# 云南临沧花岗岩带回龙卡离子吸附型稀土矿床 地质特征和控制因素

张保涛<sup>1)</sup>, 蓝信杰<sup>1)</sup>, 金刚<sup>1)</sup>, 李星亮<sup>1)</sup>, 张永三<sup>1)</sup>, 胡兆国<sup>1)</sup>, 孙璐伟<sup>2)</sup>, 王向伟<sup>2)</sup>, 张修龙<sup>1)</sup>, 郭伟<sup>1)</sup> 1) 中国冶金地质总局山东正元地质勘查院, 济南, 250013;

2) 山东正元地质资源勘查有限责任公司, 济南, 250101

内容提要:云南临沧回龙卡稀土矿床位于临沧花岗岩带南端,为新发现的大型离子吸附型稀土矿床。基于该矿 区矿床地质特征、工程见矿特征和分析测试资料,结合典型钻孔剖析,探讨了回龙卡离子吸附型稀土矿床地质特征 和控制因素。回龙卡稀土矿床属于轻稀土离子吸附型稀土矿床,表现出"普遍含矿,西贫东富"的显著特点,总体上 可划分为工业矿体分布区、低品位矿体分布区和无矿区。中酸性岩体即黑云二长花岗岩为稀土成矿提供了物质来 源;地形地貌控制着稀土元素的富集保存和垂向分布形态。高陡第一阶梯工业矿体找矿难度较大,其深部一般可形 成低品位矿体;宽缓第二阶梯是最有利的找矿区域,可形成规模工业矿体;低洼第三阶梯一般难以形成矿体。湿热 气候和充足降水为岩体经受持续的风化淋滤作用形成有利的全风化赋矿层提供了条件。

关键词:离子吸附型稀土矿;临沧花岗岩带;主控因素;回龙卡;云南

稀土元素在军事工业、冶金工业、石油化工、玻 璃陶瓷、农业等方面有着举足轻重的作用,被誉为 "工业维生素",是我国的重要战略矿产资源(王登 红等,2013)。1969年,原江西省九〇八地质大队在 赣州龙南地区首次发现离子吸附型稀土矿床,为稀 土找矿提供了一个新的方向(吴澄宇等,1989),随 后,离子吸附型稀土找矿在广东、福建、广西、东南亚 等区域相继取得突破(王京彬等,1989;张祖海, 1990; Sanematsu et al., 2009, 2013)。自离子吸附型 稀土矿首次发现以来,前人对离子吸附型稀土矿床 区域分布、基岩特征、成矿机制等方面进行了大量研 究(Ishihara et al., 2008; 王登红等, 2013; Sanematsu et al., 2013; 赵芝等, 2014, 2017; Maulana et al., 2014;何耀,2015)。以往研究主要集中在离子吸附 型稀土矿床的区域分布、成矿岩体时代、稀土元素次 生富集影响因素等方面,这对区域上离子吸附型稀 土矿找矿方向选择具有重要指导作用,但是对离子 吸附型稀土矿成矿控制因素系统研究不足,在小尺 度范围内的找矿指导性成果较为缺乏。

2017年以来,中国地质调查局在滇西进行了稀 土找矿部署,并取得了找矿突破,在临沧花岗岩带相 继发现云南富东、勐往、土官寨、回龙卡等一大批稀 土矿床(刀俊山等,2017;张彬等,2018;曾凯等, 2019;陆蕾等,2019),仅研究区所处的勐海一带经中 国地质调查局评审认定的334稀土氧化物资源量就 达到50万吨。临沧花岗岩带南部是大中型离子吸 附型稀土矿的集中分布区之一,回龙卡大型离子吸 附型稀土矿是在该带南部新发现的一处大型稀土矿 床。基于该矿床地质特征、工程见矿情况和分析测 试资料,结合典型钻孔剖析,探讨了回龙卡离子吸附 型稀土矿成矿规律与控制因素,以期在大尺度上对 区域成矿预测提供依据,在小尺度上为稀土找矿提 供参考。

## 1 地质背景

研究区地处云南省勐海县一带,属于横断山系 南部。在大地构造位置上隶属于西藏—三江造山系 扬子西缘多岛—弧—盆系之碧罗雪山—临沧陆缘弧 带的临沧岩浆弧带南部(曾凯等,2019)(图 1a)。在 Ⅳ级成矿带上,属于临沧—勐海(岩浆弧)Fe—Pb— Zn—Au—Ag—Sn—Sb—Ge—REE 矿带(徐志刚等, 2008)。

注:本文为中国地质调查局地质调查项目(编号:DD20179604)的成果。

收稿日期:2019-08-14;改回日期:2020-02-08;责任编辑:章雨旭。Doi:10.16509/j.georeview.2020.02.009

作者简介:张保涛,男,1987年生,硕士,工程师,主要从事矿物学、岩石学、矿床学研究; Email: zhbaotao@163.com; ORCID: 0000-0001-6386-8059。



图 1 临沧花岗岩带大地构造位置(a)(据 Deng Jun et al.,2018;曾凯等,2018)和回龙卡矿区地质简图(b) Fig. 1 Geotectonic location of the Lincang granite belt (a) (after Deng Jun et al., 2018 and Zeng Kai et al., 2018&) and geological map of the Huilongka deposit

临沧花岗岩岩体是一条南北向分布的规模巨大的花岗岩带(李兴林,1996),总体上沿澜沧江断裂西侧呈反"S"状展布,南北长约350km,东西宽10~48km不等,平均宽22.5km,出露面积达7400km<sup>2</sup>(孔会磊等,2012),岩性以印支期黑云二长花岗岩和花岗闪长岩为主(何显川等,2016;王宏坤等,2019)。临沧花岗岩带以小街—那东断裂和南岭—城子断裂为界划分为北段、中段、南段三部分(陈吉琛,1989;李兴林,1996),研究区位于临沧花岗岩带南段的南部。

目前,临沧花岗岩带发现了多处离子吸附型稀 土矿床,提交了大量稀土找矿靶区和矿产地,已报道 的有上允稀土矿、火盘山稀土矿、MH稀土矿、QN稀 土矿等(张民等,2018;曾凯等,2019;陆蕾等, 2019)。本次研究对象回龙卡稀土矿所在的勐海地 区是临沧花岗岩带南部大中型稀土矿集中分布区之 一。

### 2 矿床特征

#### 2.1 矿床分布特征

回龙卡矿区由西向东总体上具有由低品位矿体 向工业矿体过渡的趋势,表现出"普遍含矿,西贫东 富"的显著特点(图 1b)。矿区共由 18 个工程控制, 划分为两个矿体,分别为工业矿体 I 和低品位矿体 II。其中,工业矿体见矿孔 8 个,主要分布于矿区中 东部,为 ZK47、ZK7、ZK3、ZK1、ZK11、ZK12、ZK13、 ZK2,各工程钻遇矿体厚度 6~15 m 不等,其中工业 矿体厚度 3~10 m;低品位矿体见矿孔 5 个,均分布 于矿区西部,为 ZK8、ZK9、ZK10、ZK6、ZK58,矿体厚 度介于 1~10 m;未见矿孔 3 个,分布于矿区西南部 和东北部,为 BT5、BT6、ZK57、ZK46。

