

边缘检测技术在确定流体包裹体迹线中的应用

徐金明, 赵晓波

(上海大学 土木工程系, 上海 200072)

摘要: 岩体裂隙中大量存在着流体包裹体, 它们是流体包裹体迹面和流体包裹体迹线的组成成分。具有不同几何和形态参数的微观成分和显微构造记录岩体变形和破坏过程的重要信息。把冷热台中显微镜摄得的数字图像作为原始图像并转换成相应的灰度图像, 采用四叉树分解和区域分割等方法把整个图像分解成多个子块, 使用拐点与导数判定等方法检测流体包裹体, 使用膨胀与腐蚀等数学形态学方法判定包裹体边界, 经过重新定位后得到单个包裹体在整体坐标系中的位置信息, 根据包裹体几何参数与最小二乘法获得了流体包裹体迹线及其形态和几何参数。这些处理过程均通过编制的应用程序在计算机中自动实现。由于流体包裹体迹线反映岩体中显微裂隙的一些特性、显微构造与宏观构造又具有一定的成生联系, 因此, 研究结果将为研究岩体地区各种地质现象变化过程的微观机制提供较好的理论基础。

关键词: 岩石力学; 流体包裹体; 边缘检测; 几何和形态参数; 流体包裹体迹线

中图分类号: TU 45

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2007)06 - 1132 - 06

DETERMINATION OF FLUID INCLUSION LINES USING EDGE-DETECTION TECHNIQUE

XU Jinming, ZHAO Xiaobo

(Department of Civil Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: Fluid inclusions(FI) are widely spread in microcracks and composed of fluid inclusion planes(FIP) and fluid inclusion lines(FIL)—the intersections of FIP with some observed planes. These microscopic compositions(FI) or structures(FIP and FIL) with different geometrical and configuration parameters may record the history of deformations and/or fractures in rocks. The original images are obtained from a camera on a heating-freezing stage. These images are first transformed into gray images and broken into blocks by image segmentations. For each block, the inflection point, derivative and color-based methods are all used to detect the edges for each fluid inclusion. The Roberts, Prewitt and Sobel algorithms are used in the inflection point. The LOG and Canny algorithms are used in the derivative method. In order to get better boundaries, the mathematical morphological analyses are used to extend edges, connect discontinuous points, fill pores in outlines, eliminate irrelative parts, smoothen projecting parts and aggregate the smaller inclusions into big ones. The inflation, erosion, seed-filling, boundary connection, smoothening methods are used in the mathematical morphological analysis. After re-orientation for each block, edge points and lines are ascertained in the global coordinate system. According to the geometrical properties of inclusions from edge detection, especially from the mathematical morphological analysis, FILs and their configuration parameters are finally obtained with the least square method. The geometrical properties include positions, areas and long-axis directions. The configuration parameters include

收稿日期: 2006 - 07 - 21; **修回日期:** 2006 - 08 - 31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40572162)

作者简介: 徐金明(1963 -), 男, 博士, 1983年毕业于长春地质学院工程地质专业, 现任副教授、硕士生导师, 主要从事工程地质、环境岩土工程等方面的教学与研究工作。E-mail: xjming@163.com

length, and width. All of these procedures are coded into a program. Due to the reflection of FIL on the characteristics of microcracks and the formation relationships between the micro- and macro-structures, the analysis presented here may theoretically provide a good foundation to reveal the micromechanics of the change process for different geological phenomena in rock area.

Key words: rock mechanics; fluid inclusion; edge detection; geometrical and configuration parameters; fluid inclusion lines

1 引言

已有大量文献对岩体宏观性质进行了研究,也有一些报道分析了岩体的微观和细观特征。数字图像分析技术已被用于岩体裂隙测量与分析^[1, 2]、岩石试件损伤演化研究^[3], M. Lemy 和 J. Hadjigeorgiou^[4]使用分解算法和边缘检测技术对岩石露头中的不连续面进行了研究,岳中琦等^[5]提出了结合数字图像处理 and 传统有限元技术的花岗岩细观结构有限元分析方法,林为人等^[6]研究了花岗岩中的流体包裹体及微小裂缝形成机制。但总而言之,关于岩体微观特征的研究还不是很多。

