

中国地质科学院院报

矿床地质研究所分刊

第2卷 第1号

1981年

矿床地质研究所 编
地质出版社 出版

目 录

[illegible]

消息报导

地学普及刊物——《地球》问世 (191)

中国地质科学院院报
矿床地质研究所分刊

1981 年

第2卷 第1号

矿床地质研究所 编

地质部书刊编辑室编辑

责任编辑 刘建三

地质出版社出版
(北京西四)

地质印刷厂印刷
(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: 787 × 1092^{1/16} · 印张: 12 · 插页 3 个 · 字数: 288,000

1981年10月北京第一版·1981年10月北京第一次印刷

印数 1—2,680册·定价2.00元

统一书号: 15038·新670

BULLETIN OF THE CHINESE ACADEMY OF GEOLOGICAL SCIENCES, SERIES III

Vol.2, No.1

CONTENTS

- On the Minerogenetic Characteristics of the Makeng Iron Deposits
and their Conditions of Formation..... *Zhou Tianren et al.* (23)
- Meishan Iron Deposit—an Ore-Magma-Hydrothermal Deposit
..... *Chen Yuchuan et al.* (46)
- Sulfur Isotope Studies and Origin of the Iron-Cobalt-Copper Deposit
of Shilu, Hainan Island *Liu Yuqing* (62)
- Studies of Sedimentary Characteristics of the Cretaceous-Paleogene
Saline Series in a Basin of Eastern China and their Formation Con-
ditions..... *Liu Qun and Xu Qijun* (73)
- A Study on the Xizang (Tibet) Salt Minerals *Zheng Mianping et al* (98)
- Geological Characteristics of Mineralization of Rare Earth Deposits
of the Ion-Absorption Type and their Prospecting Direction
..... *Yang Yueqing et al.* (118)
- Approach Through Statistical Analysis to the Evolution of Parent
Magma of the Subvolcanic Rocks in Nanjing-Wuhu Area and
their Mineralized Alteration *Zhu Yusheng and Yu Jinsheng* (132)
- Research on Magnetic Prospecting with Variation Geomagnetic Field
..... *Wu Xuanzhi and Zhang Baishan* (154)
- The Numerical Solution of the Static Electric Field and its Appli-
cations *Liu Xinzhu et al.* (170)
- Source of Water in Ore-Bearing Hydrothermal Fluids and its Rela-
tion to Mineralization..... *Ji Kejian and Wu Xuehan* (188)

News Report

The Earth, A Popular Geoscience Periodical, Will Soon Come Out (191)



论马坑铁矿的成矿特征和形成条件

邹天人 葛朝华

韩 发 陈德潜^①

一、矿床产出地质背景

马坑铁矿位于华南加里东地槽褶皱系的永(安)一梅(县)上古生代褶皱内。在该盆地的同一层位中还产出中、小型铁矿床数十个,构成了具有重要意义的铁矿远景区。

马坑铁矿区内主要出露上古生代地层,按其岩性可分为三段。下段为火山-碎屑岩组合,属下石炭世林地组(C_1l)顶部至中石炭世黄龙组(C_2h)下部。中段为碳酸盐岩组合,属黄龙组上部至下二叠世栖霞组(P_1q),中夹多层辉绿岩。主矿体产于下、中段之间界面上。上段为碎屑岩组合,属下二叠世文笔山组(P_1w)至加福组(P_1f)底部,主要为砂质泥岩、粉砂岩。

矿区内主要构造线方向与区域一致,主要为北东向,其次为北西向(图1)。矿区内出露火成岩有花岗岩、辉绿岩、变钾质火山岩及变火山凝灰岩等。其各种岩石的平均化学成分见表1。值得指出的是,本区辉绿岩多为整合的层状体,可能是古相火山岩。

二、矿体地质特征

铁矿体由下部主矿体和上部小矿体两部分组成。主矿体呈层状整合地产于大理岩与石英岩之间,沿走向长度大于四千米。小矿体呈透镜体状产于大理岩或大理岩化灰岩内,空间上与辉绿岩及其有关的砂卡岩有关。

小矿体的主要矿石类型有石榴石-磁铁矿、辉石-磁铁矿、粒硅镁石-磁铁矿和金云母-磁铁矿。主矿体的主要矿石类型有石榴石-磁铁矿、辉石-磁铁矿、透闪石-磁铁矿、石英-磁铁矿和含氟角闪石-磁铁矿。各类型矿石在矿体中空间分布特征见图2和图3。

各类型矿石的矿物成分列于表2。从中可以看出:

1. 矿石的矿物组合简单,主要由磁铁矿、辉石、石榴石、含氟角闪石、石英和金云母组成。
2. 矿石内富含镁的矿物——透辉石、透闪石、粒硅镁石、金云母、蛇纹石较多。
3. 透闪石-磁铁矿及石英-磁铁矿内常伴有绿色、黄绿色、褐色碧石。

^① 参加本项工作的还有赵一鸣、谭惠静、袁润广、郑人来、许振南、林峰雪、曾晓虹、李大新、孙静华等同志。

4. 透闪石-磁铁矿、金云母-磁铁矿、含氯角闪石-磁铁矿内的挥发份矿物——萤石含量较高。

矿石的化学成分见表3。

1. 石英-磁铁矿是马坑铁矿内品位最富，杂质含量最低的矿石。
2. 上部小矿体的矿石含锰较高，主矿体含锰较低。
3. 除石英-磁铁矿外，各类型矿石普遍含镁较高 (MgO 1—14.5%)。
4. 各类矿石含硅较高 (SiO_2 10—42%)，属酸性非自溶矿石，矿石中铁与硅成反比。含钛皆较低 (TiO_2 0.01—0.17%)。
5. 矿石中含有害杂质元素S、P、Pb、Zn等较低，含Mo、Sn、V较高。

