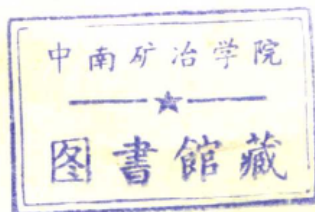


501790

中国地质科学院研究报告 0052

安徽冬瓜山及邻区 磁黄铁矿的形成、演化 及其地质意义



矿床地质研究所

一九八一年八月

冬瓜山及邻区磁黄铁矿的形成、 演化及其地质意义

1979年4月——1981年7月

编写单位：矿床地质研究所二室

协作单位：安徽省地质局三二一地质队

参 加 人：矿床所二室 黄民智 唐绍华

三二一队地质科 黄许陈 张慎昭

编 写 人：黄民智

室 主 任：赵一鸣

所 长：陈毓川

地质部矿床地质研究所

关于安徽“冬瓜山及其邻区的磁黄铁矿研究”的评议意见

这份报告是“狮子山地区铜矿床成矿地质条件及其成因探讨”研究报告的一部分。正文由三部分组成：（一）冬瓜山及其邻区铜矿床地质概况；（二）磁黄铁矿的成因矿物学研究；（三）磁黄铁矿的蚀变特征及其演化条件。报告约六万字，有图、表格 17 张，照片 40 幅。

第一部分概括地介绍了该区的地层、构造、岩浆岩和矽卡岩；并对冬瓜山、大团山和新桥三个铜矿床的地质特征作了简要叙述。作者认为，该区铜矿化受岩浆活动制约，铜矿石形成与岩浆岩有密切关系。

第二部分详细研究了含铜硫化物矿石中六方磁黄铁矿和单斜磁黄铁矿的鉴别特征和某些成因特征。主要有六个方面内容：（1）光性和物性，包括矿物的反射率及色度、硬度、比重和磁性；（2）矿物化学成份和化学浸蚀效应；（3）X射线粉晶衍射图谱（主要是 d_{102} ， $d_{10\bar{2}}$ ）和穆斯堡尔谱；（4）晶粒内部特征和两相的结构关系；（5）根据出溶连晶加热回吸试验和爆裂法测温确定了两相的形成温度；（6）讨论了六方磁黄铁矿和单斜磁黄铁矿的形成方式、空间分布及其与铜矿化的关系。

第三部分阐述了六方磁黄铁矿和单斜磁黄铁矿的蚀变特征及蚀变不同阶段的矿物组合。作者引用一定温度下的 $E-pH$ 图和 $T-lgPO_2$ 图说明蚀变矿物组合的更替与物理化学条件变化的一般关系。

以上内容说明报告对含铜硫化物矿石中两种磁黄铁矿的研究内容充实，资料丰富，工作细致，对今后开展磁黄铁矿研究很有参考价值。关于两种磁黄铁矿形成温度、形成方式、空间分布及其与铜矿化关系等方面的资料对于研究这些矿床的成因也很有意义。因此，建议印发。

对于这类“层控式矽卡岩型矿床”中各种类型磁黄铁矿的成因特征似有必要作更深入的研究，以便查明这类矿床的成因。另外，报告第三部分内容可以精简一些。

二室学术小组

一九八二年十月二十五日

所学术委员会同意二室学术小组评审意见

矿床所学术委员会

1982.10.25

目 录

前言.....	(1)
一、冬瓜山及其邻区铜矿床地质概况.....	(2)
二、磁黄铁矿的成因矿物学研究	
(一) 六方和单斜磁黄铁矿的鉴别特征.....	(8)
(二) 混合样中六方和单斜磁黄铁矿的定量测定.....	(13)
(三) 六方和单斜磁黄铁矿的化学成份.....	(16)
(四) 六方和单斜磁黄铁矿间的结构特征.....	(18)
(五) 六方和单斜磁黄铁矿的形成温度.....	(20)
三、磁黄铁矿的蚀变特征及其演化条件	
(一) 六方和单斜磁黄铁矿的蚀变特征及其共生组合.....	(21)
(二) 六方和单斜磁黄铁矿演化的物理化学条件.....	(22)
四、小结.....	(26)
参考资料及文献.....	(27)
图版说明.....	(28)

前 言

一九七八年十一月，在杭州召开有色金属矿专业会议期间，按照地质部科技局的建议，由安徽省地质局常印佛付总工程师征得严坤元总工程师的同意，矿床所负责人陈毓川同志征得宋叔和所长的同意，组织安徽省局和矿床所同志协商，共同提出“铜陵及其邻区层控铜矿床研究”的专题项目。翌年三、四月，在安徽省地质局三二一队领导的支持下，由地质科付科长及地质负责人董庆山同志以及黄广球、黄许陈同志与矿床所黄民智同志共同拟定了“狮子山地区铜矿床成矿地质条件及其成因研究”工作设计草案，并决定三二一队由黄许陈、张慎昭，矿床所由黄民智合作进行，于一九八三年完成。按照该项目设计草案所制定的工作部署，大致分为四个阶段，其中第一阶段（一九七九—一八〇年）重点进行野外汇集资料。一九七九年三、四月间，本项目研究人员以冬瓜山为主，对比邻区同一层位的新桥矿床，以及上部的大团山矿床进行了观察，采样。随后转入室内工作。一九八〇年六月，由于本项目与“层控铜矿床”项目合并未成，双方参与本项目的研究人员先后另作安排，经矿床所和安徽省局领导协商同意，并呈报科技局，狮子山专题研究中止进行。为此，据一九七九年在冬瓜山等矿床初步搜集的资料，在室内工作的基础上作一阶段性专题小结，本报告即为该项目中间性专题成果之一。

狮子山地区铜矿床矿石的研究，特别是在物质组份、伴生元素等方面，前人已进行了大量工作，但对矿床中“贯通性”矿物的标型研究资料还不多见。冬瓜山及其邻区铜矿床的主要含铜硫化物矿石中磁黄铁矿广泛存在。选择磁黄铁矿的标型特征、形成条件及其演化规律进行研究，有可能对矿石形成条件及矿床成因提供某种信息。

本项研究是在安徽省地质局三二一地质队支持下进行的。野外观察、采样等资料搜集过程中，得到该队岩芯库、磨片室、资料绘图室及一分队同志的许多协助。新桥铜矿指挥部叶元正同志也给予大力帮助。化学分析由测试所刘素明、陈少珍、史世云同志承担；部分单矿物分离、X—射线粉晶衍射、电子探针分析，矿物包裹体爆裂测温分别由本所伊燕荣、黄家山、方业龙、李荫清、陈伟十同志承担。沙俊生同志参加部分野外工作。室内工作蒙陈正先生热心指教，并得到二室、六室有关同志的帮助，在此一并致谢。

