

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2023.05.02

引用格式: 赵芝,王登红,刘善宝,等.四川省牦牛坪矿床外围氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉型稀土矿石的发现及其意义[J].中国地质调查,2023,10(5):9-16.(Zhao Z,Wang D H,Liu S B,et al. Discovery of the bastnaecite-fluorite-barite-calcite type REE ore in the periphery of Maoniuping deposit in Sichuan Province and its significance[J]. Geological Survey of China, 2023,10(5):9-16.)

四川省牦牛坪矿床外围氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉型稀土矿石的发现及其意义

赵芝¹,王登红¹,刘善宝¹,王伟^{2,3},于扬¹,纪德宝³,何斌⁴,于泓¹,
苗浩³,班西雨⁵,金雅楠²

(1. 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室,中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037;
2. 成都理工大学,四川 成都 610059; 3. 四川省地质矿产(集团)有限公司,四川 成都 610017;
4. 中稀(凉山)稀土有限公司,四川 冕宁 615600; 5. 中国地质大学(北京)地球科学与资源
学院,北京 100083)

摘要:四川省牦牛坪矿床是全球第三大稀土矿床(仅次于我国白云鄂博和美国芒廷帕斯),近期在其外围取得了找矿新突破——在龙家沟一带第四系(厚达50 m以上)之下探获了隐伏的两类厚大稀土矿体,第一类为氟碳铈矿-霓辉石-萤石-重晶石型,第二类为氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石型。其中,氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石型矿脉整体厚度(视厚度)超过100 m,稀土平均品位4.6%。经多晶X射线衍射分析,此类矿石主要由方解石(40%~75%)、萤石(25%~58%)、重晶石(5%~25%)和氟碳铈矿(1%~16%)组成。根据矿石的结构、构造及矿物组成,可将其形成分为早、晚两个阶段:早阶段矿石主要呈中粗粒结构,块状构造、斑杂状构造;晚阶段矿石呈中细粒角砾状构造、流动构造。此类品位高、易采选的新型矿体的发现,是新一轮找矿突破战略行动实施以来在稀土矿产勘查方面取得的重要突破。建议在牦牛坪矿床及其外围进一步开展寻找氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉型稀土矿体的地质找矿工作。

关键词: 氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉; 稀土元素; 牦牛坪矿床

中图分类号: P618.6; P618.7

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2023)05-0009-08

0 引言

攀西冕宁—德昌稀土成矿带不仅是我国乃至全球重要的稀土资源开采开发基地,也是研究碳酸岩-碱性岩型稀土矿床的理想之地。该成矿带北起冕宁县,经西昌至德昌县以南,全长约150 km、宽10 km^[1-2],其北端分布有牦牛坪超大型矿床、木落寨和里庄洋房沟中型矿床,南部则分布大陆槽大型矿床。牦牛坪矿床规模大且产出的氟碳铈矿颗粒

粗大、易选冶,加上交通条件便利,是冕宁—德昌稀土成矿带中主要的研究和开采对象。

牦牛坪稀土矿田分布于冕西碱长花岗岩岩体中段,矿化与喜马拉雅期碳酸岩-碱性正长岩杂岩体密切相关^[3-5]。矿化带受哈哈断裂带控制,主体呈NNE向展布,自北而南包括三岔河、牦牛坪和包子村3个矿段(矿床),全长13 km,宽200~600 m^[6]。中部的牦牛坪主矿段以发育重晶霓辉石伟晶岩型矿石为特色,此类矿石充填于围岩断裂带中形成大脉、细脉以及细网脉-浸染状,构成了工业矿体的主

收稿日期: 2023-09-21; 修订日期: 2023-09-25。

基金项目: 中国地质调查局“战略新兴产业矿产地质调查工程(编号: DD20230034)”“四川康定—云南个旧稀有稀土矿产地质调查(编号: DD20230290)”“中国矿产地质志续编与产品服务(编号: DD20221695)”和中稀(凉山)稀土有限公司“四川省牦牛坪、大陆槽稀土成矿规律与找矿预测(编号: LSXT2023001)”项目联合资助。

第一作者简介: 赵芝(1984—),副研究员,主要从事稀土成矿规律研究工作。Email: zhaozhi_sun@163.com。

通信作者简介: 王登红(1967—),男,二级研究员,博士生导师,中国地质调查局“战略新兴矿产调查工程”首席专家,主要从事矿产资源研究工作。Email: wangdenghong@vip.sina.com。

体^[6-7]。在北部的三岔河和南部的包子村,碳酸岩-碱性正长岩杂岩体不发育,稀土矿化弱而分散^[6]。2010—2017 年,四川省地质矿产勘查开发局 404 地质队完成了牦牛坪南部普悟沟稀土矿普查工作,发现并圈出了 11 个工业矿体,认为矿石类型以方解石碳酸岩型为主。近年来,本文作者团队通过对牦牛坪南部龙家沟稀土矿产地地质调查,并通过钻孔验证,发现了高品位氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉型矿石,丰富了稀土矿石类型,拓宽了牦牛坪矿床外围及深部找矿思路,对于增储上产意义重大。本文主要介绍此类矿石的结构、构造及矿物组成,并探讨其成因,为区域找矿工作提供借鉴。

