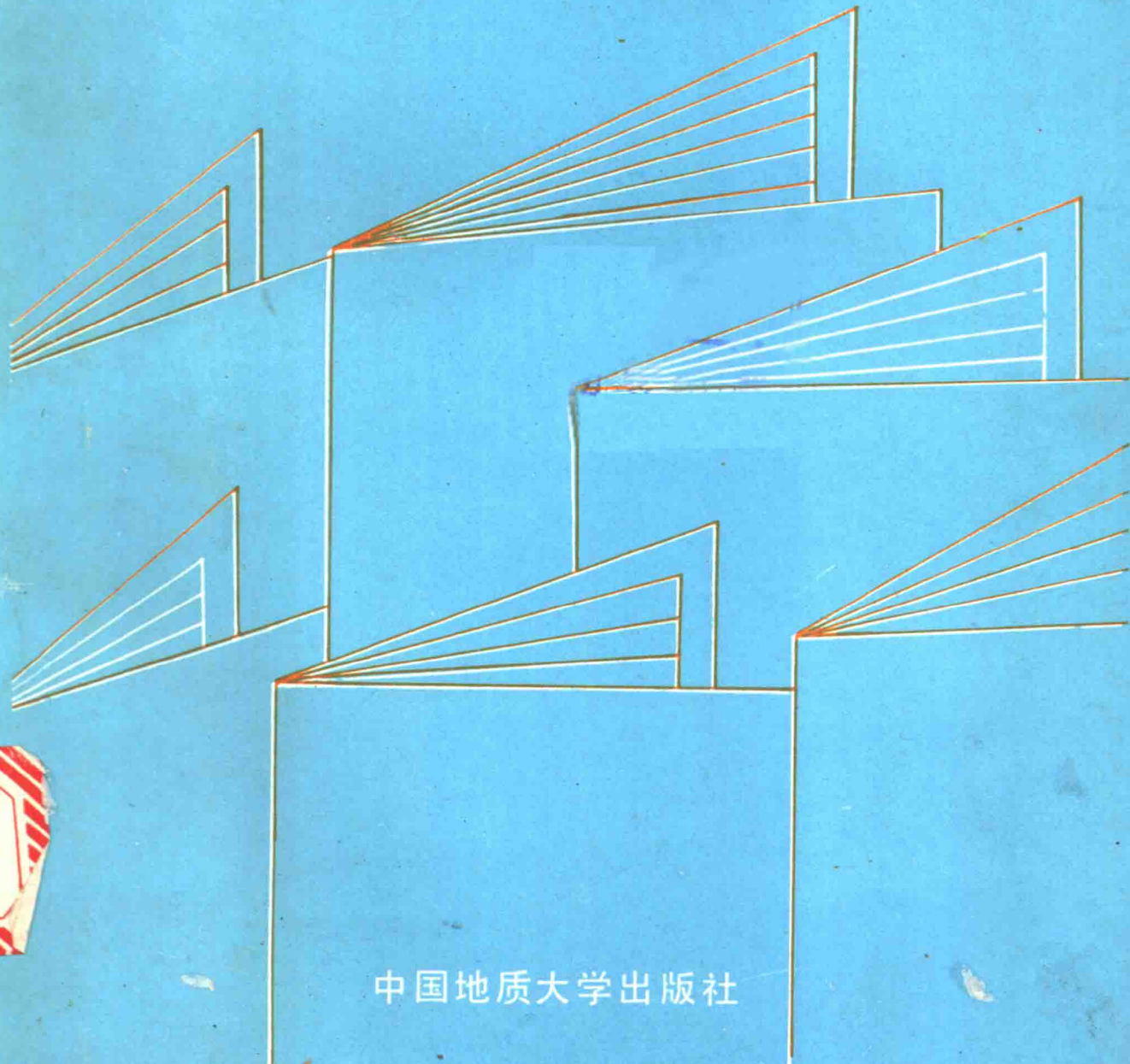


# 湖北省矿物岩石地球 化学学会论文集

( 一 )

论文集编写组 编



中国地质大学出版社

# 湖北省矿物岩石地球化学学会 论文集

(一)

论文集编写组 编

中国地质大学出版社

## 内 容 简 介

本论文集共收入28篇论文。它反映了湖北省矿物岩石地球化学界近几年来的部分研究成果。

论文集虽篇幅不大，但内容丰富，专业范围广泛，包括有矿物学、岩石学、矿床学、地球化学、环境地质以及分析技术等方面的内容。矿物学研究的论文约占三分之一。它涉及到矿床矿物学、成因矿物学及找矿矿物学、工艺矿物学和陨石矿物学等方面，其特点是着重于找矿和工艺生产上的应用。对随州陨石的矿物特征和同位素成分也有新的成果。有若干篇论文侧重于金矿床矿物学、矿相学、金银赋存状态的研究。对非金属矿产的工业意义、发展现状和趋势以及稀土元素和分配定律在花岗岩类中的应用也作了相应报导。

本论文集可作为生产、科研和教学人员的参考资料。

## 湖北省矿物岩石地球化学学会论文集

### (一)

论文集编写组 编

责任编辑 段连秀

责任校对 刘晓娟

•

中国地质大学出版社出版

中国地质大学出版社印刷厂印刷 湖北省新华书店经销

•

开本 787×1092 1/16 印张 10.625 图版1页 字数 268千字

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

印数1—500册

ISBN 7-5625-0212-9/P·61

定价：9.45元

# 前 言

在1987年4月21日至24日“湖北省矿物岩石地球化学学会成立暨首届学术交流会”上,来自湖北省省内外的生产部门、科研单位及有关的大专院校共48个单位的专家和学者进行了百余篇学术论文的交流。这反映了在开放改革的新形势下,湖北省矿物岩石地球化学界近几年来在科学研究方面所取得的丰硕成果。学会受广大会员的委托,经过有关专家的评审,共选出28篇论文汇编成本论文集。

本论文集虽篇幅不大,但内容丰富,专业范围广泛,包括有矿物学、岩石学、矿床学、地球化学、环境地质以及分析技术等方面的文章。矿物学研究论文涉及到矿床矿物学、成因矿物学及找矿矿物学、工艺矿物学和陨石矿物学等方面的成果。其中多数论文除了力图深入研究矿物学的理论问题之外,均能注重于找矿和工艺生产上的应用。这一可喜方向应给予充分肯定。值得提出的是继我国吉林陨石雨之后,1986年4月15日湖北省随州市降落了一次规模颇大的陨石雨。中国地质大学(武汉)的科技工作者和有关专家对随州陨石的矿物组成、矿物特征和陨石的同位素成分进行了系统研究,取得了很有意义的进展,无疑对于我国境内陨石学的研究增添了新的内容。部分成果已选入本文集,以飨读者。目前,国内外对金矿床的研究都给予极大的重视,已形成一股找金热潮。本文集有若干篇关于金矿床密集区的重力场特征以及金矿床矿物学、矿相学和金银赋存状态的研究论文,可能对于金矿找矿上会有一定指导作用。非金属矿产在国民经济建设和国防工业上已占据了极重要的位置,正在迅猛发展。它为无线电、原子能、激光、计算机以及宇航等工业的建立和发展提供了大量的矿物晶体、矿物原料与制品等高性能、多功能的材料,可能成为第三次工业革命的先驱。文集中列入“现代非金属矿业在发展”一文,系统介绍了世界上非金属矿产的发展、工业意义、发展趋势以及我国非金属矿业的差距和对策。地球化学是地质学和化学类学科相结合的边缘学科,是地学的三大支柱之一,已显示出极大的生命力。文集中选刊了几篇文章,重点介绍稀土元素、分配定律在岩浆作用和花岗岩类中的应用以及饮用水的化学组成与人类健康的关系。

