

云南个旧锡铜多金属矿集区稀土元素分布特征

张婷婷¹, 双 宝^{1,2}, 陈智敏³

(1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130026; 2. 黑龙江省有色金属地质勘查研究总院, 黑龙江 哈尔滨 150046;
3. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 通过对云南个旧锡铜多金属矿集区内与成矿关系密切的玄武岩、花岗岩以及不同类型的矿石、围岩的研究, 并进行了有关稀土元素地球化学参数的计算, 对原始测试数据进行球粒陨石标准化后, 分别建立了各种岩石、矿石的稀土元素配分模式。并对印支期的玄武岩、燕山中晚期含锡花岗岩和围岩等进行稀土元素特征分析与研究, 认为个旧不同类型矿体稀土元素分配特征与其相关的围岩之间具有一定的继承性, 矿集区的成矿物质来源具有多元和多期叠加的成矿特点。

关键词: 个旧; 玄武岩; 花岗岩; 稀土元素; 分布特征

中图分类号: P618 7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)02-0148-05

Distribution Characteristics of the Rare Earth Elements (REEs) in the Gejiu Tin-Copper Polymetallic Ore Concentrating Region of Yunnan Province

ZHANG Ting-ting¹, SHUANG Bao^{1,2}, CHEN Zhi-min³

(1. School of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China;

2. Heilongjiang Geological Exploration and Research Institute for Nonferrous Metal, Harbin 150046, Heilongjiang, China

3. School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract From studying on the basalt, granite and different types of ores and wall rocks which have close relations with mineralization, in the Gejiu Tin-Copper polymetallic ore concentrating region in Yunnan Province, and calculating the related geochemistry parameter of the rare earth elements(REEs), REE patterns of all kinds of rocks and ores after chondrite-normalizing are established. The REE distribution characteristics of the basalt of the Indo-Chinese epoch and tin-bearing granite of mid-late Yanshanian period are analyzed. It is concluded that the characteristics of rare earth element distribution in different types of ores are associated with wall rock in the inheritance. The sources of ore minerals in the ore concentrating region show characteristics of multi-phase mineralization.

Key words: Gejiu; basalt; granite; rare earth elements; distribution characteristic

0 引言

云南个旧锡铜多金属矿集区位于云南省东南部个旧市境内, 是中国重要的锡矿产地。对该矿床的成因研究一直存在分歧, 岩浆热液成因观点曾被广大学者所认可, 随着层控锡矿床的发现及其概念的提出^[1], 一些学者对岩浆热液成因观点提出质

疑, 当周建平等^[2]提出海底热液喷流成因观点后, 个旧锡矿再度成为现今研究的热点。

稀土元素组内各元素具有相似的晶体化学性质, 使得他们在各种地质作用和造岩过程中表现出相近的地球化学习性, 而作为一个整体运移, 常以痕量元素加入到各种造岩矿物中。每个具体的稀土元素之间毕竟存在微小的差别, 由于所处的地质环境

收稿日期: 2009-01-20

基金项目: 科技部中澳政府间国际合作项目(20050175)

作者简介: 张婷婷(1982-)女, 吉林公主岭人, 工学博士研究生, 从事矿产普查与勘探、资源经济研究。E-mail: gyq770925@163.com

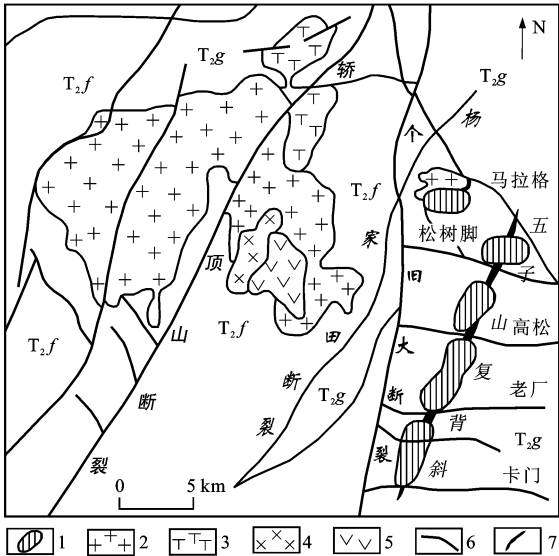
© 1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