1 牦牛坪矿床地质概况

牦牛坪矿床已知长度约为 2.65 km (19—72 号勘探线之间),宽度 300 ~ 600 m^[8]。矿体严格受哈哈断裂带控制,主体为 NNE—NE 向的平行细脉带及大脉,矿带东西两侧则是以 NNE—NE 向矿脉为骨干的由多组矿脉相互贯通、交织而成的细网脉带^[6-9],如图 1 所示^[10]。

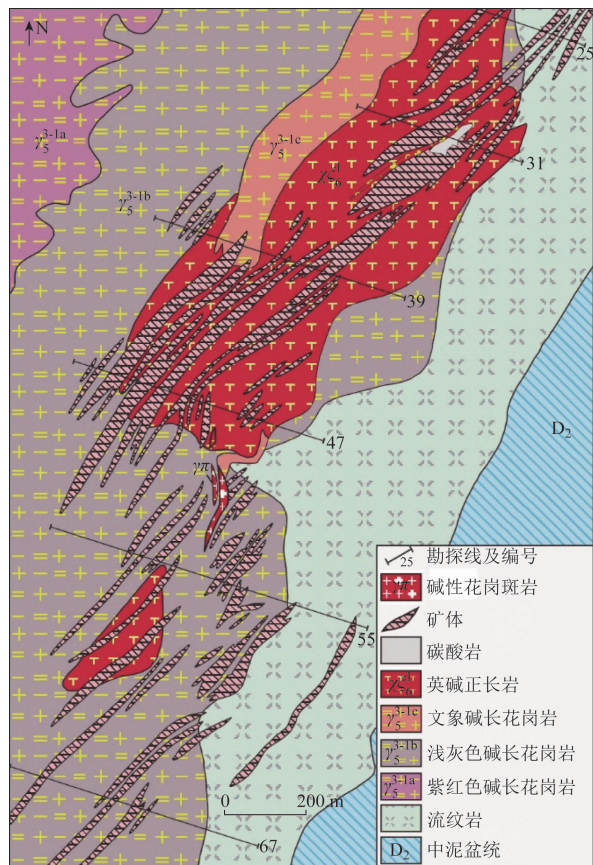


图 1 四川省牦牛坪稀土矿床地质简图^[10]

Fig.1 Geological sketch of Maoniuping REE deposit in Sichuan Province^[10]

牦牛坪矿床原生矿石类型主要呈脉型和面型分布^[11]。脉型矿石可进一步划分为碱性伟晶岩型(包括重晶霓辉石型和正长霓辉石型)和方解石碳酸岩型,前者在矿区内分布广泛,稀土品位较富,后者仅分布在 23—36 勘探线范围之内,品位一般较低;面型矿石分布最为广泛,品位一般较低,主要包括穿插于围岩破碎带中的细脉、细网脉-浸染型矿石,围岩可以是碱长花岗岩型(燕山期)、英碱正长岩型(喜马拉雅期),也可以是流纹岩型,其中,碱长花岗岩型主要分布在 47—71 勘探线,英碱正长岩型分布在 23—47 勘探线,流纹岩型分布在 33—71 勘探线东缘^[7,11]。此外,在牦牛坪矿区还发现了角砾岩型矿石,但仅出现于矿区中部和北部。角砾岩的角砾主要为棱角状英碱正长岩,基质呈黑色,由细粒萤石、重晶石、方解石和氟碳铈矿组成^[12]。

2 龙家沟稀土矿石类型

龙家沟位于牦牛坪矿床南部,地表第四系覆盖广泛,仅局部出露含氟碳铈矿的粗粒萤石-重晶石-方解石脉,但产状不清。通过对龙家沟稀土矿产地地质调查,并通过钻孔验证,在厚 50 ~ 60 m (视厚度,下同)浮土层之下,揭露出厚大的氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石矿脉,属于完全隐伏矿体。矿脉总厚度超过 100 m,最宽的脉有 17 m,超过 5 m 的脉体有 8 条。大脉(>30 cm)周围常配套细网脉,由于脉体的充填使围岩发生破碎,多形成角砾状构造,强烈之处则形成角砾岩。

钻孔 ZK001 进尺 351.69 m 揭露的围岩主要有燕山期灰白色中细粒碱长花岗岩(矿体底板未见底)、灰白色白云石大理岩、变质砂岩及辉长岩。灰白色中细粒碱长花岗岩和灰白色白云石大理岩中发育破碎带,岩石明显发生碎裂、泥化现象。碱长花岗岩发生碳酸盐化、萤石化、重晶石化、黄铁矿化、白云母化等蚀变。碱长花岗岩侵入大理岩中,接触带岩石破碎。由钻孔揭露矿石类型自上而下有两种。