本论文集的出版是广大学会会员支持的结果。我们对于在经济上支持本次出版的作者和单位表示敬意。

由于时间仓促,主编者缺乏经验,论文的选择可能不尽妥当,错误之处在所难免,敬希读者批评指正。

**湖北省矿物岩石地球化学学会常务理事**

**骆庭川**

1988年5月

# 目 录

|                                      |                       |
|--------------------------------------|-----------------------|
| 宁夏金场子氧化带金矿床中的黄铁矿研究.....              | 邵洁连 (1)               |
| 湖北大冶铁山矿床单斜辉石的研究.....                 | 赵爱麗 张学俊 周健 (6)        |
| 漂塘钨锡矿床中晚期方解石晶体形态及其演化关系.....          | 涂绍雄 (13)              |
| 海南岛石碌铁矿钙铁榴石的研究及意义.....               | 王寒竹 (19)              |
| 大冶铁铜矿床矿物表.....                       | 翁汉源 (25)              |
| 湖北省随州陨石中镍纹石-陨硫铁-自然铜固溶体系列的显微特征研究..... | 陈敬中 (30)              |
| 四川盐边基性-超基性杂岩体中角闪石矿物学研究.....          | 张保民 沈上越 束今赋 (34)      |
| 鄂东铁山、金山店、灵乡三岩体主要副矿物特征及对矿化的指示意义.....  | .....                 |
| .....                                | 张武雪 刘明霞 潘玉华 (42)      |
| 湖北省均县银洞山钛磁铁矿矿石的物质组成及工艺矿物学研究.....     | 马志新 (50)              |
| 华北东部地区石炭二叠系碎屑岩成岩作用研究.....            | 邓新华 孙永传 (54)          |
| 中国二叠-三叠系界线地层中微球粒的发现和硏究.....          | 黄思骥 张克信 杨世蓉 (61)      |
| 荆江沙市河段洲、滩现代沉积特征.....                 | 赖志云 (65)              |
| 华北唐山地区上寒武统砾屑灰岩成因类型分析.....            | 徐安顺 (71)              |
| 现代非金属矿业在发展.....                      | 曾宪滨 (75)              |
| 西华山花岗岩及其与钨矿成矿关系.....                 | 陈志雄 李善择 朱晋干 (79)      |
| 丰山铜矿角砾状大理岩金银赋存状态初步研究.....            | 胡承诚 (86)              |
| 层控矿床中的有机物及其找矿意义.....                 | 胡明安 (93)              |
| 长江中下游某些黄铁矿床铁帽含金性评价的矿相学标志.....        | 李立平 (98)              |
| 随州陨石铅、氧、硫同位素研究.....                  | 路元良 王人镜 (102)         |
| 分配定律在硏究中酸性小岩体岩浆结晶的化学演化与成矿关系中的应用..... | 张宏飞 (108)             |
| 南岭含钼花岗岩的稀土元素地球化学特征.....              | 孙恭安 史明魁 张宏良 胡雄伟 (115) |
| 香花岭岩稀土元素及其分布模式的特征.....               | 杜绍华 黄蕴慧 (120)         |
| 饮水成分与人体健康.....                       | 曾瑞云 汤鸣皋 (128)         |
| 类质同象律的热力学浅析.....                     | 袁心强 (133)             |
| 小秦岭金矿床密集分布区的重力场特征.....               | 徐忠祥 (138)             |
| 鲁米诺-过氧化氢-稀土总量化学发光反应的研究及表面活性剂的应用..... | .....                 |
| .....                                | 李淑玲 赵锦端 金继红 何应律 (143) |
| 用X射线衍射定量分析法研究碱侵蚀硅铝质耐火砖.....          | 肖立道 魏肃非 (147)         |
| 微型计算机在岩矿工作中的应用.....                  | 黄大凡 (152)             |
| 图版说明.....                            | (162)                 |

# 宁夏金场子氧化带金矿床中的黄铁矿研究

邵 洁 涟<sup>①</sup>

(中国地质大学)

众所周知,黄铁矿是金矿床中普遍存在的矿物(“遍在矿物”),同时又是与金矿的形成关系最密切而又能提供大量成因信息和找矿信息的矿物。鉴于本金矿床是我国西北地区一种重要的新类型金矿床(渗流热卤水-表生改造型“金场子式”金矿床),现将对该矿床近地表部分黄铁矿的研究成果提供给有关方面在寻找和研究同类金矿床时作参考。

## 一、地质概况

宁夏金场子金矿床在大地构造上位于昆仑-秦岭地槽褶皱系走廊过渡带的东端。区域内主要出露上古生界上泥盆统及中、下石炭统地层,岩性主要为碎屑岩、页岩和碳酸盐岩。区域内主要构造是一系列近于平行展布、东西向延伸的复背斜、复向斜及高角度断层。区域内岩浆活动微弱,仅见一些零星分布的火山碎屑岩和华力西晚期的闪长玢岩岩脉。矿区内主要出露晚古生代地层,有上泥盆统沙流水群、下石炭统前黑山组、下石炭统臭牛沟组和中石炭统靖远组。地层多呈东西向走向,往南倾,倾角多为 $50^{\circ}$ — $60^{\circ}$ 。主要赋金岩层是下石炭统的海陆交互相碎屑岩-碳酸盐含膏盐建造沉积岩系。但上泥盆统、下石炭统和中石炭统沉积物含金丰度都较高,多为地壳金平均丰度的10—20倍。金场子金矿床赋存于一近东西向叠加复式倒转背斜的核部附近,该复式背斜核部被一系列近东西向的冲断裂所切割。此近东西向的冲断裂带和北东向断裂为矿区的主要导矿构造和容矿构造。近矿围岩蚀变发育,主要为硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、高岭石化;表生改造型蚀变为褐铁矿化、黄钾铁矾化、赤铁矿化和硅化。金矿体主要为厚1—3m的透镜状矿体,矿石品位平均含金4.62—7.24g/t、含银13.7—61.5g/t。矿石的主要组成矿物为黄钾铁矾、针铁矿、黄铁矿、自然金、石英、方解石、高岭石等。矿石构造主要为角砾状、土状、多孔状、蜂窝状构造。矿石结构主要有自形和他形晶粒状、球粒状、树枝状、交代残余、假象和镶边结构。

## 二、黄铁矿的产状和形态标型特征

本文研究的黄铁矿有以下四种产状,其形态标型特征为:

1. 氧化带中残留原生黄铁矿(8-2-Py、12-1-Py、Au-Py)——这是金场子氧化带金

<sup>①</sup> 参加本文工作的还有梅建明、邱朝霞等同志。

矿石中最重要的残留原生硫化物矿物，由于本矿区氧化带氧化程度很高，矿石中绝大部分已氧化成为黄钾铁矾或针铁矿，只有很少一部分包于石英中的细粒黄铁矿未被氧化而残留下来。钻探坑探结果查明，由地表往下240m深处仍以氧化带为主，夹原生稠密浸染状黄铁矿（9号钻孔井深202.83m处）。