岩体裂隙中存在着大量微观成分——流体包裹体,流体包裹体迹面是微观意义上的岩体裂隙面(FIP)^[7, 8],岩体包裹体迹线则是这些流体包裹体迹面与观察面的交线(FIL)。这些微观成分和显微构造反映了岩体裂隙走向、长度、宽度等方面的特征,记录了岩体变形和破坏过程的信息^[9]。通过对流体包裹体的几何和形态参数进行定量分析,可以定量估计流体包裹体迹线位置及其平面分布^[10]。由于流体包裹体迹线反映了岩体中显微裂隙的一些特性、显微构造与宏观构造又具有一定的成生联系,因此,使用图像分析中的边缘检测技术确定流体包裹体迹线,将为分析岩体地区各种地质现象的微观机制提供较好的理论基础。

本文以冷热台中显微镜摄得的一幅流体包裹体原始数字图像(见图 1)处理过程为例,使用边缘检测等图像处理方法提取流体包裹体几何和形态参数、模拟流体包裹体迹线。所有处理过程通过 MATLAB 平台下作者^[11]自编的专门程序自动实现。

2 流体包裹体边缘检测

为了较好地获得单个包裹体的边缘与边界,可以采用图像转换、图像增强、图像分割、包裹体



图 1 获得岩体中流体包裹体数字图像的仪器装置

Fig.1 Equipment to obtain an original image of fluid inclusion in rock

识别、数学形态学处理、信息提取与归并等方法。其中,包裹体识别是这一处理过程的基础,而数学形态学处理则使处理结果更为完善。

虽然单个流体包裹体有很多分析参数(如面积、形状、长短轴等形态参数,形心坐标、长轴与坐标轴夹角等几何参数^[12]),实际处理时只考虑长度、宽度、丰度、迹线夹角或距离等主要几个参数。

2.1 图像前处理

由显微镜所摄图像是大小为 $M \times N \times 3$ (M, N 均为整数)像素的 RGB 格式彩色图像。为便于后续处理,将原始图像转换成灰度级为 $0 \sim 255$ 、灰度函数为 $f(x, y)$ (x, y 为图像中的像素位置)的灰度图像,转换后的图像见图 2。