一、冬瓜山及邻区铜矿床地质概况

冬瓜山及大团山铜矿床位于长江中下游铜陵有色金属成矿区中部的狮子山矿田内，两者在平面上相距甚近，在空间上部分重迭。其东10公里为新桥铜硫铁矿床，主要成矿层位与冬瓜山相同。为了便于了解有关矿床的地质特征，先略述狮子山矿田地质概况。

狮子山矿田位于淮阳山字型构造东翼的中点，处于其中一复式向斜内的次一级青山背斜的轴部及东南翼。地表在包村后山~胡村后山一线，南北长约五公里、东西宽2公里的范围内，构造岩浆活动较集中，形成近北东向的矽卡岩铜矿化带（图1）。

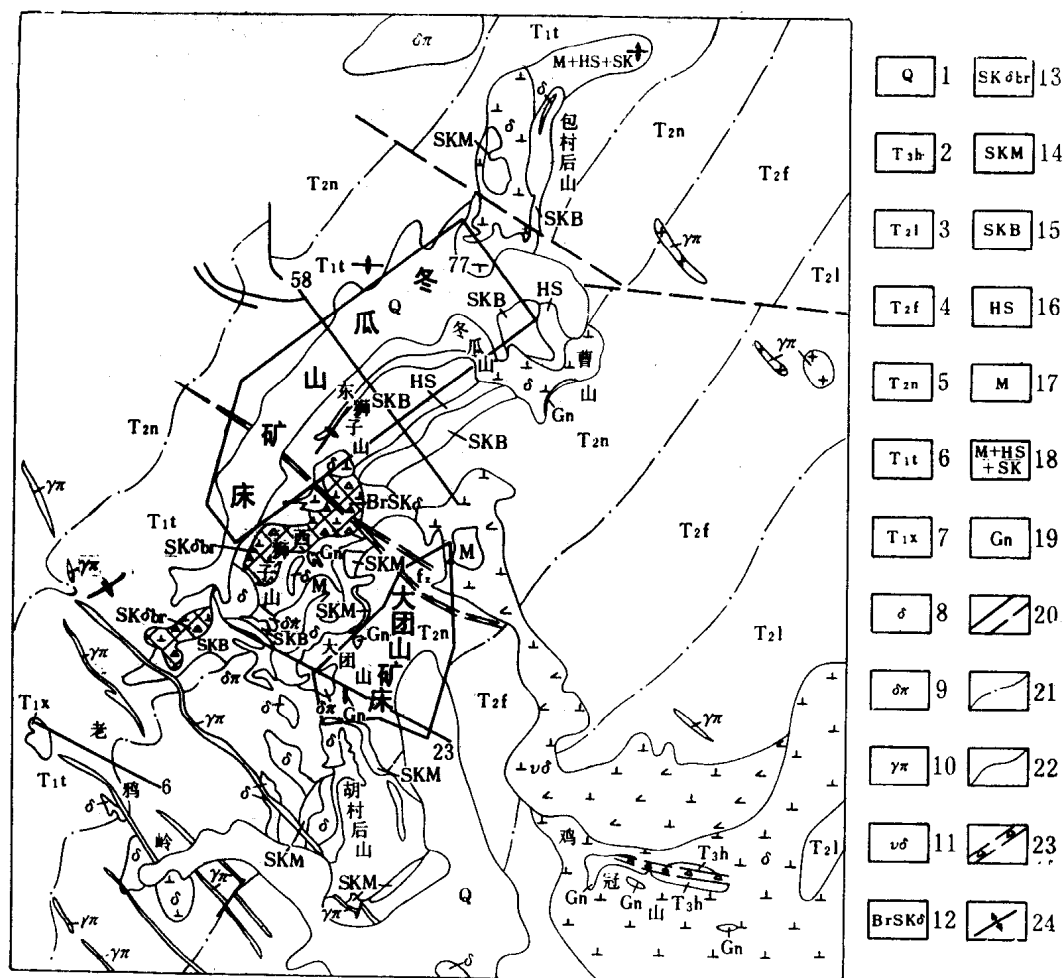


图1 铜陵狮子山矿田地质简图

- 1、浮土 2、黄马青组 3、龙头山组 4、分水岭组 5、南陵湖组 6、塔山组 7、小凉亭组
 8、闪长岩 9、闪长斑岩 10、花岗斑岩 11、辉石闪长岩 12、角砾岩筒 13、角砾状内矽卡岩 14、块状矽卡岩
 15、条带状矽卡岩 16、角岩 17、大理岩 18、大理岩夹角岩及矽卡岩 19、铁帽 20、断层 21、地层界线
 22、地质界线 23、破碎带 24、背斜

矿田地表出露地层全为三迭系，钻探工程已揭露到二迭系—泥盆系上部。这些层位中的某些岩层具不同程度的铜矿化，在有利部位构成工业矿体。其中以中、上石炭统的黄龙组、船山组，上二迭统大隆组，下三迭统的小凉亭组、塔山组为主要含矿层。现将地层、成矿层位及所形成的已知矿床列表如下（表1）：

表 1

地 层		成矿层位		岩 性	成矿层位中形成的已知铜矿床
系	统	组	代号		
三迭系	上	黄马青组	T _{3h}	砂质页岩、粉砂岩、砂岩	老 团 山 大 山 西 山 东 山 胡 村 后 山 狮子山
	中	龙头山组	T _{2l}	白云质灰岩夹灰岩	
		分水岭组	T _{2f}	叶片—薄—中厚层灰岩	
		南陵湖组	T _{2n}	薄—中厚层灰、下部夹瘤状灰岩	
	下	塔 山 组	T _{1t}	条带状灰岩夹钙质页岩及中厚层灰岩透镜体	
		小凉亭组	T _{1x}	钙质页岩夹薄—中厚层灰岩透镜体，顶部厚层灰岩	
二迭系	上	大 隆 组	P _{2d}	硅质页岩、底部硅质灰岩	雅 岭 冬 瓜 山
	下	龙 潭 组	P _{2l}	粘土岩，砂岩、上部炭质页岩夹煤层	
		孤 峰 组	P _{1g}	硅质岩夹硅质页岩及硅质灰岩透镜体	
		栖霞组	P _{1q}	厚层灰岩夹硅质岩、底部有一薄层质页岩	
石炭系	上	船 山 组	C _{3c}	厚层纯灰岩、上部具球状构造	冬 瓜 山
	中	黄 龙 组	C _{2h}	中—厚层灰岩、灰质白云岩、底部具底砾岩	
	下	高骊山组	C _{1g}	砂质页岩、砂岩	
泥盆系	上	五 通 组	D _{3w}	石英岩、石英砂岩	

