中条山落家河铜矿稀土元素地球化学特征及其地质意义

真允庆　席增仁

（冶金部第二地质勘查局）

本文对落家河铜矿的主要岩石和矿石的稀土元素地球化学特征进行了研究，试图提供找矿和成因的地质信息。

关键词：中条山落家河铜矿；稀土元素地球化学特征；矿床成因

矿床地质概况

落家河铜矿位于中条拗拉谷[1]之东侧，矿区附近有下震旦系安山岩，由于区域性北西一南东向大断裂通过本区，经剥蚀作用形成构造一剥蚀天窗（图1）。在安山岩之下，出露有下元古界绛县群宋家山组变质岩系。自下至上依次有混合花岗岩（γ_2）、石墨绢云绿泥片岩（sc）、细碧岩（$\beta\mu$）、变质砾岩（sg）、薄层大理岩（sm）及绿泥片岩。铜矿床赋存于石墨绢云绿泥片岩和绿泥片岩之中，严格受层位控制。矿体呈层状、似层状及透镜状产出。矿层中常见长英质混合岩脉穿插，在空间上，与富铜矿的形成有着成因联系。

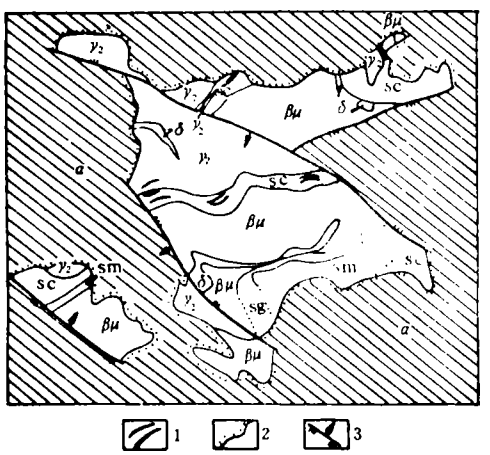

图 1　中条山落家河铜矿地质略图

（据山西冶金3队）

α—下震旦系安山岩；δ—闪长岩；sm—大理岩；sg—变质砾岩；$\beta\mu$—细碧岩；sc—绿泥片岩(含石墨)；γ_2—混合花岗岩；1—铜矿体；2—不整合面；3—断层

本区含矿带实际为细碧质凝灰岩及夹有陆源沉积变质岩组成。前者为绿泥片岩，常见有钠长石晶屑，主要成分有绿泥石、角闪石和钠长石；后者是以钙质、粉砂质、泥质为主，或多或少含有火山凝灰物质及炭质，分别为薄层砂质大理岩、变长石砂岩、石英绿泥片岩、绢云绿泥片岩和石墨绿泥片岩。

若将绿泥片岩及细碧岩的SiO_2及FeO/MgO值投影于图2上，则可看出，绿泥片岩与细碧岩为细碧角斑岩建造，为钙碱性岩及拉斑玄武岩两者兼而有之。

以SiO_2、Na_2O+K_2O的含量投影于图3上，细碧岩多为亚碱性，而绿泥片岩则为碱性细碧岩变质而成。

混合花岗岩主要由石英、钠长石(An1～3）组成。随混合岩化作用加剧，硅质交代现象俱增，石英粒度显然变大，钠长石普遍被交代蚕蚀，微斜长石也随之发育，镜下变余碎屑结构、蚕蚀结构、穿孔结构、净边结

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

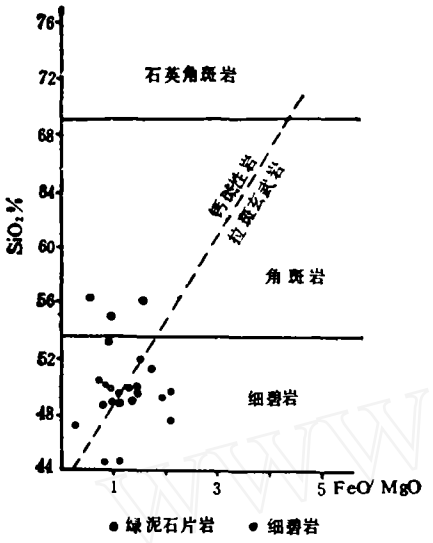

图 2 FeO/MgO对SiO_2的变异图

（岩系界线据Miyashiro，1974）

构、蠕英石结构和交代反条纹长石结构屡见不鲜。

按岩石的化学成分投至奥肯诺尔的Ab—Or—An分类图上，落家河混合花岗岩主体为奥长花岗岩，少量为花岗岩，个别为英云闪长岩（图4）。混合岩与上述绿泥片岩呈渐变过渡关系。将其岩石化学成分投影于图5上，可以看出为陆壳改造型花岗岩（即S型花岗岩）。