不同,造成这些元素迁移的方式和聚集的程度有所不同,并在同一地质体和地质相中表现其不同的组成^[34]。因此,利用稀土元素组成特征可以用于探讨各种地质体的形成环境、演化机理以及成岩成矿物质来源等问题。笔者依据对个旧矿集区岩体的稀土元素测试数据及前人的有关测试数据的综合整理,分析该区稀土元素特征,探讨矿床成因和成矿物质来源,为老矿山的进一步找矿提供理论依据。

1 区域地质概况

个旧矿区处于欧亚板块与太平洋板块、印度板块俯冲碰撞相接的部位,为全球两大锡矿带(环太平洋锡矿带和特提斯锡矿带)交汇部位的次级锡矿带之一的滇东南锡矿带。区域深大断裂主要有南北向的小江断裂;北西向的红河断裂、哀牢山断裂、屏建石断裂;北东向的师宗—弥勒断裂、南盘江断裂^[5]。该带地层除白垩系缺失外,前寒武系到第四系均有出露。早三叠世以前的地层以海相沉积为主,早三叠世以后主要为陆相沉积。

个旧锡多金属矿主要产出在个旧断裂东侧(图1),矿区出露地层及容矿地层为三叠系中统个旧组(T_2g)和法郎组(T_2f),主要由碳酸盐岩和少许碎屑岩组成,90%以上的锡矿体分布在个旧组地层中^[1]。矿区内褶皱和断裂构造发育,大体可分为北东(北北东)、东西、南北及北西向4组,其中南北向个旧大断裂和北东向的五子山复背斜



1—主要矿田; 2—花岗岩体; 3—碱性岩; 4—辉长岩; 5—二长岩; 6—矿区主要断裂; 7—复背斜

图1 个旧矿区地质略图

Fig.1 Geological Sketch Map of Gejiu

为主要控矿构造。矿区内岩浆活动具有多期次、多阶段性特点,从元古代到新生代均有强度不等、类型不同的岩浆活动。以华力西期的海底基性火山喷发活动和印支、燕山期的基性(超基性岩)、酸性岩浆活动最为强烈^[6]。

2 主要容矿岩石的稀土元素组成

2.1 印支期玄武岩稀土元素分布

依据表1计算的稀土元素地球化学参数及图2玄武岩稀土元素配分模式的分析,个旧矿集区印支

表1 个旧矿集区印支期玄武岩稀土元素含量及特征参数

Tab.1 Content and Characteristic Parameter of the REEs of the Basalt of the Indo-Chinese Epoch in Gejiu Ore-concentrating District $w_B/10^{-6}$

地点、岩性	他白	卡房	冬瓜山	竹叶山	塘子凹	麒麟山	球粒 陨石	
	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩		
层位(样数)	T ₂ f(5)	T ₂ g(2)	T ₂ g(2)	T ₂ g(2)	T ₂ g(2)	T ₂ g(2)		
分 析 项 目	La	41. 79	48. 53	29. 04	31. 85	25. 99	22. 26	0. 330
	Ce	76. 52	82. 76	66. 32	69. 74	57. 56	50. 54	0. 880
	Pr	9. 61	8. 82	8. 06	5. 26	7. 07	6. 25	0. 112
	Nd	41. 21	35. 74	35. 32	35. 32	31. 28	27. 70	0. 600
	Sm	8. 38	9. 05	8. 44	8. 75	7. 07	6. 68	0. 181
	Eu	1. 95	1. 66	1. 87	1. 78	1. 71	1. 52	0. 069
	Gd	7. 09	7. 04	5. 92	6. 18	5. 52	4. 94	0. 249
	Tb	1. 02	1. 30	1. 03	1. 25	0. 95	0. 85	0. 047
	Dy	6. 04	7. 29	5. 61	7. 27	5. 36	4. 95	0. 317
	Ho	1. 24	1. 21	0. 96	1. 24	0. 95	0. 84	0. 073
	Er	4. 66	2. 91	2. 49	3. 14	2. 48	2. 22	0. 210
	Tm	0. 50	0. 37	0. 32	0. 40	0. 33	0. 29	0. 033
	Yb	2. 26	2. 22	1. 91	2. 37	2. 07	1. 84	0. 170
	Lu	0. 40	0. 29	0. 28	0. 33	0. 29	0. 24	0. 034
	Y	33. 96	35. 22	25. 86	32. 46	24. 51	22. 21	1. 800
计 算 参 数	ΣREE	236. 60	244. 41	193. 43	207. 54	173. 14	153. 33	
	ΣCe	179. 45	186. 56	149. 05	152. 90	130. 68	114. 95	
	ΣY	57. 16	57. 85	44. 38	54. 64	42. 46	38. 38	
	ΣCe/ΣY	3. 140	3. 225	3. 358	2. 798	3. 078	2. 995	
	(Gd/Yb) _N	2. 14	2. 17	2. 12	1. 78	1. 82	1. 83	
	Eu/Sm	0. 232	0. 183	0. 222	0. 203	0. 242	0. 228	
	Sm/Nd	0. 203	0. 253	0. 239	0. 246	0. 226	0. 241	
	δEu	0. 754	0. 615	0. 770	0. 705	0. 809	0. 776	
	δCe	0. 819	0. 833	0. 924	1. 105	0. 922	0. 932	