2. 矿体及围岩内之方解石脉中的黄铁矿（14-Py）——多呈五角十二面体晶形，也有呈五角十二面体与八面体相聚而成的聚形，晶形颗粒大小不等，多数为1—5mm，个别大的可达1cm。

3. 近矿蚀变围岩（灰岩）中的黄铁矿（19-Py、20-Py）——多呈浸染状分布，形态主要为五角十二面体或五角十二面体与八面体的聚形，颗粒多在1mm左右。

4. 远离矿体之围岩（煤系地层）中的黄铁矿（7-Py、9-Py）——呈浸染状、脉状或梳状集合体产于煤系地层中，晶形以五角十二面体为主，也有以五角十二面体和立方体、八面体相聚而成的聚形晶体。

### 三、黄铁矿的化学成分标型特征

表1-1列出了金场子各种产状黄铁矿的化学成分分析结果和对比资料。由表1-1可知，金场子煤系地层中黄铁矿的Co、Ni含量最低（小于100ppm）、Co/Ni比值为0.142，其余产于近矿蚀变围岩和矿石中的黄铁矿的Co、Ni含量较高（多为几百ppm）、Co/Ni比值为0.5—0.745（均小于1）。从理论上讲，黄铁矿的Co/Ni比值主要取决于形成黄铁矿之热液的Co/Ni比值。在岩浆结晶分异过程中，由于Co、Ni的八面体择位能不同（Co为7.4cal/mol，Ni为20.6cal/mol） $Ni^{2+}$ 倾向富集于八面体配位，因此Ni集中于八面体配位比例高的岩浆早期结晶形成的矿物中，而Co则在岩浆晚期形成的矿物中相对富集，使得岩浆热液的Co/Ni比值大于1。即从主要来源于岩浆热液之矿液中析出的黄铁矿Co/Ni比值大于1。由于Co的亲铁性大于Ni，且受热后Co比Ni易于挥发，因而与火山作用有关的黄铁矿Co含量较高（多高于100ppm），Co/Ni比值明显地大于1。由于变质热液的Co/Ni比值大于1，使变质矿床中黄铁矿的Co/Ni比值大于1。在表生条件下，Ni的迁移能力比Co大，海水中的Ni/Co比值高达20，故陆源沉积成因黄铁矿Co/Ni比值明显小于1。地下热卤水由于较多地萃取了沉积岩的组分，故由渗流热卤水中析出的黄铁矿Co/Ni比值也小于1。金场子矿体和近矿围岩中黄铁矿的Co/Ni比值与我国陕西镇安二台子、四川松潘东北寨以及美国内华达州卡林的产于沉积岩中的微细浸染状热卤水型金矿床黄铁矿的Co/Ni比值（分别为0.546、0.357、0.3）相近，而与浙江火山岩型浅成火山热液成因金矿床黄铁矿的Co/Ni比值（2.67）截然不同。说明金场子金矿床显然不是浅成火山热液型金矿，而属于渗流热卤水（或地热流体）成因。

关于黄铁矿的S/Se比值，大于20万者为沉积成因，1—2万属热液成因。金场子矿石和近矿蚀变围岩中黄铁矿的S/Se比值主要为50905—76986，介于沉积和热液成因之间，与热卤水成因的二台子、东北寨金矿（黄铁矿的S/Se比值为100692—102340）相近。

黄铁矿的As含量是一重要特征，金场子可达0.64—1.45%。国内外一般渗流热卤水成因金矿床黄铁矿的As含量较高（最高可达3.5—7.4%）。金场子与我国二台子、东北寨金矿床黄铁矿的含As量比较接近，表征矿床可能同属“热卤水热液型”成因。

黄铁矿中的Cu、Pb、Zn一般呈机械混入物形式赋存，可反映矿物组合的某些特征，金场子黄铁矿的Cu、Pb、Zn含量显著低于浙江火山岩型金矿床。金场子黄铁矿中Cu、Pb、Zn

表1-1

金场子黄铁矿的化学成分特点(附对比资料)

| 数据<br>项目                       | Fe    | S     | Co    | Ni    | Se    | As   | Cu    | Pb     | Zn    | Bi      | Sb     | Te    | Au    | Ag    |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|-------|---------|--------|-------|-------|-------|
|                                | (%)   | (%)   | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (%)  | (%)   | (%)    | (%)   | (%)     | (%)    | (ppm) | (g/t) | (g/t) |
| 产状(样号)                         |       |       |       |       |       |      |       |        |       |         |        |       |       |       |
| 浅部Ⅳ号矿体<br>(8-2-Py)**           | 46.49 | 51.56 |       |       |       | 0.73 | 0.03  |        |       |         |        |       |       |       |
| 浅部Ⅳ号矿体<br>(12-1-Py)***         | 46.21 | 53.06 | 380   | 510   |       | 0.64 | 0.18  |        | 0.032 |         |        |       |       |       |
| 深部稠密浸染状<br>黄铁矿<br>(ZWJ-Py)*    | 46.16 | 48.37 | 30    | 60    | 0.23  | 1.45 | 3.93  | 0.038  | 0.005 | 0.0004  |        | 1.18  | 0.03  | 3.9   |
| 深部稠密浸染状<br>黄铁矿<br>(ZWJ-Py)**** | 45.58 | 52.37 |       | 471   | 371   | 1.32 |       |        |       |         |        |       | 2343  |       |
| 灰色方解石脉<br>(14-Py)*             | 45.40 | 53.89 | 2137  | 2922  | 7.00  | 0.09 | 0.09  | 0.006  | 0.011 | 0.0004  | 0.0019 |       | 0.32  |       |
| 近矿蚀变围岩<br>(19-Py)*             | 46.39 | 53.45 | 498   | 864   | 10.50 | 0.02 | 0.001 | 0.005  | 0.002 |         | 0.0006 |       | 0.14  |       |
| 近矿蚀变围岩<br>(20-Py)*             | 46.35 | 53.17 | 1585  | 2694  | 10.00 | 0.03 | 0.006 | 0.004  | 0.004 | 0.0005  | 0.0004 |       | 0.21  |       |
| 远矿围岩(煤系)<br>(7-Py)*            | 46.16 | 53.77 | 10    | 73    | 5.30  | 0.04 | 0.01  | 0.007  | 0.047 | 0.0005  | 0.0010 |       | 1.01  | 25.8  |
| 二台子渗流热卤<br>水型金矿床               | 46.50 | 52.36 | 444   | 813   | 5.20  | 1.62 | 0.03  | 0.011  | 0.029 |         | 0.0161 |       | 27.87 | 40.7  |
| 东北寨渗流热卤<br>水型金矿床*              | 44.81 | 51.17 | 50    | 140   | 5.00  | 1.18 | 0.03  | 0.023  | 0.003 | 0.0060  | 0.0280 |       | 116   | 2.2   |
| 美国卡林金矿床                        | 45.50 | 53.50 | 150   | 500   |       | 1.76 | 0.05  | <0.050 | 0.015 | <0.0007 | 0.0250 |       | <100  | 2.0   |
| 浙江火山岩型金<br>矿床                  | 46.53 | 52.52 | 104   | 39    | 2.1   | 0.04 | 0.09  | 0.370  | 0.289 | 0.1702  | 0.1803 | 57.6  | 44.59 | 750.8 |

