

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.03.007

陕西凤县九子沟岩体稀土钪赋存状态及成因浅析

王利民,陈佩

(陕西地矿物化探队有限公司,陕西 西安 710043)

摘要:九子沟岩体为基性-超基性杂岩体,主要由磷灰石黑云母透辉石岩、正长岩及橄榄岩组成。稀土钪赋存于磷灰石黑云母透辉石中,岩体内部载体矿物为褐帘石及磷灰石。通过深部勘查发现,稀土钪矿在岩体内部是以独立矿物和类质同象的形式存在,在岩体风化壳中稀土钪以独立矿物、类质同象及离子状态的形式存在。矿石中稀土主要为轻稀土 La、Ce、Pr、Nd、Sm 及重稀土 Gd、Y。稀土平均品位为 0.07%,Sc 平均品位为 40×10^{-6} 。九子沟稀土钪矿成因类型为超基性岩型稀土钪矿,为幔源结晶型。形成时期为加里东期。研究稀土钪的赋存状态及成矿规律对本区稀土钪的地质找矿和选矿具有指导意义。

关键词:九子沟岩体;稀土钪;赋存状态;成矿规律;

中图分类号:P618.92;P618.73

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2020)03-0086-07

On the Occurrence and Genesis of Rare Earth and Scandium in Jiuzigou Rock Mass of Fengxian County, Shaanxi Province

WANG Limin, CHEN Pei

(Shaanxi Geophysical-Geochemical Exploration Team Co., Ltd., Xi'an 710043, Shaanxi, China)

Abstract: Jiuzigou rock-mass is a basic-ultrabasic complex, mainly composed of apatite-biotite-pyroxenite, syenite and peridotite. Rare earth and scandium occur in apatite-biotite-pyroxenite, and the bearing minerals are orthite and apatite. Through deep exploration, it is found that rare earth and scandium exists in forms of independent mineral and isomorphism in inner rock mass, while in forms of independent mineral, isomorphism and ionic state in weathering crust. The main rare earth elements in the ore are La, Ce, Pr, Nd, Sm and heavy rare earth elements Gd, Y. The average grade of rare earth (REO) is 0.07%, scandium (Sc) 40×10^{-6} . The genetic type in Jiuzigou is ultrabasic rock of the rare earth and scandium deposit, and the mantle source crystallization type. It was formed during the Caledonian. The study of the occurrence state and metallogenetic regularity is of guiding importance to the exploration and processing of deposits of rare earth and scandium in this area.

Keywords: Jiuzigou rock-mass; rare earth and scandium; occurrence; metallogenetic regularity

收稿日期:2019-12-04;修回日期:2020-04-01

基金项目:陕西省地质勘查基金项目“陕西省凤县黄牛铺镇九子沟一带稀土矿地质调查”(61201506314)

作者简介:王利民(1965-),男,高级工程师,长期从事地质矿产勘查工作。E-mail:407651185@qq.com

研究区位于陕西省凤县县城北东 45° 方位直距25 km处,凤县红花铺镇草凉驿村附近。九子沟基性-超基性岩原是一低品位超大型磷灰石矿床, P_2O_5 平均品位为3.77%,矿石量为46 433.60万t,标矿量为5 692.49万t,原矿中稀土总量一般为0.07%~0.13%(陕西省凤县九子沟磷灰石矿床地质勘探报告,1976)。本次工作确定九子沟岩体黑云母透辉石岩中含稀土(REO)为0.07%,Sc含量为 40×10^{-6} 。类比云南省牟定县二台坡钨矿,提交钨(Sc_2O_3)资源量为750t, Sc_2O_3 平均品位为 66.08×10^{-6} (相当于Sc品位为 43×10^{-6}),为特大型钨矿床(朱智华,2010)。根据九子沟磷灰石矿床勘探资料,结合本次工作成果可以预测九子沟钨矿床规模将达到超大型。通过研究工作认为,对九子沟岩体开展稀土、钨、磷灰石及玻璃、水泥、陶瓷原料等多矿种综合找矿具有可行性(杨宗振,1994),该矿床的开发利用必将产生极大的经济效益。