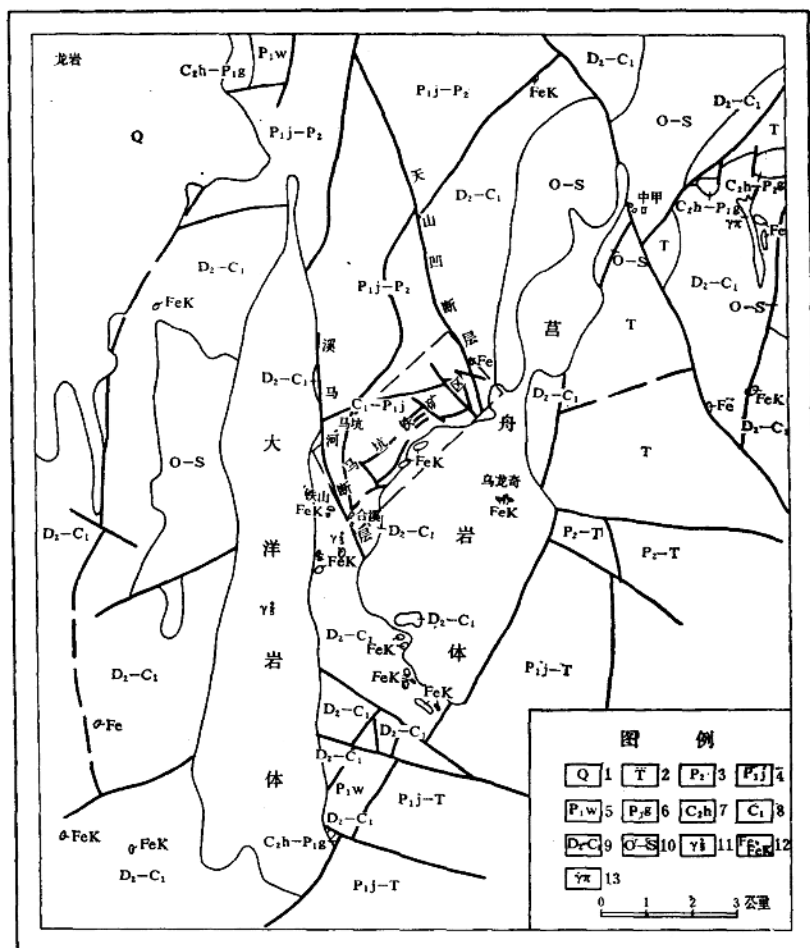


图1 马坑铁矿区域地质图

1—第四系；2—三叠系（未分）；3—上二叠统；4—下二叠统加福组；5—下二叠统文笔山组；6—下二叠统栖霞组；7—中石炭统；8—下石炭统顶部；9—中上泥盆至下石炭统；10—奥陶至志留系；11—花岗岩；12—磁铁矿、褐铁矿露头；13—花岗岩斑岩

马坑铁矿区火成岩平均化学成份

表 1

重 量 岩 性 %	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O
黑云母钾长花岗岩	75.70	0.13	12.50	0.93	0.91	0.04	0.29	0.70	3.31
华南褐钨铌矿花岗岩	75.42	0.10	12.39	0.87	1.06	0.06	0.23	0.77	3.47
粗安质辉绿岩	55.32	1.73	13.77	1.47	9.16	0.39	3.15	6.46	3.44
安山质辉绿岩	55.95	1.72	14.16	5.96	5.30	0.18	3.32	5.86	3.23
碱玄质辉绿岩	47.41	2.10	12.73	2.70	10.28	0.50	6.57	8.89	2.03
拉玄质辉绿岩	48.75	1.51	14.13	1.60	8.35	0.36	7.36	10.32	2.20
变钾质火山岩	60.19	0.82	17.61	0.87	4.25	0.12	1.66	1.27	1.86
变凝灰岩	60.30	0.72	17.72	0.83	5.16	0.13	2.54	1.23	2.48
	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	CO ₂	F	Cl	合 计	样品数
黑云母钾长花岗岩	5.02	0.02	0.65			0.107	0.017	100.324	13
华南褐钨铌矿花岗岩	5.01	0.04						99.42	
粗安质辉绿岩	2.92	0.33	1.45	0.26	0.61	0.15	0.06	100.67	10
安山质辉绿岩	2.02	0.32	1.45					99.47	4
碱玄质辉绿岩	2.32	0.49	2.42	0.25		0.30	0.09	99.08	16
拉玄质辉绿岩	1.64	0.13	2.35		1.35	0.37	0.02	100.09	5
变钾质火山岩	8.99	0.05	1.47	0.18	0.53	0.28	0.02	100.17	4
变凝灰岩	5.50	0.06	1.97	0.30	0.25	0.26	0.02	99.47	5

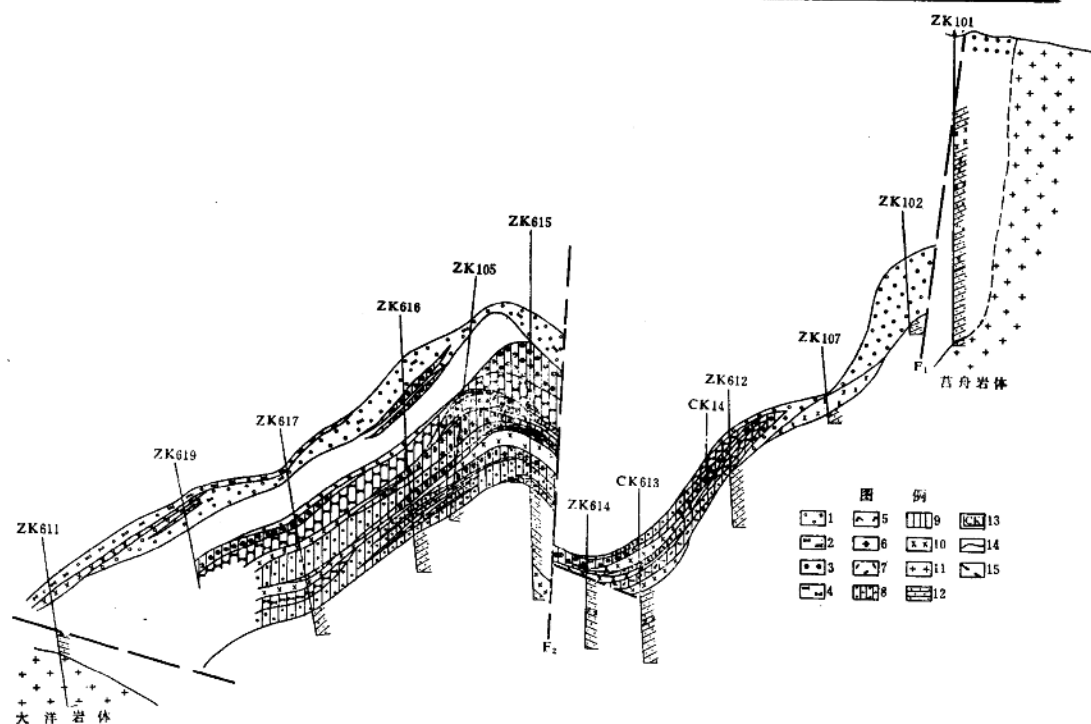


图 2 61线矿石类型分带图

1—石榴石砂卡岩, 2—辉石砂卡岩, 3—石榴石—磁铁矿, 4—辉石—磁铁矿, 5—粒砷镁石—磁铁矿, 6—透闪石—磁铁矿, 7—角闪石—磁铁矿, 8—石英—磁铁矿, 9—铁矿体, 10—辉绿岩类, 11—黑云母钾长花岗岩, 12—石英岩夹变凝灰岩, 13—钻孔及编号, 14—地质界线, 15—断层