主矿体赋存层位

次要矿体赋存层岩

矿田的构造特点是褶皱较单一，而断裂较发育，以断裂带、裂隙带形式出现。山字型中青山背斜为一主干构造，浅部为一不对称的“双峰”褶皱，轴面向东南倾，双峰在—600米以下逐渐消失（图2）。新华夏构造在背斜的东南翼发现有三组北北西向的张扭性断裂带以及一部份北北东向压性构造。区域东西构造在矿田内也有反映，主要是近东西向的小褶皱、挤压带及南北向张性断裂带构造。这三种构造型式作交接及归并的复合关系。在上述构造的复合作用下构成的构造格架，对岩浆、矿化具有一定的控制作用。如矿田中部近南北向的岩浆带，即受北北西张扭性断裂带及南北向张性断裂带的复合控制。东西向压性构造与山字型北东向压性构造复合形成小穹窿圈闭构造及受断裂、裂隙（包括层间裂隙）控制的交错岩

墙~岩枝形成的封闭构造对矿化控制十分明显，表现在几个矿床的铜矿化范围的长轴呈东西向，而矿体多分布在背斜轴部及小穹窿中，浅部的矿体群受新华夏压性构造影响又多呈北北东向雁行斜列。

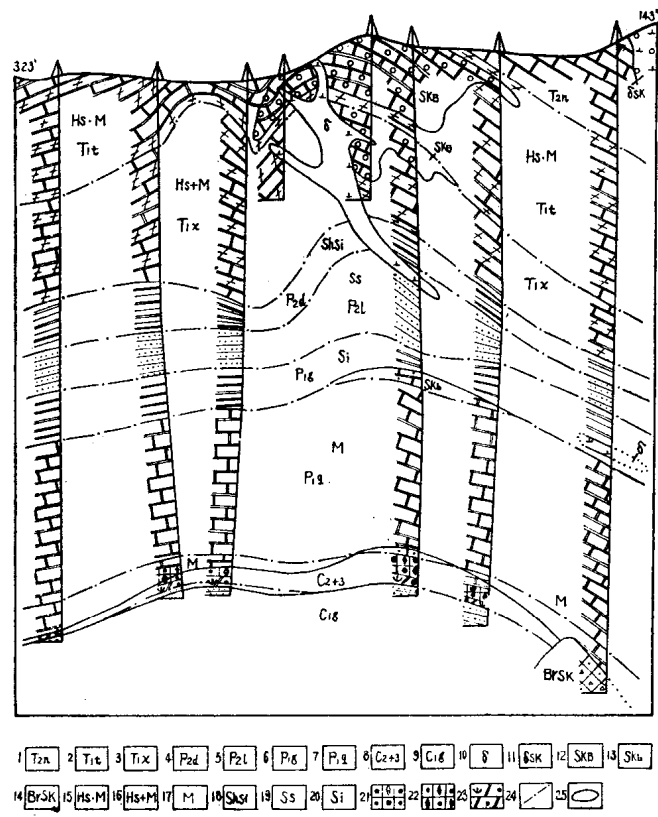


图2 冬山瓜铜矿床地质剖面图

- 1、南陵湖组 2、塔山组 3、小凉亭组 4、大隆组 5、龙潭组 6、孤峰组 7、栖霞组
- 8、船山组+黄龙组 9、高骊山组 10、闪长岩 11、矽卡岩化闪长岩 12、条带状矽卡岩
- 13、层状矽卡岩 14、矽卡岩化角砾岩 15、角岩与大理岩互层 16、角岩夹大理岩 17、大理岩
- 18、硅质页岩 19、砂岩 20、硅质岩 21、含铜黄铁矿、磁黄铁矿 22、含铜磁铁矿 23、含铜滑石、蛇纹石岩 24、地层界线 25、铜矿体界线

矿田内岩浆岩属酸性闪长岩类，主要为闪长岩、石英闪长岩，次为辉石闪长岩及闪长斑岩。同位素年龄的测定（k-Ar法）值为147—160百万年。属燕山早期。岩浆岩化学成分中 $K_2O + Na_2O$ 偏高，且 $Na_2O > K_2O$ ，向深部酸性渐偏高。单个岩体出露面积不大，浅部呈网格状岩墙~岩枝系，深部为小岩株。从岩石的结构构造特征及爆发角砾岩筒的存在，说明岩浆岩侵位属浅成的。与岩浆岩密切相关的矽卡岩化作用十分发育，主要为层间反应交代矽卡岩，呈“层状”或“条带状”，其次为接触反应交代矽卡岩及角砾岩筒中反应矽卡岩。三者之中发育着不同程度的和不同形式的铜矿化，而以“层状”矽卡岩中为最重要，其中多赋存似层状~凸镜状的铜矿体，但铜矿化并不局限于矽卡岩层内，亦可沿有利岩层及构造离开矽卡岩延伸相当距离。

上述地层、构造、岩浆岩是导致本矿田铜矿化富集的基本因素，特别是受岩浆活动的制

约。铜矿体基本围绕小岩株、岩墙~岩枝系闪长岩体的有利围岩及网格间成矿，受一定层位中的岩层控制，以似层状~凸镜状矿体为主，占全矿田的 92% 以上。其次为接触带上的接触式铜矿及角砾岩筒中的铜矿。层控式铜矿，控矿层位多，主要有五个层位（表 1），矿体具多层性，成群出现，伴有“层状”矽卡岩。同时垂直范围内成矿间隔较大（1000 米以上）。矿体规模大小不等，最大的为冬瓜山矿床内的石炭系黄龙组及船山组中铜矿体，次为大团山矿床内的下三迭统小凉亭组及老鸦岭矿床内上二迭统大隆组底部的铜矿体。矿石类型除冬瓜山矿床较复杂外，其余几个矿床均较简单，以含铜矽卡岩型为主，其次为含铜块状硫化物型。矿体含铜一般较富，伴生组份亦较多。