1 区域地质概况

研究区位于唐藏-丹凤-商南大断裂带和嘉陵江大断裂带以东夹持的三角区,北秦岭活动大陆边缘南部复合岛弧杂岩带内。地层区划属于柴达木-华北地层大区,秦祁昆地层区北秦岭地层分区太白地层小区(据中国区域地质志·陕西志,2017)。区域岩浆岩以侵入岩为主,岩浆活动具有时间长、类型多、成因复杂、分布广的特点。在空间上,具有两带的分布特征,即商丹深大断裂以北的祁连(陇山)-北秦岭岩浆岩带和商丹深大断裂以南的商丹板块结合带(唐藏-何家庄)岩浆岩带。工作区岩浆岩属祁连(陇山)-北秦岭岩浆岩带。区域上大的侵入岩体有:北部的宝鸡花岗岩体、东部的太白花岗岩体、西部的何家庄岩体;小岩体主要有:燕山期雷家院岩体(JL)、印支-华力西期三岔河岩体(PSc)、加里东期九子沟(P_{z_1J})、堡子沟(P_{z_1B})、黑山(P_{z_1H})及大岔(P_{z_1D})等岩体。

2 矿区地质及地球化学特征

2.1 地层

研究区出露地层主要为元古界秦岭岩群,其次

有古生界奥陶系草滩沟群,为一套低绿片岩相变质陆源碎屑岩-火山岩建造。南与秦岭岩群呈断层接触(图1)。

秦岭岩群雁岭沟岩组($P_{t_1}Q_y$):分布于矿区的西南部及南部的黑山帽-付家山-绵羊窖一带,近东西向展布。主要由浅灰色、灰白色厚层状含石墨大理岩夹白云石大理岩、蛇纹石透辉石大理岩及少量黑云斜长片(麻)岩和斜长角闪(片)岩等组成,为碳酸盐岩沉积建造,厚度大于382 m,产状 $325^{\circ} \sim 355^{\circ} \angle 20^{\circ} \sim 45^{\circ}$,与上覆龙王沟组断层接触。

奥陶系草滩沟群龙王沟组(Ol):分布于矿区的西北角及东北角前山-葡萄沟一带,北西向展布,为一套浅变质碎屑岩、沉凝灰质碎屑岩夹安山质火山岩;岩石组合以深灰色含凝灰粉砂质绢云母板岩、凝灰质细砂岩为主夹中酸性火山岩。厚度大于527 m,南部与秦岭岩群雁岭沟岩组以韧性断层接触。

2.2 构造

2.2.1 褶皱构造

在九子沟与龙王沟一带,构成一个向南东仰起向北西渐趋于开阔的小向斜,轴向约 330° ,九子沟基性-超基性杂岩体即沿此向斜顺层侵入;向斜南翼地层产状一般倾向 $20^{\circ} \sim 330^{\circ}$,倾角 $18^{\circ} \sim 50^{\circ}$,向斜北翼由下古生界奥陶系草滩沟群龙王沟组(Ol)组成,向斜在区内不完整,南翼被F10断裂所截,北西部分被F6断裂错断。

2.2.2 断裂构造

庙坪-康家梁断裂(F10):位于研究区的南部,黑山单元石英二长岩、九子沟单元基性-超基性岩与秦岭岩群雁岭沟岩组的接触面上,走向北西西。该断裂为逆断层,上盘斜冲,断面倾向 25° ,倾角 60° ,长19 km,宽200~500 m,断面面呈舒缓波状延伸,倾角中等至陡倾斜。黑山单元、九子沟单元岩体出露延长方向与此断层大体一致,断层对岩体影响不明显,断层形成早于岩体侵入。

五星台断裂(F6):位于研究区西北部,发育于黑山单元石英二长岩与奥陶系草滩沟群接触面上,走向北东。该断层为逆断层,断裂带宽度10~50 m,北西盘向南西扭动,为一张扭性断裂,产状倾向 330° ,倾角 70° ,垂直断距大于330 m;此断裂对基性-超基性杂岩体影响较大,使基性-超基性杂岩体的北西一侧被断失。