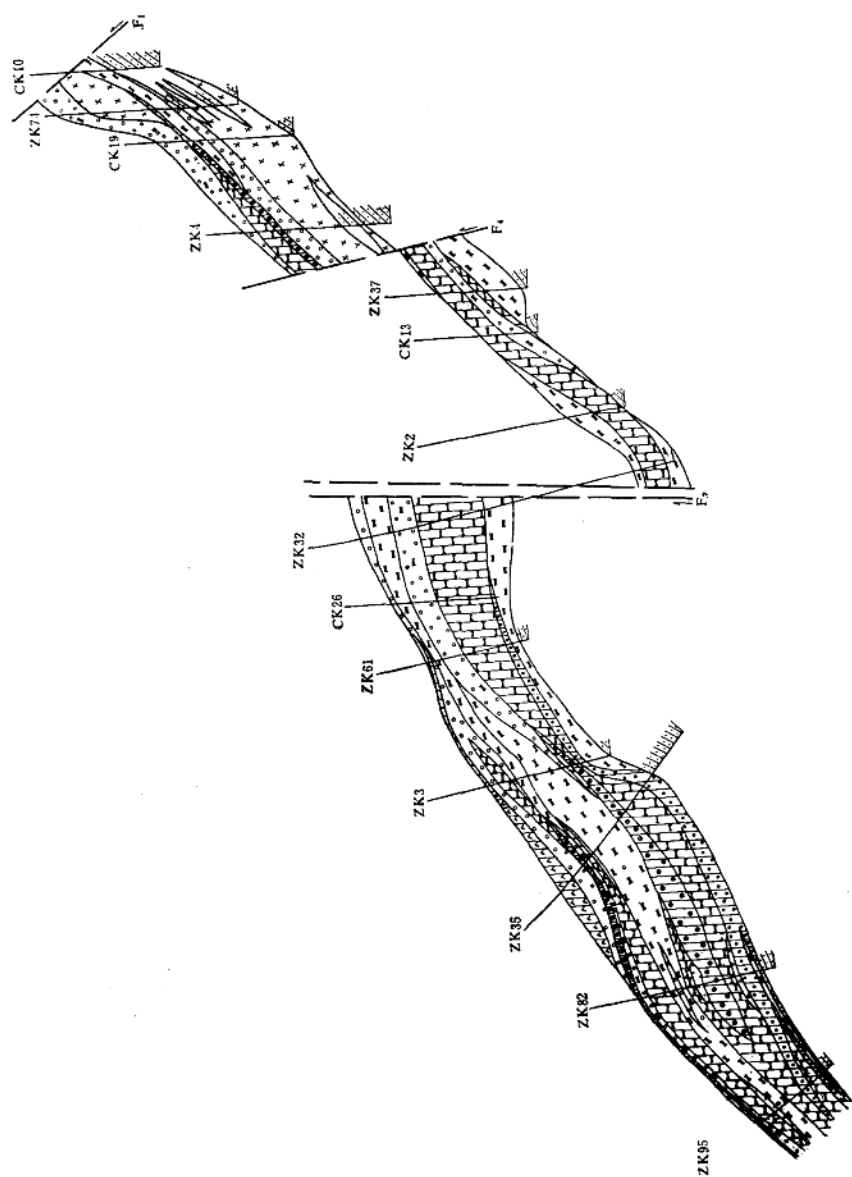


图 3 75线矿石类型分带图
(图例同图 2)

表 2

各种矿石类型的矿物成分(重量%)

样品编号	矿石类型	矿物成分													
		磁铁矿	赤铁矿	单斜辉石	粒硅镁石	石榴石	透闪石	金云母	黑角闪石	绢云母	绿帘石	石英	萤石	方解石	蛇纹石
M35—342	粒硅镁石—磁铁矿	22.4	15.1	0.8	38.8			6.8				15.6		0.5	
M58—539	透辉石—磁铁矿	47.5		44.9				1.1					0.3	6.2	
M657—2	钙铁辉石—磁铁矿	10.5		79.6		2.7			0.8			4.7	0.5	1.2	
M37—542	透辉石—磁铁矿	38.1		42.2				11.2		1.5			2.9	4.1	
M32—37	石榴石—磁铁矿	34.0		14.6		44.0						2.8	0.7	3.0	
M105—181	透闪石—磁铁矿	37.3					36.0	10.8				9.6	5.1	1.2	
M1051	透闪石—磁铁矿	50.5					32.3	10.3					4.1	2.8	
M616—678	透闪石—磁铁矿	59.8					27.9	10.6				1.7			
M77—408	金云母—磁铁矿	50.3		2.5	5.3			8.3				1.2	4.1	1.1	27.2
M54—326	角闪石—磁铁矿	45.6		5.4				2.3	29.9			14.9	1.2	0.7	
M616—666	石英—磁铁矿	74.1							0.3			20.8	2.6	2.2	
M105—189	石英—磁铁矿	71.0							0.1			28.0	0.2	0.8	
M101—207	磁铁石英岩	9.5								30.9			51.5	0.3	0.8