\* 化学定量分析, 由湖南省地矿局实验测试中心测定。

\*\* 电子探针分析, 由中国有色金属工业总公司矿产地质研究院测定。

\*\*\* 电子探针分析, 由湖南省地矿局实验测试中心测定。

\*\*\*\* 电子探针分析, 由昆明冶金研究所测定。

之和由矿体—近矿蚀变围岩—远矿围岩依次降低。

金场子金矿床黄铁矿中的Bi、Sb、Te含量显著地低于浙江火山岩型金矿床。由文献资料得知, 金矿床矿上晕和矿体上部之黄铁矿含Sb、Ag、Hg、Ba较多, 矿体中部之黄铁矿显著富集Au、Cu、Pb、Bi, 矿体下部和根部之黄铁矿含Ni、Co、Ti、Cr较多。据表1-1资料对照, 金场子目前已控制的矿化深度(240m)之下还可能有一定的远景储量(240m以上全为氧化带, 202.83m处的块状黄铁矿的热电系数为空穴导型、+143.3 $\mu$ V/°C也表征未到矿体根部)。

#### 四、黄铁矿的其他标型特征

已有的研究表明, 黄铁矿红外光谱主要反映分子中振动能级的变化, 内振动频率受本身的对称性和环境的影响。黄铁矿的红外吸收特征主要决定于Fe-S的伸缩与弯曲振动, 其红外吸收谱带多出现在远红外区(小于400 $\text{cm}^{-1}$ ), 特征频率为415 $\text{cm}^{-1}$ (最强)、348 $\text{cm}^{-1}$ 和293 $\text{cm}^{-1}$ 。当某种离子呈类质同象混入物进入黄铁矿晶格时, 必然要引起特征谱带的变化。

而且是随着替代离子半径的增大,特征谱带向低频位移。事实上,黄铁矿中有砷取代硫时,则远红外吸收向低频平移。本矿床黄铁矿的红外光谱,含砷较少的远矿围岩和近矿围岩中的黄铁矿,其特征频率高于含砷较多的矿石中的黄铁矿。

黄铁矿的同位素标型特征对于研究成矿物质来源、明确找矿方向具有重要实用价值。特别是黄铁矿微量铅同位素组成提供的成因和找矿信息较多。大家知道,铅同位素的组成反映地球层圈构造的演化,可代表物质组份的不同来源。由于铀和钍在地壳中的含量明显高于地幔,导致地壳中 $^{238}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 和 $^{232}\text{Th}$ 在一定时间内产生的放射成因铅 $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}$ ,必然比同期地幔中更多(见表1-2)。金场子沉积岩和矿石中黄铁矿微量铅的铅同位素组成如表1-2所示。

表1-2 金场子黄铁矿微量铅同位素组成特征及对比资料

| 数据<br>样品编号及产状                  | 项 目 | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ | $\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ |
|--------------------------------|-----|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 中石炭统靖远组碳质页岩中结核黄铁矿(2-Py)        |     | 18.345                                    | 15.499                                    | 38.456                                    |
| 中石炭统靖远组碳质页岩中硫化物脉内梳状黄铁矿(7-Py)   |     | 18.361                                    | 15.479                                    | 38.449                                    |
| 下石炭统前黑山组灰岩中细粒黄铁矿(19-Py)        |     | 21.277                                    | 15.622                                    | 42.524                                    |
| 下石炭统臭牛沟组灰岩中细粒黄铁矿(20-Py)        |     | 19.968                                    | 15.720                                    | 40.451                                    |
| 下石炭统臭牛沟组灰岩内之灰色方解石脉中的黄铁矿(14-Py) |     | 18.894                                    | 15.414                                    | 40.116                                    |
| 深部原生黄铁矿(Zwj-Py)                |     | 18.198                                    | 15.541                                    | 38.041                                    |
| 美国卡林金矿床                        |     | 19.92                                     | 16.04                                     | 40.10                                     |
| 陕西镇安二台子金矿床                     |     | 18.677                                    | 16.024                                    | 39.373                                    |
| 四川松潘东北寨金矿床                     |     | 18.440                                    | 15.626                                    | 38.518                                    |
| 浙江火山岩型金矿床                      |     | 17.462                                    | 15.406                                    | 38.023                                    |
| 地 幔                            |     | 18.10                                     | 15.42                                     | 37.70                                     |
| 下地壳                            |     | 17.27                                     | 15.29                                     | 38.57                                     |
| 上地壳                            |     | 19.33                                     | 15.73                                     | 39.08                                     |

测试单位:有色金属工业总公司矿产地质研究院同位素室、宜昌地质矿产研究所同位素室、北京铀矿地质研究所同位素室。

由表1-2所列资料可知,本区金矿体及其上下地层沉积岩的铅同位素组成特征基本相同,都属于大陆铅的范围。即本区金矿体及其上下地层中的铅、金、银、铜等金属都来源于上地壳,矿床中 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值(38.449—42.524)、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值(15.414—15.720)以及 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值具有(18.198—21.277)比较高的特点,与地幔铅同位素组成迥然不同,也与浙江火山岩型金矿床差异很大。这说明本区金矿化可能与深源岩浆活动无关,而系沉积岩中的热卤水渗流溶滤作用成矿,成矿物质来源于矿体上、下的中石炭统靖远组和下石炭统前黑山组、臭牛沟组沉积岩层。与美国内华达州卡林矿田产于沉积岩中之微细浸染型金矿床以及我国陕西镇安二台子、四川松潘东北寨“卡林型”金矿床铅同位素组成相似。

综上所述,本矿“近矿晕”黄铁矿具有钴、镍含量较高(平均Co 1406.7ppm、Ni 2160ppm),Co/Ni比值小于1,含砷100—1000ppm(平均466.7ppm),含铜几十到几百ppm,含铋几十ppm,含金0.1—0.5g/t等找矿标型特征;本矿床矿石中黄铁矿具有微弱亏硫、含一定数量的钴、镍(Co、Ni几百ppm),Co/Ni比值小于1,含砷特别高(As大于6000ppm),含铜1000ppm以上,含铋几百ppm,含金几到几十克/吨等找矿标型特征。从本区“近矿晕”黄铁矿

和矿石中黄铁矿的热电效应以及化学成分标型特征来分析,金场子矿区地下240m以上产出的黄铁矿为“矿上晕”的和矿体上部、中部的黄铁矿,可以预测地表下240m更深部有找到矿体下部的金矿和硫铁矿的可能,即矿床深部有一定的远景。

### 参 考 文 献

- Bralia A. et al., 1979, A Revaluation of the Co/Ni Ratio in Pyrite as Geochemical Tool in Ore Genesis Problems, Mineralium Deposita, Vol. 14, P. 353—374.
- 徐国风、邵洁涟, 1987, 矿物标型性理论的新发展, 矿产与地质, 第1期、第2期。
- 邵洁涟等, 1982, 陕西某“卡林型”金矿床的黄铁矿研究, 岩矿测试, 第2期。
- Radtke A. S., 1985, Geology of the Carlin Gold Deposit, Nevada, U. S. Geological Survey Profesional Paper 1267, P. 113, Washington.
- 邵洁涟等, 1987, 浙江火山岩区金矿床黄铁矿的找矿矿物学研究, 地质找矿论丛, 第1期。
- V. C. 法默, 1982, 矿物的红外光谱, 科学出版社。
- 徐国风, 1987, 论浙江火山岩区金银矿床的成矿物质来源, 地球科学, 第4期。

# 湖北大冶铁山矿床单斜辉石的研究

赵爱醒 张学俊 周 健

(中国地质大学)