钻孔见矿特征与稀土元素水系沉积物异常分布 具有较好的吻合性。La、Ce、Zr、Y元素异常分布与 钻孔见矿特征关系见图 1b,中东部工业矿见矿孔分 布区元素异常集中分布,各元素吻合程度较高;中西 部低品位矿见矿孔分布区元素异常零星分布,且为 单元素异常为主;西南部和东北部未见矿孔分布区 无元素异常分布。稀土元素水系沉积物异常分布区 偏移地势高方向一定距离是优质见矿孔的有利位 置,稀土元素水系沉积物异常分布区与优质见矿孔 分布有一定偏移的原因在于水系沉积物样品介质和 稀土元素赋存介质的差异。

钻孔见矿特征受地形地貌特征影响较大。回龙 卡矿区地势总体西高东低、东北高西南低(图1c), 这与矿体分布及钻孔优劣性分布较为吻合。从剖面 图上看,矿区西部的高地势区和东南部的低地势区 均不是稀土矿的最有利富集区,中东部的中山洼地 区是矿体最有利富集区,也是见矿钻孔的普遍分布 区。

#### 2.2 矿体赋存特征

矿体主体分布于黑云二长花岗岩分布区,在平 面上呈随地形变化的面状,但不同风化层平面分布 区成矿特征差别显著(图 1b)。工业矿体 I 和低品 位矿体 II 主要分布于全风化和半风化黑云二长花岗 岩分布区,腐殖质层、黏土、亚黏土层未发现矿体。 工业矿体 I 控制工程主要分布于全风化黑云二长花 岗岩分布区,如 ZK7、ZK13等;低品位矿体 II 控制工 程主要全风化和半风化黑云二长花岗岩分布区,如 ZK10、ZK9、ZK8 等;黏土、亚黏土层分布区工程如 BT5、BT6、ZK46等均未见矿。

在剖面图上可知(图 1c),矿体在剖面上呈扁豆 状,均分布于黑云二长花岗岩全风化层中,工业矿体 赋存在低品位矿体之中,低品位矿体赋存在黑云二 长花岗岩全风化层之中。矿体也可能赋存在半风化 层中,但是一般规模较小,常为低品位矿,如 ZK8 孔 仅在半风化层中钻遇 1 m 低品位矿体。腐殖质层、 黏土层、亚黏土层尚未发现矿体赋存。

#### 2.3 矿石组分和蚀变特征

回龙卡稀土矿矿石组分较为简单,主要有黏土 矿物、残留石英和未完全风化的长石类矿物,密度为 1.68 t/m<sup>3</sup>。蚀变主要表现为高岭土化、黏土化、褐 铁矿化,稀土元素主要以离子态赋存在黏土矿物中。 矿石离子相态率介于 25%~80%,平均>50%(图 2b),为离子吸附型稀土矿。矿石中 17 种稀土元素 均有发现,其中轻稀土元素占比为 55%~80%,平均 占比约 70%,属于轻稀土型离子吸附型稀土矿,含 量最高的五种稀土元素为 La、Ce、Nd、Y、Sc(表 1、图 2a)。测试结果由国土资源部成都矿产资源监督检 测中心化验提供,其中浸出率为离子相态稀土元素 与稀土总量的比值。



图 2 云南临沧花岗岩带回龙卡矿区矿石稀土组分(a)和浸出率(b)特征

Fig. 2 Ore REE composition(a) and leaching rate(b) characteristics in the Huilongka deposit

of Lincang granite belt Yunnan province

Table	e 1 REF	E compo	osition o	lata of	drilling	sample	es in Hu	iilongka	a minin	g area (	of Linc	ang gra	nite bel	t, Yun	nan pro	ovince
样号	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$Pr_2O_3$	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$Sm_2O_3$	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$Gd_2O_3$	$\mathrm{Tb}_2\mathrm{O}_3$	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\mathrm{Tm}_2\mathrm{O}_3$	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$Sc_2O_3$	Y203
HF1	8.95	198.00	1.61	5.98	1.07	0.17	0.78	0.15	0.65	0.13	0.40	0.07	0.54	0.10	14.17	3.08
HF2	10.80	153.00	2.12	7.75	1.41	0.23	1.01	0.18	0.85	0.17	0.54	0.10	0.76	0.13	20.70	3.86
HF3	13.40	203.00	2.48	9.20	1.66	0.25	1.26	0.23	1.13	0.21	0.64	0.11	0.87	0.15	19.48	4.67
HF4	14.30	117.00	2.72	9.98	1.79	0.26	1.37	0.23	1.12	0.22	0.64	0.11	0.83	0.14	18.40	4.92
HF5	15.10	143.00	2.92	10.70	1.84	0.29	1.39	0.23	1.10	0.21	0.62	0.11	0.80	0.13	19.63	4.80
HF6	26.10	140.00	5.49	18.40	3.03	0.41	2.04	0.31	1.46	0.28	0.83	0.13	0.96	0.16	21.32	7.03
HF7	24.50	193.00	5.11	17.20	2.84	0.40	1.85	0.29	1.30	0.25	0.75	0.12	0.92	0.15	21.62	5.64
HF8	37.30	132.00	7.48	29.10	3.96	0.53	2.60	0.37	1.58	0.28	0.86	0.14	0.97	0.15	23.31	7.64
HF9	34.20	156.00	7.23	27.00	3.86	0.53	2.49	0.38	1.66	0.31	0.92	0.14	1.06	0.16	21.16	7.63
HF10	22.70	216.00	4.77	16.30	2.69	0.43	1.80	0.30	1.39	0.27	0.82	0.14	1.02	0.16	20.09	7.03
HF11	26.10	315.00	5.40	18.40	3.03	0.48	2.00	0.34	1.50	0.29	0.84	0.15	1.12	0.18	21.01	7.03
HF12	27.70	148.00	5.95	19.70	3.21	0.55	2.14	0.33	1.55	0.30	0.87	0.15	1.10	0.17	21.32	7.20
HF13	30.70	240.00	6.66	22.40	3.61	0.60	2.34	0.36	1.65	0.31	0.96	0.17	1.24	0.19	22.70	7.05
HF14	35.80	142.00	7.42	27.30	3.92	0.46	2.48	0.37	1.66	0.30	0.93	0.15	1.16	0.18	18.71	6.87
HF15	36.10	157.00	7.67	28.30	4.16	0.53	2.63	0.39	1.79	0.34	1.03	0.18	1.27	0.21	20.40	7.98
HF16	41.00	143.00	8.76	31.60	4.72	0.57	3.02	0.45	2.06	0.36	1.07	0.17	1.25	0.20	18.71	8.82
HF17	65.70	323.00	14.60	53.80	7.86	0.80	4.69	0.69	2.90	0.50	1.42	0.22	1.64	0.26	26.38	11.30
HF18	58.20	212.00	13.50	49.30	6.80	0.77	3.85	0.56	2.24	0.40	1.19	0.19	1.36	0.21	22.54	9.02
HF19	109.00	132.00	28.10	106.00	13.30	1.42	6.48	0.86	3.32	0.58	1.81	0.26	1.99	0.29	24.84	12.20
HF20	81.40	192.00	21.10	76.90	9.75	1.03	5.15	0.72	2.93	0.52	1.54	0.24	1.79	0.26	23.00	11.10
HF21	204.00	117.00	50.30	195.00	27.20	3.16	14.10	1.80	7.63	1.37	4.16	0.62	4.35	0.61	25.30	31.40
HF22	329.00	135.00	76.30	286.00	50.70	6.49	30.90	4.16	20.20	3.65	10.40	1.58	10.50	1.52	24.54	93.60
HF23	330 00	204 00	74 50	283 00	51 90	6 98	34 40	4 91	24 10	4 43	12 50	1 88	12 40	1 79	22 85	112 00