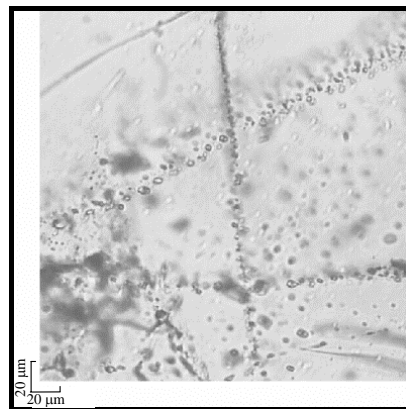


图 2 原始图像转换为灰度图像

Fig.2 Gray image from original image

为了削弱背景、凸出包裹体，使用图像增强手段处理，灰度增强后的图像见图 3。

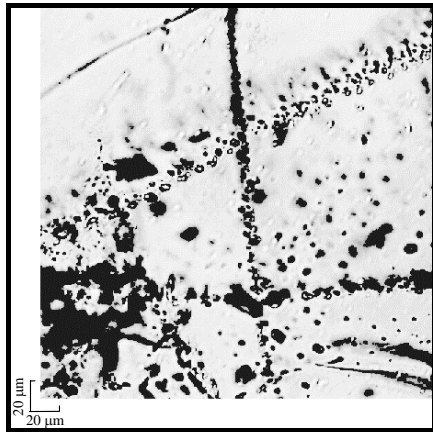


图 3 灰度增强后的图像
Fig.3 Gray-enhanced image

体的边缘检测结果见图 5。由图 5 可知，使用颜色差异方法确定包裹体，识别效果比常规方法边缘检测要差一些。

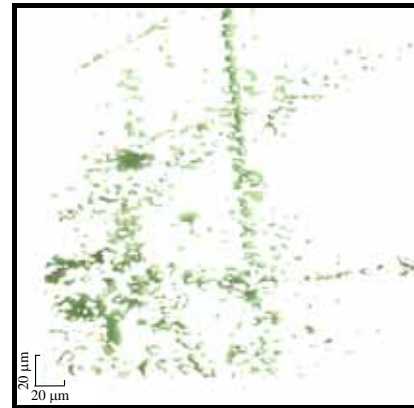


图 5 颜色差异处理后的图像
Fig.5 Image treated by color-differences

由于整张图片的信息量较大，因此，按一定标准分割图像。本次研究采用的分割方法包括四叉树分解法与区域分割法。

2.2 流体包裹体识别

流体包裹体识别采用常规边缘检测方法和颜色差异方法。

对每一子块，使用拐点判定法中的 Roberts 算法、Prewitt 算法、Sobel 算法和导数判定法中的 LOG 算子、Canny 算法^[13]来判定流体包裹体边缘。由此可以发现，Canny 算法的边缘检测结果比其他方法更为精细一些。常规边缘检测后的图像见图 4。

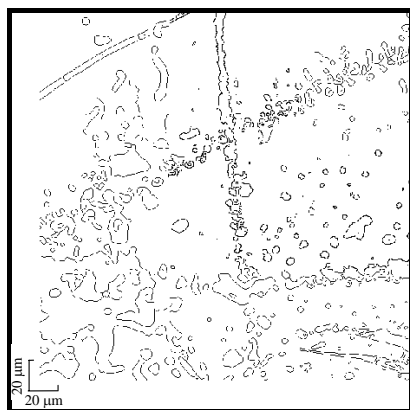


图 4 常规边缘检测后的图像
Fig.4 Edge-detected image

2.3 流体包裹体图像的数学形态学处理

对于边缘检测之后流体包裹体某些轮廓线轮廓出现间断或不光滑的情况，进行数学形态学处理。本次研究主要采用边缘连接、边界连通和平滑技术方法进行数学形态学处理。

边缘连接时，利用膨胀腐蚀方法扩充边缘并连接间断点，轮廓内空洞采用种子填充方法填补。边界连通时，将流体包裹体与边界分离、保留流体包裹体与背景分界线。轮廓线突出部分采用平滑技术处理。

数学形态学分析后的图像见图 6。

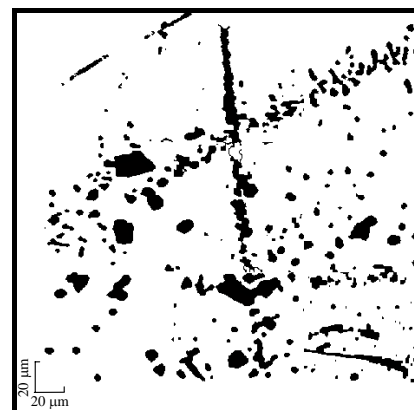


图 6 数学形态学分析后的图像
Fig.6 Images after mathematical morphological analysis

根据颜色差异识别包裹体时，首先将图像从 RGB 颜色空间转化成 HIS 颜色空间^[14]，然后根据所设阈值分离出包裹体。基于颜色差异方法识别包裹

2.4 信息提取与归并

边缘连接之后，将各个子块按整体坐标重新定位，将图片中单个流体包裹体几何和形态参数分离

出来并存储在相应数组之中。

为减少计算量而又不至于使结果失真, 存储时将邻近较小包裹体聚合成一个较大包裹体、将大包裹体附近的小包裹体聚合于较大包裹体。

3 流体包裹体迹线的确定

3.1 流体包裹体迹线拟合

利用流体包裹体形心坐标可以估算出流体包裹体迹线位置。估算时, 首先只考虑单个包裹体形心坐标、用最小二乘法拟合一条曲线 S_1 ^[15], 求出各包裹体形心 $g_i(x, y)$ 到 S_1 的距离 d_i , 然后以各流体包裹体的面积 A_i 、长轴方向 θ_{li} 、距离 d_i 为自变量构造权函数 $\{\omega_i\}(i=1, 2, \dots, n)$, 最后以各包裹体形心坐标 $g_i(x, y)$ 为点集、以 ω_i 为权函数再由带权函数的最小二乘法拟合曲线 $S^*(x)$:

$$S^*(x) = \sum_{k=1}^n a_k^* P_k(x) \tag{1}$$

其中,

$$a_k^* = \frac{(f, P_k)}{(P_k, P_k)} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i f_i P_k(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i P_k^2(x_i)} \tag{2}$$