冬瓜山铜矿床位于狮子山矿田的中部，主矿体埋藏较深（-650~-1000 米）（图 2），产于青山背斜的轴部，赋存于黄龙组及船山组的白云质灰岩及灰岩中，受层位控制明显，但在闪长岩体接触部位，不仅该两层全部铜矿化，而且其上部栖霞组灰岩及下部高骊山组砂页岩亦部分矽卡岩化及铜矿化，距岩体越近，矿体厚度及品位随着递减（图 3）。岩体呈似层状，产状与地层相近，因位于背斜轴部而略呈鞍形。目前已控制走向长 1700 米、倾向 300—600 米，厚一般 35—45 米，最厚 84.92 米。矿石类型较多，主要有六种（表 2），它们之间为渐变关系。次要类型有含铜粉砂岩及含铜闪长斑岩矿石，从矿体底板到顶板，矿石类型的大致分布趋势如表 2。主要金属矿物有黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿，其次为闪锌矿、方黄铜矿、等轴方黄铜矿、穆磁铁矿、白铁矿、胶状黄铁矿、菱铁矿、方铅矿，偶见银金矿、墨铜矿、车轮矿等。非金属矿物有石榴子石、透辉石、蛇纹石、滑石、硬石膏、石英、方解石、白云石、金云母、绿帘石、绿泥石、阳起石、方柱石、石棉、绢云母及少量橄榄石等。矿体含铜较富，伴生组分较多。目前控制的铜矿储量已达大型规模。

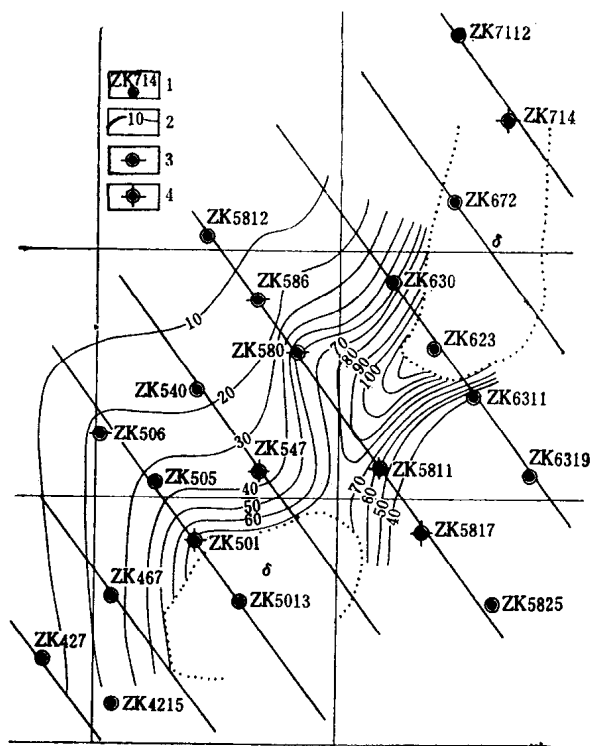


图 3 冬瓜山铜矿体中工程品位×厚度等值线图及采样位置投影图
1. 钻孔地表位置 2. 钻孔中矿体厚度×铜品位的等值线（m%反映工程中铜金属量）3. 以六方磁黄铁矿为主 4. 以单斜磁黄铁矿为主

大团山矿床与冬瓜山矿床毗连，平面上位于其南部，垂向上位于其上部。主矿体产于青山背斜东南翼下三迭统小凉亭组底部的钙质页岩夹灰岩层中（变质后为角岩及矽卡岩），虽受层位控制较明显，但在闪长岩体接触部位的矿体往往变厚变富，整个矿体呈似层状~凸镜状，沿走向长 970 米，最厚 71.49 米。矿石类型以含铜矽卡岩为主，其次为含铜角岩型及含铜块状硫化物型。含铜块状硫化物型矿石往往分布于矿体的顶部。金属矿物以黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿为主，其次有闪锌矿、方铅矿、方黄铜矿、辉铋矿、碲铋矿、自然铋等。主矿体

埋藏深达-500米左右(图4)。矿体含铜较低,次要矿体位于主矿体上、下部各层位上,如上部的塔山组及下部的大隆组中均成矿,但单个矿体规模一般不大。铜矿床规模属中型。

冬瓜山矿床矿石类型及其分布示意图 表2

矿 石 分 布 矿 体		底 板 —————> 顶 板
8	含铜黄铁矿型	-----
7	含铜黄铁矿~磁黄铁矿型	-----
6	含铜矽卡岩型	-----
5	含铜闪长斑岩型	-----
4	含铜黄铁矿~硬石膏型	-----
3	含铜磁铁矿型	-----
2	含铜滑石-蛇纹岩型	-----
1	含铜粉砂岩	-----

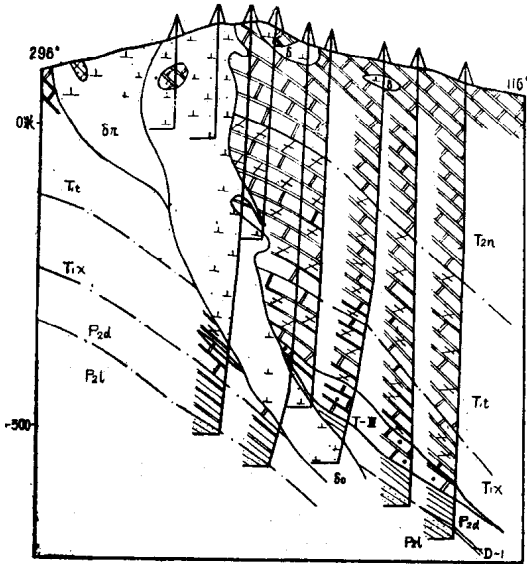
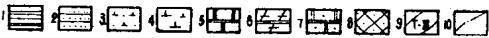


图4 大团山铜矿床23线地质剖面图



1. 硅质页岩 2. 砂岩 3. 石英闪长岩 4. 闪长斑岩 5. 大理岩
 6. 角岩 7. 矽卡岩 8. 块状矽卡岩 9. 矿体界线及编号 10. 地层界线

新桥铜硫铁矿床与狮子山矿田同处于区域内的一条东西向构造~岩浆带中,位于舒家店背斜向南西倾没和大成山背斜向北东倾没的两个转折端斜列交汇处,成一单斜构造。地层与狮子山矿田相近,矿床中部有一蘑菇状石英闪长岩小岩株侵入于石炭系~二迭系地层中(图5)。地表出露0.3平方公里,超覆于栖霞组灰岩及船山组灰岩之上。其同位素年龄值为168百万年,同属燕山早期。岩体使围岩发生砂卡岩化及大理岩化。在接触带及其围岩中的