(1) 氟碳铈矿-霓辉石-萤石-重晶石脉型矿石(图 2(a))。矿脉厚 10.78 m,稀土氧化物(rare earth oxides, REO)介于 2.81% ~ 12.33% 之间,平均为 6.43% (样品数 $n = 6$)。由于风化强烈,矿石呈土状,局部可见重晶石残晶,霓辉石风化呈黑色土黏土。样品 ZK001-10 经多晶 X 射线衍射(X-ray diffraction, XRD)分析,显示主要由重晶石(58%)、萤石(22%)和石英(13%)组成,含少量氟碳铈矿(2%)及黏土(5%)(表 1,图 3(a))。

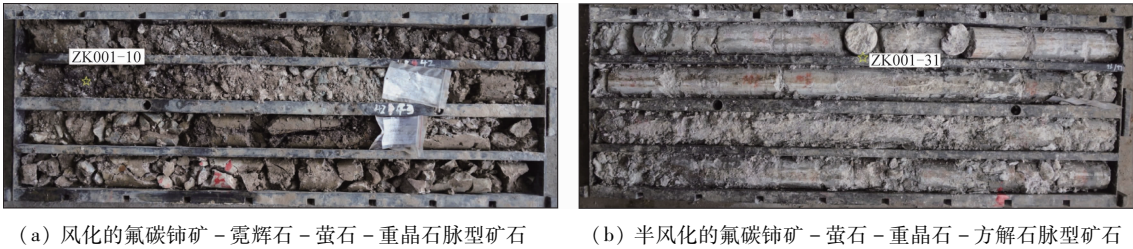


图2 龙家沟钻孔 ZK001 典型矿石产出特征

Fig.2 Characteristics of the typical ores in ZK001 of Longjiagou

表1 龙家沟典型稀土矿石样品矿物组成

Tab 1 Mineral composition of typical REE ore samples in Longjiagou

样号	深度/m	性质	矿物含量/%						
			方解石	萤石	重晶石	氟碳铈矿	石英	黏土	其他矿物
ZK001-10	79.0	黑色土状	0	22	58	2	13	5	0
ZK001-12	82.5	灰白夹紫色土状	42	11	23	23	0	1	0
ZK001-14	87.7	灰白色夹紫色, 氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉, 含围岩角砾, 半风化	46	19	23	5	0	6	1(菱锆矿)
ZK001-16	94.3	灰白色夹紫色, 氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉, 含碱性花岗岩角砾, 半风化	49	19	6	3	7	0	16(碱性长石)
ZK001-19	107.6	灰白色夹紫色, 氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉, 半风化	63	21	12	3	0	1	0
ZK001-21	119.0	土黄色土状	75	8	10	2	0	5	0
ZK001-22	125.0	灰白色岩石碎块	71	9	18	0	0	2	0
ZK001-29	189.0	紫色夹灰白色, 氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉, 半风化	39	23	14	6	5	0	13(菱锆矿)
ZK001-31	201.0	紫色夹灰白色, 氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉, 半风化	58	10	15	16	0	1	0

注: 多晶 X 射线衍射分析由中国地质科学院矿产资源研究所完成, 正压法制样, 测试仪器为德国布鲁克多晶 X 射线衍射仪 D8 DISCOVERY。测试条件为电流 40 mA、电压 40 kV, 扫描范围 2° ~ 70°, 扫描步长 0.02°, 每步扫描时间 0.25 s。数据处理软件为 MID JADE 8.6 (授权版), PDF 数据库为 PDF-4 + 2023 (授权版), 矿物半定量-定量分析采用全谱拟合法。

