有效解决已往的等值线二义 性和繁琐的等值线追踪问题,然后对等值多边形填 充该处温度对应的颜色,遍历所有网格单元就得到 整个铜板的温度云图.该方法简单,效率高,精度有 保证.

(3) 基于等值线区域填充法的结晶器在线热像 图在 H 炼钢厂进行了实际应用. 应用结果表明,正 常情况下、铸坯有凹陷等裂纹、不同拉速、不同断面 和黏结漏钢过程的热像图都能很好地反映出结晶器 内部温度场的特征,可知等值线区域填充法完全适 合绘制结晶器在线热像图,且此方法可扩展到任何 标量场数据和矢量场分量的在线可视化.

参考文献

[1] Ma X G , Zhang Y F , Li J M. Application of thermal imaging figure of mould to predicting and controlling longitudinal crack of thin slab. *Iron Steel* , 2007 , 42(6): 34

(马新光,张云飞,李军明.结晶器热像图在预测和控制薄板 坯纵裂纹中的应用.钢铁,2007,42(6):34)

- [2] Du H B, Yang J. Causes and countermeasures of breakout during production of SPHD by thin slab casting in Tanggang. *China Met-all*, 2007, 17(6): 59
 (杜洪波,杨杰. SPHD 薄板坯连铸漏钢原因分析及控制措施. 中国冶金, 2007, 17(6): 59)
- [3] Liu X H, Yang J, Sun L J. Application of mould breakout prevention and thermal map technology on FTSC thin slab caster. *Henan Metall*, 2009, 17(2): 41
 (刘晓红,杨杰,孙立军. FTSC 薄板坯连铸漏钢预报及热像 图技术应用. 河南冶金, 2009, 17(2): 41)
- [4] Gao X. Monitoring function of thermal Image diagram to mould heat transfer and failure. *Tianjin Metall*, 2010(5): 7
 (高翔. 浅析热像图对结晶器传热和事故的监控作用. 天津冶金, 2010(5): 7)
- [5] Cai K K. The Continuous Casting Mould. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2008
 (蔡开科. 连铸结晶器. 北京: 冶金工业出版社, 2008)
- [6] Wang C E. Meshing and Visualization Technology for Scientific Computing. Beijing: Science Press, 2011
 (王成恩. 面向科学计算的网格划分与可视化技术.北京:科 学出版社, 2011)
- [7] Shi J Y, Cai W L. The Algorithms and Systems of Visualization in Scientific Computing. Beijing: Science Press: 1996
 (石教英,蔡文立. 科学计算可视化算法与系统. 北京: 科学 出版社, 1996)
- [8] Liu Y J. Scan parent element method for visualization of finite element method analysis results. *Comput Simul*, 2008, 25(9): 231
 (刘永军.有限元数据场可视化的扫描母元法.计算机仿真, 2008, 25(9): 231)
- [9] Sun G R, Ma L, Lu D P, et al. Investigation on the algorithm of making and filling isoline. *J Tianjin Univ*, 2000, 33(6): 816
 (孙桂茹,马亮,路登平,等. 等值线生成与图形填充算法. 天津大学学报,2000,33(6): 816)
- [10] Du X F, Wang C E. A new nephogram algorithm based on contour data. J Northeast Univ Nat Sci, 2013, 34(5): 624
 (杜小甫,王成恩. 基于等值线数据的一种新的云图算法. 东北大学学报: 自然科学版, 2013, 34(5): 624)
- [11] Xie C, Ma L, Peng Y H. Visualization of the FEM analysis data. J Comput Aided Des Comput Graphics, 2000, 12(2): 81
 (谢春,马兰,彭颖红. 有限元计算结果的可视化处理. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(2): 81)
- [12] Liu Y J, Li H N. A new method for coloring contours of 2D temperature fields. *J Eng Graphics*, 2001, 22(4): 59
 (刘永军,李宏男.一种画二维温度场彩色云图的新方法. 工程图学学报,2001,22(4): 59)
- [13] Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // Proceedings of the 1968 23rd ACM National Conference. ACM, 1968: 517
- [14] Liu C L , Rong T P , Luo F F. Image deformation algorithm based on region division. J Huazhong Univ Sci Technol Nat Sci , 2005 , 33(10): 47

(刘春利,容太平,罗芳芳.基于区域划分的一种新的图像变形 算法.华中科技大学学报:自然科学版,2005,33(10):47)