矿石成分比较简单，主要金属矿物有黄铜矿、黄铁矿；次要矿物为斑铜矿、磁铁矿、辉铜矿、闪锌矿、斑铜矿；脉石矿物有石英、绿泥石、绢云母、方解石、石英；表生矿物有孔雀石、蓝铜矿、铜蓝、褐铁矿等；在矿层顶部与安山岩接触部位发现❶自然铜、赤铜矿。

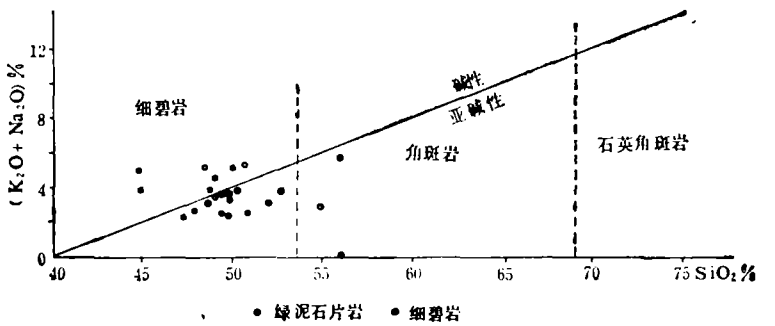

图 3 全碱对SiO_2的变异图

（岩系界线据Miyashiro，1974）

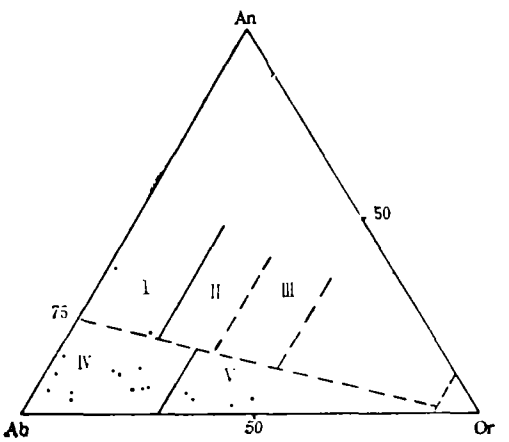

图 4 落家河混合花岗岩Ab-Or-An分类

（据奥肯诺尔，1965）

Ⅰ—英云闪长岩，Ⅱ—花岗闪长岩，Ⅲ—石英二长岩，Ⅳ—奥长花岗岩，Ⅴ—花岗岩

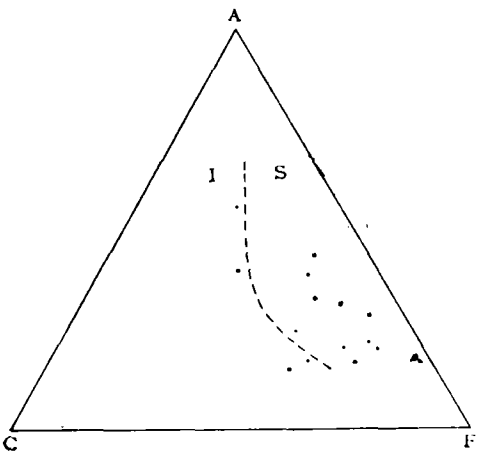

图 5

❶真允庆、姚长富，中条山落家河铜矿床发现自然铜，1988。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

矿石多为富铜矿，围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化。矿化强度与石墨的含量成正比，和蚀变强弱无关，但与混合岩化有着因袭关系。

