

福建两个块状硫化物矿床中 磁黄铁矿结构的研究*

周 兵 顾连兴 李玉荷

(南京大学地球科学系, 南京 210093) (地质矿产部闽西地质大队, 福建三明 365001)

主题词 磁黄铁矿 出溶 应力 均一化

提 要 福建大田前锋和梅仙块状硫化物矿床中六方磁黄铁矿中的单斜磁黄铁矿有两种交生状态: 受结晶方位控制的叶片状交生和受颗粒边界、裂隙控制的不规则状交生。前者由六方磁黄铁矿在冷却过程中出溶形成, 而后者则是单斜磁黄铁矿交代六方磁黄铁矿的结果。叶片状交生体经历后期变形、变质后产生粗化和均一化, 形成了楔形边、箱形、复杂叶片等结构。单斜磁黄铁矿在变形较弱的矿区保存较好, 而在变形强烈部位消失殆尽, 说明应力对磁黄铁矿的均一化效应。

1 前 言

自1945年Byström发现单斜磁黄铁矿(Fe_7S_8)以来, 以往的研究工作集中在单斜(mpo)和六方(hpo)磁黄铁矿的组成、结构、物理性质^[1,2]、稳定域和相互间及与其它硫化物间相平衡关系等方面^[1-4], 而对hpo与mpo交生的研究却很少。本文作者之一系统研究了挪威硫化物矿床中mpo和hpo的交生特征^[5], 认为变质作用可使hpo中的单斜出溶体发生均一化。在此基础上, 本文将梅仙和前锋两个矿区为例, 研究应力对于均一化的效应。

2 矿床特征

梅仙和前锋矿床均为经历了绿片岩相变质的块状硫化物矿床^[6,7], 矿体均呈层状、似层状、透镜状。梅仙矿床是以元古代玄武岩变质的绿片岩为围岩的Pb-Zn矿床; 而前锋矿床则是产于石炭系石英片岩、云母片岩、变粒岩中的块状硫化物型含铜硫铁矿床, 矿区构造变形强烈, 并有燕山期叠加的矽卡岩化^[7]。

梅仙矿区矿石矿物主要有磁黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、方铅矿等, 脉石矿物主要有绿帘石、绿泥石、阳起石、钠长石和透辉石等。矿石具有浸染状、块状、条带状等构造。磁黄铁矿呈他形、半自形粒状, 颗粒较细, 一般小于1mm, 部分磁黄铁矿因退火重结晶而变粗。磁黄铁矿被变质矿物阳起石、绿帘石等所切割(照片1)或与变质矿物相间而成平行的条带。矿石中黄铁矿呈星散状自形晶分布, 数量甚少, 且从未见到被磁黄铁矿包含或交代的现象,

* 本文得到国家自然科学基金资助(编号49773194), 并得到有色金属工业总公司“福建梅仙式块状硫化物矿床成矿特征和找矿方向”项目的资助。

第一作者简介 周 兵, 男, 1970年生, 现在南京大学地球科学系攻读矿床学博士学位。

本文于1997年6月6日收到, 9月29日改回。

所以,梅仙矿床中的磁黄铁矿应是原生沉积的产物。

梅仙矿床中的闪锌矿有两种:一种有黄铜矿斑点或乳滴状包裹体,含铁高,反射率较大;另一种闪锌矿没有黄铜矿包裹体,含铁低,反射率较小,并可切割或包裹第一种闪锌矿。黄铜矿呈不规则状、脉状和乳滴状。矿物间的结构关系表明,梅仙矿区矿石矿物的生成顺序是:磁黄铁矿、黄铁矿→黄铜矿、闪锌矿、方铅矿→闪锌矿。

前锋矿区矿石矿物以磁黄铁矿为主,伴有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿;脉石矿物为绿帘石、透辉石、阳起石、石英等。矿石具粒状变晶结构、各种变形结构和块状、浸染状、条带状等构造。

3 单斜和六方磁黄铁矿交生结构

对用于研究单斜(mpo)和六方(hpo)磁黄铁矿交生的矿石光片进行镜下观察前先用磁性胶体浸润,磁性胶体(其配制方法见文献[8,9])其实是一种含有黑色磁铁矿微粒的胶体,因mpo与hpo磁性强度不同,磁性较强的mpo浸润后因吸附较多的胶体而使其反射率较hpo低,而吸附较少胶体的hpo的反射率则较高。该法具快速、反差大、易控制等优点,且与传统的铬酸浸蚀法所得结果一致,与X射线粉晶衍射研究具有良好的对应关系。