透辉石和次透辉石在铁山矿床分布很广, 是重要的矽卡岩矿物之一。主要产在矽卡岩体内或晚期的矽卡岩脉中, 前者与矿关系密切。此外还产于黑云母辉石闪长岩及条带状石榴子石透辉石大理岩内。

## 一、化学组成

本矿区透辉石和次透辉石的化学分析资料见表2-1, 其端员组分的百分含量列于表2-2。

表2-2 大冶铁山铁矿床的透辉石端员分子百分含量

| 序 号                                | 1                                                 | 2                                                 | 3                                                  | 4                                                  |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 样 品 号                              | I No. 22                                          | II No. 13                                         | 鄂-144-1                                            | 尖W-23                                              |
| Ac                                 | 1                                                 | 3                                                 | 5                                                  | 10                                                 |
| Id                                 | 40                                                | 1                                                 |                                                    |                                                    |
| CaTiAl <sub>2</sub> O <sub>6</sub> | 1                                                 | 1                                                 | 1                                                  | 3                                                  |
| CaAl <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> | 7                                                 | 5                                                 | 3                                                  | 4                                                  |
| Wo                                 | 44                                                | 43                                                | 43                                                 | 41                                                 |
| En                                 | 42                                                | 41                                                | 39                                                 | 34                                                 |
| Fs                                 | 4                                                 | 6                                                 | 9                                                  | 8                                                  |
| 组 分                                | Wo <sub>49</sub> En <sub>47</sub> Fs <sub>4</sub> | Wo <sub>48</sub> En <sub>45</sub> Fs <sub>7</sub> | Wo <sub>47</sub> En <sub>43</sub> Fs <sub>10</sub> | Wo <sub>46</sub> En <sub>41</sub> Fs <sub>10</sub> |

注: Ac, NaFe<sup>3+</sup>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>钠铁闪石 Id, NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>硬玉 CaTiAl<sub>2</sub>O<sub>6</sub>钛辉石 CaAl<sub>2</sub>SiO<sub>6</sub>契尔马克分子  
Wo, CaSiO<sub>3</sub>硅灰石 En, MgSiO<sub>3</sub>斜顽辉石 Fs, 斜铁辉石Fe<sup>2+</sup>SiO<sub>3</sub>

从表2-1计算得的阳离子数中可以看出: 本矿床透辉石的晶体结构中, M<sub>2</sub>位置除Ca外, 还有Na、K的代替, 并有少量的Mg。M<sub>1</sub>位置主要为Mg, 还有少量的Fe<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、Al<sup>3+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Ti等元素代替, 在(SiO<sub>4</sub>)四面体中有Al<sup>3+</sup>代替Si<sup>4+</sup>。

根据表2-2计算出透辉石的组分, 按照CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>-CaFeSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>-Mg<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>-Fe<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>体系中单斜辉石的命名图投影(图2-1), 结果全部落在透辉石的范围内, 故可确定它们是透辉石, 但3、4号样品的Fs=10, 故也可称作次透辉石。

从表2-1, 2-2中可以看出本矿床透辉石的成分特征:

1. 透辉石的组成为Wo<sub>47-49</sub>En<sub>41-47</sub>Fs<sub>4-10</sub>, 属透辉石-钙铁辉石完全类质同象系列的富镁成员。

表2-1

大冶铁山铁矿床的透辉石化学分析

| 序 号                        |                                                  | 1                                | 2                                | 3*      | 4*                               |
|----------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|----------------------------------|
| 样 品 号                      |                                                  | I No. 22                         | II No. 13                        | 狮-144-1 | 尖 IV-23                          |
| 化 学 成 分<br>(重 量 %)         | SiO <sub>2</sub>                                 | 50.68                            | 51.48                            | 53.71   | 49.76                            |
|                            | TiO <sub>2</sub>                                 | 0.45                             | 0.35                             | 0.21    | 1.20                             |
|                            | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   | 3.73                             | 2.70                             | 1.59    | 2.98                             |
|                            | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   | 2.28                             | 1.14                             | 2.76    | 4.43                             |
|                            | FeO                                              | 2.56                             | 3.85                             | 4.86    | 5.12                             |
|                            | MnO                                              | 0.12                             | 0.13                             | 0.14    | 0.02                             |
|                            | MgO                                              | 14.85                            | 15.06                            | 13.23   | 11.85                            |
|                            | CaO                                              | 23.53                            | 23.65                            | 20.83   | 21.70                            |
|                            | Na <sub>2</sub> O                                | 0.29                             | 0.39                             | 0.55    | 1.13                             |
|                            | K <sub>2</sub> O                                 | 0.04                             | 0.07                             | 0.22    | 0.37                             |
|                            | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>                    | 0.41                             | 0.29                             | 0.98    | 0.32                             |
|                            | H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>                    | 0.57                             | 0.35                             |         |                                  |
|                            | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                    | 0.05                             | 0.05                             |         | 0.29                             |
|                            | NiO                                              | 0.02                             | 0.02                             |         |                                  |
|                            | F                                                | 0.02                             | 0.03                             |         |                                  |
| CO <sub>2</sub>            |                                                  |                                  |                                  | 0.17    |                                  |
| 总 计                        |                                                  | 99.60                            | 99.56                            | 99.08   | 99.34                            |
| 阳 离 子 数<br>(按 6(0)<br>为 准) | Si }<br>Al <sup>IV</sup> }<br>Al <sup>VI</sup> } | 1.8872 }<br>0.1182 }<br>0.0510 } | 1.9168 }<br>0.0832 }<br>0.0746 } | 2.0068  | 1.8881 }<br>0.1119 }<br>0.0213 } |
|                            | Ti                                               | 0.0125                           | 0.0098                           | 0.0058  | 0.0342                           |
|                            | Fe <sup>3+</sup>                                 | 0.0640                           | 0.0318                           | 0.0777  | 0.1263                           |
|                            | Fe <sup>2+</sup>                                 | 0.0797                           | 0.1200                           | 0.1520  | 0.1626                           |
|                            | Mn                                               | 0.0038                           | 0.0040                           | 0.0045  | 0.0007                           |
|                            | Mg                                               | 0.8246                           | 0.8364                           | 0.6213  | 0.6532                           |
|                            | Ca                                               | 0.9389                           | 0.9435                           | 0.8339  | 0.8821                           |
|                            | Na                                               | 0.0210                           | 0.0316                           | 0.0400  | 0.0830                           |
|                            | K                                                | 0.0018                           | 0.0036                           | 0.0103  | 0.0178                           |
|                            |                                                  | 1.9973                           | 2.0550                           | 1.9313  | 1.9983                           |
|                            | Mg                                               | 43.15                            | 43.20                            | 40.83   | 36.39                            |
|                            | ΣFe                                              | 7.72                             | 8.05                             | 12.97*  | 15.72*                           |
|                            | Ca                                               | 49.13                            | 48.75                            | 46.19   | 47.89                            |
| 产 状                        |                                                  | 透辉石石榴子石砂卡岩                       | 透辉石砂卡岩脉                          | 透辉石砂卡岩脉 | 黑云母辉石闪长岩                         |
| 产 地                        |                                                  | 铁 门 坎                            |                                  | 狮 子 山   | 尖 山                              |

注: 1.  $\Sigma Fe = Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn$ .