稀土元素地球化学特征

本区按不同岩石类型和矿石共采集了10个样品，样品的地质特征和空间位置如图6所示。REE分析是由北京铀矿地质研究所用等离子体光谱法测定，REE含量及参数列于表1。

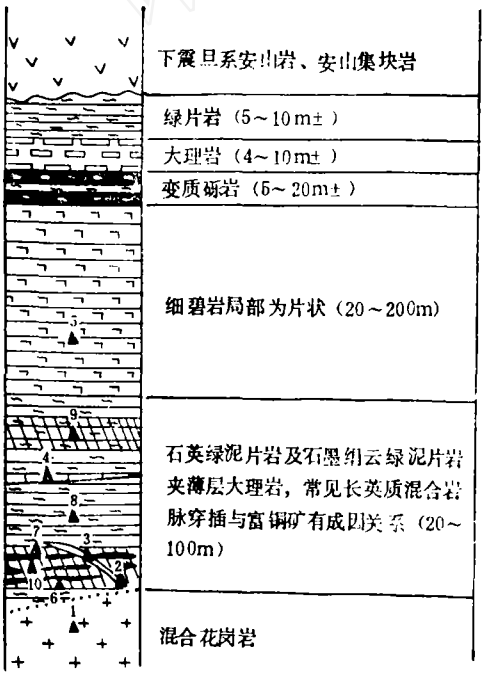

图 6　采样位置地层柱状示意图

1. 混合花岗岩的稀土元素地球化学特征

混合花岗岩的稀土元素含量较高（Σ-REE = 459.77ppm），轻稀土明显富集（LREE=409.0ppm），重稀土强烈亏损（HREE=50.77ppm），轻重稀土比值较高（LREE/HREE=8.055），稀土模式曲线呈向右缓倾斜，并未出现铕的负异常（δEu=−0.062）。从本区混合花岗岩的稀土元素组成特征（图7a）来看，是与泰勒❷研究太古代地壳和现代岛弧火山岩由于成岩物质来源深度较大，所显示的模式相似。

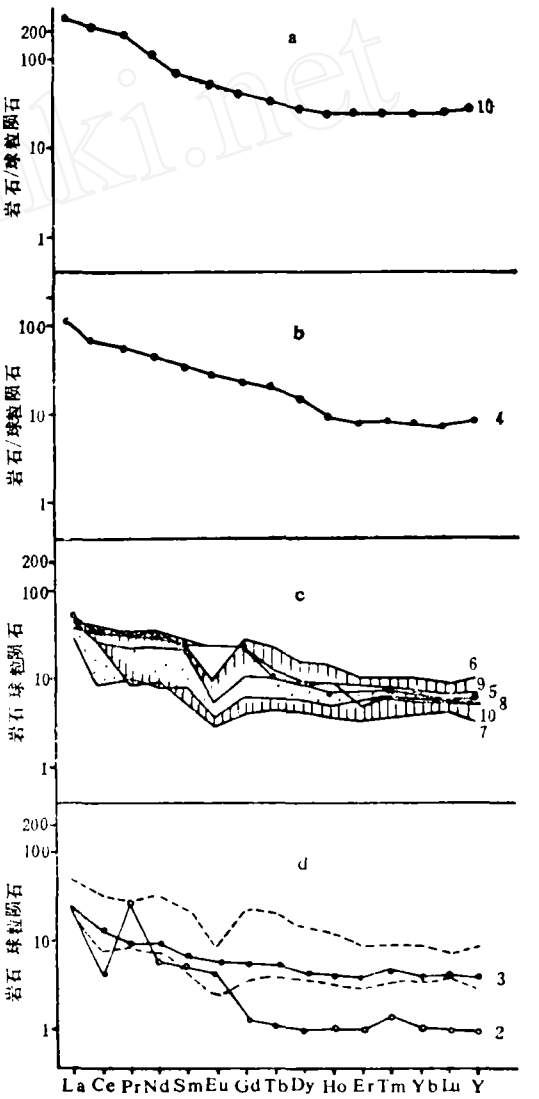

图 7　稀土元素配分模式图

a—混合花岗岩；b—泥砂质大理岩；c—细碧岩及石墨绢云片岩、绢云绿泥片岩（包括铜矿石）；d—长英质混合岩（脉）（断线为图5稀土元素配分范围）

❷Taylor，S.R.，大陆壳的化学成分及其演化——稀土元素证据，1979。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