表1云南临沧花岗岩带回龙卡矿区钻孔样稀土元素组成数据表

注:稀土氧化物含量测定由国土资源部成都矿产资源监督检测中心提供,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)完成,误差<5%。 样品为采自回龙卡矿区内所施工钻孔的全风化层新鲜样品。

## 3 典型钻孔剖析

研究区钻孔可以分为三类,即工业矿体钻孔、低品位矿体钻孔和未见矿钻孔。现选取 ZK13、ZK6、 ZK57 分别作为工业矿体钻孔、低品位矿体钻孔、未 见矿体钻孔的典型钻孔剖析如下。

#### 3.1 工业矿体钻孔剖析

ZK13 钻孔是研究区典型优质工业矿体钻孔,位 于研究区中东部平缓区域,现以此钻孔为例对研究 区工业矿体钻孔进行剖析。

ZK13 钻孔所处位置风化层厚度大,为巨厚的矿 层赋存提供了空间(图3)。ZK13 钻孔共揭露风化 层厚度 19 m,累计见矿体 15 m,其中工业矿体厚度 10 m,低品位矿体厚度 5 m。工业矿体稀土氧化物 总量为 902×10<sup>-6</sup>~2715×10<sup>-6</sup>,平均达 1428×10<sup>-6</sup>;低 品位矿稀土氧化物总量为 502×10<sup>-6</sup>~629×10<sup>-6</sup>。矿 体全部分布于全风化层(B1)中,品位含量在 11~12 m 深达到顶峰。风化层是稀土矿赋存的空间,足够 厚的风化层是形成巨厚稀土矿层的基本前提。 平缓的地势地貌条件是 ZK13 钻孔见矿较好的 一个重要因素。ZK13 钻孔处海拔为 1240 m,该钻 孔 2 km 范围之内海拔变化于 1200~1250 m 之间, 其周边地形起伏较为小。从 SE 向地形剖面图看 (图 3),ZK13 钻孔位于第二阶梯的平缓地带;从 NE 向地形剖面图看,ZK13 钻孔位于山顶之下的宽缓山 坡。ZK13 钻孔所处区域主体呈向北东倾斜的簸箕 状,进水、流水等淋滤条件和富集保存条件优越,从 而形成很厚的风化层和稀土矿层。

较好的水系沉积物异常特征是形成优质矿层的 有利指示。ZK13 钻孔位于铈、锆、钇水系沉积物异 常的南部,其北部、东部和东南部均分布有稀土元素 异常,元素套合性较好(图 1b)。水系沉积物异常是 有利基岩地质体的反映,是形成稀土矿层所需的物 质来源反映。水系沉积物异常分布与矿层分布有一 定偏移,这是由于水系沉积物样品介质和稀土元素 赋存介质不同导致的。

#### 3.2 低品位矿体钻孔

ZK6 钻孔是研究区典型低品位矿体钻孔,位于

工程编号	风化层	柱状图	深度 (m)	0 500	1000	品位(×1) 1500	0 <sup>-6</sup> ) 2000	2500	3000	地形地貌与水系沉积物异常特征
	A1腐殖层	-2-2-2-2	0.00	,	1	r	1	1	T	<b>地形地貌特征</b>
	/ A2黏土、 亚黏土层	$\begin{array}{c c} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot &$	2.00	- ÌR						海拔1240m,地势宽缓 1200m
	B1全风化黑	+ +	4.00	- ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	, <b>f</b> _					1100m
	云二长花岗 岩 3.6~5.6m:为低 品位矿体, TREO为 576×10 <sup>-6</sup> ~591 ×10 <sup>-6</sup>	+ + + + +	6.00	-	`````					1200m 1100m 0 500m
		+ +	8.00	-		×				ZK13钻孔位于地形起伏平缓的区域。 从SE向地形剖面图上看,ZK13钻孔位于 第二阶梯的平爆地带,从NE向地形到面
ZK13	B1全风化黑 云二长花岗 岩 5.6~15.6m:为 工业矿体, TREO为902× 10 <sup>6</sup> ~2715×10 <sup>-6</sup> , 平均1428×10 <sup>-6</sup>	+ + + + + +	10.00	-	Ŷ	X				第二前体的干线地带; 从NE问地形的面 图上看, ZK13钻孔位于山顶之下的宽缓 山坡。 ZK13钻孔所处区域主体呈向北东倾斜 的簸箕状, 进水、流水等淋滤条件优越。
	1 20/10/2	+ +	12.00	-	4					业委定和师臣党胜尔
		* + + +	14.00	-			数据4 	戋		小环0.0012开带村Ш. ZK13钻孔位于铈、锫、钇水系沉积物 异常的高地势处,其北部、东部和东南 部均分布有稀土元素异常,元素套合性 比较好。
	B1全风化黑 云二长花岗 岩 15.6~18.6m:为 低品位矿体, TREO为502× 10 <sup>6</sup> ~629×10 <sup>-6</sup>	// + + // + +	16.00	-		趋势约	式 【 【 【 】 【 】 】 】 】 】 】 】 】 】 】 】 】 】 】	丟位 iorizon		
	B1全风化黑 云二长花岗 岩无矿段	+ +	18.00	-			■低品位 Lean or ■工业矿 Econom	矿体层位 e body horiz 体层位 ic ore body	on horizon	





of Lincang granite belt, Yunnan province

研究区西部高地势陡峭区域,现以此钻孔为例对研 究区低品位矿钻孔进行剖析。

ZK6 钻孔所处位置风化层厚度小,有限的矿体 赋存空间限制了矿层发育规模(图4)。ZK6 钻孔共 揭露风化层厚度 11 m,累计见矿 3 m,均为低品位 矿,矿层稀土氧化物总量为 500×10<sup>-6</sup> ~ 540×10<sup>-6</sup>。 矿体全部分布于全风化层(B1)中,品位含量在 5 m 深达到峰值。有限的风化层厚度表明了稀土矿富集 保存条件有限,限制了稀土矿赋存的空间。