表 3

各种矿石类型的化学成分

样品编号	矿 石 类 型	化 学 成 分 (重量%)															总 —O=F、Cl后	TF.	
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	F ₂ O ₃	F ₂ O	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	F	Cl	CO ₂	其它			累积
M35—342	粒硅镁石—磁铁矿	14.92	0.08	1.48	55.82	9.05	1.56	14.50	0.29	0.02	0.57	2.57	1.116	0.032	0.13	0.036	102.14	101.69	46.13
M58—539	透辉石—磁铁矿	16.28	0.03	0.62	44.93	14.33	6.30	6.71	8.19	0.08	0.08	0.68	0.05	0.02	1.60	0.18	100.10	100.07	42.64
M657—2	钙铁辉石—磁铁矿	42.04	0.02	0.57	13.37	19.00	2.64	1.74	19.80	0.40	0.08	0.61	0.10	0.02	0.40	0.13	100.92	100.87	24.18
M32—37	石榴石—磁铁矿	21.08	0.02	0.57	43.90	14.55	1.16	1.00	16.46	0.10	0.08	0.15	0.10	0.01	0.79	0.18	100.15	100.11	42.08
M37—542	透辉石—磁铁矿	20.26	0.17	2.47	39.28	16.92	1.32	7.66	9.78	0.08	0.86	0.60	0.47	0.02	1.17	0.34	101.40	101.19	40.69
M105—181	透闪石—磁铁矿	25.46	0.03	0.60	36.99	19.87	0.68	10.24	4.01	0.20	0.45	0.50	1.57	0.06	0.37	0.28	101.31	100.64	41.39
M1051	透闪石—磁铁矿	27.13	0.07	1.60	40.16	19.85	0.59	5.02	3.37	0.15	0.60	0.47	0.512	0.045	0.62	0.036	100.22	99.99	48.59
M616—678	透闪石—磁铁矿	16.75	0.11	1.10	48.86	23.70	0.65	6.72	1.34	0.05	0.55	0.43	0.952	0.052	痕	0.080	101.34	100.93	52.69
M77—408	金云母—磁铁矿	10.58	0.04	1.93	50.66	19.32	3.00	9.12	1.84	0.08	0.60	1.61	1.00	0.02	0.30	0.22	100.32	99.89	50.53
M54—326	角闪石—磁铁矿	25.10	0.01	0.59	42.01	22.65	1.10	2.84	5.19	0.13	0.16	0.54	0.22	0.07	0.20	0.10	100.91	100.80	47.07
M616—666	石英—磁铁矿	10.17	0.04	0.75	58.82	27.50	0.44	0.46	1.09	0.07	0.18	0.36	0.35	0.069	0.47	0.046	100.81	100.64	62.62
M105—189	石英—磁铁矿	16.70	0.02	0.33	56.47	25.04	0.40	0.30	0.24	0.08	0.08	0.12	0.02	0.02	0.23	0.04	100.09	100.07	59.06
M101—207	磁铁矿石英岩	61.18	0.90	14.80	11.25	4.92	0.14	1.21	0.43	0.13	3.60	1.84	0.11	0.03	0.27	0.20	101.01	100.95	11.71

表 4

磁铁矿的化学成分

样品编号	磁铁矿产出矿 (岩) 石类型	化 学 成 分 (重量%)													S	总 和
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	V ₂ O ₅	P ₂ O ₅	ZnO	SnO ₂	H ₂ O*		
M46—530	石榴石—磁铁矿	1.15	0.07	0.15	67.19	29.81	0.63	0.16	0.48	<0.01	0.13	0.02	0.08	0.00	0.04	99.92
M105—135	透辉石—磁铁矿	0.75	0.07	0.09	67.70	29.08	0.73	0.47	0.28	0.05	0.10	0.07	0.04	0.00	未分析	99.385
M32—37	石榴石—磁铁矿	0.65	0.04	0.04	69.46	29.50	0.48	0.05	0.24	<0.01	0.01	0.008	0.05	0.00	0.04	100.52
M32—52	透辉石—磁铁矿	0.95	0.04	0.10	69.48	29.45	0.32	0.07	0.13	<0.01	<0.01	0.02	0.005	0.00	0.03	100.61
M37—542	透辉石—磁铁矿	1.75	0.17	1.29	66.29	27.73	0.95	0.74	0.36	0.01	0.09	0.20	0.05	0.00	0.07	99.71
M105—151	透辉石—磁铁矿	2.05	0.01	0.10	67.55	28.52	0.29	0.50	0.94	0.00	0.10	0.003	0.03	0.00	未分析	100.093
M77—408	金云母—磁铁矿	1.45	0.08	1.11	65.84	26.44	3.50	0.96	0.05	0.01	0.04	0.21	0.06	0.00	0.03	99.78
M105—189	石英—磁铁矿	3.55	0.01	0.17	66.11	29.35	0.26	0.12	0.08	0.00	0.10	0.04	0.05	0.00	未分析	99.84
28—12723	蔷薇花岗岩	1.00	1.20	0.29	63.88	32.40	0.23	0.07	0.06	0.17	0.09	0.02	0.03	0.00	未分析	99.44
28—3524	大洋花岗岩	1.15	0.56	0.72	69.72	28.07	0.29	0.02	0.02	0.05	0.16	0.04	0.03	0.00	未分析	100.93
Md—3	石榴石—磁铁矿*	0.15	0.16	0.47	92.86	6.39	0.52	0.06	<0.01	0.005	0.09	0.18	0.06	0.00	未分析	100.955
23—3	石英—磁铁矿	3.15	0.005	0.04	87.40	9.41	0.16	0.05	0.08	0.00	0.09	0.03	0.06	0.00	未分析	100.475
		换 算 成 相 应 的 矿 物 百 分 比													备 注	
		FeO·Fe ₂ O ₃	FeO·TiO ₂	MgO·Fe ₂ O ₃	MnO·Fe ₂ O ₃	MgO·Fe ₂ O ₃	ZnO·Fe ₂ O ₃	MgO·Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃							
M46—530	石榴石—磁铁矿	97.71	0.21	0.52	1.21	0.02	0.02	0.33	—					上部小矿体		
M105—135	透辉石—磁铁矿	94.86	0.21	2.23	2.28	0.21	0.21	0.21	—							
M32—37	石榴石—磁铁矿	95.94	0.12	0.19	1.59	0.02	0.02	0.09	2.05							
M32—52	透辉石—磁铁矿	96.01	0.12	0.16	1.06	0.05	0.05	0.23	2.37					主矿体		
M37—542	透辉石—磁铁矿	90.30	0.49	1.34	3.15	0.59	0.59	2.99	1.14							
M105—151	透辉石—磁铁矿	94.76	0.02	2.72	0.98	—	—	0.24	1.28							
M77—408	金云母—磁铁矿	86.52	0.23	2.15	8.11	0.42	0.42	2.57	—					花岗岩		
M105—189	石英—磁铁矿	98.24	0.03	0.31	0.89	0.12	0.12	0.41	—							
28—12723	蔷薇花岗岩	95.39	3.44	—	0.73	0.05	0.05	0.39	—							
28—3524	大洋花岗岩	91.42	1.67	—	0.98	0.12	0.12	0.12	5.69					上部小矿体 中甲地表		
Md—3	石榴石—磁铁矿*	25.49	0.59	—	2.14	0.64	0.64	0.44	70.70							
23—3	石英—磁铁矿	38.35	0.03	0.23	0.67	0.12	0.12	0.12	60.48							