中条山落家河铜矿区岩石及矿石稀土元素含量表(ppm)　　表 1

顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
采样号	LF16	LF1	LF22	LF19	LF15	LF21	LF20	LF17	LF18	LF6
岩（矿）石名称	混合岩	长英岩脉含黄铜矿斑铜矿	长英岩脉含黄铁矿	泥砂质大理岩	细碧岩	石墨绢云绿泥片岩（含矿）	石墨绿泥片岩（矿石）	绿泥片岩	绢云绿泥片岩	绿泥片岩含黄铜矿（矿石）
La	99.2	5.3	8.0	35.0	13.0	11.6	8.8	6.5	12.3	9.2
Ce	196.3	4.6	10.7	50.3	19.2	21.0	18.9	7.9	21.8	14.9
Pr	22.7	1.5	1.2	5.7	3.0	2.6	1.2	1.2	2.9	2.0
Nd	76.1	3.8	5.5	21.3	12.9	13.8	5.5	5.8	14.0	9.1
Sm	11.6	0.91	1.4	4.8	3.0	3.8	0.96	1.6	3.4	2.9
Eu	3.1	0.3	0.37	1.2	1.0	0.71	0.15	0.2	1.1	0.35
Gd	7.9	0.43	1.2	3.6	3.3	4.4	0.78	1.8	3.3	2.8
Tb	1.1	0.07	0.2	0.48	0.45	0.66	0.15	0.27	0.48	0.45
Er	3.0	0.27	0.61	1.8	1.5	2.2	0.49	1.1	1.7	1.2
Dy	5.3	0.43	1.1	3.5	2.9	4.5	0.88	1.9	3.1	2.8
Ho	1.1	0.10	0.23	0.66	0.54	1.0	0.19	0.32	0.68	0.62
Tm	0.44	0.05	0.11	0.28	0.23	0.33	0.09	0.16	0.23	0.16
Yb	2.8	0.26	0.66	1.7	1.5	2.1	0.6	1.1	1.4	1.0
Lu	0.43	0.04	0.1	0.27	0.22	0.28	0.1	0.17	0.19	0.19
Y	28.7	2.4	5.9	16.6	10.5	21.5	4.3	9.8	12.4	10.1
ΣREE	459.77	20.48	37.28	147.19	73.24	90.48	40.09	39.82	78.98	57.77
LREE/HREE	8.05	4.031	2.687	4.094	2.464	-1.447	4.684	1.395	2.363	1.99
δCe	-0.039	-0.612	-0.256	-0.22	-0.285	-0.114	0.223	-0.365	-0.149	-0.199
δEu	-0.062	0.29	-0.147	-0.152	-0.032	-0.470	-0.485	-0.64	-0.008	-0.629
Eu/Sm	0.267	0.329	0.264	0.25	0.333	0.186	0.156	0.125	0.323	0.12
La/Yb	35.428	20.384	12.121	20.588	8.666	5.523	14.666	5.909	8.785	9.20
Sm/Nd	0.152	0.239	0.254	0.225	0.232	0.275	0.174	0.275	0.242	0.318

2. 大理岩的稀土元素地球化学特征

大理岩的ΣREE含量稍低（147.19 ppm），LREE较富集（118.30 ppm），HREE亦显亏损（28.89ppm），铕无负异常（$\delta Eu=-0.152$），LREE/HREE=4.094，显示了向右缓倾斜的配分模式（图7b）。从REE图式来看，与本区混合花岗岩的稀土元素配分模式，颇有相似之处。

不同地区不同时代沉积岩REE参数值对比表　　表 2

地(矿)区	地层时代	岩　石	ΣREE(ppm)	LREE/HREE	δEu	δCe	La/Yb
落家河矿区	绛县群	大理岩	147.19	4.094	−0.152	−0.22	20.588
胡篦矿区	中条群 1700Ma	大理岩	34.87	7.64	0.57	1.03	13.75
内　蒙	元古代 1500Ma	大理岩	38.67	7.14	0.90	0.86	14.5
		泥质岩	236.36	10.72	0.98	0.70	17.1
		砂　岩	46.46	10.18	0.82	0.76	17.7
澳大利亚	晚元古代	沉积岩	172.46	9.24	0.68	0.93	12.72
	中元古代	沉积岩	162.46	9.91	0.65	0.92	14.88

〔除本区外，其他地（矿）区的数据是据李兆龙[3]，1986〕

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

但若与中条群大理岩、内蒙中部元古代的大理岩及澳大利亚元古代沉积岩相对比，则显然有所不同（表2）。这可能受昌梁期混合岩化影响所致，另一方面，从配分曲线平缓来说，又没有铕的亏损、LREE富集程度较低，和太古代沉积岩的稀土元素地球化学特征很为相似。