地势陡峭是 ZK6 钻孔见矿较差的另一因素。 ZK6 钻孔处海拔为 1260 m,该钻孔所处山坡的顶峰 海拔近 1400 m,地形较为陡峭(图 4)。无论从 SE 向还是从 NW 向地形剖面图看,ZK6 钻孔位于陡峭 地带,所处区域整体呈向北西倾斜的陡坡,山谷底部 为河流,水流动能高,淋滤冲刷强。陡峭的山体、强 淋滤冲刷作用不利于形成较厚的风化层和稀土矿 层。

ZK6钻孔南部的高地势处存在一钇水系沉积物 单元素异常,无其他稀土元素异常(图 1b),表明此 处基岩的稀土元素贡献力较东部也显著降低。

#### 3.3 未见矿体钻孔

ZK57 钻孔是研究区未见矿体钻孔之一,位于研 究区西南部未见矿体工程集中分布区,现以此钻孔 为例对研究区未见矿钻孔进行剖析。

ZK57 钻孔所处位置风化层厚度大,腐殖层、黏 土层和亚黏土层厚度占比明显高于见矿孔,坡积物



图 4 云南临沧花岗岩带回龙卡矿区 ZK6 钻孔工程见矿及地质特征 Fig. 4 Engineering and geological features of the ZK6 drilling project in the Huilongka deposit of Lincang granite belt, Yunnan province

组成比例显著	提高(图5)。	ZK57 钻	孔共揭詞	客风化
层厚度 20.3 r	n,其中腐殖质	层厚 0.3	m,黏土	、亚黏

土层厚 7.3 m,全风化层厚 12.7 m。各层位均未见 矿,样品稀土氧化物总量为 228×10<sup>-6</sup>~449×10<sup>-6</sup>,样

表 2 回龙卡地区黑云二长花岗岩主量元素(%)和稀土元素(×10<sup>-6</sup>)含量表 Table 2 Contents of major elements(%) and REE(×10<sup>-6</sup>) of biotite monzogranite in Huilongka area

样品编号	HL1	HL2	HL3	HL4	HL5	HL6	样品编号	HL1	HL2	HL3	HL4	HL5	HL6
$SiO_2$	65.38	66.10	65.14	68.30	69.54	64.26	La	49.6	50.7	48.8	52.8	52.5	52.2
$Al_2O_3$	12.67	12.04	12.93	12.95	12.71	13.42	Ce	104	102	96.1	112	112	112
CaO	2.35	1.89	1.25	2.13	0.91	1.35	Pr	11.5	11.7	10.9	12.7	12.8	12.6
$\mathrm{Fe}_2\mathrm{O}_3$	0.77	0.81	1.03	0.59	0.74	0.58	Nd	43.0	43.4	40.6	48.2	47.9	46.2
$K_2O$	3.16	2.56	3.29	4.27	4.07	4.20	Sm	7.65	7.90	7.49	8.61	8.54	8.46
MgO	2.28	2.81	2.26	2.08	2.07	2.07	Eu	1.45	1.47	1.64	1.53	1.37	1.49
MnO	0.05	0.07	0.05	0.04	0.04	0.05	Gd	6.19	6.06	6.56	6.95	6.71	6.75
Na <sub>2</sub> O	2.90	2.09	2.15	2.28	1.66	1.84	Tb	0.94	0.88	0. 98	1.09	0.96	1.04
TiO <sub>2</sub>	0.66	0.91	0.68	0. 59	0.64	0.72	Dy	5.22	4.16	5.49	6.49	4.96	5.82
$P_2O_5$	0.18	0.05	0.11	0.20	0.15	0.16	Ho	0.96	0.72	0.93	1.23	0.82	1.05
FeO	2.82	4.54	3.41	2.99	2.93	3.46	Er	2.55	1.80	2.20	3.26	2.04	2.75
$Na_2O+K_2O$	6.50	4.95	5.89	6.79	6.01	6.56	Tm	0.40	0.25	0.31	0.47	0.28	0.40
$K_2 O/Na_2 O$	1.09	1.23	1.53	1.87	2.45	2.28	Yb	2.50	1.50	1.86	2.81	1.72	2.33
σ	1.56	0.89	1.26	1.66	1.21	1.61	Lu	0.41	0.24	0.29	0.46	0.28	0.37
ANK	2.09	2.59	2.38	1.98	2.22	2.22	Sc	11.0	12.0	12.0	12.0	14.0	12.0
ACNK	1.51	1.84	1.93	1.49	1.91	1.82	Y	27.4	19.6	25.5	34.7	22.0	28.3
$\rm FeO^{T}$	3.76	5.61	4.70	3.65	3.76	4.32	ΣREE	274.4	264.7	261.7	305.2	289.0	293.6
SI	19.12	21.93	18.61	17.06	18.01	17.01	$\Sigma$ LREE	216.7	217.5	205.5	235.7	235.3	232. 8
AR	2.35	2.00	2.24	2.53	2.46	2.38	$\Sigma$ HREE	57.62	47.25	56.14	69.46	53.74	60.86

注:主量元素和稀土元素由国土资源部成都矿产资源监督检测中心提供。主量元素采用X射线荧光光谱法(XRF)完成,误差<5%;稀土元素采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)完成,误差<5%。样品采自回龙卡岩体分布区出露的新鲜基岩。

品稀土含量在 15 m 深处达到峰值,位于全风化层中。该钻孔腐殖层、黏土层和亚黏土层总厚度近 8 m,坡积物占比较高,或许是见矿不理想的原因之一。

ZK57 钻孔处海拔为 1240 m,该钻孔地处山麓 区域,钻孔附近及以南区域海拔介于 1200~1240 之 间,地形起伏较小。南北向和东西向地形剖面指示 (图 5),该区域无大幅度地势起伏,主体位于山体南 部的山麓区域,腐殖层、黏土层和亚黏土层覆盖较 厚,该区的风化层或非原地风化产物,而由上游风化 物搬运堆积于此形成。

另外,ZK57钻孔所处区域无稀土元素异常(图 1b)。

4 矿体分布主控因素分析

## 4.1 黑云二长花岗岩基岩为稀土矿成矿 提供物质来源

研究区的岩性主要为中细粒黑云二长花岗岩, 为临沧花岗岩带南部的组成部分。针对研究区基岩 特征,共采取了6件样品,对基岩的年龄、主量元素、 稀土元素及相关指数特征进行了分析(表2、表3)。