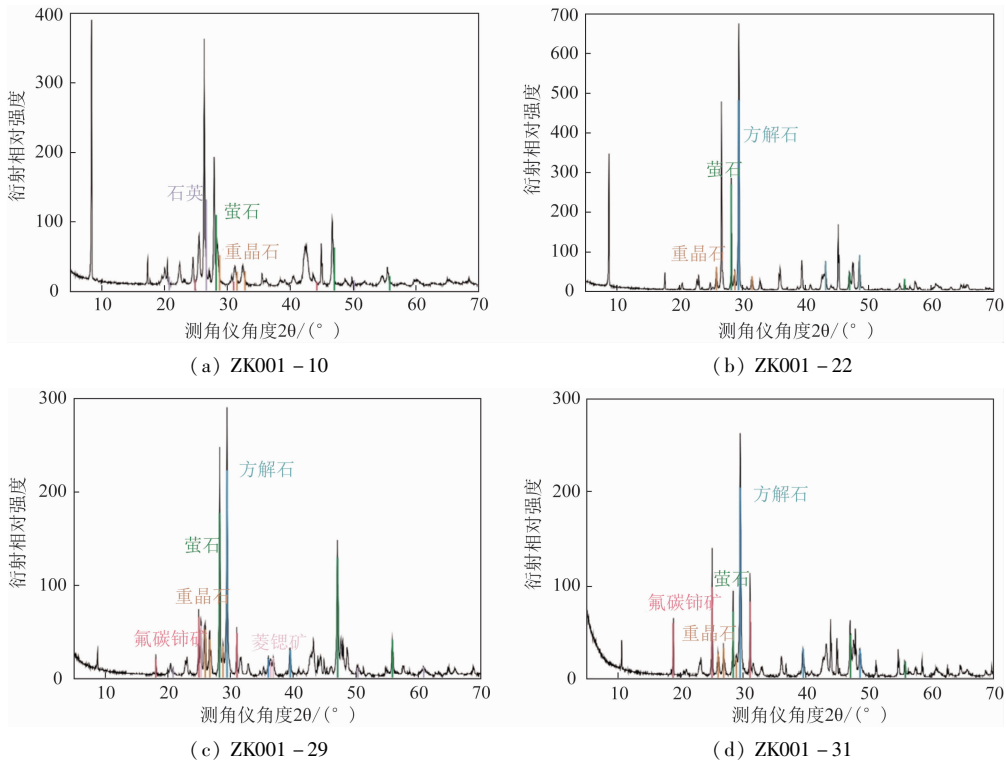


图3 龙家沟典型稀土矿石样品的 XRD 图谱

Fig.3 XRD patterns of the typical REE ore samples in Longjiagou

(2) 氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉型矿石(图 2(b))。在钻孔 74.31 ~ 269.0 m 间见多条厚度不等的脉体, 稀土氧化物 (rare earth oxides, REO) = 1.04% ~ 18.23%, 平均为 4.6% ($n = 73$)。矿石呈半风化, 手捏易碎, 仅局部呈块状, XRD 分析结果显示, 主要由方解石、萤石、重晶石和氟碳铈矿组成, 含不等量的黏土, 少量的菱锆矿、白云母(1%左右)、黄铁矿(<1%)、方铅矿(<1%)(表 1, 图 3(b),(c),(d))。方解石、萤石、重晶石和氟碳铈矿含量变化范围较大, 大部分样品中方解石含量未超过 50%。萤石和重晶石含量占 15% ~ 40%。方解石含量高者, 氟碳铈矿含量反而低(<2%): 一件 2 m 长的组合样中 REO = 1.8%, 样品 ZK001-21 中氟碳铈矿含量为 2%; 二件组合样中 REO < 1%, 样品 ZK001-22 中 XRD 分析未检测出氟碳铈矿。在手标本上可以观察到早晚两期矿脉(图 4(a))。早

期矿脉(图 4(b))呈灰白色, 中粗粒结构, 块状构造、斑杂状构造。方解石呈灰白色, 粗粒、半自形晶; 萤石呈紫色, 粗粒、半自形; 重晶石呈白色, 因风化呈蜂窝状; 氟碳铈矿呈蜡黄色板柱状, 粒径多在 0.2 ~ 1 cm 之间, 浸染状或团块状不均匀分布。晚期矿脉呈紫色夹灰白色(图 4(c)), 细粒结构, 角砾构造、流动状构造。矿石矿物组成与早阶段矿脉相似, 只是方解石的含量相对降低。晚阶段矿石中可以看到早阶段粗粒的萤石、氟碳铈矿和方解石矿物角砾或矿石角砾, 胶结物中的方解石呈微细粒, 萤石呈细条带状。显微镜下观察, 晚期矿脉中氟碳铈矿呈两种产出方式: 第一种呈矿物碎屑, 半自形板状、棱角状、不规则状, 粒径大小不等, 大的可达 1 cm, 晶体裂纹发育, 沿着裂隙发生萤石化、碳酸盐化(图 5-1); 第二类则呈细小的柱状晶体, 自形, 粒径 < 1 mm, 裂纹不发育, 叠加在方解石胶结物之上(图 5-2)。