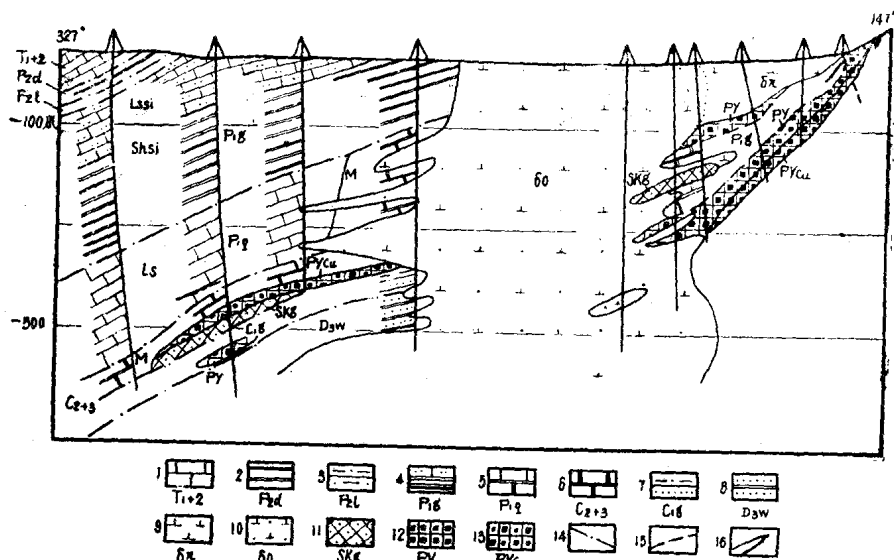


图5 新桥硫铜铁矿床地质剖面图(据新桥矿,略修改)

- 1、中下三迭统灰岩 2、上二迭统大隆组硅质页岩 3、上二迭统龙潭组砂页岩 4、下二迭统孤峰组硅质灰岩及硅质页岩 5、下二迭统栖霞组灰岩及大理岩 6、上中石炭统大理岩 7、下石炭统砂页岩、砂岩 8、上泥盆统石英砂岩 9、闪长斑岩 10、石英闪长岩 11、石榴子石砂卡岩 12、黄铁矿石 13、含铜黄铁矿 14、接触界线 15 矿石界线 16、铜矿体界线

有利层位与层间剥离构造中形成以黄铁矿、黄铜矿为主的矿化,有大小矿体40个,其中以赋存于黄龙组及船山组中的1号矿体为主,受层位控制,呈似层状,走向长2600米,倾向延伸1810米、厚1—60米。产状与地层近于一致,走向NE20—45°,倾向NW倾角0—45°。矿石矿物有黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿、胶状黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、菱铁矿等。脉石矿物有石英、方解石、石榴子石、蛇纹石、绿泥石、绿帘石、高岭土等。不同矿石建造在空间上具水平分带现象,磁铁矿分布于石英闪长岩体附近,磁黄铁矿、黄铁矿、胶状黄铁矿相对远离岩体,黄铜矿矿石分布于岩体周围迭加在磁铁矿及黄铁矿矿石的内带,而闪锌矿矿石则相对远离岩体。含铜磁黄铁矿矿石多分布于东北端及西北端的牛山矿段。矿体含铜较低,伴生组分有金、银、硒、碲、铟、镉等。

上述三个矿床,特别是其中铜矿石的形成与岩浆岩有密切关系。研究表明,矿床中的早期黄铁矿,部分胶状黄铁矿、菱铁矿及冬瓜山矿床中硬石膏层均为同生沉积形成,但都已经过后期热液的迭加和改造。

本区矿床中的含铜块状硫化物型矿石内普遍含有磁黄铁矿，尤其在狮子山矿田内，从深部冬瓜山矿床到浅部东、西狮子山矿床，垂深 800 米内均可见到，其产状从深部的“层状”、“层纹状”向浅部逐渐过渡为脉状及网脉状。它不仅分布广泛，而且在硫化物矿石形成过程中具有重要作用。

二、磁黄铁矿的成因矿物学研究

在复杂的 Fe—S 矿物系列中，磁黄铁矿是其中主要矿物之一。它广泛分布于不同地质作用下形成的硫化物矿床中。本世纪四十年代前后，国外已开始了磁黄铁矿的矿物学研究。六十年代以来，有关研究资料大增，不少研究者通过对人工合成的磁黄铁矿进行热力学和相平衡的实验研究，获得了磁黄铁矿矿物学，结晶学等方面的丰富资料，指出磁黄铁矿存在着六方相和单斜相两种结构型式，它们之间除具有共同的基本结构型式外，在不同温度条件下，其成份和超结构等方面又显出一系列差异。在对比中发现天然产出的磁黄铁矿同样存在这两个相，其成份范围，形成温度及超结构型式与人工合成磁黄铁矿极相近似，因而，磁黄铁矿的这些特性常被用作地质温度计。鉴于天然磁黄铁矿往往受多期次成矿作用的影响而在共生关系上十分复杂，用它作为地质温度计需要审慎处理。

国内对磁黄铁矿的研究，七十年代以来有少量报导^[4, 5]，内容仅限于个别矿床中磁黄铁矿的鉴别特征研究，尚未见系统研究资料。

本项研究的磁黄铁矿样品采自冬瓜山、大团山、新桥等矿床。对这些样品进行了光性、其它物理性、化学浸蚀性鉴定，对其中二十多个样品分别作了化学分析，X—射线粉晶衍射，穆斯堡尔谱、电子探针定性及定量分析，以及矿物包裹体测温等研究。并利用前人实验研究资料对本区磁黄铁矿进行了对比研究。

(一) 六方和单斜磁黄铁矿的鉴别特征

本区磁黄铁矿多为六方和单斜两相混合组成，任一相可呈叶片状产于另一相的基质中，但多数情况下两相共同呈不规则粒状出现。颗粒直径粗达 1—3 毫米，细则 0.05—0.1 毫米，一般 0.1—0.5 毫米。由于两相特征差别不大，因而在肉眼和镜下观察时难以区别。但是，确定两相共生特点及其数量比例关系，对硫化矿石的形成及其演化条件能够提供有意义的信息，因而首先需要通过不同鉴定手段和测试方法来区别磁黄铁矿的两个相并研究其存在形式。