研究区中细粒黑云二长花岗岩基岩中 SiO<sub>2</sub> 含 量为 64.26%~69.54%,平均为 66.45%,属于中酸 性岩体。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 12.04%~13.42%,平均为 12.79%。Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 含量为 4.95%~6.79%,平均 为 6.12%。碱度率 AR 为 2~2.53,平均为 2.33;里 特曼指数 σ 为 0.89~1.66,平均 1.36;固结指数 SI



图 5 云南临沧花岗岩带回龙卡矿区 ZK57 钻孔工程见矿及地质特征

Fig. 5 Engineering and geological features of the ZK57 drilling project in the Huilongka deposit

of Lincang granite belt, Yunnan province

年龄分析结果
Pb
Ċ
Ā
部
裖
년 신다
全力
4
14
X
뵘
¥
龙
回
泡
司临
世
IN
Щ¥.
1117

Yunnan
Lincang.
area,
Huilongka
Е.
monzogranite
biotite
for
results
dating
U-Pb
Zircon
e 3
Table

		元素含量	$(\times 10^{-6})$				同位素	素比值					同位素年龄	қ(Ма)		
测点号	10	232 rru	238 + 1	Чd	$n(^{207}{ m Pb})_{\prime}$	$n(^{206}\mathrm{Pb})$	$n(^{207}{\rm Pb}).$	$/n(^{235}\mathrm{U})$	n( <sup>206</sup> Pb),	/n( <sup>238</sup> U)	$n(^{207}\mathrm{Pb})/n$	$n(^{206}{\rm Pb})$	$n(^{207}\mathrm{Pb})/n$	( <sup>235</sup> U)	$n(^{206}\mathrm{Pb})/n$	t( <sup>238</sup> U)
	d J	ЧI		1 D <sub>c</sub>	测值	$1\sigma$	测值	lσ	测值	$1\sigma$	测值	$1\sigma$	测值	$1\sigma$	测值	$1\sigma$
C1-U-Pb-001	20.93	47.80	116.74	0.67	0.0755	0.0022	1.5993	0.0591	0.1544	0.0043	1083	53	970	23	926	24
C1-U-Pb-002	36.20	143.43	191.26	1.24	0.0723	0.0021	1.5156	0.0442	0.1526	0.0027	994	61	937	18	916	15
C1-U-Pb-003	10.15	147.11	233.13	0.19	0.0495	0.0031	0.2375	0.0147	0.0350	0.0009	172	151	216	12	222	9
C1-U-Pb-004	47.31	186.26	229.80	1.35	0.0751	0.0016	1.5632	0.0336	0.1516	0.0018	1072	43	956	13	910	10
C1-U-Pb-005	47.42	85.79	128.10	1.14	0.1160	0.0023	4.4441	0.0956	0.2779	0.0035	1895	36	1721	18	1581	18
C1-U-Pb-006	126.45	151.52	620.98	1.01	0.0754	0.0014	1.8322	0.0354	0.1762	0.0019	1080	36	1057	13	1046	11
C1-U-Pb-007	26.46	635.75	508.41	0.26	0.0548	0.0018	0.2722	0.0109	0.0360	0.0008	467	76	244	6	228	5
C1-U-Pb-008	32.73	257.88	806.65	0.49	0.0489	0.0014	0.2340	0.0068	0.0348	0.0005	143	99	214	9	221	б
C1-U-Pb-009	16.94	266.57	353.63	0.38	0.0520	0.0018	0. 2585	0.0086	0.0361	0.0005	287	76	233	7	229	3
C1-U-Pb-010	112.09	187.11	469.17	0.28	0.0757	0.0017	2.0398	0.0484	0. 1955	0.0025	1087	46	1129	16	1151	14
C1-U-Pb-011	14.44	197.83	315.79	0.49	0.0541	0.0020	0.2632	0.0093	0.0356	0.0005	372	85	237	7	225	3
C1-U-Pb-012	7.86	141.19	161.14	1.63	0.0535	0.0021	0.2579	0.0106	0.0350	0.0006	350	89	233	6	222	3
C1-U-Pb-013	15.35	340.50	309.20	0.07	0.0484	0.0018	0.2340	0.0083	0.0355	0.0007	120	92	214	7	225	4
C1-U-Pb-014	16.26	265.86	309.31	0.96	0.0624	0.0037	0.3300	0.0203	0.0383	0.0010	687	129	290	15	242	9
C1-U-Pb-015	12.68	175.26	269.22	0.05	0.0531	0.0018	0.2669	0.0090	0.0365	0.0005	332	78	240	7	231	б
C1-U-Pb-016	12.21	167.12	275.76	0.00	0.0559	0.0028	0.2766	0.0144	0.0358	0.0009	450	105	248	11	226	9
C1-U-Pb-017	15.61	292.43	317.19	0.00	0.0536	0.0022	0. 2595	0.0103	0.0351	0.0005	367	76	234	~	223	б
C1-U-Pb-018	79.97	83.00	207.05	1.05	0.1122	0.0024	4.8240	0.0982	0.3104	0.0043	1836	39	1789	17	1743	21
C1-U-Pb-019	18.52	424.96	356.07	0.00	0.0517	0.0016	0.2541	0.0082	0.0354	0.0005	272	99	230	7	224	б
C1-U-Pb-020	10.04	114.53	222.38	1.52	0.0513	0.0020	0.2535	0.0095	0.0359	0.0005	254	89	229	8	227	б
C1-U-Pb-021	11.92	184.42	250.61	1.47	0.0510	0.0029	0.2451	0.0134	0.0353	0.0007	239	131	223	11	223	4
C1-U-Pb-022	327.84	254.88	575.76	0.53	0.1635	0.0027	9.7915	0.1554	0.4311	0.0045	2494	28	2415	15	2311	20
C1-U-Pb-023	24.59	635.75	462.20	0.07	0.0496	0.0014	0.2442	0.0067	0.0357	0.0004	176	69	222	5	226	б
C1-U-Pb-024	9.41	189.89	190.24	1.00	0.0576	0.0037	0.2823	0.0174	0.0355	0.0006	517	141	252	14	225	ю
C1-U-Pb-025	19.88	269.59	435.42	0.00	0.0513	0.0017	0.2506	0.0075	0.0356	0.0005	257	69	227	9	225	б
C1-U-Pb-026	20.99	212.31	458.01	1.52	0.0494	0.0017	0.2482	0.0075	0.0354	0.0005	169	78	225	9	224	б
C1-U-Pb-027	14.38	179.05	307.01	0.74	0.0495	0.0018	0.2511	0.0088	0.0368	0.0005	172	85	227	7	233	3
C1-U-Pb-028	18.62	166.04	435.35	0.00	0.0501	0.0021	0.2507	0.0102	0.0360	0.0006	211	96	227	8	228	4
注:锆石 U-Pb 同位	立素分析数:	据由中国活	注金地质总质	司山东局测	试中心提供	t,使用 X Se	ries2 电感耦	合等离子体	:质谱仪(YQ)	006)和激光	烧蚀 Compe	ex Pro ArF	Geolas (YQ0	61)以标?	龟测定程序	完成;
成分标定标样为「	Vist 610, 同	位素比值杨	<b>F样为 91500</b>	);实验室派	<b></b>	)级,检测温,	度 20~25℃	,湿度为40%	%~45%;数排	居处理软件う	h ICPMSDA	TACAL。 🕴	羊品采自回龙	2卡矿区例	<b>f</b> 处岩体基岩	呈裸露
区,样品新鲜。																