* 假象赤铁矿

磁铁矿的化学成分见表4。

1. 在化学成分上, 矿体内产出的磁铁矿与花岗岩的副矿物磁铁矿有较大差别。前者含镁铁矿、锰铁矿分子数较高, 含钛铁矿分子数较低, 而花岗岩中的磁铁矿与之恰好相反。

2. 受矽卡岩化作用影响最弱的石英-磁铁矿矿石中的磁铁矿, 与中甲地表采自林地组石英砂岩内的具弱磁性的赤铁矿一样, 是本区含杂质元素种类最少且含量最低的磁铁矿。

3. 近地表的磁铁矿, 可转变为假象赤铁矿, 如Md-3中赤铁矿分子数已高达70.7%。

4. 具肾状结构的赤铁矿石, 可转变为具弱磁性的赤铁矿, 如Z₃-3中磁铁矿分子数已达38.35%。

三、矿床成因

(一) 马坑铁矿的成矿时间

1. 矿体的产出受层位严格控制。据已有资料, 我们认为马坑矿区地层从下石炭世林地组(C₁l)到下二叠世文笔山组(P₁w)地层为连续沉积。主矿体呈层状体整合地产于林地组的石英岩及变凝灰岩顶部, 中石炭世黄龙组(C₂h)大理岩下部。小矿体则产于C₂h—P₁q的大理岩内, 与其内的辉绿岩密切共生。

2. 辉绿岩的形成时代: 辉绿岩类除一部份为穿切地层和矿体的成矿后脉岩外, 大部份可能为与附近地层形成时间大致相同的具火山性质的古相火山岩。与其有关的是发生强烈矽卡岩化作用, 并伴有小铁矿体。

3. 花岗岩的形成时代: 马坑矿区东部的营舟花岗岩体的同位素年龄为1.64亿年(桂林所测定)。矿区西部的大洋花岗岩体的同位素年龄为1.56亿年(本所), 两者时代大致相同。即花岗岩形成于中侏罗世末到晚侏罗世早期。

4. 矽卡岩化作用发生的时间: 我们从主矿体内选了一个金云母样品, 用K-Ar法测得同位素年龄为 1.28 ± 0.03 亿年(北京三所)。由于主矿体内的矽卡岩矿物——石榴石类和辉石类大多晚于铁矿体——即晚于石英-磁铁矿的形成。而金云母的形成, 从薄片内明显可见是晚于透辉石、粒硅镁石形成的。所以金云母的同位素年龄测定值是远远晚于铁矿的形成时代。

5. 石英-磁铁矿的形成时间: 我们从主矿体内选取了一些石英-磁铁矿样品, 由我所同位素室张宗清、夏明仙等同志用Rb-Sr法测定其同位素年龄, 其测定值列于表5内。

石英-磁铁矿的同位素年龄值为3.34—3.46亿年, 即形成于下石炭纪末期。也就是说, 作为主矿体主体的石英-磁铁矿是形成于地层的沉积作用阶段。

(二) 石英-磁铁矿的成因

我们这里所说的石英-磁铁矿, 是指由细粒磁铁矿和石英组成的致密块状矿石。不是指矿石内有较多平行石英脉的矿石。

1. 石英-磁铁矿在地层剖面上产于中石炭世(C₂h)大理岩之下, 下石炭世(C₁l)石英岩、变凝灰岩层顶部。而且紧邻主矿体的石英岩内还可见厚1—5米的石英-磁铁矿产出。

2. 主矿体的石英-磁铁矿向下磁铁矿含量逐渐减少、石英量增多而过渡为石英岩。见

石英-磁铁矿的同位素年龄测定值

表 5

矿 石 名 称	样 品 编 号	Rb ⁸⁷ (p.p.m)	Sr ⁸⁶ (p.p.m)	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	同位素年龄值 × 10 ⁹ 年
石英-磁铁矿	M35—343	1.55	0.45	3.42	0.7208	346
	M616—723.5	2.07	0.44	4.66	0.7304	
	M105—158	1.29	3.21	0.40	0.7102	
	M106—189	1.04	0.60	1.71	0.7116	
含氯角闪石化 石英-磁铁矿	M70—275	10.10	0.54	18.49	0.8417	334
	M95—350	22.67	11.51	1.95	0.7650	

测定者：张宗清、夏明仙等

图版 I—1。

3. 主矿体内有石英岩及磁铁石英岩薄层，主矿体底板石英岩层内有磁铁石英岩（磁铁矿均匀分布于石英粒间）。磁铁石英岩的TFe含量可达14%。

4. 在矿区西南部的铁山，及矿区东北部的中甲，均可见石英-磁赤铁矿整合地产于下石炭统（C₁D）顶部石英岩内。

5. 矿石内有沉积特征的结构构造残存：马坑主矿体未迭加砂卡岩矿物的石英-磁铁矿矿石虽变质较深，但还是到处可见微层理。见图版—2。

铁山磁赤铁矿呈鳞片状集合体平行层面定向排列。

中甲磁赤铁矿呈肾状结构，显微镜下沉积层理十分清楚。见图版—1。

潘田矿体内有典型沉积变质的条带状石英-磁铁矿矿石。

6. 铁矿主矿体与砂卡岩空间分布的不一致性。品位较高、规模大的主矿体很少砂卡岩或无砂卡岩。相反，砂卡岩大量发育地段无矿体或仅有小矿体。

7. 作为主矿体主体的石英-磁铁矿矿石在矿物成分上最简单，主要由磁铁矿和石英组成。结构上粒度极细小，且有微层理。空间上分布十分稳定。但在该矿层的顶底都常常迭加后期形成的石榴石、辉石、透闪石、含氯角闪石等矿物而形成相应的砂卡岩-磁铁矿矿石。而且经常可见到石英-磁铁矿交代残体存在于砂卡岩内或存在于上述各种砂卡岩-磁铁矿内。见图版—6。有的地段伴随有含氯角闪石化及较强的黑云母化和钾长石化。通过这些后期作用的迭加，显然使石英-磁铁矿的铁发生贫化。