3．细碧岩及石墨绢云绿泥片岩、绢云绿泥片岩的稀土元素地球化学特征

从图7c可以看出，本区细碧岩及石墨绢云绿泥片岩、绢云绿泥片岩的稀土元素配分模式极为相似。细碧岩（No5）ΣREE=73.24ppm，LREE/HREE=2.464，δEu=−0.032，与绢云绿泥片岩(No9)十分相似，ΣREE=78.98，LREE/HREE=2.363，δEu=−0.008，模式曲线为平缓型，与智利高铝玄武岩的稀土元素配分模式几乎一样（I.A.尼科尔斯等，1980）。

石墨绢云绿泥片岩及绢云绿泥片岩经原岩恢复，为含细碧质的火山泥砂质沉积岩及细碧岩，ΣREE都不高（39.82～90.48 ppm），变化不大，其LREE/HREE值为1.395～4.684，显示了轻、重稀土分异较差、铕均有轻微的亏损δEu=0.47～0.64，稀土元素配分模式曲线平缓。

据矿石的测温资料，包裹体爆裂温度为310～350℃，结合矿石的矿物组合，可推测其成矿温度是在270～340℃，这就促使原岩的稀土元素具有更大的溶解性，由此不难理解，矿石的稀土配分曲线要比矿化的片岩低得多（图7c）。

总的趋势是：细碧岩及石墨绢云绿泥片岩、绢云绿泥片岩与泰勒（1979）研究晚太古代沉积岩的REE模式非常接近。

4．长英质混合岩脉（含矿）的稀土元素地球化学特征

经勘探工作业已证实，在石墨绢云绿泥片岩中的铜矿层，常见有长英质混合岩脉相伴生，受围岩的混染作用很强烈，不含黄铜矿的长英质混合岩脉（No3，仅含黄铁矿），ΣREE = 37.28 ppm，LREE/HREE = 2.67，Ce、Eu异常均不明显，分别为−0.256及−0.147，REE配分曲线近似水平，而且在其围岩的稀土配分模式的范围之内（图7d的断线区间，即相当于图7c的位置），足以证明为混染作用的结果。

而含黄铜矿的长英质混合岩（脉）（No2）的稀土元素配分模式明显不同。ΣREE = 20.48 ppm，LREE/HREE=4.031，Ce有明显的负异常，δCe=−0.612，Eu相对有正异常，δEu=0.29，虽然稀土元素配分模式曲线，也呈平缓的图式、特别是重稀土要比前者（No3）低得多，阐明在成矿过程中为还原环境，对Ce起了特殊吸附作用。

有关成因与找矿的地质意义

综上所述，本区主要岩石和矿石的稀土元素地球化学特征概括有以下几点：

①除混合花岗岩ΣREE为459.77ppm较高外，其他岩石与矿石的ΣREE皆不高(20.48～147.19ppm)；②混合花岗岩的LREE/HREE为8.05，其他岩石及矿石为1.395～4.684；③所有岩（矿）石Sm/Nd皆小于0.33；④含矿岩系即石墨绢云绿泥片岩及绢云绿泥片岩具有轻微的铕异常，其他岩石未出现铕亏损；⑤仅有含黄铜矿的长英质混合岩（脉）显示铈亏损；⑥混合花岗岩La/Yb值最高（35.428），其他岩(矿）石变化在5.909～20.588；⑦稀土元素模式曲线，除混合花岗岩及砂质大理岩呈向右缓倾斜型外，其他岩（矿）石皆较平缓。

为了区别不同类型岩石的成因，将10个样品的稀土元素的La/Yb与ΣREE值投至图8。混合花岗岩（No1）与泥、砂质大理岩（No4）均落在Ⅰ、Ⅴ、Ⅳ三个区的重叠部分，说明两者是受热事件（等时线同位素

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

年龄1146.6Ma）变质作用的产物；细碧岩（No5）是投影在跨线之Ⅰ区，拉斑玄武岩与含矿的石墨绢云绿泥片岩、绢云绿泥片岩（即矿石，No5～10）均投在相邻的钙质、泥质沉积岩Ⅳ区内，可属同一组合（即图8之点线范围）。而长英质混合岩(脉)(No2～3）也是投影在Ⅳ区，与含矿石墨绢云绿泥片岩、绢云绿泥片岩相近，表明长英质混合岩脉侵入时受到围岩的混染作用。