为17.01~21.93,平均为18.63。ANK—ACNK 图解显示,研究区岩体为过铝质岩(图 6a);AFM 图解显示其属于钙碱性系列(图 6b)。研究区岩体稀土元素球粒陨石标准化配分图显示为右倾型,即轻稀土富集型,Eu负异常明显,具有同碰撞型花岗岩的稀土配分型式(图 6c),结合前人研究,刘德利等(2008)、孔会磊等(2012)认为临沧花岗岩岩体属碰撞型花岗岩。岩体 U-Pb 锆石测年结果显示,除具有少量继承性古老锆石外,岩体 n(<sup>206</sup>Pb)/n(<sup>238</sup>U) 锆石各年龄值集中在221~242 Ma,加权平均年龄为226±1.6 Ma(表 3,图 6d),可确定岩体侵位于晚三叠世。因此,研究区基岩为侵位于晚三叠世分异程度较高的同碰撞成因过铝质钙碱性岩。

研究区基岩稀土元素的测试结果表明(表2),

基岩中稀土总量  $\Sigma$  REE 为 261.7×10<sup>-6</sup> ~ 305.2× 10<sup>-6</sup>,平均为 281.4×10<sup>-6</sup>。其中轻稀土总量  $\Sigma$  LREE 为 205.5×10<sup>-6</sup>~235.7×10<sup>-6</sup>,平均为 223.9×10<sup>-6</sup>;重 稀土总量  $\Sigma$  HREE 为 47.25×10<sup>-6</sup>~69.46×10<sup>-6</sup>,平均 为 57.51×10<sup>-6</sup>。基岩中的稀土元素为研究区稀土 矿成矿提供了物质来源。陆蕾等(2019)在研究临 沧地区离子吸附型稀土矿矿物学特征时,证实了榍 石和磷灰石是临沧岩体离子吸附型稀土矿床中 REE<sup>3+</sup>的主要来源。在回龙卡矿区的下游,具有一 处大型独居石、磷钇矿、锆英石砂矿,也间接表明上 游回龙卡地区的岩体具有稀土成矿物质基础。

#### 4.2 地形地貌控制稀土元素的富集保存

#### 和垂向分布

根据对研究区地形地貌和钻孔含矿特征的对比



图 6 云南临沧回龙卡矿床基岩性质图解 Fig. 6 Diagram of base rock nature in the Huilongka deposit, Lincang, Yunnan

分析,发现可将研究区大致分为三部分:高陡第一阶梯,宽缓第二阶梯和低洼第三阶梯(图7a)。不同阶梯及同一阶梯的不同地貌在风化层发育、稀土元素 富集保存、稀土元素的垂向分布等方面存在显著差 异。

高陡第一阶梯表现为"整体地势高,地形陡峭, 含矿一般"的特征(图 7e—g)。在高陡第一阶梯的 山顶,往往风化层厚度低,常小于 15 m,含矿层厚度 薄,稀土元素垂向富集分布形态表现为"中凸型", 不见矿体或仅可见较薄的低品位矿体,如 ZK6。在 高陡第一阶梯的山坡中上部,一般可以形成较厚的 风化层,但由于地势上游稀土元素物质补给有限,矿 体富集程度有限,品位一般,稀土元素垂向富集分布 形态表现为"波浪型",一般可见低品位矿体,如 ZK9。在高陡第一阶梯的山坡中、下部,风化层较 厚,稀土元素富集程度随深度逐渐增大,稀土元素垂 向富集分布形态表现为"下斜型",中深部可见低品 位矿体,如ZK10。第一阶梯主体地势高,地形较陡, 上游风化淋滤物质补给有限,在这一阶梯的中深部 一般可形成低品位矿体,工业矿体找矿难度较大。



图 7 云南临沧回龙卡矿床地形地貌与稀土富集关系图

Fig. 7 Relationship between topography and rare earth enrichment in the Huilongka deposit, Lincang, Yunnan

宽缓第二阶梯表现为"整体地势中等,地形起 伏小,风化厚度大,含矿优越"的特征(图 7b—d)。 该区域地形起伏较小,常表现为浑圆状山体,风化层 厚度普遍在 20 m 左右,常含有工业矿体。在宽缓第 二阶梯的山坡中上部,稀土元素垂向分布形态呈 "上凸型",矿体常赋存在 10 m 以浅,如 ZK11;在宽 缓第二阶梯的山底,稀土元素垂向分布形态呈"下 凸型",矿体常赋存在 15 m 以深,如 ZK12;在宽缓第 二阶梯的山顶,稀土元素垂向分布形态呈"中凸 型",矿体常赋存在 5~15 m,如 ZK13。第二阶梯主 体地势中等,地形起伏小,上游风化淋滤物质补给充 足,稀土元素富集保存条件适宜,在这一阶梯往往形 成规模工业矿体。

低洼第三阶梯表现为"整体地势低洼,大型山谷地貌,坡积厚度大,一般不含矿"的特征(图7h)。 该区域一般位于山体底部,地势低洼,常表现为谷地,有时为现代河流阶地。风化厚度一般大于20 m,上部腐殖质层、黏土和亚黏土层覆盖厚度大,风 化蚀变程度高。过于强烈的风化作用容易使上游淋 滤补给的稀土元素随地表水迁移流失而无法富集保 存,并不利于成矿(Sanematsu et al.,2009;赵芝等, 2019),稀土元素垂向分布形态呈"波浪型",一般达 不到成矿指标而不能形成矿体。

4.3 湿热气候和充足降水为持续风化淋滤

#### 提供了条件

据研究,我国华南地区离子吸附型稀土矿分布 区多处于亚热带气候区,年平均气温在16~22℃,年 均降雨量在1000~1800 mm(赵芝等,2019)。研究 区地处亚热带气候区,海拔为1100~1400 m,年均降 水量为1341 mm,年平均气温为18.7℃,湿度为 80%~86%,湿热气候和充足的降水为岩体经受持续 的风化淋滤作用形成足够厚的全风化层提供了条 件,满足离子吸附型稀土矿成矿气候条件。