石英-磁铁矿的人工重砂（样品取自钻孔ZK615、616、617，组合样重量为17.05公斤）中，除磁铁矿外，仅见少量黄铁矿、辉钼矿、闪锌矿、石榴石、含氯角闪石，特别是没有见到磨圆的锆英石。因此说明石英-磁铁矿并不是磁铁矿交代石英岩而成，因为矿体附近的林地组（C₁D）石英岩内含滚圆锆英石较多，如果石英-磁铁矿的石英是交代残体的话，比石英更稳定的磨圆锆英石无疑应大量残存。相反，石英-磁铁矿矿石内常见碧玉，碧玉就是含云雾状磁铁矿的石英，石英单矿物TFe含量达3—10%。微量元素含Mn、Ti、Mg较高，达0.1%。由于石英-磁铁矿成分单一，未见陆源碎屑，所以可能为化学分异较完全的胶体沉积。

8. 在闽西南广大地区内，就在马坑铁矿产出的层位，已多处发现沉积成因的铁矿层。

例如福建地质一队在西部草坪, 在林地组 (C_1d) 顶部、黄龙-船山组 ($C_2h + C_3c$) 底部^①找到总厚30多米的赤铁矿层。

在北部大田一带的川石、南坑、银顶格一带可见数米厚的石英-磁铁矿或石英-磁赤铁矿产于林地组 (C_1d) 顶部绢云母-石英片岩内。

在东北部的阳山矿区也发现有数米厚的石英-磁铁矿整合地产于林地组 (C_1d) 顶部绢云母-石英片岩内。

9. 区内产出的石英-磁铁矿、石英-磁赤铁矿、石英-赤铁矿的化学成分特征非常一致:

石英-磁铁矿、石英-磁赤铁矿、石英-赤铁矿的化学成分

表 6

矿区	样品编号	矿 石 类 型	化 学 成 份 (重量%)									
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
马坑	M616-666	石英-磁铁矿	10.17	0.04	0.75	58.82	27.50	0.44	0.46	1.09	0.07	0.18
	M105-189	石英-磁铁矿	16.70	0.02	0.33	56.47	25.04	0.40	0.30	0.24	0.08	0.08
中甲	Z3-1	石英-磁赤铁矿	3.34	0.03	0.36	86.16	7.16	0.22	0.69	0.20	0.05	0.09
	Z3-2	石英-磁赤铁矿	6.46	0.07	0.88	80.83	8.61	0.20	0.31	0.35	0.13	0.09
	Z-4	石英-磁赤铁矿	1.50	0.15	1.09	83.22	7.92	0.07	1.43	0.43	0.22	0.08
阳山	SD-10	石英-磁赤铁矿	2.74	0.07	0.16	80.09	9.13	0.30	2.87	0.26	0.10	0.04
	SD-19	石英-磁铁矿	0.58	0.13	0.82	72.86	19.95	0.17	2.12	0.29	0.10	0.00
南坑	n-1	石英-磁赤铁矿	7.88	0.07	3.70	79.30	3.63	0.17	1.22	0.51	0.14	0.04
川石	Tc-1	石英-磁铁矿	9.95	0.07	7.06	67.80	17.26	0.24	1.66	0.44	0.10	0.04
田心	Te-1	石英-磁赤铁矿	2.55	0.07	0.54	86.01	2.68	0.11	1.65	0.34	0.10	0.04
草坪	P9-241	石英-赤铁矿	8.34	0.10	3.15	80.11	2.91	0.04	0.98	0.25	0.10	0.00

			化 学 成 分 (重量%)									
			H ₂ O ⁺	F	Cl	CO ₂	P ₂ O ₅	CuO	其它	累计	总 和 O = F, Cl	TF ₀
马坑	M616-666	石英-磁铁矿	0.36	0.35	0.069	0.47	未分析	未分析	0.046	100.81	100.84	62.62
	M105-189	石英-磁铁矿	0.12	0.02	0.02	0.23	未分析	未分析	0.04	100.09	100.07	59.06
中甲	Z3-1	石英-磁赤铁矿	1.00	未分析	未分析	0.14	0.08	未分析	0.22	99.74	99.74	65.88
	Z3-2	石英-磁赤铁矿	1.14	未分析	未分析	0.14	0.09	未分析	0.18	99.48	99.48	63.28
	Z-4	石英-磁赤铁矿	2.50	0.03	0.03	未分析	0.13	1.28		100.08	100.08	64.41
阳山	SD-10	石英-磁赤铁矿	1.90	0.03	0.02	未分析	0.13	2.39		100.23	100.21	63.16
	SD-19	石英-磁铁矿	0.70	0.03	0.02	未分析	0.15	1.48		99.40	99.38	66.52
南坑	n-1	石英-磁赤铁矿	2.60	0.10	0.02	未分析	0.13	0.79		100.22	100.17	58.33
川石	Tc-1	石英-磁铁矿	3.60	0.00	0.02	未分析	0.15	0.28		99.67	99.66	61.19
田心	Te-1	石英-磁赤铁矿	4.70	0.00	0.02	未分析	0.13	0.91		99.85	99.84	62.29
草坪	P9-241	石英-赤铁矿	2.85	0.00	0.02	未分析	0.46	0.31		99.61	99.60	58.34

① 层位时代: 由高联达、朱秀芳同志用孢子花粉分析及蕨类化石确定。

见表6。

(1) 含Fe量高。TFe含量58—66%。构成本区的富矿。

(2) 含Mg、Ca、Mn、K、Na、F、Cl等元素均较低。说明这些矿石受矽卡岩化作用影响较弱。

(3) 在这些明显表现为沉积成因的矿石中, 普遍含铜较高, (CuO 0.28—2.39%)。这说明铁质来源可能与火山作用有关。因此必须在这类矿床中(特别是在矿床下部)注意铜的综合利用。

(三) 矽卡岩化作用的时间

据野外观察和室内光、薄片鉴定, 本区矽卡岩在形成时间上可分为成矿矽卡岩和成矿后矽卡岩两大类:

1. 成矿的矽卡岩: 空间上与辉绿岩密切相关。内外矽卡岩带往往同时发育, 矽卡岩种类较多, 矿物带状性分布明显。并伴有小矿体产出。这类矽卡岩的特征是矿物成分在垂直剖面上是渐变的。例如: 从内带的钙铝榴石向外带钙铁榴石分子数逐渐增加而形成端元组分的钙铁榴石, 而辉石族矿物也是由透辉石→次透辉石→铁次透辉石→钙铁辉石方向逐渐演变。