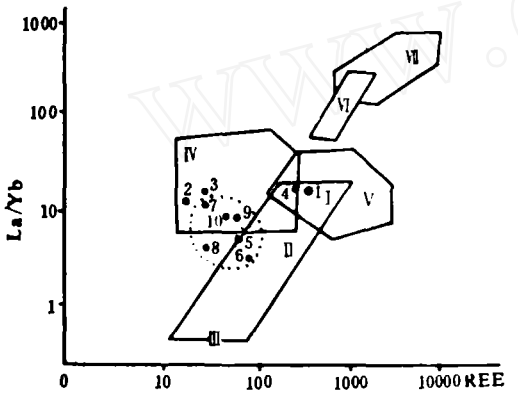

图 8 岩石与矿石的La/Yb-REE 图解

Ⅰ—碱性玄武岩；Ⅱ—大陆玄武岩；Ⅲ—大洋拉斑玄武岩；Ⅳ—钙质泥质沉积岩；Ⅴ—花岗岩；Ⅵ—金伯利岩；Ⅶ—碳酸岩

不同构造环境中形成的玄武岩，其La：y：Ce的比率明显不同，板块内部钠碱性玄武岩较洋底低钾拉斑玄武岩具有低比率的Y，高比率的Ce和Le。本区的细碧岩及含细碧质的火山沉积岩（No5～10）和其他岩石均投影在图9的B区内，足以说明本区的细碧岩和其他岩石是在大陆板块内的环境下形成的，可能与岛弧或弧后盆地相当。

不同成因类型的岩石具有不同的Sm/Nd值，沉积岩的Sm/Nd值域为0.142～0.217。本区岩石和矿石的Sm/Nd值为0.152～0.318，仅混合花岗岩和含黄铜矿的石墨绢云绿泥片岩较低，大部分岩石、矿石的Sm/Nd值是在0.225以上，故可推定区域变质作用已经改变了原岩的面貌。

从细碧岩和含矿岩系的稀土配分模式（图3）来看，成矿作用是与含细碧角斑岩

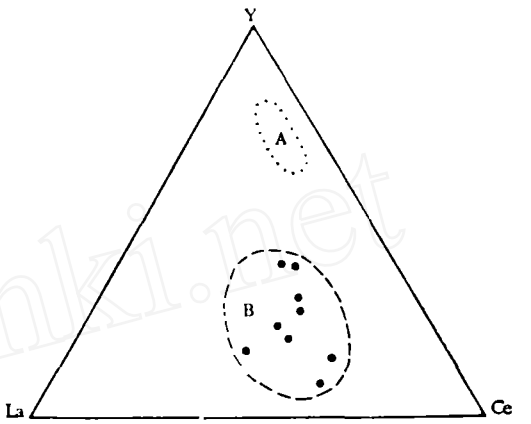

图 9 岩石的La-Y-Ce变异图

（据R.S.Thorpe，1972）

A—洋底低钾拉斑玄武岩区；B—板块内钙碱玄武岩区

建造有着亲缘关系，稀土模式曲线平缓，皆具有相同的铕负异常，继承了原岩的稀土特征。长英质混合岩（脉）的稀土模式（见图7d），可作为成矿作用富集铜矿的佐证。在火山沉积过程中，是由于成土作用形成黄铁矿，而黄铜矿交代黄铁矿的现象非常普遍，足可证明是经过了混合岩化的影响，促使成矿物质活化、迁移，继而富集成矿。在成矿过程中由于温度升高，稀土元素有所溶解，所以矿石的稀土曲线明显地下降。

另外，因为区域内下震旦系安山岩大片覆盖，矿区内出露之地层成为单独的地质体，无法查明与区域地层的接触关系，只能按岩性对比，可能和绛县群宋家山组相当。据陶铨（1985）研究[3]，绛县群锆石$^{207}Pb/^{206}Pb$年龄为2350 Ma，应属下元古界。但从本区混合花岗岩及大理岩的稀土配分模式（见图7a、b）来看，均为向右缓倾斜型，也无铕亏损；而细碧岩及含矿岩系的稀土元素配分模式曲线，同样也为平缓型（见图7c），与西澳大利亚卡姆巴尔达，太古代的变质沉积岩的稀土元素地球化学特征十分相似，因此本区的地层时代归属问题值