注:原始数据来源于刘仁福^[7]及秦德先^①,球粒陨石丰度引用Haskin^[7]

① 秦德先. 关于个旧锡矿成矿系列与综合信息成矿预测问题的讨论. 云南锡业公司研讨会论文集. 个旧: 云南锡业公司, 2002.

期玄武岩配分曲线均向右倾,轻、重稀土比值($\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$)为 1.06~3.358,均大于 1,显示富碱富轻稀土元素特征; $w(\text{Eu}/\text{Sm})$ 比值为 0.183~0.242, $w(\text{Sm}/\text{Nd})$ 比值为 0.203~0.253,显示岩浆具有一定的分异; δEu 值为 0.615~0.809<1, δCe 值除竹叶山玄武岩之外(可能有外来物质混入)大都介于 0.819~0.942 之间,小于 1,显示较弱的 Eu 亏损和弱的 Ce 负异常。上述分析表明,个旧印支期玄武岩具有大陆张裂环境的碱性橄榄玄武岩特征。

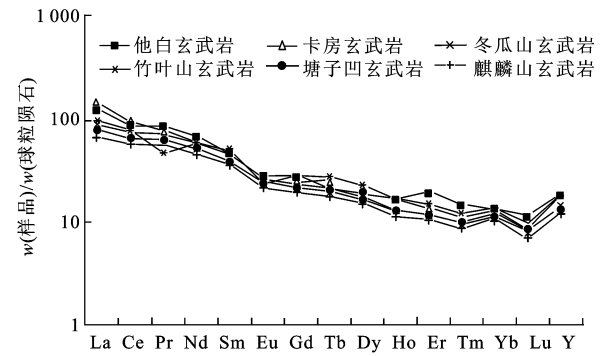


图 2 个旧矿集区印支期玄武岩稀土元素配分模式
Fig. 2 REEs Pattern of the Indo-Chinese Epoch in Gejiu Ore-concentrating District

在卡房、塘子凹、麒麟山、竹叶山、冬瓜山以及他白等不同地段,玄武岩稀土元素总量 ΣREE 相近,且稀土元素特征值 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 、 Eu/Sm 、 Sm/Nd 、

δEu 、 δCe 也十分接近。从玄武岩产出的地质特征来看,玄武岩均赋存于中三叠统碳酸岩层内,说明它们属于同源同期产物。玄武岩稀土元素的 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值为 1.78~2.17,均大于 1,与 Schilling 等^[8,9]划分的“E”型或“地幔羽型”玄武岩相似。尽管 Schilling 的判别模式建立在大洋玄武岩的研究基础上,但大陆裂谷碱性玄武岩与大洋碱性玄武岩稀土元素型式完全相似,证明二者源区相同,因此也适合于大陆玄武岩的判别。这表明个旧矿集区碱性玄武岩的成岩成矿作用与地幔热柱或地幔热点关系密切。

2.2 燕山中晚期含锡花岗岩稀土元素分布

个旧矿集区燕山中晚期不同阶段含锡花岗岩稀土元素丰度(表 2)及其稀土元素配分模式(图 3)分析表明,不同地段岩体稀土配分曲线均向右倾, $\delta\text{Eu}<1$,表现明显的 Eu 负异常,这与中国华南地区大部分壳源型花岗岩稀土配分特征相似,说明个旧含锡花岗岩属于地壳硅铝层部分熔融进而通过结晶分异作用形成的复式花岗岩。但西区龙岔河岩体稀土元素配分曲线与其他岩体稀土元素配分曲线稍有不同,尽管也呈右倾趋势,但“V”型谷不很明显,这表明早期侵入的岩体,岩浆结晶分异程度较低,因此其成矿性不如晚期的侵入岩体。