2. 1—2号样品, 本文, 中国地质大学(武汉)化分室张德贵分析。

\*陶惠亮等, 1965, 湖北铁山接触交代型富铁矿成矿规律及找矿标志研究报告(未刊稿)。

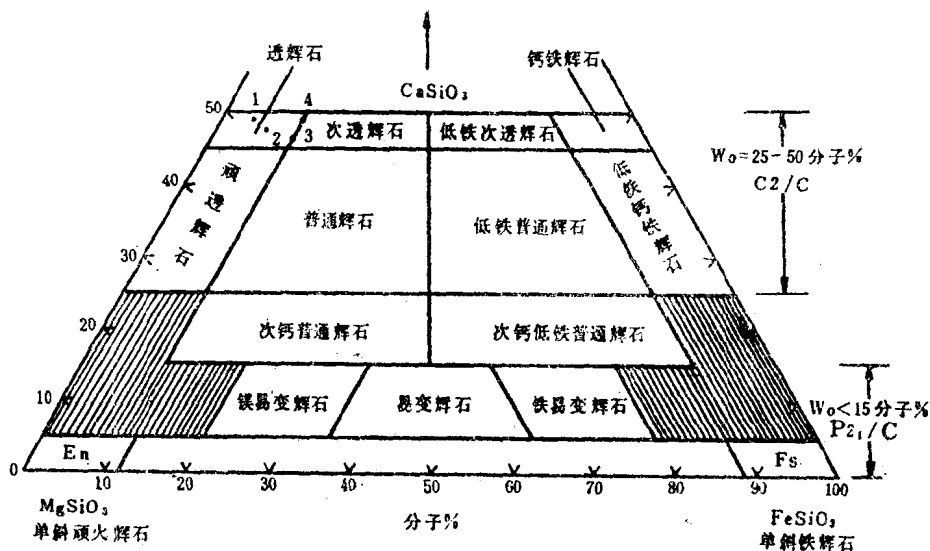


图2-1  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ - $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ - $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ - $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  体系中单斜辉石的命名图  
(据Poldervaart和Hess, 1951)

2. 透辉石中有少量的Na、K代替Ca, K与Na之和为0.0228—0.1008, 即所含  $\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$  和  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$  的组分低 (不超于10%), 其中矽卡岩产出的透辉石,  $\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$  和  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$  组分比黑云母辉石闪长岩中的透辉石低, 前者仅占1—5%, 后者占10%。

3. 本矿床透辉石中的MnO含量较低 (0.02—0.14), 其中矽卡岩产出的透辉石MnO为0.12—0.14%, 而黑云母辉石闪长岩中的透辉石MnO含量则更低 (0.02%), 这是符合透辉石-钙铁辉石系列中富镁成员的特征的。

4.  $\text{TiO}_2$  的含量为0.21—1.20%, 其中矽卡岩中的透辉石 $\text{TiO}_2$  含量很低 (0.21—0.45%), 而黑云母辉石闪长岩中的透辉石 $\text{TiO}_2$  含量较前者高 (1.20%)。  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的含量变化范围在1.59—3.75之间, 而 $\text{Al}^{3+}$ 代替Si的比值很低 (0—1:1.5), 即代替量不超于7%。

## 二、X 射线 分 析

1. 本矿床透辉石X射线粉末衍射数据见表2-3。

2. 利用 (510) 及 (150) 反射鉴定单斜辉石。根据表2-3的X射线衍射数据, 本矿床透辉石的 $2\theta_{510}$ 和 $2\theta_{150}$ 值 (见表2-4) 在图2-2中图解, 结果全部投影点落在Di—Hd连线的近旁而靠近Di的一方, 并分别求得其组分 (见表2-4), 说明它们是属于矽卡岩型的透辉石。IN 0.22、IN 0.13的组成 $\text{Wo}_p\text{En}_q\text{Fs}_r$ 与化学分析资料计算的结果基本一致, 其p、q、r的数目误差在1—3之间, 这对于矿物学、岩石学的研究是能满足的, 说明本矿床透辉石的化学分析和X射线分析结果相同。

## 三、形态、物理性质

本矿床的透辉石, 呈绿色柱状晶形, 晶洞中可见有完好而粗大的晶体, 有二种不同的晶体形态, 一种沿{100}发育呈板状, 长4cm, 宽2.5cm, 双晶常见, 双晶面(100), 为简单

表2-3

大冶铁山矿床铁门坎透辉石X射线衍射数据

| 序 号     | 1       |                  | 2       |                  | 3       |                  | 4       |                  | 5      |                  |
|---------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|--------|------------------|
| 样 品 号   | I No.22 |                  | I No.13 |                  | I No.12 |                  | I No.17 |                  | I No.6 |                  |
| hkl     | d       | I/I <sub>0</sub> | d       | I/I <sub>0</sub> | d       | I/I <sub>0</sub> | d       | I/I <sub>0</sub> | d      | I/I <sub>0</sub> |
| 200     | 4.694   | 1                | 4.695   | 1                | 4.704   |                  | 4.709   |                  |        |                  |
| 020     | 4.457   | 2                | 4.460   | 2                | 4.478   |                  | 4.476   |                  | 4.457  |                  |
| 111     | 3.364   | 1                | 3.669   | 1                |         |                  |         |                  |        |                  |
| 021     | 3.346   | 2                | 3.344   | 2                | 3.352   | 2                | 3.355   | 2                | 3.349  | 2                |
| 220     | 3.230   | 10               | 3.231   | 10               | 3.240   | 10               | 3.240   | 10               | 3.203  | 10               |
| 221     | 2.990   | 10               | 3.007   | 10               | 2.997   | 10               | 2.997   | 10               | 2.389  | 10               |
| 310     | 2.949   | 10               | 2.950   | 10               | 2.957   | 10               | 2.958   | 10               | 2.350  | 8                |
| 311     | 2.893   | 4                | 2.893   | 4                | 2.899   | 4                | 2.899   | 4                | 2.893  | 4                |
| 130     | 2.835   | 1                | 2.831   | 1                |         |                  | 2.838   | 1                | 2.832  | 1                |
| 131     | 2.562   | 3                | 2.562   | 3                | 2.570   | 3                | 2.569   | 3                | 2.561  | 3                |
| 112,221 | 2.517   | 5                | 2.517   | 5                | 2.522   | 5                | 2.525   | 5                | 2.516  | 5                |
| 311     | 2.304   | 2                | 2.303   | 2                | 2.306   | 2                | 2.308   | 2                | 2.303  | 2                |
| 112     | 2.220   | 2                | 2.220   | 2                | 2.217   | 2                | 2.220   | 2                | 2.222  | 2                |
| 022,222 | 2.201   | 2                | 2.198   | 2                | 2.202   | 2                | 2.203   | 2                |        |                  |
| 330     | 2.153   | 4                | 2.153   | 4                | 2.158   | 4                | 2.158   | 4                | 2.153  | 4                |
| 331     | 2.130   | 3                | 2.131   | 3                | 2.135   | 3                | 2.135   | 3                | 2.130  | 3                |
| 421     | 2.107   | 3                | 2.106   | 3                | 2.110   | 3                | 2.110   | 3                | 2.107  | 3                |
| 420     | 2.075   | 1                | 2.074   | 1                | 2.078   | 1                |         |                  |        |                  |
| 240,402 | 2.013   | 2                | 2.013   | 2                | 2.011   | 2                | 2.015   | 2                | 2.014  | 2                |
| 132     | 1.970   | 1                | 1.970   | 1                | 1.971   | 1                | 1.972   | 1                | 1.971  | 1                |
| 510,422 | 1.835   | 3                | 1.836   | 3                | 1.838   | 3                | 1.838   | 3                | 1.835  | 3                |
| 132     | 1.815   | 1                | 1.815   | 1                |         |                  | 1.816   | 1                |        |                  |
| 150     | 1.751   | 4                | 1.751   | 4                | 1.756   | 4                | 1.755   | 4                | 1.751  | 4                |
| 042,242 |         |                  | 1.672   | 2                | 1.675   | 3                | 1.670   | 3                |        |                  |
| 313     |         |                  | 1.659   | 1                | 1.651   | 1                | 1.660   | 1                |        |                  |
| 223,531 | 1.624   | 3                | 1.625   | 3                | 1.627   | 3                | 1.627   | 3                | 1.626  | 3                |
| 440     | 1.614   | 2                | 1.615   | 4                |         |                  |         |                  | 1.616  | 3                |
| 530     | 1.586   | 3                | 1.580   | 2                | 1.585   | 2                | 1.589   | 2                | 1.586  | 2                |