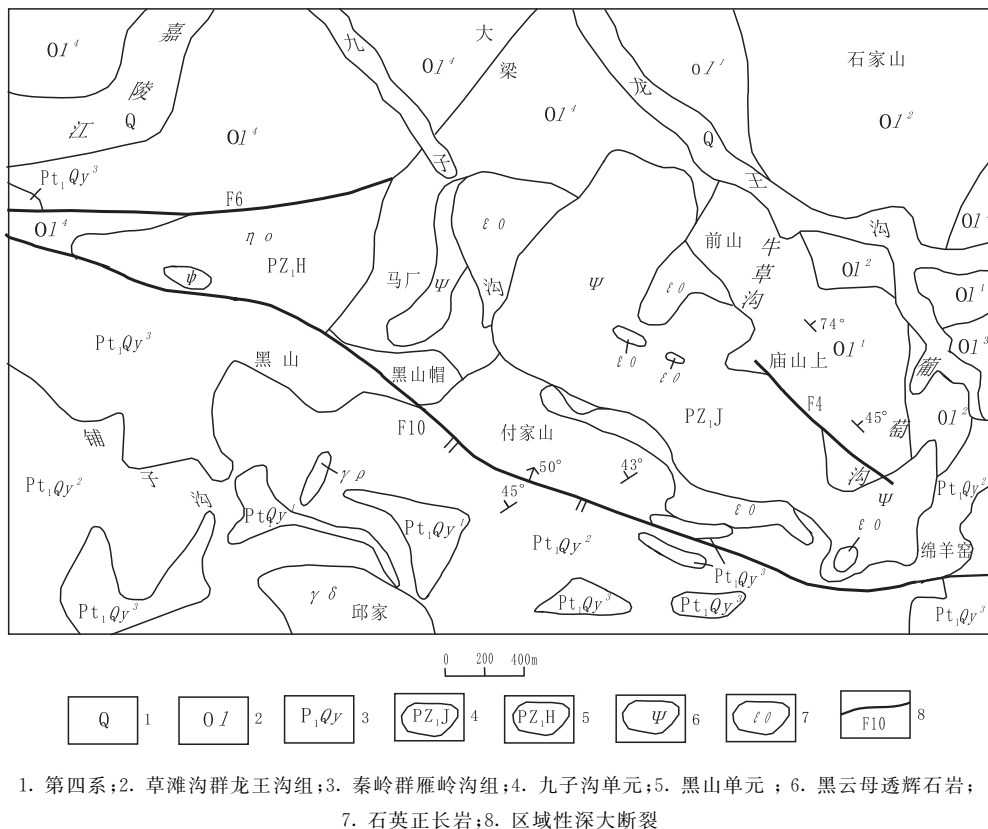


图1 凤县九子沟地区地质图

Fig. 1 Geological map of Jiuzigou area of Fengxian

2.3 岩浆岩

区内主要有九子沟单元(PZ₁J)基性-超基性岩体、黑山单元(PZ₁H)斑状细粒石英二长岩体,以及零星分布的闪长岩脉、伟晶岩脉等。

(1)九子沟单元基性-超基性岩体(PZ₁J)。岩体在地表总体呈290°方向延伸,平面出露形态为一向北北西凸出的三角形,长约4.6 km,岩体出露面积约4 km²;岩体呈岩盆状产出,岩盆呈310°~135°方向延伸,向315°方向倾斜,盆底具向斜产状,但略有起伏,总的倾角为10°~15°;北东翼产状约270°,倾角20°;南西翼产状倾向北北东,倾角中等至陡倾斜;岩体的底板与秦岭群郭庄岩组(Pt₁Qg)变粒岩呈明显的侵入接触,岩体的顶板基本上剥蚀殆尽,岩体最大厚度约500 m。岩体主要由橄榄岩、黑云母透辉石岩和正长岩类组成,前者约占岩体总面积的2%,后者约占10%,黑云母透辉石岩为岩体的主体成分,约占80%。这3个不同的岩石系列为同一母岩浆分异而成(陕西省凤县九子沟磷灰石矿床地质勘探报告,1976)。

(2)黑山单元石英二长岩(PZ₁H)。呈近东西向出露于九子沟岩体西边,为加里东期斑状细粒石英二长岩,呈脉状,长4.2 km,宽0.1~0.8 km,沿庙坪-康家梁韧性断裂带(F10)侵入,侵入于九子沟超基性岩体边部;斑状细粒石英二长岩中有辉石岩包体,与围岩侵入关系清楚,并形成接触变质带;侵入体具块状和流动构造,岩石中矿物呈自形-半自形及似斑状不等粒结构,斜长石一般具环带构造,钾长石多具卡氏双晶。