## 5 结论

云南临沧花岗岩带回龙卡矿床属于轻稀土离子 吸附型稀土矿,由西向东总体上具有由低品位矿体 向工业矿体过渡的趋势,表现出"普遍含矿,西贫东 富"的显著特点,总体上可划分为工业矿分布区、低 品位矿分布区和无矿分布区,并对各类典型钻孔进 行了详细剖析。通过对研究区矿床地质特征和典型 钻孔的剖析,认为:

(1)研究区中酸性岩体即黑云二长花岗岩为侵 位于晚三叠世分异程度较高的同碰撞成因过铝质钙 碱性岩,为稀土成矿提供了物质来源。

(2)研究区地形地貌可划分为高陡第一阶梯、 宽缓第二阶梯和低洼第三阶梯,控制着稀土元素的 富集保存和垂向分布形态。高陡第一阶梯的中深部 一般可形成低品位矿,工业矿体找矿难度较大;宽缓 第二阶梯是最有利的找矿地貌特征,可形成规模工 业矿体;低洼第三阶梯一般难以形成矿体。

(3)研究区地处亚热带气候区,湿热气候和充足降水为岩体经受持续的风化淋滤作用形成有利的 全风化层提供了有利条件。

#### 参考文献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

- 陈吉琛. 1989. 滇西花岗岩类形成的构造环境及岩石特征. 云南地 质, 8(3~4):205~212.
- 刀俊山,黄俊坤,贾奎,张卫座. 2017. 云南省富东离子吸附型稀土 矿矿床成因浅析.世界有色金属,(3):194~196.
- 何显川,李杨,张民.2016. 云南上允花岗岩风化壳离子吸附型稀土 矿床成矿条件浅析.世界有色金属,(3):117~122.
- 何耀,程柳,李毅,冉登基,韦青松. 2015. 离子吸附型稀土矿的成 矿机理及找矿标志.稀土,36(4):98~103.
- 孔会磊,董国臣,莫宣学,赵志丹,朱弟成,王硕,李荣,王桥林. 2012. 滇西三江地区临沧花岗岩的岩石成因:地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素约束.岩石学报,28(05):1438~1452.
- 李兴林. 1996. 临沧复式花岗岩基的基本特征及形成构造环境的研 究. 云南地质, 15(1): 1~18.
- 刘德利,刘继顺,张彩华,周余国. 2008. 滇西南澜沧江结合带北段 云县花岗岩的地质特征及形成环境. 岩石矿物学杂志,27(1): 23~31.
- 陆蕾,王登红,王成辉,赵芝,冯文杰,徐晓春,于沨. 2019. 云南 临沧花岗岩中离子吸附型稀土矿床的成矿规律. 地质学报,93 (6):1466~1476.
- 王登红,赵芝,于扬,赵汀,李建康,代晶晶,刘新星,何晗晗. 2013. 离子吸附型稀土资源研究进展、存在问题及今后研究方向. 岩矿测试,32(5):796~802.
- 王宏坤, 杜海斌, 漆颖超, 李杨. 2019. 滇西离子吸附型稀土矿床特 征研究. 世界有色金属,(1):226~228.
- 王京彬, 阮道源. 1989. 河岭式酸性稀土火山岩系的演化特征与稀土 富集. 中国稀土学报, 7(2):68~72.
- 吴澄宇,黄典豪,郭中勋. 1989. 江西龙南地区花岗岩风化壳中稀 土元素的地球化学研究. 地质学报,63(4):349~362.
- 徐志刚,陈毓川,王登红,陈郑辉,李厚民. 2008. 中国成矿区带划 分方案. 北京:地质出版社.
- 张彬,马国桃,高儒东,曾招金,汪亮,左正龙,黄帅科. 2018. 滇 西腾冲—梁河地区土官寨离子吸附型稀土矿床形成条件及找 矿预测.地球科学,43(8):2628~2635.
- 张民,李杨,何显川,冯俊龙,郑瑶,王宏坤,杜金刚,王书山. 2018. 滇西临沧花岗岩中段离子吸附型稀土矿成矿特征研究. 沉积与特提斯地质,38(4):37~47.
- 张祖海. 1990. 华南风化壳离子吸附型稀土矿床. 地质找矿论, 5 (1): 57~71.
- 曾凯,李朗田,祝向平,夏斌. 2019. 滇西勐往—曼卖地区离子吸附

型稀土矿成矿规律与找矿潜力.地质与勘探,55(1):18~27.

- 赵芝,王登红,陈振宇,陈郑辉,郑国栋,刘新星.2014. 江西龙南稀 土花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、内生矿化特征及成因讨论. 地球学 报,35(6):719~725.
- 赵芝,王登红,陈郑辉,陈振宇.2017.南岭离子吸附型稀土矿床成 矿规律研究新进展.地质学报,91(12):2814~2827.
- 赵芝,王登红,王成辉,王臻,邹新勇,冯文杰,周辉,黄新鹏,黄 华谷. 2019. 离子吸附型稀土找矿及研究新进展.地质学报,93 (6):1454~1465.
- Chen Jichen. 1989 #. Tectonic surroundings forming west Yunnan granites and characters. Yunnan Geology, 8(3~4):205~212.
- Dao Junshan, Huang Junkun, Jia Kui, Zhang Weizuo. 2017&. Analysis of genesis of Fudong ion-adsorbed rare earth ore deposit in Yunnan Province. World Nonferrous Metals, (3):194~196.
- Deng Jun, Wang Changming, Zi Jianwei, Xia Rui and Li Qiang. 2018. Constraining subduction—collision processes of the Paleo-Tethys along the Changning—Menglian suture: New zircon U-Pb ages and Sr—Nd—Pb—Hf—O isotopes of the Lincang batholith. Gondwana Research, 62:75~92.
- He Xianchuan, Li Yang, Zhang Min. 2016. Analysis on the metallogenic conditions of the ion adsorption type rare earth deposit on the upper and the granite weathering crust in Yunnan. World Nonferrous Metals, (3):117~122.
- He Yao, Cheng Liu, Li Yi, Ran Dengji, Wei Qingsong. 2015&. The mineralization mechanism of the ion-adsorption type rare earths elements ore and prospecting marks. Chinese Rare Earths, 36(4): 98~103.
- Ishihara Shunso, Hua Renmin, Hoshino Mihoko, Murakami Hiroyasu. 2008. REE abundance and REE minerals in granitic rocks in the Nanling Range, Jiangxi Province, Southern China, and generation of the REE-rich weathered crust deposits. Resource Geololgy, 58 (4):355~372.
- Kong Huilei, Dong Guochen, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhu Dicheng, Wang Shuo, Li Rong, Wang Qiaolin. 2012&. Petrogenesis of Lincang granites in Sanjiang area of western Yunnan Province: Constraints from geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Hf isotope. Acta Petrologica Sinica, 28(5):1438~1452.
- Li Xinglin. 1996&. Basic characteristics and formation structural environment of Lincang composite granite batholiths. Yunnan Geology, 15(1): 1~18.
- Liu Deli, Liu Jishun, Zhang Caihua, Zhou Yuguo. 2018&. Geological characteristics and tectonic setting of Yunxian granite in the northern part of south Lancangjiang convergent margin, western Yunnan Province. Acta Petrologica et Mineralogica, 27(1):23~31.
- Lu Lei, Wang Denghong, Wang Chenghui, Zhao Zhi, Feng Wenjie, Xu Xiaochun, Yu Feng. 2019&. Mineralization regularity of ionadsorption type REE deposits on Lincang granite in Yunnan province. Acta Geologica Sinica, 93(6): 1466~1476.
- Maulana Adi, Yonezu Kotaro, Watanable Koichiro. 2014. Geochemistry of rare earth elements (REE) in the weathered crusts from the granitic rocks in Sulawesi Island, Indonesia. Journal of Earth Science, 25(3): 460~472.
- Sanematsu Kenzo, Murakami Hiroyasu, Watanable Yasushi, Duangsurigna Sinomxeun, Vilayhack Siphandone. 2009. Erichment