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

得讨论，似乎应属太古界较为适宜。

通过对本区主要岩石和矿石的稀土元素地球化学特征的初步研究，进一步阐明了成矿过程是与细碧角斑岩建造有关，后经吕梁期混合岩化的热事件富集成矿，应属层控型铜矿床。今后可以本着“沿层找矿”的思路，运用物探方法，首先探测安山岩覆盖较薄地区及构造延续的有利地段，如有相同层位和混合花岗岩分布的条件，寻找盲矿体可以得到较好的找矿效果。

参 考 文 献

[1] 刘肇昌，板块构造学，地质出版社，1982年。

[2] 李兆龙等，地质找矿论丛，1986，V.1，№2。

[3] 陶铨，天津地质矿产研究所所刊，1985，第2号。

[4] 巴文顿，O. A. 和泰勒，S. R.，Geochimica et Cosmochimica Acta，1980，vol，44，№5。

Geochemical Features of RE-Elements in the Luojiahe Cu-deposit in Zhongtiao Mountain

Zhen Yunqing　Xi Zengren

Geochemical features of the rare earth elements in most rocks and minerals of the Luojiahe copper mine were investigated in roder to make an attempt at providing some geological information for ore exploration and gaining a clear idea of the origin of the deposit.

欢迎订阅1991年《冶金地质动态》（月刊）

《冶金地质动态》是冶金工业部委托天津地质研究院主办的冶金地质系统唯一的综合性地质找矿与科技动态性刊物。本刊围绕冶金地质找矿工作，贯彻冶金矿产地质工作方针、政策和指示要求，及时报道地质找矿的新成果、新进展；宣传推广与矿产勘探、普查找矿工作有关的新技术、新方法等先进理论和经验，以提高地质找矿效果和社会效益，促进冶金地质事业的发展。本刊主要刊登：铁、锰、铬、辅助原料等冶金矿产及黄金、有色金属矿产找矿研究成果；矿床地质、岩石矿物、地球化学、物化探、数学地质、遥感地质、同位素地质、矿山、水文地质以及资源动态、综合利用、地质经济、学术活动等。

经冶金部批准，本刊1991年第1期始，恢复月刊出版、发行，面向全国各地质系统的科研、生产人员、管理干部、情报资料部门和院校师生。

全年12期，每期工本费0.9元（含邮资0.2元），全年10.8元，欢迎订阅。

订阅办法：本刊单位和个人均可订阅，订阅款可通过邮局信汇至《冶金地质动态》编辑部发行组办理。

地址：天津市河西区友谊路42号，（邮政编码：300061）。

《非金属矿》1991年征订启事

《非金属矿》杂志是国内外公开发行的全国性建材技术期刊之一。主要报道国内外非金属矿（石棉、石墨、石膏、滑石、金刚石、高岭土、云母、膨润土、凹凸棒石土、海泡石土、硅灰石、沸石、重晶石、萤石、叶蜡石、长石、浮石、蛭石、凝灰岩、硅藻土、珍珠岩等）、石材（大理石、花岗石、水磨石、人造石材等）以及建材（水泥、玻璃和陶瓷）原料矿产等工业地质、采矿、选矿、加工及其制品的有关论文、科技成果、生产经验、专题报道、综合评述；辟有技经与管理、石材、非金属矿制品、各地非金属矿、信息与交流、国外文献专利题录及文摘等专栏。

本刊主要面向非金属矿及有关的生产、基建、勘探、设计、科研、机关、院校及乡镇企业等单位，读者对象为科技人员、领导干部、院校师生和工人等。

本刊为双月刊，代号28—84。乃单位或个人均可直接向当地邮局订阅。可邮局订阅不便，亦可向本部订购，函索订单即寄。每册2.51元（包括邮资0.26元），全年单价15.06元（包括邮费1.56元）。本刊已出版各期尚有部份余额，需要者可速函本部联系。

本编辑部地址：江苏苏州市三香路彩香桥，苏州非金属矿工业设计研究院内。邮政编码：215004。开户银行：江苏苏州市建行二部，帐号261145464。汇款时请注明期刊用款。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net