2. 成矿后的矽卡岩: 分布较广, 多分布于近花岗岩体的东南部和西部。矽卡岩成分简单, 不具有明显的分带性, 往往是以榴石矽卡岩为主。同时伴有少量辉石、符山石、绿帘石等。不具有明显的矿化, 但常能见到各种矿石的残留体。这类矽卡岩的矿物成份特征是:

(1) 石榴石全是钙铁榴石。钙铁榴石分子数大于70%, 多数为90—99%。辉石类为铁次透辉石—钙铁辉石。钙铁辉石分子数大于60%。即榴石和辉石都是富铁端元组分的矿物, 而且矿物组分在地质剖面上没有定向的渐变关系。

(2) 符山石含镁量较低 (MgO 为0.86—1.88%), 含挥发份F较高 (为1.16—2.30%)。国外一些学者对符山石的成分与其成因的关系进行了研究, 沙贝宁^[1]对矽卡岩矿床的178个符山石进行研究, 其 MgO 的平均含量为3.36%。并得出结论: “含 MgO 量低于2%的符山石是采自似矽卡岩或由角岩变成的矽卡岩。即属于原先就含有一定量 MgO 和 Al_2O_3 的岩石”。马坑所产符山石正是在含F浓度大的岩浆期后溶液渗流到富Mg、Al的岩石(如辉绿岩)时形成的。

(3) 含氟角闪石含铁量高, 马坑主矿体底部所产出的角闪石的特征是含氟富铁 (含C为11.12%, 含 Fe_2O_3 为11.95%、 FeO 为18.45%), 与萤石共生。这种含氟角闪石是成矿后的沿构造裂隙生成的热液交代矿物, 是与辉绿岩有关的富挥发份F、Cl的热液渗流到富铁部位形成。见图版—5。

成矿后矽卡岩的矿物成份特征正好可以与莒舟花岗岩体和大洋花岗岩体外接触带形成的许多矽卡岩相对比, 也可与龙岩盆地水文孔内花岗岩之上的一套矽卡岩相对比。因此, 马坑矿床成矿后的一套矽卡岩在成因上可能是与区内燕山早期黑云母钾长石花岗岩有关。

这类矽卡岩化在区内发育十分广泛, 与黑云母钾长石花岗岩接触而发生矽卡岩化的层位有:

前震旦系(或下古生界)的罗峰溪群;

下石炭统林地组 (C_1d)—中石炭统黄龙组 (C_2h);

上石炭统船山组 (C_3c);

下二叠统栖霞组 (P_{1q}) 及文笔山组 (P_{1w});

下三叠统溪口组 (T_{1x});

上三叠统文宾山组 (T_{3w})。

但能构成铁矿床的只有下石炭统林地组到中石炭统黄龙组 ($C_{1l}-C_{2h}$) 这一层位, 其它层位只有砂卡岩化及弱的铁矿化。这也说明本区铁矿的铁主要是产自地层, 砂卡岩是属于“似砂卡岩”。

(四) 指示矿床成因的微量元素特征

1. 马坑矿区各类岩石和矿石中微量元素的含量列于表 7 内。

马坑矿区岩石、矿石微量元素含量

表 7

岩石、矿石名称	样数	微 量 元 素 含 量 p.p.m												
		Ti	Ni	Cr	V	Co	Mo	Sn	Cu	Pb	Zn	Y	Nb	Ba
大理岩	10	234	8	25	—	—	5	12	25	13	60	—	—	—
石榴石砂卡岩	23	4652	42	96	22	22	1795	808	107	31	170	—	—	—
透辉—砂卡岩	21	3902	35	109	36	20	162	160	70	42	342	—	—	—
石榴石—磁铁矿	10	144	15	69	7	6	10	560	62	15	275	—	—	—
粒硅镁石—磁铁矿	6	140	11	40	10	13	15	254	20	5	1020	—	—	—
辉石—磁铁矿	17	130	24	40	8	13	16	387	42	18	383	—	—	—
石英—磁铁矿	15	98	17	17	11	—	82	57	54	—	423	—	—	—
透闪石—磁铁矿	7	82	16	27	10	4	160	184	47	—	321	—	—	—
角闪石—磁铁矿	5	215	26	64	18	—	20	170	32	6	280	—	—	—
角闪石交代岩	5	475	52	146	62	24	30	62	36	12	140	—	—	—
磁铁石英岩	3	2017	47	143	53	20	5	17	77	—	70	—	—	—
变凝灰岩	14	5518	30	112	104	13	157	14	74	25	71	—	—	—
石英岩	7	2327	51	94	86	11	11	14	97	14	57	—	—	—
辉绿岩	39	10626	30	110	212	28	57	38	70	11	100	20	—	—
退色辉绿岩	15	13067	21	89	174	21	219	23	66	15	5	6	—	—
花岗岩	36	750	—	23	9	—	3	10	45	27	60	84	51	336

区内辉绿岩的典型微量元素组合是 Ti、Ni、Cr、V、Co、Mo、Cu 等。花岗岩构成 Ti、Y、Nb、Ba、Cu、Pb、Zn 组合, 特别是 Ti、Y、Nb、Sn、Mo、W 等元素含量较高, 这是典型的稀有金属花岗岩——褐钨铀矿花岗岩的微量元素组合。

与辉绿岩成因有关的小矿体的砂卡岩-磁铁矿矿石, 含 Ti、Cr、V、Co 较高, 反映出两者成因上的紧密联系。

作为主矿体的石英-磁铁矿矿石内含这些元素较低, 在迭加砂卡岩化后, 含 Ti、Cr、V、Co 量略增高, 但迭加的有色金属 Mo、Sn、Pb、Zn 也较高。

从微量元素特征看, 铁矿体显然与花岗岩无多大成因联系, 但有花岗岩派生的热液迭加。

2. 马坑磁铁矿的微量元素含量特征: 见表 8。

从磁铁矿的微量元素含量看, 矿体内磁铁矿与花岗岩体内磁铁矿有很大差别, 如果就微量元素含量特征看, 显然矿体的铁不是来自花岗岩。

马坑磁铁矿微量元素含量 (重量%)

表 8

	马坑铁矿床 石英-磁铁矿	马坑铁矿床 矽卡岩-磁铁矿	中甲铁矿床 石英-磁赤铁矿	莒舟、大洋花岗岩体
样品数量	1	9	1	2
TiO ₂	0.01	0.061	0.005	0.88
V ₂ O ₅	0.00	0.0072	0.00	0.11
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—
SnO ₂	0.05	0.048	0.06	0.03
Co*	—	0.0016	—	—
Ni*	0.0010	0.0065	—	0.0013