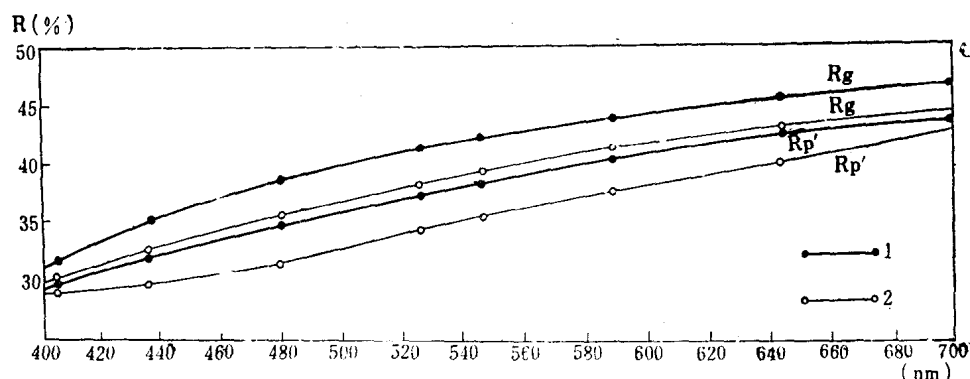
1. 光学性质及物理性质

反射率及色度 磁黄铁矿反射率采用 Orthoplan MPV-1 型倍增管显微镜进行测定，实验条件：玻片反射器，物镜 20 倍，以该仪器所附的碳化钨为标准^[6]测得本区六方和单斜磁黄铁矿反射率色散值及颜色指数列表 3。并作反射率色散曲线图（图 6）。

本区六方和单斜磁黄铁矿反射率色散值及颜色指数

表 3

		单斜磁黄铁矿		六方磁黄铁矿	
反 散 率 色 散 值	波长 (nm)	R _g	R _{p'}	R _g	R _{p'}
	405	31.7	30.0	30.4	28.7
	436	35.2	32.1	32.8	29.6
	480	38.3	34.9	35.1	31.7
	526	40.9	37.5	37.8	34.5
	546	42.1	38.4	39.0	35.5
	589	44.2	40.3	41.4	37.6
	644	46.1	43.1	43.9	40.9
	700	46.8	44.6	44.7	42.5
颜 色 指 数	视觉反射率R _v	42.8	39.0	39.8	36.1
	色度坐标x	0.350	0.352	0.352	0.354
	y	0.351	0.350	0.350	0.350
	颜色主波长λ _r	577	580	577	591
	颜色纯度P _c	0.102	0.111	0.106	0.086


 图 6. 本区六方和单斜磁黄铁矿反射率色散曲线
 1、2 分别为单斜磁黄铁矿和六方磁黄铁矿

从表 3 和图 6 中可见：单斜磁黄铁矿的反射率高于六方磁黄铁矿，但差值较小。在单色光波长 405~700 (nm) 之间平均差值 2.5%，视觉反射率差值 3.0% 左右；而同一相磁黄铁矿的 R_g 与 R_{p'} 之间的平均差值为 3.1%，视觉反射率差值在 3.7~3.8% 之间。六方和单斜磁黄铁矿呈粉红棕色，颜色浓度较低，因而在一般情况下难以区别。

硬度 两相磁黄铁矿连生体在反光镜下观察，单斜磁黄铁矿相对六方磁黄铁矿突起较高。采用 ITM-1 型显微硬度计进行测定（五次以上平均值），结果单斜磁黄铁矿代表性压入硬度为 VHN(50g) = 316~331 kg/mm²，相当摩氏硬度 4.6；六方磁黄铁矿代表性压入硬度为 VHN(50g) = 246~265 kg/mm²，相当于摩氏硬度 4.2。可见单斜磁黄铁矿的硬度大于六方磁黄铁矿。

比重 磁黄铁矿的比重采用 JN—A 型精密扭力天秤, 在四氯化碳中三次测定, 所得比重值见表 6。结果表明, 本区六方磁黄铁矿比重最高, 平均为 4.64; 而单斜磁黄铁矿最低, 为 4.48。其中实测的 9 个样品 (见表 6) 与 A. Γ. 别捷赫琴^[14] 比重计算值曲线 (图 7)

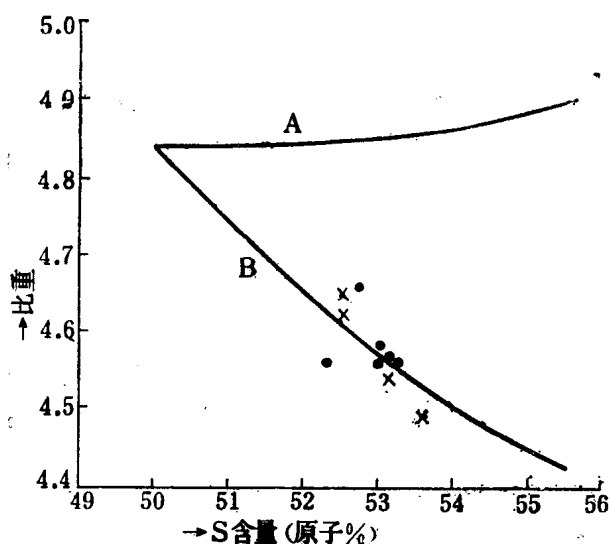


图 7. 磁黄铁矿比重与 S 含量 (原子%) 的关系
曲线 A: 假设 Fe 原子一部分 S 离子代替时变种的比重计算值曲线。
曲线 B: Fe 离子的位置一部分空着时另一变种的比重计算值曲线。
· 为混合样, × 为六方及单斜磁黄铁矿单样。

进行对比分析可见, 磁黄铁矿的比重值的大小与 S 含量 (原子%) 有关, 其比重随 S 含量 (原子%) 的增加即 Fe 含量 (原子%) 的减少而降低。在两相混合样品中, 其比重值随其中六方相的减少 (或单斜相的增加) 而有规律地降低。从单样比重值可见, 磁黄铁矿由六方相到单斜相的转变中, 铁的缺少, 不是由于若干 S^{2-} 离子部分地替换了 Fe 离子, 而是当阴离子 S^{2-} 的数目不变时, 空间格架中阳离子 Fe 的位置有一部分空着的缘故, 以此导致其比重随 Fe 含量 (原子%) 的减少而降低, 至于 Fe 的缺位问题尚需通过电子显微镜进一步证实, 限于目前对带磁性矿物的制样及操作条件, 只能留待今后进一步研究。

磁性 取 60—80 目磁黄铁矿两相混合样品置于水中, 用马蹄形磁铁吸上来的为单斜磁黄铁矿, 而六方磁黄铁矿则滞留水中。在用 WCF 1—63 型自动磁力分离仪, 电流 ≥ 0.1 安培 (即磁场强度 ≥ 1000 奥斯特), 被分离出来的为六方磁黄铁矿。同时利用 MB—2 磁力天秤, 称重 5—15 毫克, 测得磁化率结果列表 4。从中可见: 单斜磁黄铁矿的磁化率远远高于六方磁黄铁矿。而两相混合磁黄铁矿的磁化率随六方磁黄铁矿的含量增高而降低。显而易见, 单斜磁黄铁矿为强磁性矿物, 而六方磁黄铁矿为极弱磁性、接近无磁性矿物。