表 2 个旧矿集区花岗岩稀土元素含量及特征参数

Tab. 2 Content and Characteristic Parameter of the REEs of the Granite in Gejiu Ore Concentrating District														$w_{\text{B}}/10^{-6}$
岩体名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
马松(4)	130.87	105.38	98.33	61.94	42.06	6.28	23.74	18.87	17.34	13.56	13.11	14.04	18.00	13.43
老卡(4)	44.40	47.57	54.40	42.00	54.27	1.38	41.60	41.81	42.00	34.21	36.37	40.38	55.41	40.29
龙岔河(1)	115.86	214.62	23.98	68.93	11.96	1.74	6.59	0.88	4.11	0.72	1.88	0.22	1.89	0.25
神仙水(1)	63.12	104.37	11.27	29.55	5.28	0.57	3.96	0.50	2.29	0.42	1.21	0.20	1.41	0.20
白沙冲(2)	35.55	62.84	7.64	22.45	5.68	0.31	4.58	0.80	5.48	1.00	3.32	0.55	4.33	0.60
岩体名称	ΣREE	ΣCe	ΣY	$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$	δEu	δCe	$(\text{La}/\text{Lu})_{\text{N}}$		$(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$		$(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$			
马松(4)	212.16	192.14	20.02	9.60	0.19	0.92	9.74		3.11		1.32			
老卡(4)	145.62	97.73	47.89	2.04	0.03	0.96	1.10		0.82		0.75			
龙岔河(1)	453.63	437.09	16.54	26.43	0.54	0.86	47.75		5.31		2.38			
神仙水(1)	224.35	214.16	10.19	21.02	0.37	0.81	32.52		6.56		1.92			
白沙冲(2)	155.13	134.47	20.66	6.51	0.18	0.81	6.10		3.43		0.72			

注:马松、老卡岩体数据来源本文,由中南大学地质研究所 ICP-MS 室测试, $\text{RSD}<3\%$

一般认为,一个复式岩体从早到晚其稀土元素分布常出现有规律性的变化趋势,但个旧复式杂岩体,从早到晚由龙岔河岩体(147 Ma)→马松岩体(102~100 Ma)→神仙水岩体(84.4 Ma)→老卡(84~81 Ma)→白沙冲岩体(81 Ma),稀土元素分布的规律性并不十分明显。这说明尽管同属于壳源重熔型花岗岩,由于岩浆演化阶段不同,壳源物质熔融程度以及岩浆侵入时与围岩同化混染程度不同而使其稀土元素分配更趋复杂。

从东西两区岩体的稀土配分特征看,可明显分

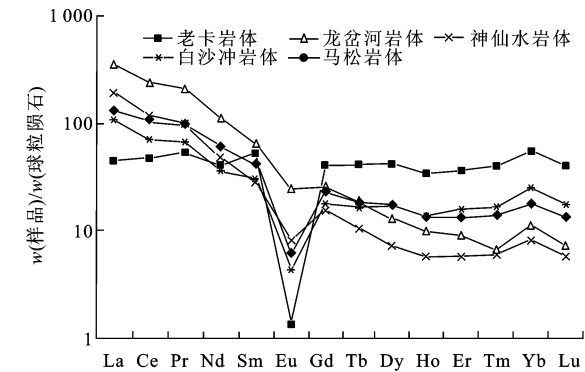


图3 个旧矿集区燕山中晚期花岗岩稀土元素配分模式

Fig. 3 REEs Pattern of the Granite of the Mid-late Yanshan Period in Gejiu Ore-Concentrating District

成截然不同的两组: 东区马松岩体、老卡岩体以及白沙冲岩体其 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}=9.6\sim2.04$, 小于10, 相对富轻稀土元素为主; $\delta\text{Eu}=0.03\sim0.19$, 负异常强烈; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=1.1\sim9.74$, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=0.82\sim3.43$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}=0.72\sim1.32$, 显示这些特征参比值均不高。而西区龙岔河岩体、神仙水岩体, 其 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}=21.02\sim26.43$, 远大于10, 轻稀土元素高度富集; 且 $\delta\text{Eu}=0.37\sim0.54$, 属中等负异常, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=32.52\sim47.75$, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=5.31\sim6.56$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}=1.92\sim2.38$, 这些特征值均明显高于个旧东区岩体的特征值。