注: I No.22, 产于透辉石石榴子石砂卡岩 I No.6, 透辉石石榴子石方柱石砂卡岩 I No.12, 金云母透辉石石榴子石砂卡岩 I No.13, I No.17, 透辉石砂卡岩脉

表2-4

本矿床透辉石 $2\theta_{510}$ 和 $2\theta_{150}$ 数据

| 序 号             | 1                                                 | 2                                                 | 3                                                  | 4                                                  | 5                                                 |
|-----------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 样 品 号           | I No.22                                           | I No.13                                           | I No.12                                            | I No.17                                            | I No.6                                            |
| $2\theta_{510}$ | 49.628                                            | 49.614                                            | 49.548                                             | 49.534                                             | 49.636                                            |
| $2\theta_{150}$ | 52.194                                            | 52.168                                            | 52.026                                             | 52.042                                             | 52.189                                            |
| 组 成             | Wo <sub>98</sub> En <sub>49</sub> Fs <sub>1</sub> | Wo <sub>90</sub> En <sub>46</sub> Fs <sub>4</sub> | Wo <sub>48</sub> En <sub>38</sub> Fs <sub>14</sub> | Wo <sub>43</sub> En <sub>46</sub> Fs <sub>17</sub> | Wo <sub>90</sub> En <sub>50</sub> Fs <sub>0</sub> |

注: 样品的产地、产状与表2-3同。

接触双晶; 另一种沿{110}发育而{100}不发育的柱状晶形。在透辉石的晶面上常见有磁铁矿八面体晶形; 此外在反光显微镜下观察, 磁铁矿矿石, 可见有大量透辉石被磁铁矿交代的残余, 说明了透辉石比磁铁矿早生成, 且在磁铁矿形成时交代了大量的砂卡岩矿物——透辉石。

本矿床火成岩、砂卡岩、接触变质带的围岩中之透辉石光性常数特征见表2-5。从表中可以看出, 火成岩中的透辉石折射率大于砂卡岩者, 在围岩产出者折射率最小, 因为在透辉

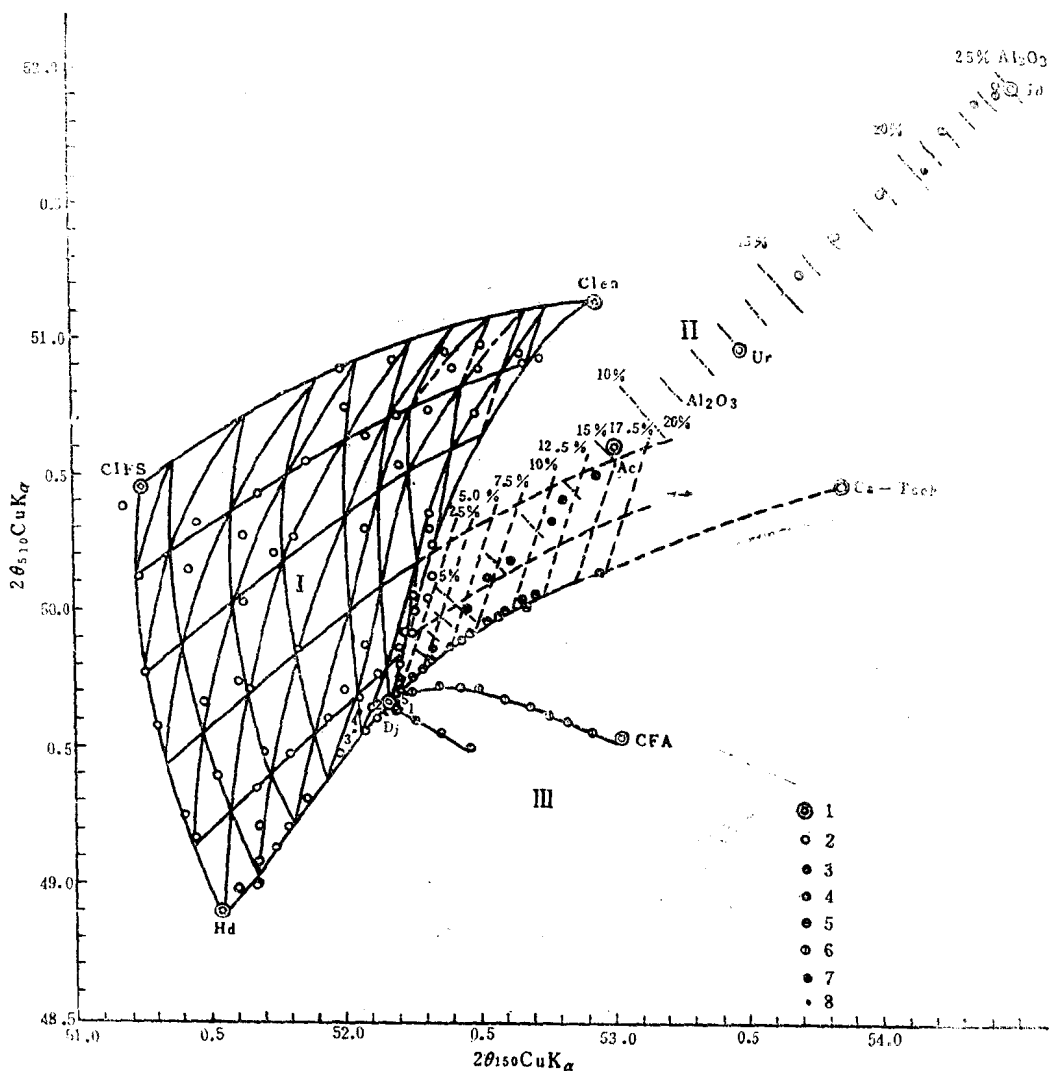


图2-2 用(510)及(150)两反射的CuK $\alpha$ 2 $\theta$ 鉴定单斜辉石的综合图

Clfs斜铁辉石 Clen斜顽火辉石 Di透辉石 Hd钙铁辉石 Ac钠铁辉石 Ur钠铬辉石 Jd硬玉  
Ca-Tsch钙铁阿尔马克分子(CaAlSiAlO $_6$ ) CFA钙铁阿尔马克分子(CaFe $^{3+}$ SiAlO $_6$ ) CTA钛  
辉石(CaTiAl $_2$ O $_3$ )