表 4

样品号	名称	六方磁黄铁矿 (%)	磁化率 $X \cdot 10^{-6} (\text{emu/g})$
I-11	单斜磁黄铁矿	0	1591.00
Q-8	两相混合磁黄铁矿	30	975.00
I-11 + F-55	"	50	788.00
F-55	六方磁黄铁矿	100	29.37

磁化率由中国科学院物理所测定

2. 化学浸蚀效应:

矿物的可溶性随矿物成份、元素含量及其结晶方位的不同而变化, 这就构成了矿物结构浸蚀鉴定的依据。由于磁黄铁矿两种结构形式的 Fe 含量 (原子%) 及其晶体结构型式不

同,影响到化学试剂对它们的浸蚀效应。在正常光片上很难鉴别的六方和单斜磁黄铁矿,在室温下用饱和铬酸溶液浸蚀光片一小时后,立即显现出易浸蚀的深褐色的单斜磁黄铁矿和不易浸蚀的浅褐色或未变色的六方磁黄铁矿的粒状共生体(图版1—1)。图版1—2显示浸蚀后的单斜磁黄铁矿颗粒中似出溶作用形成的叶片或菱形网格状六方磁黄铁矿,轮廓清晰,其两组叶片的交角约 40° — 50° 左右。反之,在六方磁黄铁矿颗粒中出现单斜磁黄铁矿的薄板状的连生体(图版1—3,1—4)。前者较少见,图版1—5为单斜磁黄铁矿聚片双晶的两边单体,由于错位,结晶方向不同,对浸蚀溶液的溶解速度不同,因而在浸蚀后显示出差异。在浸蚀过程中还发现个别单斜磁黄铁矿颗粒中显示一种细密,平行的页片状双晶(图版1—6)。

为进一步验证浸蚀鉴定的效果,在光片上按不同浸蚀区分别取其粉末样品进行X-射线粉晶衍射,结果强腐蚀区显示单斜相的裂开为同等强度的双峰,Fe含量(原子%)最低,为46.44;而未腐蚀区呈现六方相陡锐、对称的单峰,Fe含量(原子%)最高,为47.49,加上不同腐蚀区的光性、硬度、磁性等测定(参见表1),圆满地证明了浸蚀鉴定对于判别两种不同结构型式的磁黄铁矿的准确性。

一般认为磁黄铁矿的化学稳定性较差,暴露在空气中易于氧化。实际上最易于氧化的是单斜磁黄铁矿。当光片或颗粒状混合样较长时间暴露在空气中时,在单斜磁黄铁矿表面常出现一层失去光泽的暗色薄膜,明显区别于不易氧化的六方磁黄铁矿。

3. 穆斯堡尔谱分析:*

在室温条件下以一台等加速度穆斯堡尔谱仪测出磁黄铁矿的穆斯堡尔谱,放射源为 ^{57}Co (Pd)(约8毫居里),每个谱256个数据点。用 $\alpha\text{-Fe}$ 谱标定速度,每道增量为0.0544毫米/秒。同质异能位移(I.S)相对金属铁。在计算机上用最小二乘法将复杂的谱拟合成劳伦兹曲线。

六方和单斜磁黄铁矿的穆斯堡尔谱示于图8。从中可见其共同的特点是具有磁分裂,谱

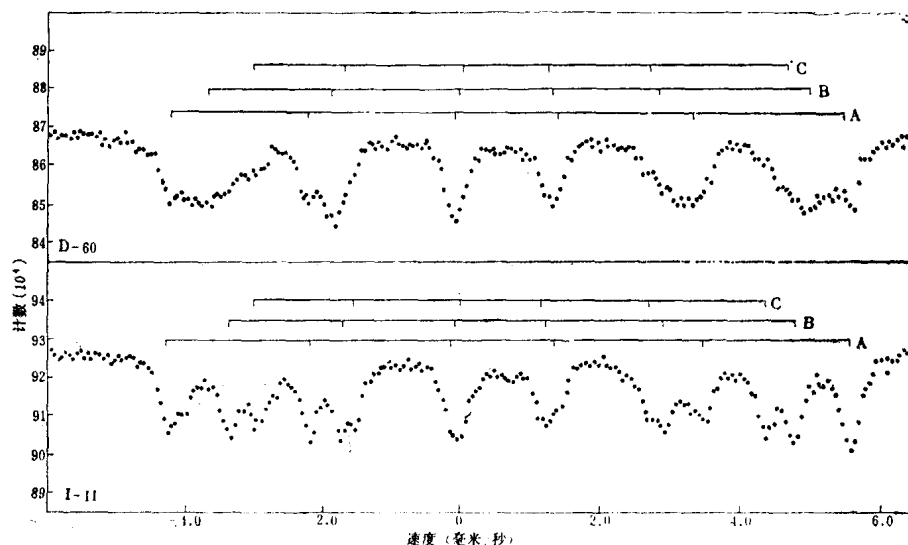


图8. 本区六方(D-60)和单斜(I-11)磁黄铁矿穆斯堡尔谱

* 由中国科学院地质研究所应育甫同志提供

线复杂, 每个谱拟合成 A、B、C 三组六线谱, 表明铁在磁黄铁矿中有三套结晶学位置。其不同点表现在谱形和穆斯堡尔谱参数上 (表 5), 这两类磁黄铁矿的内磁场有明显差别, 对于 B 位和 C 位的内磁场来说, 六方磁黄铁矿大于单斜磁黄铁矿; 两类磁黄铁矿中铁的原子比 (面积比) 也不相同, 从 B 位看, 六方磁黄铁矿大于单斜磁黄铁矿, 而 A 位及 C 位则相反。这种差异是与六方和单斜磁黄铁矿的不同结构型式有关。

本区六方和单斜磁黄铁矿穆斯堡尔谱参数

表 5

样品	谱线	同质异能位移 I S	四极分裂 Q S	线宽 J	内磁场 H _i (koe)	Fe 的原子面积 比 (%)
单斜磁黄铁矿 I—11	A	0.92	0.075	0.352	303.1	40.39
	B	0.90	0.112	0.302	253.2	28.78
	C	0.90	0.146	0.358	227.4	30.83
六方磁黄铁矿 D—60	A	0.94	0.097	0.356	303.4	31.43
	B	0.93	0.050	0.440	271.5	43.24
	C	0.91	0.202	0.440	243.0	25.33