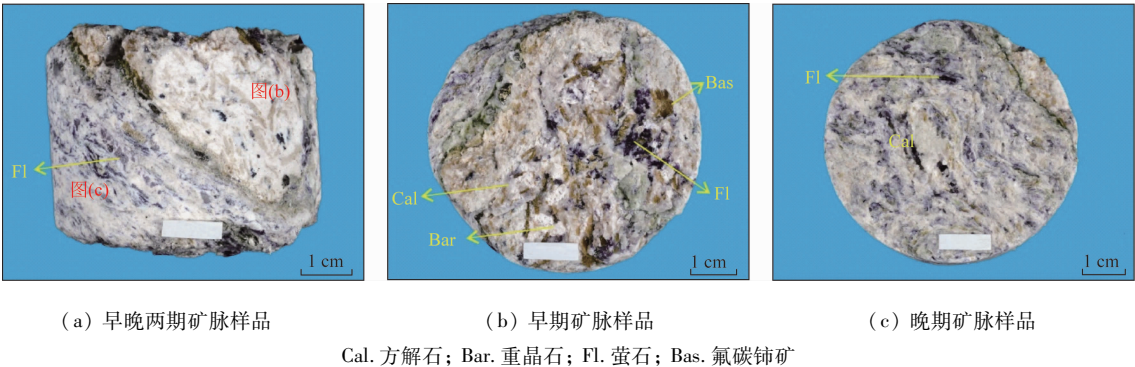


图 4 龙家沟氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉型稀土矿石特征

Fig. 4 Characteristics of the bastnaesite-fluorite-barite-calcite type REE ore in Longjiagou

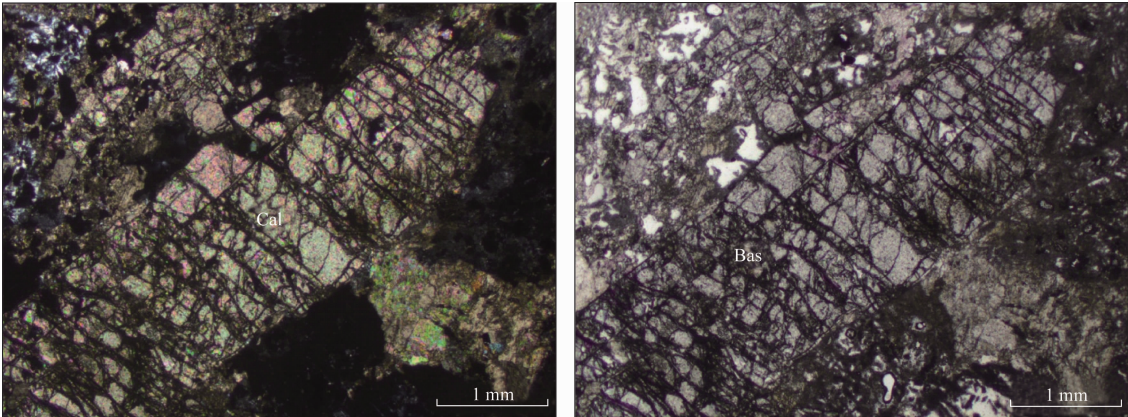
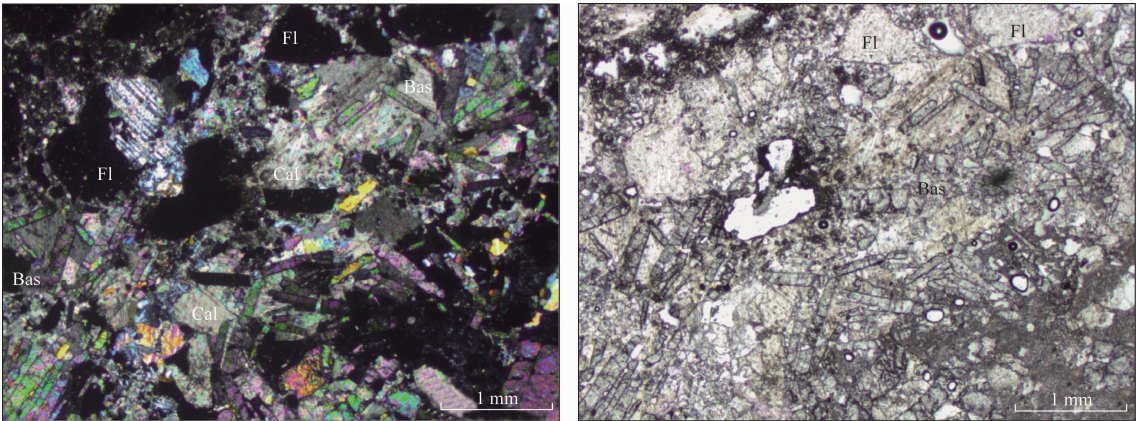


图 5-1 龙家沟氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉型稀土矿石显微镜下特征
(左: 正交偏光; 右: 单偏光)

Fig. 5-1 Microscopic characteristics of the bastnaesite-fluorite-barite-calcite type REE ore in Longjiagou
(left: cross-polarized light; right: plane-polarized light)



Cal. 方解石; Fl. 萤石; Bas. 氟碳铈矿

图 5-2 龙家沟氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉型稀土矿显微镜下特征
(左: 正交偏光; 右: 单偏光)

Fig. 5-2 Microscopic characteristics of the bastnaesite-fluorite-barite-calcite type REE ore in Longjiagou
(left: cross-polarized light; right: plane-polarized light)