of rare earth elements (REE) in granitic rocks and their weathered crusts in central and southern Laos. Bulletin of the Geological Survey of Japan, 60(11/12): 527~558.

- Sanematsu Kenzo, Kon Yoshiaki, Imai Akira, Watanabe Koichiro, Watanabe Yasushi. 2013. Geochemical and mineralogical characteristics of ion-adsorption type REE mineralization in Phuket, Thailand. Mineralium Deposita, 48:437~451.
- Wang Denghong, Zhao Zhi, Yu Yang, Zhao Ting, Li Jiankang, Dai Jingjing, Liu Xinxing, He Han. 2013&. Progress, problems and research orientation of ion-adsorption type rare earth resources. Rock and Mineral Analysis, 32(5): 796~802.
- Wang Hongkun, Du Haibin, Qi Yingchao, Li Yang. 2019&. Study on characteristics of western Yunnan ion adsorption type rare earth deposits. World Nonferrous Metals, (1):226~228.
- Wang Jingbin, Ruan Daoyuan. 1989&. Evolution and reconcentration of Heling type acidic volcanic rock series. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 7(2): 68~72.
- Wu Chengyu, Huang Dianhao, Guo Zhongxun. 1989&. REE geochemistry in the weathering process of granites in Longnan County, Jiangxi Province. Acta Geologica Sinica, (4): 349~362.
- Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui, Li Houmin. 2008 #. China's Metallogenic Zone Division Scheme. Beijing: Geological Publishing House.
- Zeng Kai, Li Langtian, Zhu Xiangping, Xia Bin. 2019&. The metallogenic regularity and prospecting potential of rare earth deposits of ion-adsorbent type in the Mengwang—Manhai area, western Yunnan. Geology and Exploration, 55(1):18~27.
- Zhang Bin, Ma Guotao, Gao Rudong, Zeng Zhaojin, Wang Liang, Zuo Zhenglong, Huang Shuaike. 2018 &. Formation conditions and prospecting prediction of Tuguanzhai ion-adsorption type REE deposit in Tengchong—Lianghe area. Earth Science, 43(8): 2628 ~2635.
- Zhang Min, Li Yang, He Xianchuan, Feng Junlong, Zheng Yao, Wang Hongkun, Du Jingang, Wang Shushan. 2018&. Mineralization of the ion-adsorption type REE deposits in the central part of the Lincang granites in western Yunnan. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 38(4):37~47.
- Zhang Zuhai. 1990&. A study on weathering crust ion adsorption type REE deposits, south China. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 5(1): 57~71.
- Zhao Zhi, Wang Denghong, Chen Zhenghui, Chen Zhenyu. 2017&. Progress of research on metallogenic regularity of ion-adsorption type REE deposit in the Nanling Range. Acta Geologica Sinica, 91 (12): 2814~2827.
- Zhao Zhi, Wang Denghong, Chen Zhenyu, Chen Zhenghui, Zheng Guodong, Liu Xinxing. 2014&. Zircon U-Pb age, endogenic mineralization and petrogenesis of rare earth ore-bearing granite in Longnan, Jiangxi Province. Acta Geoscientica Sinica, 35(6): 719 ~725.
- Zhao Zhi, Wang Denghong, Wang Chenghui, Wang Zhen, Zou Xinyong, Feng Wenjie, Zhou Hui, Huang Xinpeng, Huang Huagu. 2019&. Progress in prospecting and research of ion-adsorption type REE deposits. Acta Geologica Sinica, 93(6):1454~1465.

## Geological characteristics and controlling factors of the Huilongka ion-adsorption type REE deposit in Lincang granite belt, Yunnan Province

ZHANG Baotao<sup>1)</sup>, LAN Xinjie<sup>1)</sup>, JIN Gang<sup>1)</sup>, LI Xingliang<sup>1)</sup>, ZHANG Yongsan<sup>1)</sup>, HU Zhaoguo<sup>1)</sup>, SUN Luwei<sup>2)</sup>, WANG Xiangwei<sup>2)</sup>, ZHANG Xiulong<sup>1)</sup>, GUO Wei<sup>1)</sup>

Geological Exploration Institute of Shandong Zhengyuan, China Metallurgical Geology Bureau, Jinan, 250013;
 Shandong Zhenyuan Geological Resources Exploration Co., LTD, Jinan, 250101

Abstract: The Huilongka REE deposit, Lincang, Yunnan, located in the south of Lincang granite belt, is a large ion-adsorption type REE deposit newly discovered. By analyzing geological characteristics, drilling result and test data in research area, based on analysis of typical drilling, mineralization regularity and controlling factors of the Huilongka ion-adsorption type REE deposit were explorered. The Huilongka REE deposits are light rare earth ion adsorption type, showing the distinctive features of "mineralization universally, richer in east and poorer in west". The research area was divided into three parts: industrial ore distribution area, low grade ore distribution area and non-mineral distribution area. The biotite monzogranite provides mineralization material for the deposit. According to the topography, the study area can be divided into the high steep first step, the gentle second step and the low third step. The topography controls the enrichment, preservation and vertical distribution of rare earth elements. The second step is the most favorable prospecting feature, which can form a scale industrial ore body. It's difficult to find industrial ore in the first step, and its deep part can generally form low-grade ore. The third step is generally difficult to form ore bodies. The hot and humid climate and sufficient precipitation provide conditions for fully weathered layer formation providing metallogenic space.

Keywords: ion-adsorption type REE deposit; Lincang granite belt; controlling factors; Huilongka, Yunnan

Acknowledgements: This study was supported by the Geological Survey Project of China Geological Survey (No. DD20179604)

First author: ZHANG Baotao, male, born in 1987, engineer, mainly engaged in mineralogy, petrology and geology research; Email: zhbaotao@163.com; ORCID: 0000-0001-6386-8059

Manuscript received on: 2019-08-14; Accepted on: 2020-02-08; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview. 2020.02.009