式中: a_k^* 为第 k 个基函数系数; $\omega_i(i=1, 2, \dots, n)$ 为权函数; $P_k(x_i)$ 为带权 $\{\omega_i\}$ 的正交多项式($k=1, 2, \dots, m-1$), m 为多项式 $P_k(x_i)$ 的个数。

拟合出的流体包裹体迹线如图 7 所示。图 7 中流体包裹体迹线 FIL01~FIL05 的包裹体形态参数

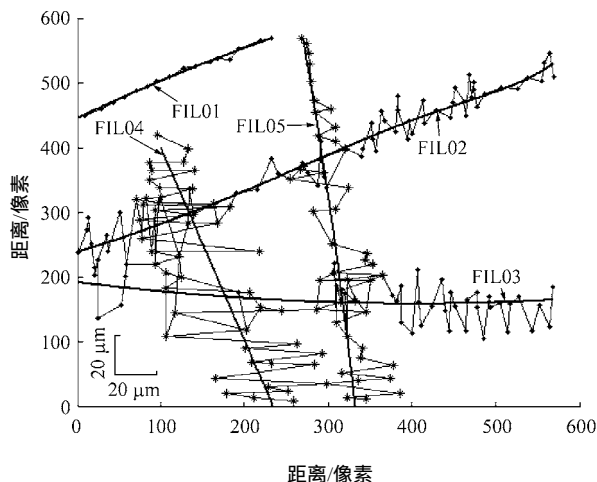


图 7 流体包裹体迹线图

Fig.7 Images of fluid inclusion lines

见表 1, 表中距迹线距离是指流体包裹体形心到迹线的距离。

表 1 流体包裹体迹线的包裹体形态参数

流体包裹体形态参数	流体包裹体总数	距迹线最大距离/ μm	距迹线最小距离/ μm	距迹线平均距离/ μm
FIL01	16	2.91	0.11	0.72
FIL02	77	20.45	0.13	7.09
FIL03	63	25.58	0.16	7.95
FIL04	49	32.80	1.03	14.21
FIL05	46	20.51	0.14	6.95

3.2 流体包裹体迹线特征

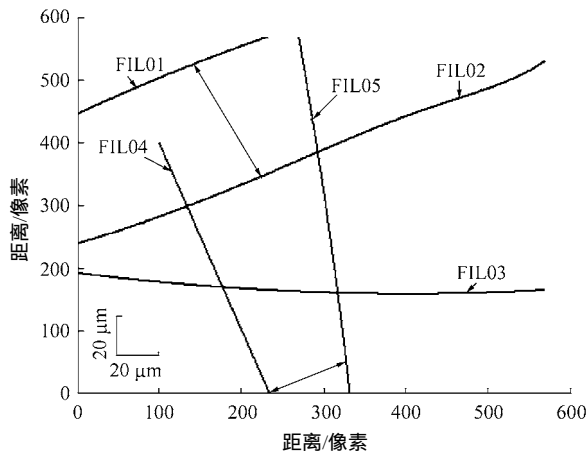
根据所得拟合曲线可得长度 S 、拟合宽度 B 、平均丰度 $\bar{\rho}$ 等流体包裹体迹线参数(见表 2), S 为流体包裹体迹线的弧长, B 为根据等面积法确定的流体包裹体迹线两侧中流体包裹体最外侧宽度的平均值, $\bar{\rho}$ 为流体包裹体迹线单位长度上的流体包裹体面积($\bar{\rho}$ 由丰度 ρ 计算得到, 而 ρ 是将包裹体面积 A_i 投影到 S^* 上所得到的一个参数)。