磁性胶体浸润法揭示,梅仙和前锋矿区mpo交生体有两种形态:受结晶方位控制的叶片状交生和受裂隙、晶体边界控制的不规则状交生。

叶片状交生的叶片宽度小于15 μm ,长数微米至数十微米,同一颗粒内叶片相互平行,并近等间距分布,间距数微米,叶片贯穿于颗粒或止于内部,而不同颗粒的mpo分布方位则不同(照片2)。mpo与基质hpo的含量比为1:1—1:5。梅仙矿区磁黄铁矿中mpo含量较高,约45%,宽度小于5 μm ,偶见箱形结构^[5];前锋矿区磁黄铁矿以hpo为主,局部有mpo,其长度及宽度较大,并保留了下列粗化特征:

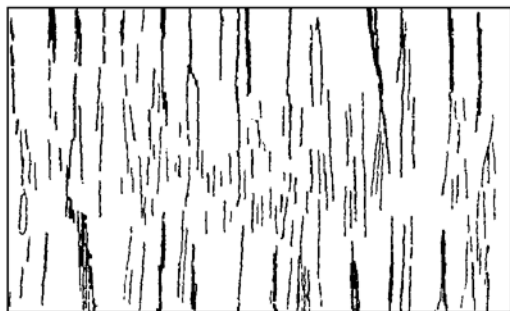


图 1 单斜磁黄铁矿的分带及楔形边结构
(视域宽度 0.025mm)

Fig. 1 Thickness zonation and wedge-shaped ends of mpo lamellae (scale= 0.025mm)
黑色—单斜磁黄铁矿;白色—六方磁黄铁矿

(1) 单斜磁黄铁矿分带和楔形边结构

如图 1 所示,较宽叶片与较细叶片相间呈条带状分布,mpo 细叶片在两端可与较粗叶片相连,或相邻叶片在粗化动力驱动下通过扩散靠拢,合并形成楔形边结构。

(2) 箱形结构

叶片继续粗化并改变方向或自形曲绕形成三角形、四边形、瘤状或不规则状,其背景 mpo 也明显变粗(照片 3)。

(3) 复杂叶片

如镜下素描(图 2)所示,复杂叶片呈薄透镜状、纺锤状,其内二次叶片平行分布。复杂叶片 mpo 与基质 hpo 比在 1:1—1:9 间。同一区域内复杂叶片有两组方向,相交而成“X”形,每

组内二次叶片方向一致。

梅仙和前锋矿区都见 mpo 沿 hpo 颗粒的边界、裂隙以及脉石矿物细脉的边缘分布,成

不规则的斑点、团块和树枝状交生(照片4), mpo 显然是交代成因^[10]。

4 磁黄铁矿的变形结构

梅仙矿区的磁黄铁矿变形较弱, 偶见压力双晶, 压力双晶呈纺锤状, 其中 mpo 的数量往往明显降低, mpo 叶片的方向与纺锤长轴通常呈大角度相交, 且与未变形部分的叶片方向斜交。

与梅仙矿区不同的是, 前锋矿区的磁黄铁矿显示强烈的变形特征。在应力作用下, 磁黄铁矿的晶格发生蠕变, 普遍呈现波状消光, 并在垂直于应力的方向上被拉长, 其长宽比可达 9:1。有时, 由拉长的磁黄铁矿颗粒组成的条带与阳起石、绿帘石等变质矿物条带相间排列。强烈应变后的初期退火, 形成亚颗粒和核幔结构, 退火过程进一步发展, 形成完全由无应变颗粒组成的三晶嵌接结构^[11], 其颗粒的两面角大致呈平衡的 120°(照片5)。

值得一提的是, 在剪切应力相对集中的某些面上, 由强烈重结晶所形成的具三晶嵌接结构的微细粒磁黄铁矿可在光片中呈带状分布, 而两带间则发育与剪切面呈大角度相交的“S”形变形带(照片6)。

这些变形强烈的磁黄铁矿经磁性胶体浸润后, 可见几乎全由均一化后的六方磁黄铁矿构成, 仅局部残留少量 mpo; 与此相反, 在变形较弱的磁黄铁矿中, mpo 出溶叶片则大量保存。