3 对于寻找高品位氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉型稀土矿的探讨

目前,虽然已经有很多关于冕宁-德昌稀土成矿带中牦牛坪、大陆槽等典型矿床的研究^[12-19],但整个稀土成矿带还存在诸多科学问题。比如:碳酸岩、英碱正长岩和碱性伟晶岩的成因关系,碳酸岩岩浆结晶分异、热液作用过程中稀土元素迁移、沉淀及富集机制等;同时,成矿带内资源潜力不明,还有多大的找矿空间尚待进一步研判。

袁忠信等^[10]将牦牛坪矿床矿脉的矿石类型划分为3大类:氟碳铈矿-霓辉石-萤石-重晶石脉型、氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉型和含氟碳铈矿-霓辉石-微斜长石脉型。通过对牦牛坪矿床野外地质调查及对龙家沟钻孔 ZK001 的编录,本文认为龙家沟的两类稀土矿脉矿石类型定义为氟碳铈矿-霓辉石-萤石-重晶石脉型和氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉型更合适。其中,氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石矿脉矿石多半风化,尤其是重晶石和方解石风化强烈,氟碳铈矿和萤石多残留,大理岩、碱性花岗岩、辉长岩、变石英砂岩等夹石未风化或风化程度低,易剔除,氟碳铈矿晶体肉眼可见,易选冶。与同一个钻孔中揭露的氟碳铈矿-霓辉石-萤石-重晶石(已风化)脉型矿石相比,此类矿石厚度大、品位高,尤其是含早阶

段矿石角砾、氟碳铈矿矿物晶屑的晚阶段矿石,品位尤其高,钻孔 2 m 一件的组合样中 REO 最高含量为 18.23%。据 XRD 分析,此类矿石中氟碳铈矿含量最高为 16%。晚阶段矿石呈碎裂角砾构造、斑杂状构造、条带状构造,脉体厚度从十多米的大脉到脉幅不到 1 cm 的细网脉,矿物组合尤其以重晶石、萤石和方解石含量最大,推测其形成与热液活动有关。但这仅是一个钻孔所揭露的地质信息,龙家沟是否存在岩浆成因的方解石碳酸岩有待进一步研究。此外,氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石矿脉的空间分布、形态规模等问题还需要进一步探索。

据前人资料,牦牛坪矿区内的方解石碳酸岩型矿石(即袁忠信划分的氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉型矿石),主要为低品位矿石,其中又包含灰白色伟晶状方解石碳酸岩型和肉红色中粗粒方解石碳酸岩型两类^[6-7](图 6)。灰白色伟晶状方解石(图 6(a))碳酸岩主要沿英碱正长岩膨大部位侵入,为半隐伏脉。主脉两侧有细脉伴随,总体产状与 NE 向断裂一致,主体部位隐伏在 2 840 m 标高以下,长 116 ~ 710 m,脉体厚大部位厚度达 90 m。灰白色伟晶状方解石碳酸岩脉明显切割了碱性基性伟晶岩脉。此类矿石(岩石)呈灰白色,粗粒至伟晶结构,块状构造。方解石含量 >90%,次要矿物为黑云母、霓石、霓辉石、钠铁闪石和正长石等,常见副矿物有磷灰石和榍石等(<1%)^[7]。岩脉边缘发育霓长岩化和钠铁闪石化^[20]。可见,从矿石结构构造、矿物组成以及围岩蚀变特征方面,

与龙家沟氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉型矿石明显不同。肉红色中粗粒方解石碳酸岩(图6(b)),呈团块赋存于较厚大的重晶霓辉伟晶岩的中部,穿插、包裹、俘虏灰白色伟晶状方解石碳酸岩,主要由肉红色粗粒方解石组成,含量在50%~90%之间,其次有霓石、霓辉石、重晶石、萤石和氟碳铈矿等矿物,氟碳铈矿含量在2%左右^[7]。在此类方解石碳酸岩中可观察到细粒萤石-重晶石-

方解石细脉侵入图6(c),围岩中未见霓辉石、钠铁闪石、黑云母化,类似于龙家沟氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉。目前,此类脉体的规模、分布尚未查明,但可以肯定的是牦牛坪矿床也存在氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉,牦牛坪矿化带上存在多阶段的氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石脉。因而值得对此类脉体进行深入研究,在地质找矿实践中开拓新的找矿思路。



Cal. 方解石; Bar. 重晶石; Fl. 萤石; Aea. 霓辉石

图6 牦牛坪矿床灰白色伟晶状方解石碳酸岩(图a(左))、肉红色粗粒方解石碳酸岩(图a(右)、图b和图c)及肉红色中粗粒方解石碳酸岩中侵入的细粒萤石-重晶石-方解石细脉(图c)照片

Fig. 6 Photographs of the offwhite pegmatitic calcite carbonatite ((a) left), fleshy red coarse carbonatite ((a) right, (b) and (c)) and intrusive fine fluorite-barite-calcite string in fleshy red medium-coarse calcite carbonatite in Maoniuping deposit.