* 为光谱半定量分析

3. 马坑磁铁矿的钪 (Sc) 含量特征:

由于Sc³⁺与Fe²⁺、Mg²⁺、Ti⁴⁺、Nb⁵⁺的晶体化学性质相近,所以在内生作用过程中常与Fe²⁺、Mg²⁺、Ti⁴⁺、Nb⁵⁺离子一道沉淀而富集到某些矿床内。在外生作用过程中,Sc³⁺能在浓度极低的溶液中被正在沉积的Fe(OH)₃胶体质点捕捉一块沉淀。Sc³⁺在其内含量虽然低,但能较均匀分布。因此Sc³⁺在铁矿床矿石矿物中的含量特征,可作为铁矿床成因的指示。

马坑磁铁矿的钪 (Sc) 含量

表 9

磁铁矿产出位置	矿石类型	样品数	Sc平均含量(ppm)
马坑小矿体	矽卡岩-磁铁矿	7	35
马坑主矿体	矽卡岩-磁铁矿	9	34
潘田地表采场	矽卡岩-磁铁矿	1	31
马坑主矿体	石英-磁铁矿	5	11
马坑主矿体底板岩石	磁铁石英岩	1	20
中甲地表采场	石英-磁赤铁矿	1	22
潘田地表采场	石英-磁铁矿	1	23
广东海南石碌铁矿	石英-赤铁矿	1	23
莒舟、大洋花岗岩体	脉矿物磁铁矿	7	95

分析者: 地矿所稀有组张海石

(1) 马坑小矿体与主矿体的矽卡岩-磁铁矿的Sc含量相同,潘田矽卡岩-磁铁矿也近似,说明具有同一成矿过程。

(2) 马坑主矿体的石英-磁铁矿,与其上的矽卡岩-磁铁矿的Sc含量有差别,显示出成矿过程不相同。

(3) 马坑的石英-磁铁矿、中甲的石英-磁赤铁矿、潘田的石英-磁铁矿、海南石碌的石英-赤铁矿、马坑主矿体底板的磁铁石英岩。这些磁铁矿、磁赤铁矿、赤铁矿的Sc含量都处于较低的范围(11—23ppm)。说明其形成过程和形成方式相同。鲍里先科等^[3]人专门研究了Sc在不同成因铁矿床磁铁矿内的平均含量,例如岩浆型铁矿床钛磁铁矿的Sc含量多在32—96ppm范围内;接触交代型和热液型铁矿床磁铁矿的Sc含量在0—2.7ppm范围内;沉积型铁矿床的赤铁矿或含水针铁矿的Sc含量在8—29ppm范围内。

本区磁铁矿、磁赤铁矿、赤铁矿的 Sc 含量与国外资料对比, 是属于沉积成因。

1. 微量元素是恢复矽卡岩原岩的重要依据: 矽卡岩的微量元素含量见表 10。由于 Ti、Ni、Cr、V 等元素是辉绿岩的特征元素, 在矽卡岩化过程中这些元素是惰性的, 很少发生迁移, 而仍留在原地。所以利用这些元素的含量可较准确的区分内外矽卡岩带的分界线。

矽卡岩的微量元素含量

表 10

矽卡岩名称	原岩名称	样品数量	微 量 元 素 含 量①									
			Ti	Ni	Cr	V	Co	Mo	Sn	Cu	Pb	Zn
石榴石矽卡岩	辉绿岩	16	5800	53	112	27	21	2570	790	130	35	113
	大理岩	7	160	17	60	11	24	27	850	57	12	230
辉石矽卡岩	辉绿岩	8	10000	25	166	76	20	185	141	19	27	200
	大理岩	13	176	18	75	11	20	150	170	101	51	380

① 为光谱半定量分析结果

(五) 碱金属 (K、Na) 及挥发份 (F、Cl) 对成矿的控制作用

众所周知, 在接触交代铁矿床中, 铁是呈卤化物或成碱金属的氟(氯)铁络合物在气液中搬运的。在运移过程中遇到钙这样的沉淀剂而使上述卤化物或络合物破坏, 铁发生沉淀而成矿。因此, 接触交代铁矿床内碱金属含量较高, 与挥发份矿物紧密共生。

1. 为了探讨马坑铁矿的铁与碱金属、挥发份的相关关系, 我们选了三个钻孔(Zk82、Zk61、Zk105) 从上到下系统采样, 同时用化学分析作了 TFe、K₂O、Na₂O、F、Cl 的测定, 图 4 是 ZK105 孔各岩类 TFe 与 K₂O、Na₂O、F、Cl 的含量变化。在钻孔上部, 随着辉绿岩和大理岩发生矽卡岩化, TFe 及挥发份含量逐渐增高, 碱金属 (K、Na) 则有所降低。在钻孔下部, 即相当于主矿体产出部位, 随着碱金属 (K、Na) 及挥发份 (F、Cl) 的增加, TFe 含量显著降低。即就是说, 随着含氯角闪石化、钾长石化、黑云母化、萤石化等作用的发生矿体发生贫化。

2. 马坑各类岩石、矿石的碱金属和挥发份含量

从表 11 和图 5 中, 可以明显看出:

(1) 本区最富的矿石——石英磁铁矿, 其 F、Cl、K₂O、Na₂O 含量值是最低的, 其次较富的透闪石-磁铁矿、辉石-磁铁矿、角闪岩-磁铁矿、粒硅镁石-磁铁矿, 其 F、Cl、K₂O、Na₂O 含量总比前者偏高。

(2) 除磁铁石英岩因含绢云母引起 K₂O 高外, 其 F、Cl、Na₂O 是 较低的, 与石英-磁铁矿很近似。

(3) 含 F 最高的岩石是石榴石矽卡岩, 含 F 最高的矿石是粒硅镁石-磁铁矿, 两者在本区都是接触交代成因。

(4) 含 Cl 最高的岩石是含氯角闪石交代岩, 含 Cl 最高的矿石是含氯角闪石-磁铁矿, 两者在本区都是成矿后的含氯角闪石化形成。

(5) 含 K₂O、Na₂O 较高的岩石除花岗岩、辉绿岩类, 石英岩类及变凝灰岩类等围岩外, 接触交代成因的辉石矽卡岩含量较高。此外, 成矿后的含氯角闪石化较强部位含量也较