5 单斜磁黄铁矿的出溶和均一化机理

Anold 等人的研究表明, mpo 的稳定上限是 254 °C(湿体系)^[12]。在此温度以上形成 hpo(图3)。在体系冷却过程中, hpo 将首先出溶黄铁矿。若继续降温至 254 °C 时, 如果铁原子百分比组成在 47.4 和 46.67 间, 体系将进入 mpo+hpo 两相区, 从而有 mpo 叶片出溶。

梅仙与前锋块状硫化物矿床至少经历了两期热事件: 海底喷流沉积成矿和

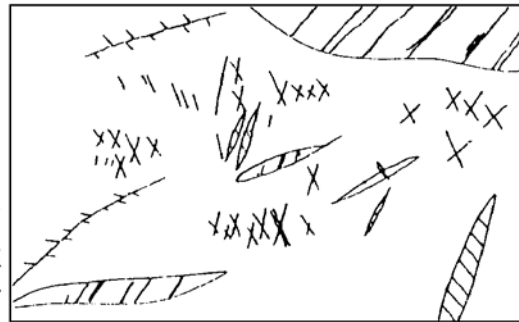


图2 复杂叶片素描图(视域宽度 0.025mm)

Fig. 2 Sketch of two sets of composite lamellae (scale= 0.025mm)

黑色—单斜磁黄铁矿; 白色—六方磁黄铁矿

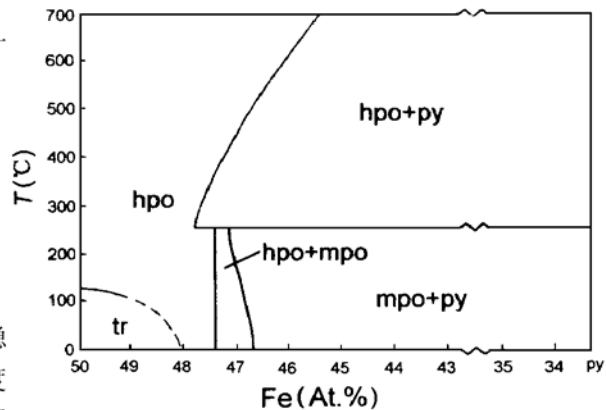


图3 简化的 Fe-S 系统相图

(据参考文献[12, 13, 3]修编)

Fig. 3 Simplified diagram for Fe-S system minerals (from references [12, 13, 3])

hpo—六方磁黄铁矿; mpo—单斜磁黄铁矿;

py—黄铁矿; tr—陨硫铁

绿片岩相区域变质。现代洋中脊、矿石包裹体和同位素等研究成果表明^[14-16], 海底喷流热系统特别是近源矿床温度可达 400 °C 以上, 大大高于 mpo 出溶温度(254 °C), 因此, 海底沉积的磁黄铁矿在冷却过程中可产生 mpo 出溶叶片。mpo 的出溶将使系统增加两种自由能, 即出溶应变自由能和界面自由能, 使含有单斜出溶体的磁黄铁矿颗粒处于能量上的不稳定状态。因此, 在成矿后的区域动-热变质过程中, 磁黄铁矿中的单斜出溶叶片会发生粗化, 在此过程中, 相邻的叶片将通过扩散而合并, 如果此时自由能消耗殆尽, 就形成了楔形边结构。缓慢的退火过程使磁黄铁矿有充分的时间进行晶格调整, mpo 继续粗化, 叶片数变少, 间距加大, 形态渐不规则。箱形结构、复杂叶片等则是 mpo 出溶体不断粗化的产物。

Sugaki 等人在低于 272 °C 下用硫化钠和硫化铵水溶液与 hpo 反应合成了 mpo^[17], 从而证实, 热液蚀变是形成单斜磁黄铁矿的另一种可能机制。上述产在磁黄铁矿颗粒边部和裂隙或热液脉附近的 mpo 的不规则状产生体, 至少有一部分是早期的 hpo 被富硫或贫铁的热液(包括变质热液)交代的产物。这种交代成因的 mpo 可与出溶产物共存于同一块标本中。