表 2 流体包裹体迹线的特征参数

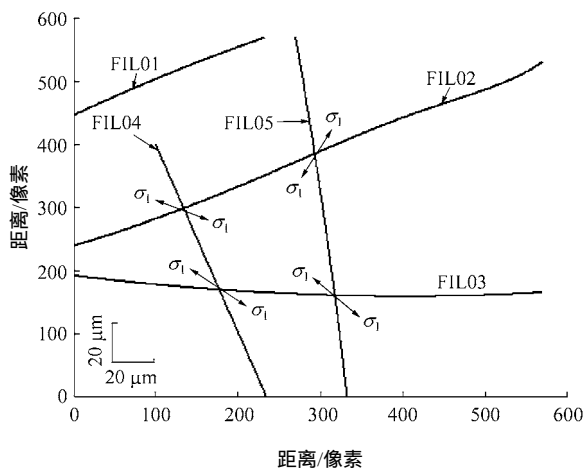
流体包裹体迹线	长度/ μm	拟合宽度/ μm	平均丰度/%
FIL01	99.2	12.8	1.6
FIL02	247.7	69.8	11.9
FIL03	251.5	78.3	8.7
FIL04	158.8	72.0	12.5
FIL05	216.0	76.8	10.7

流体包裹体迹线位置关系可分为相交的 A 型迹线、平行或大致平行的 B 型迹线。图 8 所示为流体包裹体迹线距离及相交迹线夹角平分线的平面分布情况, 表 3 所示为流体包裹体迹线夹角统计表, 表 4 所示为流体包裹体平行迹线距离统计表。

由图 8 可知, 与 B 型迹线相比, A 型迹线分布较密、宽度稍短、贯通性稍好。与区域地质资料^[16]对比后发现, A 型迹线主要是由岩体错动、剪压作用形成, 而 B 型迹线通常由构造张裂作用形成。



(a) 两平行迹线



(b) 两相交迹线

图 8 流体包裹体迹线之间的关系

Fig.8 Relationships between FILs

表 3 流体包裹体迹线的夹角统计表

Table 3 Intersection angles between FIL (°)

流体包裹体迹线	FIL01	FIL02	FIL03	FIL04	FIL05
FIL01	0.0	0.0	0.0	82.1	63.0
FIL02	0.0	0.0	0.0	83.5	76.7
FIL03	0.0	0.0	0.0	43.1	83.7
FIL04	82.1	0.0	43.1	0.0	0.0
FIL05	63.0	76.7	83.7	0.0	0.0

表 4 流体包裹体迹线的距离统计表

Table 4 Distances between FIL 像素

流体包裹体迹线	FIL01	FIL02	FIL03	FIL04	FIL05
FIL01	0	74	125	0	0
FIL02	74	0	80	0	0
FIL03	125	80	0	0	0
FIL04	0	0	0	0	55
FIL05	0	0	0	55	0

4 结 论

(1) 本文将冷热台中显微镜所摄原始数字图像转换成灰度图后, 采用图像分割方法把图像分解成许多子块, 对各子块通过拐点判定法、导数判定法等边缘检测技术识别流体包裹体, 使用膨胀腐蚀、种子填充、边界连通、平滑处理等技术解决了包裹体突出与间断问题, 根据包裹体几何参数及最小二乘法获得了流体包裹体迹线的形态和几何参数。

(2) 使用边缘检测技术分析流体包裹体数字图像, 可以确定岩体中流体包裹体迹线的位置与分布, 为研究不同类型与不同性质结构面的微观特征打下了较好的基础。

(3) 本文初步探讨了流体包裹体迹线位置组合情况与裂隙性质的关系, 所得流体包裹体迹线能较好地反映岩体裂隙的一些特征, 不同类型、分布的流体包裹体迹线与岩体裂隙类型与分布具有一定的对应关系。

(4) 对岩体中流体包裹体数字图像进行边缘检测等数字图像分析方法来估计流体包裹体迹线的工作才刚刚起步, 诸如宏观、细观和微观关系等问题还需要进一步研究, 但本文方法将为分析岩体地区地质现象微观机制提供较好的理论基础。

致谢 本文所用流体包裹体图片资料由上海同济大学地下建筑与工程系刘 斌教授提供, 特此感谢!