1. 端员组分 2. Ca-Mg-Fe系列 3. Di-Ac系列 4. Jd-Ac系列 5. Di-Ca-Tsch系列  
6. Di-CFA系列 7. Di-CTA系列 8. 本文样品

表2-5 本矿床不同产状的透辉石光学常数

| 样品号          | 产状            | $N_g$ | $N_m$ | $N_p$ | $C \wedge Np$ | $2V$ | Fs分子% |
|--------------|---------------|-------|-------|-------|---------------|------|-------|
| 尖N-23        | 黑云母辉石闪长岩      | 1.716 | 1.700 | 1.692 | 44°           | 57°  | 37    |
| 狮144-1       | 透辉石矽卡岩脉       | 1.710 | 1.687 | 1.680 | 42°           | 55°  | 21    |
| CK50-150-16  | 方柱石透辉石矽卡岩     | 1.705 | 1.685 | 1.676 | 40°           | 55°  | 16    |
| CK129-154-10 | 条带状石榴子石透辉石大理岩 | 1.702 | 1.678 | 1.670 | 39°           | 56°  | 6     |

石-钙铁辉石系列中, 折射率是随Fe $^{3+}$ 的含量增高而增大, 这与它们的钙铁辉石分子百分含量特点相符。

## 四、红外吸收光谱分析

我们对三个样品作了红外吸收光谱分析(图2-3)。吸收峰波数见表2-6。从吸收峰波数表明它们均属透辉石,其结果与化学分析、X射线分析以及折射率的特征均一致。

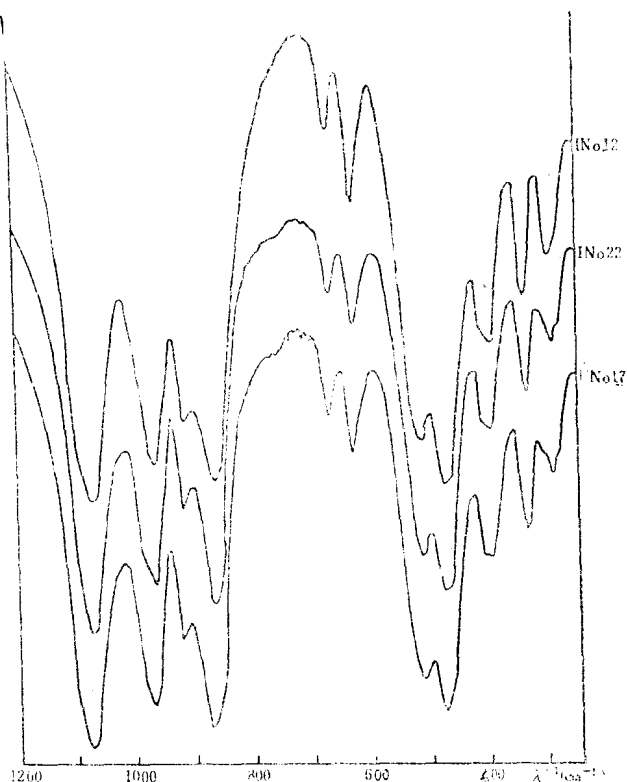


图2-3 透辉石红外吸收光谱图

表2-6

本矿床透辉石红外吸收峰波数

| 样 品 号   | 吸 收 峰 波 数 (cm <sup>-1</sup> ) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |  |
|---------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--|
| I No.12 | 295                           | 338 | 400 | 480 | 518 | 631 | 670 | 870 | 920 | 988 | 1075 |  |
| I No.22 | 294                           | 337 | 400 | 481 | 516 | 632 | 670 | 873 | 920 | 970 | 1075 |  |
| I No.17 | 294                           | 332 | 395 | 470 | 510 | 627 | 670 | 860 | 918 | 963 | 1075 |  |

中国地质大学(武汉)测试中心红外室分析。

## 五、小 结

由于本矿床矽卡岩体在时间、空间以及成因上与磁铁矿关系密切,故本文一开始就指出,产于矽卡岩体(主要是内接触带)的透辉石与矿关系密切,而其它产状的透辉石则与矿无关。文中样品 I No. 6、I No. 12、I No. 22产于内接触带,与磁铁矿、石榴子石、方柱石、金云母密切共生,而 II No. 13、II No. 17、狮-114-1则产于晚期的矽卡岩脉,这种矽卡岩脉往往成分单一,如透辉石脉,透辉石金云母脉等。

学化分析表明,内接触带的透辉石FeO含量(2.56)比晚期矽卡岩脉者(FeO, 3.85和4.86)低,致使它们的组分,前者近于透辉石的端员( $\text{Wo}_{4.8}\text{En}_{4.7}\text{Fs}_4$ ),后者则靠近或者就是次透辉石( $\text{Wo}_{4.8}\text{En}_{4.6}\text{Fs}_7$ 和 $\text{Wo}_{4.7}\text{En}_{4.3}\text{Fs}_{1.0}$ ),经X射线分析,利用 $2\theta_{510}$ 和 $2\theta_{150}$ 两反射角确定它们的组分,获得相同的结果,即产于内接触带的透辉石, I No.6组分为 $\text{Wo}_{5.0}\text{En}_{5.0}\text{Fs}_0$ ,属透辉石-钙铁辉石系列的富镁端员组分(当然也有例外,如I No.12组分为 $\text{Wo}_{4.8}\text{En}_{3.8}\text{Fs}_{1.4}$ ), I No.22和I No.13的X射线分析与化学分析结果基本一致,而I No.17的组分为 $\text{Wo}_{4.3}\text{En}_{4.0}\text{Fs}_{1.7}$ ,反映了含FeO较高,成为次透辉石。由于折射率大小与 $\text{Fe}^{2+}$ 的含量呈正相关,因此所测定的折射率(不同产状的透辉石)以及由此而得出的钙铁辉石分子百分含量与上述结果是一致的。因此可以认为,当闪长岩矽卡岩化时,由于闪长岩与白云质大理岩之间的组分浓度的差异,引起了大量的CaO、FeO和 $\text{SiO}_2$ 的带入、带出,降低了FeO组分的浓度,因而形成的透辉石含量降低,而那些后期的矽卡岩脉穿插于闪长岩中,交代作用只发生在岩体与热水溶液之间,组分浓度相差很大,热液中的 $\text{Na}_2\text{O}$ 对岩体发生交代作用,使 $\text{Fe}^{2+}$ 游离出来进入矽卡岩矿物中,因此形成的辉石 $\text{Fe}^{2+}$ 含量较高。赵斌等人从实验矿物的研究出发,认为铁最先从辉石和石榴子石中被分解出来,生成磁铁矿和其它含铁的矿物,他们通过实验,发现在一定的温压条件下,钙铁辉石可分解形成透辉石+磁铁矿+方解石。这种观点在本矿床是具有一定参考价值的。因此低 $\text{Fe}^{2+}$ 量的透辉石对寻找磁铁矿矿床可作为找矿标志,此外它们的折射率以及矿物组合、产状等都有一定的标型意义。

## 参 考 文 献

叶大年等, 1975, 单斜辉石的X射线粉末法研究, 地质科学, 第2期。

赵斌等, 1975, 钙铁辉石、透辉石和钙铁榴石变化的实验研究, 地球化学, 第1期。

Deer, W. A. etc., 1978, Rock-Forming Minerals, Vol. 2A Second Edition. Single-Chain Silicates, London.