如前文所述, 在应变很弱的梅仙矿区中以及在前锋矿区离构造带较远之处, 磁黄铁矿的变形相对较弱, 其中 mpo 出溶体的粗化和均一化并不显著, 出溶叶片得以大量保存, 说明非均匀应力不但可以促进 mpo 的出溶^[8], 而且可以促进出溶体的粗化和均一化。Kissin^[3,4]等的研究表明, 磁黄铁矿克分子体积随着晶格中铁原子数的增加而减少, 两者呈线性关系(图 4), 因此, 应力的增加会促进 mpo 转变为 hpo, 从而促进出溶体的均一化。

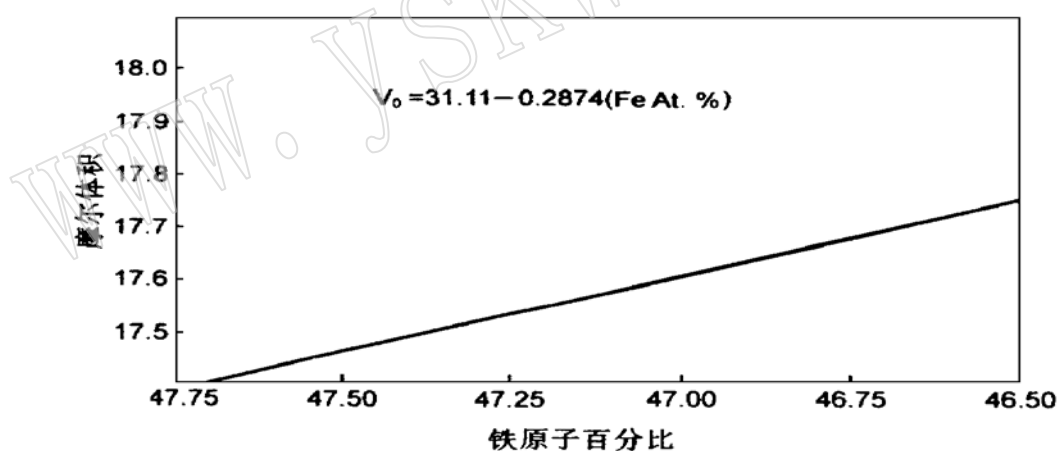


图 4 磁黄铁矿克分子体积与铁原子百分比图 (据参考文献[3])

Fig. 4 Diagram of molar volume versus atomic percentage of iron pyrrhotite (from reference[3])

6 结 论

根据上述研究可以得出如下结论: 梅仙和前锋矿区存在着同生沉积的磁黄铁矿, 这两个矿区内存在着出溶和后期交代两种成因的 mpo; mpo 出溶叶片在后期变质过程中可以发生粗化和均一化; 应力对于出溶体的粗化和均一化具促进作用。