参考文献(References) :

[1] 范留明, 李 宁. 基于数码摄影技术的岩体裂隙测量方法初探[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(5): 792 - 797.(FAN Liuming, LI Ning. Study on rock mass joint measurement based on digital photogrammetry[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(5): 792 - 797.(in Chinese))

[2] 盛金昌, 刘继山, 赵 坚. 基于图像数字化技术的裂隙岩体非稳态渗流分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(7): 1 402 - 1 407.(SHENG Jinchang, LIU Jishan, ZHAO Jian. Analysis of transient fluid flow in fractured rock masses with digital image-based method[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(7): 1 402 - 1 407.(in Chinese))

[3] 马少鹏, 刘善军, 赵永红. 数字图像灰度相关性用以描述岩石试件损伤演化的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(3): 590 -

- 595.(MA Shaopeng, LIU Shanjun, ZHAO Yonghong. Gray correlation of digital images from loaded rock specimen surface to evaluate its damage evolution[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(3): 590 - 595.(in Chinese))
- [4] LEMY M, HADJIGEORGIOU J. Discontinuity trace map construction using photographs of rock exposures[J]. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 2003, 40(6): 903 - 917.
- [5] 岳中琦, 陈 沙, 郑 宏, 等. 岩土工程材料的数字图像有限元分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(6): 889 - 897.(YUE Zhongqi, CHEN Sha, ZHENG Hong, et al. Digital image proceeding based on finite element method for geomaterials[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(6): 889 - 897.(in Chinese))
- [6] 林为人, 铃木舜一, 高桥学, 等. 稻田花岗岩中的流体包裹体及其导致高温条件下微小裂缝的形成[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(6): 899 - 904.(LIN Weiren, SHUNNICHIS, MANABU T, et al. Fluid inclusions and thermal microcracking in Inada granite[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(6): 899 - 904.(in Chinese))
- [7] LESPINASSE M. Are fluid inclusion planes useful in structural geology?[J]. J. Struct. Geol., 1999, 21(7): 1 237 - 1 243.
- [8] GOLDSTEIN R H. Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems[J]. Lithos, 2001, 55(1/4): 159 - 193.
- [9] 杨巍然, 张文淮. 断裂性质与流体包裹体组合特征[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1996, 21(3): 285 - 290.(YANG Weiran, ZHANG Wenhui. Character of fault property and combination of fluid inclusions[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(3): 285 - 290.(in Chinese))
- [10] 李春雨. 计算机图形学理论与实践[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.(LI Chunyu. Theory and practice of computer graphics[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2004.(in Chinese))
- [11] 徐金明, 张孟喜, 丁 涛. MATLAB 实用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 北京交通大学出版社, 2005.(XU Jinming, ZHANG Mengxi, DING Tao. A practical course for MATLAB[M]. Beijing: Tsinghua University Press, Beijing Jiatong University Press, 2005.(in Chinese))
- [12] 涂新斌, 王思敬. 图像分析的颗粒形状参数描述[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(5): 659 - 662.(TU Xinbin, WANG Sijing. Particle shape descriptor in digital image analysis[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(5): 659 - 662.(in Chinese))
- [13] CANNY J. A computational approach to edge detection[C]// IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI. [S. l.]: [s. n.], 1986: 679 - 698.
- [14] 李弼程, 彭天强, 彭 波. 智能图像处理技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.(LI Bicheng, PENG Tianqiang, PENG Bo. Intelligence image processing[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.(in Chinese))
- [15] 沈剑华. 数值计算基础[M]. 上海: 同济大学出版社, 2004.(SHEN Jianhua. Foundations of numerical algorithm[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2004.(in Chinese))
- [16] 刘 斌. 烃类包裹体热动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2005.(LIU Bin. Thermodynamics for hydrocarbon inclusions[M]. Beijing: Science Press, 2005.(in Chinese))