依据上述稀土元素特征分析, 笔者认为个旧东区岩体 δEu 值以及 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 、 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 、 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 的比值相对较低, 说明重熔岩浆演化经过高度分异, 因而易于形成高浓度的含矿热流体, 其流体沿构造运移, 在构造有利部位富集成矿; 而个旧西区岩体上述参数值相对较高, 说明岩浆演化分异不彻底, 不利于形成高浓度的含量流体, 因而其成矿性较差。

3 不同类型矿石、玄武岩、花岗岩及灰岩稀土元素配分模式比较

个旧矿集区内矿石稀土元素原始测试数据(表3)由秦德先提供, 由于分析精度不够, 大部分数据低于检出下限, 因此, 只选择个别可用矿石的稀土元素数据做球粒陨石化标准配分模式图, 并将空间上与矿体关系密切的竹叶山玄武岩、老卡花岗岩及容灰岩稀土元素配分模式成图(图4), 以方便比较分析。

从图4可见, 竹叶山玄武岩型硫化物矿床矿石稀土元素配分曲线与玄武岩稀土元素配分曲线在

表3 个旧矿集区不同类型矿石稀土元素含量及特征参数

Tab. 3 Content and Characteristic Parameter of the REEs of Different Types of Ore in Gejiu Ore-concentrating District						$w_{\text{B}}/10^{-6}$
矿石类型	老厂5 [#] 条带 状硫化矿	老厂5 [#] 条带 状硫化矿	竹叶山玄武 岩型硫化矿	芦塘坝硫化 矿、氧化矿	个旧灰岩	
测定对象	锡石	矿石	矿石	锡石	全岩	
样品个数	1	4	3	3	9	
测试项目	La	13.20	12.79	2.21	4.063	0.19
	Ce	21.00	24.62	4.16	8.175	0.57
	Pr	2.25	2.76	0.43	0.945	0.06
	Nd	9.21	10.29	1.59	3.971	0.24
	Sm	1.80	2.32	0.40	0.969	0.10
	Eu	0.16	0.12	0.07	0.11	0.003
	Gd	1.30	1.33	0.25	0.685	0.04
	Tb	0.20	0.25	0.05	0.135	0.01
	Dy	1.46	1.57	0.27	0.808	0.07
	Ho	0.25	0.30	0.05	0.155	0.01
	Er	0.89	0.98	0.15	0.451	0.03
	Tm	0.14	0.16	0.02	0.071	0.01
	Yb	0.96	1.21	0.20	0.464	0.03
	Lu	0.15	0.18	0.05	0.071	0.01
计算参数	ΣREE	60.17	70.05	11.81	5.76	25.88
	ΣCe	47.62	52.90	8.86	4.06	18.23
	ΣY	12.55	17.15	2.95	1.70	7.65
	$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$	3.79	3.08	3.00	2.39	2.38
	$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$	7.08	5.43	5.85	9.93	8.76
	$(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$	4.02	3.03	3.07	4.01	4.19
	$(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$	0.92	0.75	0.86	1.68	1.48
	δ_{Eu}	0.31	0.195	0.63	0.34	0.13
δ_{Ce}	0.79	0.883	0.895	0.745	3.26	

注: 原始测试数据由秦德先提供

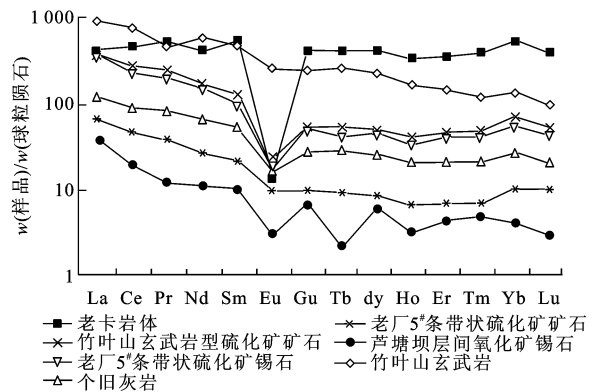


图4 不同类型矿石及相关的玄武岩、花岗岩、容灰岩稀土元素配分模式

Fig. 4 REEs Pattern of Different Types of Ore and Relative Basalt, Granite and Host Limestone