华东有色地质勘查局叶水泉、曾强生、唐瑞来、吴金榜参加了部分野外工作, 作者在此谨致谢忱。

参 考 文 献

- 1 Arnold R G. Range in composition and structure of natural terrestrial pyrrhotites. *Can. Mineral*, 1967, 9: 31—50.
- 2 Yund R A, Hall H T. Kinetics and mechanism of pyrite exsolution from pyrrhotite. *J. Petrol*, 1970, 11: 381—404.
- 3 Kissin S A, Scott S D. Phase relations involving pyrrhotite below 350 °C. *Econ. Geol.*, 1982, 77: 1739—1754.
- 4 Luck J, Scott S D, Ford C E. Phase relations in the Fe—Zn—S system to 5 kbars and temperature between 325 °C and 150 °C. *Econ. Geol*, 1993, 88: 1880—1903.
- 5 Gu Lianxing, Volkes F M. Intergrowths of hexagonal and monoclinic pyrrhotites in some sulfide ores from Norway. *Mineralogical Magazine*, 1996, 60: 303—316.
- 6 徐克勤, 王鹤年, 周建平, 朱金初. 论华南喷流—沉积块状硫化物矿床. *高校地质学报*, 1996, (3): 241—256.
- 7 李玉荷. 大田前锋多金属矿成因探讨. *福建地质*, 1987, (8): 129—239.
- 8 Craig J R, Vaughan D J. *Ore microscopy and ore petrography*. John Wiley & Sons Press, New York, 1981.
- 9 顾连兴. 磁性胶体—磁黄铁矿同质异象变体的一种快速鉴定方法. *地质与勘探*, 1989, 25(2): 28—29.
- 10 顾连兴, 尹琳, Vokes F M. 挪威块状硫化物矿床中单斜与六方磁黄铁矿的共生及其成因. *高校地质学报*, 1995, (1): 80—92.
- 11 顾连兴, 郑素娟. 块状硫化物矿床研究现状. *地质科技情报*, 1989, (8): 67—72.
- 12 Arnold R G. Equilibrium relations between pyrrhotite and pyrite from 325 °C to 743 °C. *Econ. Geol.*, 1962, 57: 72—90.
- 13 Desborough G A, Carpenter R H. Phase relation of pyrrhotite. *Econ. Geol.*, 1965, 60: 1431—1450.
- 14 MacDonald K C, Becker K, Spies F N, Ballard R D. Hydrothermal heat flux of the 'Black Smoker' vents on the East Pacific Rise. *Earth Planet Sci. Lett.*, 1980, 48: 1—7.
- 15 Cathles L M. A capless 350 °C flow zone model to explain megaplumes, salinity variations, and high-temperature veins in ridge axis hydrothermal systems. *Econ. Geol.*, 1993, 88: 1977—1988.
- 16 Lalou C, Reyss J L, Brichet E, Arnold M, Thompson G, Fouquet Y, Rona P. New age data from Mid-Atlantic Ridge hydrothermal sites: TAG and Snakepit Chronology Revisited. *J. Geophys. Res.*, 1993, 98: 9705—9714.
- 17 Sugaki A, Shima A, Kitakaza A, Fukuoka M. Hydrothermal synthesis of pyrrhotites and their phase relation at low temperature. *Studies on the pyrrhotite group minerals* (4). *Tohoku Univ. Sci. Rept., Ser. 3*, 13: 165—182.
- 18 Kubler L, Lindqvist B. Tectonic control of pyrrhotite phase distribution studied on a fold structure. *Lithos*, 1976, 121: 241—249.

Comparative Study of Pyrrhotite Textures in Two Massive Sulfide Deposits, Fujian Province

Zhou Bing, Gu Lianxing

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjiang 210093)

Li Yuhe

(West Fujian Geological Party, Sanming 365001)

Key words: pyrrhotite; exsolution; stress; homogenization

Abstract

Microscopic investigation indicate that pyrrhotites in the Meixian and the Qianfeng mas-

sive sulfide deposits are mostly syngenetic in origin and have suffered metamorphism of greenschist facies and deformation of various degrees in the geological history since their formation.

Coating with magnetic colloid has revealed intergrowths of monoclinic pyrrhotite (mpo) within hexagonal pyrrhotite (hpo) grains. These intergrowths include two morphological types: crystallographically controlled lamellar patterns and fissure_ and grain boundary_ controlled irregular patterns. Lamellar intergrowth of mpo is produced by exsolution from hpo as a consequence of cooling of hpo from temperatures exceeding 254 °C, whereas irregular intergrowth results from replacement of hpo by mpo. The exsolved mpo lamellae have suffered late_ stage deformation and metamorphism, resulting in coarsening and homogenization represented by wedge_ shaped boundaries, boxwork shapes and complex internal textures.

The deformation of sulfide ores in the Qianfeng deposit appears stronger than that in the Meixian deposit, which is evidenced by ubiquitous textures such as subgrains, mechanic twins, kinkbands, and annealing triple junctions and core_ mantle assemblages. Mpo lamellae are well preserved in less deformed pyrrhotite either in Meixian or in Qianfeng, but is mostly erased in intensely deformed grains in the Qianfeng deposit, suggesting that anisotropic stress during annealing tends to enhance homogenization of the intergrowths to form uniform hexagonal grains.