4 结论

牦牛坪矿床外围龙家沟新发现品位高、厚度大的氟碳铈矿-萤石-重晶石-方解石热液脉型矿体,并可划分为早、晚两个阶段,二者叠加部位品位更高。此类高品质稀土矿石类型及新矿体的发现意义重大。

(1)新发现的稀土矿体位于牦牛坪在采矿山的近邻,与牦牛坪矿床构成同一个稀土矿田,对于形成大型稀土资源基地具有现实意义,受到了中国稀土集团的高度重视。

(2)厚度大而高品位稀土原生矿体的发现,不但对于拓展牦牛坪稀土矿田的找矿前景具有现实意义,对于其他地区(包括牦牛坪矿区内及大陆槽等地)的深部找矿具有参考意义。

(3)在厚度达50 m的第四系浮土下还可以找到隐伏矿体,对于深部找矿技术创新引领具有启示意义。

(4)新矿体的发现完全是在前期典型矿床研究和成矿规律总结的基础上,在自然资源部王广华部长到牦牛坪矿区调研之后,项目组围绕国家目标,

及时调整工作部署,以大型资源基地增储上产和保障国家能源资源安全为指导取得快速突破的典型,对新一轮找矿突破战略行动的实施具有借鉴意义。

参考文献(References):

- [1] 施泽民,李小渝. 德昌大陆槽稀土矿床的发现及其意义[J]. 四川地质学报,1995,15(3):216-218.
Shi Z M, Li X Y. The discovery and its significance of Dalucao ore deposit of REE in Dechang[J]. Acta Geologica Sichuan, 1995, 15(3):216-218.
- [2] 李小渝,何庆. 攀西地区稀土成矿带成矿地质特征[J]. 四川地质学报,2000,20(1):50-56.
Li X Y, He Q. Geological features of RE mineral zone in Panzhihua-Xichang region[J]. Acta Geologica Sichuan, 2000, 20(1):50-56.
- [3] 田世洪,侯增谦,杨竹森,等. 川西冕宁-德昌 REE 成矿带成矿年代学研究:热液系统维生时限和构造控矿模型约束[J]. 矿床地质,2008,27(2):177-187.
Tian S H, Hou Z Q, Yang Z S, et al. Geochronology of REE deposits in Mianning-Dechang REE metallogenic belt: Constraints on duration of hydrothermal activities and tectonic model for Carbonatite-Alkalic complexes in Southwestern Sichuan[J]. Mineral Deposits, 2008, 27(2):177-187.
- [4] Liu Y, Hou Z Q, Tian S H, et al. Zircon U-Pb ages of the Mianning-Dechang syenites, Sichuan Province, southwestern China:

- Constraints on the giant REE mineralization belt and its regional geological setting[J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 64: 554–568.
- [5] Yang Y H, Wu F Y, Li Q L, et al. In situ U–Th–Pb dating and Sr–Nd isotope analysis of Bastnaesite by LA–(MC)–ICP–MS[J]. *Geostands and Geoanalytical Research*, 2019, 43(4): 543–565.
- [6] 陈从德, 蒲广平. 牦牛坪稀土矿床地质特征及其成因初探[J]. *地质与勘探*, 1991(5): 18–23.
- Chen C D, Pu G P. Geological features and genesis of the Maoniuping rare earth element deposit, Sichuan[J]. *Geology and Exploration*, 1991(5): 18–23.
- [7] 蒲广平. 牦牛坪稀土矿床成矿模式及找矿方向探讨[J]. *四川地质学报*, 1993, 13(1): 46–57.
- Pu G P. A discussion on metallogenetic model and prospecting targets for Maoniuping ore deposit of rare earth elements[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 1993, 13(1): 46–57.
- [8] 阳正熙, Williams–Jones A E, 蒲广平. 四川冕宁牦牛坪稀土矿床地质特征[J]. *矿物岩石*, 2000, 20(2): 28–34.
- Yang Z X, Williams–Jones A E, Pu G P. Geological features of Maoniuping REE deposit, Sichuan, China[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2000, 20(2): 28–34.
- [9] 蒋明全. 牦牛坪稀土矿床地质构造特征及其控矿意义[J]. *矿床地质*, 1992, 11(4): 351–358.
- Jiang M Q. The geological and structural feature of the Maoniuping REE deposit and its ore–controlling significance[J]. *Mineral Deposits*, 1992, 11(4): 351–358.
- [10] 袁忠信, 施泽民, 白鸽, 等. 川西冕宁牦牛坪轻稀土矿床[M]. 北京: 地震出版社, 1995: 1–150.
- Yuan Z X, Shi Z M, Bai G, et al. Rare Earth Element Deposit in Maoniuping, Mianning, Sichuan Province[M]. Beijing: Seismological Press, 1995: 1–150.
- [11] 杨光明, 潘兆鲁. 四川昌北 M 稀土矿若干问题的探讨[J]. *地质科技情报*, 1990, 9(3): 67–71.
- Yang G M, Pan Z L. Some problems of Changbei M rare–earth deposit in south western Sichuan Province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1990, 9(3): 67–71.
- [12] Hou Z Q, Tian S H, Xie Y L, et al. The Himalayan Mianning–Dechang REE belt associated with carbonatite alkaline complexes, eastern Indo–Asian collision zone, SW China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2009, 36(1–3): 65–89.
- [13] Wang D H, Yang J M, Yan S H, et al. A special orogenic–type rare earth element deposit in Maoniuping, Sichuan, China; *Geology and geochemistry*[J]. *Resource Geology*, 2001, 51(3): 177–188.
- [14] Niu H C, Shan Q, Chen X M, et al. Relationship between light rare earth deposits and mantle processes in Panxi rift, China[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2003, 46(1): 41–49.
- [15] 田世洪, 侯增谦, 袁忠信, 等. 川西喜马拉雅雅期碰撞造山带岩浆碳酸岩的地幔源区特征——Pb–Sr–Nd 同位素证据[J]. *岩石学报*, 2006, 22(3): 669–677.
- Tian S H, Hou Z Q, Yuan Z X, et al. Mantle source characteristics of magmatic carbonatites from the Himalayan Collision Zone in Western Sichuan, SW China; Evidence of Pb–Sr–Nd isotopes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(3): 669–677.
- [16] Xu C, Campbell I H, Kynicky J, et al. Comparison of the Daluxiang and Maoniuping carbonatitic REE deposits with Bayan Obo REE deposit, China[J]. *Lithos*, 2008, 106(1–2): 12–24.
- [17] Xie Y L, Li Y X, Hou Z Q, et al. A model for carbonatite hosted REE mineralisation – the Mianning–Dechang REE belt, Western Sichuan Province, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 70: 595–612.
- [18] Liu Y, Hou Z Q. A synthesis of mineralization styles with an integrated genetic model of carbonatite–syenite–hosted REE deposits in the Cenozoic Mianning–Dechang REE metallogenetic belt, the eastern Tibetan Plateau, southwestern China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2017, 137: 35–79.
- [19] Liu Y, Chakhmouradian A R, Hou Z Q, et al. Development of REE mineralization in the giant Maoniuping deposit (Sichuan, China): Insights from mineralogy, fluid inclusions, and trace–element geochemistry[J]. *Mineralium Deposita*, 2019, 54(5): 701–718.
- [20] Xu C, Huang Z L, Liu C Q, et al. Geochemistry of carbonatites in Maoniuping REE deposit, Sichuan Province, China[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2003, 46(3): 246–256.

Discovery of the bastnaesite–fluorite–barite–calcite type REE ore in the periphery of Maoniuping deposit in Sichuan Province and its significance

ZHAO Zhi¹, WANG Denghong¹, LIU Shanbao¹, WANG Wei^{2,3}, YU Yang¹, JI Debao³, HE Bin, YU Feng¹, MIAO Hao³, BAN Xiyu⁵, JIN Yanan²

(1. *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*; 2. *Chengdu University of Technology, Sichuan Chengdu 610059, China*; 3. *Sichuan Geology and Minerals Group Co., Ltd., Sichuan Chengdu 610017, China*; 4. *China Rare Earth Group(Liangshan) Co., Ltd., Sichuan Mianning 615600, China*; 5. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China*)

Abstract: Maoniuping deposit is the third largest rare earth element(REE) deposit in the world after Bayan Obo

in China and Mountain Pass in the United States. Recently, a new ore – prospecting break was made in the periphery of Maoniuping deposit, and two types of thick and rich concealed rare earth ore bodies have been discovered under Quaternary sediments (more than 50 m thick) in Longjiagou area. The first type is the bastnaesite – aegirine – fluorite – barite, and the second type is the bastnaesite – fluorite – barite – calcite. The total thickness (apparent thickness) of the bastnaesite – fluorite – barite – calcite type vein exceeds 100 m, and the average REE grade is 4.6%. The X – ray diffraction analysis result shows that the ore was mainly composed of calcite (40% ~ 75%), fluorite (25% ~ 58%), barite (5% ~ 25%) and bastnaesite (1% ~ 16%). Based on the texture, structure and mineral composition of the ore, the authors divided its formation process into two stages. The ore in the early stage was mainly medium coarse granular structure, and massive structure and taxitic structure, while the ore in the late stage was medium – fine grain brecciform structure and flow structure. The discovery of this new type of ore body with high – grade, easy to mining and beneficiation is an important breakthrough in rare earth mineral exploration since the implementation of the new round of prospecting breakthrough strategy. It is suggested that further geological prospecting for REE ore of bastnaesite – fluorite – barite – calcite type should be undertaken in Maoniuping mining area and its periphery.

Keywords: bastnaesite – fluorite – barite – calcite; rare earth element; Maoniuping deposit

(责任编辑: 刁淑娟, 魏昊明)