形态上十分相似, 两者均呈左高右低的较平滑曲线、 ΣEu 异常均不明显和富集轻稀土元素特征, 表明玄武岩型矿体成矿元素来源可能主要以玄武岩为主, 但玄武岩型硫化物矿体稀土元素总量 ΣREE 明显低于玄武岩稀土总量, 说明可能受海水的稀释影响使得稀土元素大量流失。

另外, 老厂 5[#] 条带状硫化矿体及芦塘坝层间硫化矿体(已氧化)的稀土元素配分模式与玄武岩差别较大, 也有别于花岗岩稀土元素配分模式, 更接近于个旧灰岩的稀土配分模式, 这说明上述条带状、层状硫化矿体主要以同沉积成矿为主。它们与花岗岩稀土元素配分模式一样均具 Eu 亏损, 花岗岩 ΣEu 为 0.03, 表现出强烈的 Eu 亏损, 老厂 5[#] 条带状硫化矿体及芦塘坝层间硫化矿体 ΣEu 为 0.195~0.340, 表现出中等 Eu 亏损; 而且空间上与花岗岩体接近的老厂 5[#] 条带状矿体比相对距花岗岩较远的芦塘坝层间矿体稀土元素总量更高, 这说明可能为花岗岩后期叠加成矿所致, 距离花岗岩体越远则花岗岩叠加作用越小, 含矿性越小。此外, 芦塘坝层间氧化矿稀土元素配分曲线表现出跳跃式的锯齿状, 这可能为成矿后处于表生氧化环境而导致其较为复杂的稀土配分模式。

4 结语

(1)个旧矿集区不同类型矿体稀土元素配分特征与其相关的围岩之间具有一定的继承性, 表明矿集区成矿的多物质来源和多期叠加成矿特点。

(2)个旧矿集区内的玄武岩成岩成矿作用与地

幔热柱或地幔热点关系密切。

(3)个旧矿集区东区岩体 ΣEu 值等参数比西区岩体相对较低, 表明东区重熔岩浆演化经过高度分异, 易于形成高浓度的含矿热流体, 在构造有利部位富集成矿。

(4)个旧矿集区含锡花岗岩属于地壳硅铝层部分熔融、结晶分异形成的复式花岗岩。花岗岩的后期叠加作用, 使含矿物质进一步富集成矿。

参考文献:

[1] 张 欢, 高振敏, 马 云, 等. 个旧超大型锡多金属矿床成矿物质来源的铅和硫同位素示踪[J]. 地质与勘探, 2005, 40 (2): 17-20.

[2] 周建平, 徐克勤, 华仁民. 个旧等锡矿中沉积组构的发现与矿床成因新探[J]. 自然科学进展, 1999, 9(5): 419-422.

[3] 陈德潜, 陈 刚. 实用稀土元素地球化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990.

[4] 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.

[5] 刘 明, 彭省临, 王 力, 等. 个旧老卡岩体接触—凹陷带锡铜多金属矿地质特征及成因分析[J]. 矿产与地质, 2007, 21 (4): 395-403.

[6] 贾润率, 方维萱, 赫 英, 等. 个旧超大型锡多金属矿稀土元素地球化学特征[J]. 中国稀土学报, 2005 23(2): 228-234.

[7] Haskin L A , Haskin M A , Frey F A , et al . Relative and Absolute Terrestrial Abundances of the Rare Earths[C] // Ahrens L H, ed. Origin and Distribution of the Elements. Oxford: Pergamon, 1986: 889-910.

[8] Schilling J G. A Far Mantle Plume: Rare-earth Evidence[J]. Nature, 1973, 242: 2-5.

[9] 刘仁福, 田宝坤. 滇东南地区中三叠世法郎组含锰建造的地球化学特征[J]. 地质找矿论丛, 1988, 12(4): 33-39.

本刊迁址公告

本刊编辑部已于 2008 年 10 月迁至新地址办公, 详细通讯地址如下: 西安市南二环路中段长安大学杂志社《地球科学与环境学报》编辑部。

邮政编码: 710064; 电话: 029-82334686; E-mail: dkyhxb @chd.edu.cn

《地球科学与环境学报》编辑部