4. X—射线粉晶衍射

选磁黄铁矿混合样及六方和单斜磁黄铁矿单样 24 个, 进行 X—射线粉晶衍射分析。工作条件: 阳极 CuK α , 电压 30 千伏, 电流 20 毫安, 单色滤波器 1° (2 θ)/分。

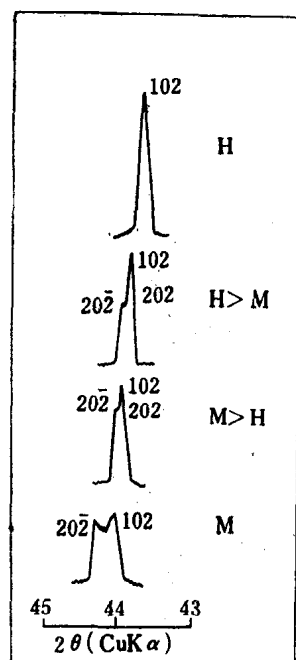


图 9. 本区六方磁黄铁矿 (H)
—单斜黄铁矿 (M)
的 d₁₀₂ 衍射峰。

从 X—射线粉晶衍射曲线可以清楚看到, 两种结构型式的磁黄铁矿具有显然不同形状的曲线 (图 9)。六方磁黄铁矿衍射曲线特征是 d₁₀₂ 呈陡锐角度、且两翼对称的单峰; 而单斜磁黄铁矿则分裂为同等强度的两个峰 (d₂₀₂ 和 d_{20 $\bar{2}$}), 当 Fe 含量 (原子%) 降低时, 2 θ_{102} 由六方相逐渐变大, 直到单斜相 2 θ_{102} 分裂为衍射强度近于相等的 2 θ_{202} 和 2 $\theta_{20\bar{2}}$ 。本区六方相的 2 θ_{102} 和单斜相的 2 $\theta_{20\bar{2}}$ 之间最大相隔 0.28° (CuK α)。当分裂的两个峰中 I₂₀₂ (强度) 明显大于 I_{20 $\bar{2}$} 时, 即 I₂₀₂ 处迭加有 I₁₀₂, 表明存在六方和单斜两个相, 应当说明, 这种类型的裂开衍射曲线仅仅符合于铁含量 (原子%) 大约在 47.5% 或更低一些的磁黄铁矿。这一实测结果与 R.G. 阿诺德^[7, 8] 所示曲线相一致。

据衍射曲线测得的 d₁₀₂ 值, 应用 R.A. 容德和 H.T. 霍尔^[11] 提出的计算方法, 按关系式:

$$Y = 45.212 + 72.86 (d_{102} - 2.0400) + 311.5 (d_{102} - 2.0400)^2$$

进行计算。式中 Y 表示六方磁黄铁矿的 Fe 含量 (原子%), 计算结果见表 6。对照阿诺德^[7] 的磁黄铁矿成份与 d₁₀₂ 值关系曲线图, 所求得的磁黄铁矿的

Fe 含量（原子%）基本相符。

单斜相及两相混合磁黄铁矿样品在测定前置于石英玻璃管内抽真空密封，进行恒温试验。实验条件：DWK—702精密恒温控制仪，温差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，GL—IX型高温卧式炉，Ni—Cr、Ni—Al 热电偶，常压下加热至 350°C ，30 分钟后取出淬火，这时单斜相等化学转化为六方相，再进行X—射线粉晶衍射测到 d_{102} 值，用以上公式计算得到该样的Fe含量（原子%）。以硅为内标。

（二）混合样中六方和单斜磁黄铁矿的定量测定

根据本区 22 个混合磁黄铁矿样品的X—射线粉晶衍射强度分析资料，参照阿诺德^[7, 8]的强度系数与成份的线性关系，对混合样品中的六方和单斜相进行比例定量测定。

阿诺德的这一关系直线，其纵座标刻度表示六方相的衍射强度与六方和单斜相衍射总强度之比值——强度系数，设纯六方相的理想比值为 1.0，纯单斜相理想比值则为 0.5。这些比值取自次要组分含量约占 10% 的混合样，实际上，混合样中含量小于 10% 的次要组分是不能为X—射线衍射检验出来的。因此，在横座标的六方相含量（%）刻度，按照X—射线衍射可以察觉到的极限取 8% 及 92%，相应纵座标的 0.5 和 1.0 作一直线，就是阿诺德实验所得强度系数和成份关系直线，运用这一直线求得本区各混合样中六方相所占含量（%）（图10，表 6）。

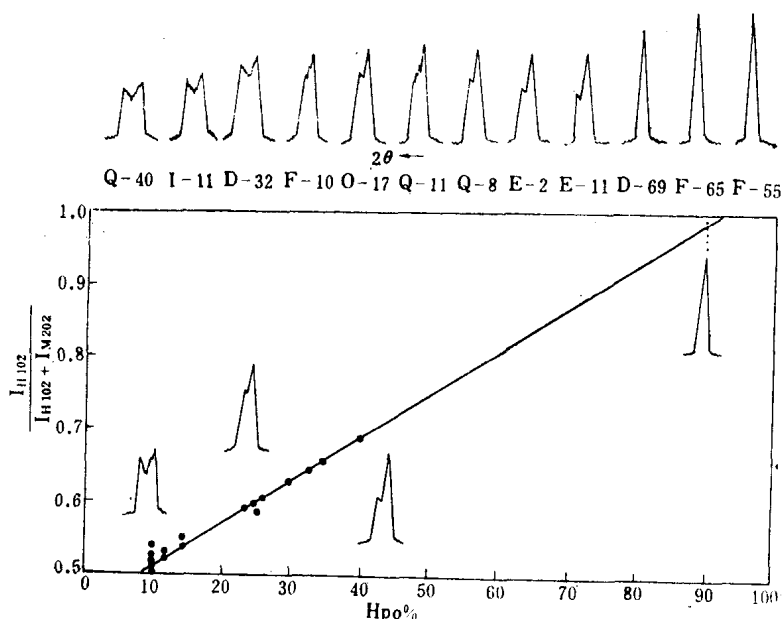


图 10 X—射线粉晶衍射曲线及其强度系数与成分关系图

上图。六方磁黄铁矿—单斜磁黄铁矿的不同比例混合样品的X射线粉晶衍射曲线图

下图。纵座标六方磁黄铁矿的衍射强度与六方和单斜磁黄铁矿衍射总强度之比值，即强度系数
横座标为六方磁黄铁矿（Hpo）在样品中所占重量%；小圆点为19个混合样品计算所得的强度系数与六方磁黄铁矿所占重量%