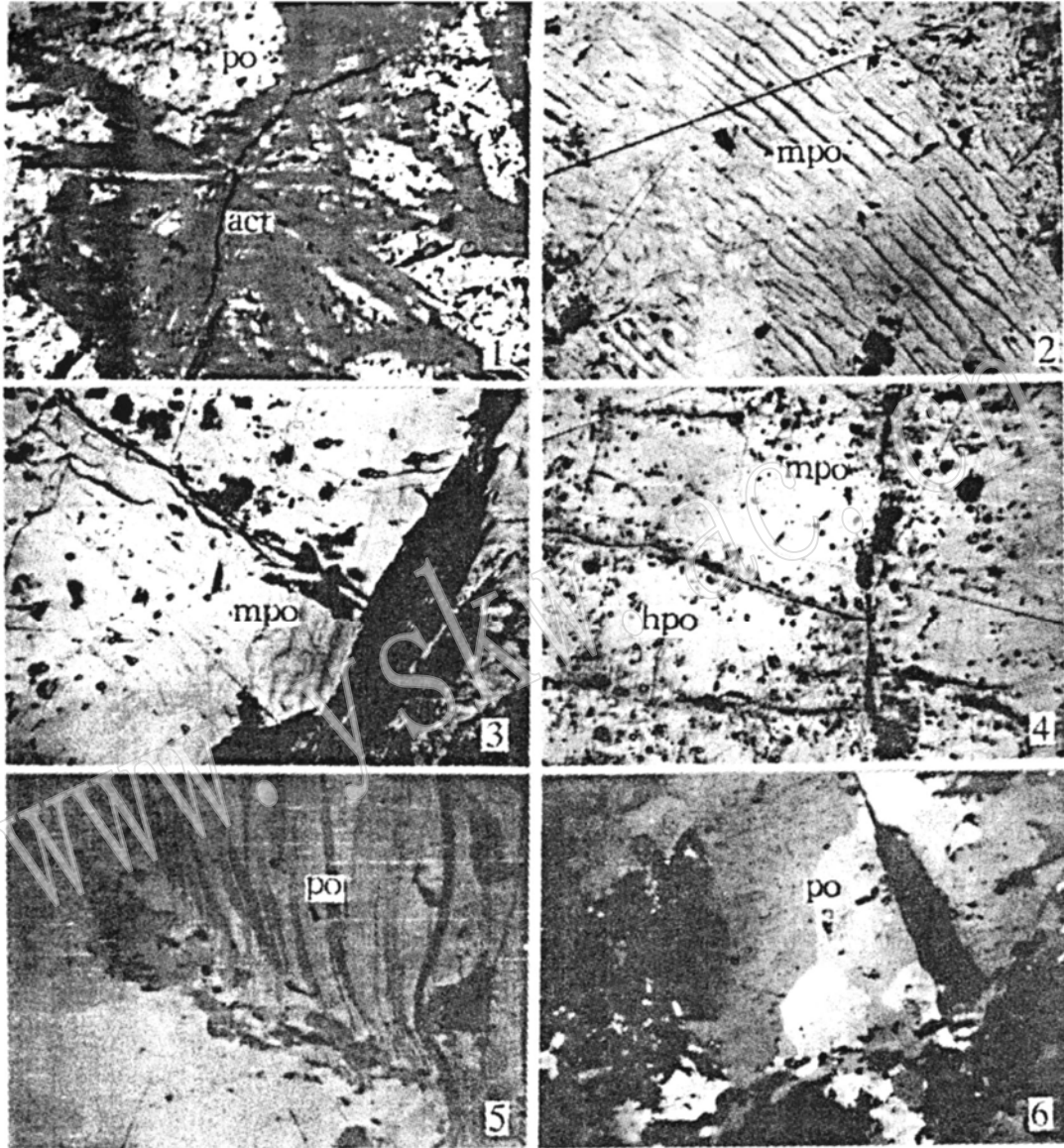


图 版 说 明

- 照片 1 针状阳起石 (act) 穿切磁黄铁矿 (po) 梅仙矿区 平面反射光 视域宽 0.05mm
照片 2 单斜磁黄铁矿 (mpo) 叶片状交生 前锋矿区 平面反射光 磁性胶体浸润 视域宽 0.05mm
照片 3 单斜磁黄铁矿 (mpo) 箱形扭曲 前锋矿区 平面反射光 磁性胶体浸润 视域宽 0.05mm
照片 4 单斜磁黄铁矿 (mpo) 沿六方磁黄铁矿 (hpo) 裂隙和颗粒边界不规则状交生 梅仙矿区
平面反射光 磁性胶体浸润 视域宽 0.05mm
照片 5 磁黄铁矿 (po) 变形带及三晶嵌接结构 前锋矿区 正交反射光 视域宽 0.025mm
照片 6 磁黄铁矿 (po) 三晶嵌接结构 前锋矿区 正交反射光 视域宽 0.05mm