2.4 地球化学特征

研究区位于秦岭造山带北秦岭 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Cr、Ni、Sb、稀有稀土放射性元素地球化学区,唐藏-太白山地球化学亚区。本区稀土元素具有很好的地球化学成矿条件和成矿地质背景(樊会民等,2018)。开展1:10000土壤地球化学测量,圈出的稀土、Sc元素异常规模大,强度高,与超基性岩体分布范围高度吻合,超基性岩体就是稀土、Sc元素异常体。

在超基性岩体上圈定的Ht1综合异常,组合元

素有 La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu 等,主成矿元素为 Ce,规模大、强度较高,具内、中、外三级浓度分带,具有多个浓集中心,Ce 最大值为 657.77×10^{-6} ,衬度值为 3.66。异常呈面状分布,元素最大值较突出,异常面积大,数据较均匀,充分说明超基性岩体就是异常体。

Sc 单元素异常规模大、强度较高,具内、中、外三级浓度分带,具有多个浓集中心,Sc 最大值为 59.79×10^{-6} ,衬度值为 2.66。呈面状分布,元素最大值不突出,异常面积大,数据较均匀,几乎含盖整个超基性岩体,充分说明超基性岩体就是 Sc 元素异常体。

3 矿体地质特征

3.1 矿体特征

研究区稀土矿赋存于九子沟单元基性-超基性岩体内,含矿岩石为黑云母透辉石岩,全岩含矿。岩体出露面积约 4 km^2 ,呈北西-南东向似椭圆状分布于九子沟-绵羊窖一带。岩体内部稀土 Sc 元素以独立矿物和类质同象 2 种状态存在。岩体风化壳具黏土化、褐铁矿化、碳酸盐化、硅化等蚀变,是离子吸附型稀土 Sc 的赋存部位。岩体风化壳中的稀土 Sc 元素有独立矿物、类质同象和离子相 3 种状态。稀土矿物主要为轻稀土元素。全岩体稀土(REO)含量平均品位为 0.07%,Sc 平均品位为 40×10^{-6} 。

3.2 矿石质量

3.2.1 矿物成分

主要由透辉石(40%)、黑云母(35%)及磷灰石

(5%~10%)组成,次有钾长石、榭石、绿泥石,微量矿物有重晶石、褐帘石等。

透辉石:一般呈自形-半自形或他形粒状、柱状,为深浅不一的绿色,其柱面和轴面同等发育。粒状者粒径多数介于 $0.10 \sim 0.34 \text{ mm}$,柱状者粒径多数为 $0.10 \text{ mm} \times 1.98 \text{ mm} \sim 0.62 \text{ mm} \times 1.98 \text{ mm}$,分布较均匀。

黑云母:自形-半自形片状,为黑色、灰褐色、棕褐色,多色性明显。较均匀分布于透辉石颗粒之间。

磷灰石:一般呈自形-半自形粒状、短柱状,少量呈他形,星散分布,常呈包体产出于透辉石、黑云母内部。以灰白色和浅黄绿色居多,有时呈囊状、不规则状产出,在粗粒相中可见细脉状或团块状产出,粒径一般 $0.02 \sim 0.9 \text{ mm}$;红色磷灰石常见于磷灰石透辉石矿石中,呈粒状集合体产出,粒度相对较粗,最大可达 2.5 mm 。磷灰石常含有 1%左右的稀土元素。

褐帘石:呈长板状,颗粒细小,其长轴一般 $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$,短轴约 0.01 mm 左右,常与绿泥石共生,沿裂隙注入早期形成的矿物之内。

重晶石:呈粒状,产于钾长石内部,含有 5%左右的 Sr,钾长石系后期流体脉侵入其他矿物之中。

3.2.2 化学成分

岩石化学全分析结果显示矿石化学成分以轻稀土元素为主,主要含 La、Ce、Pr、Nd、Sm;矿石重稀土元素含量少,主要为 Y、Gd;Sc 元素含量较高(表 1)。

对凤县九子沟磷灰石矿床地质勘探(陕西省地质局第三地质队,1976)进行了实验室选矿试验。原矿中稀土氧化物总量为一般为 $0.07\% \sim 0.13\%$,最高

表 1 矿石化学全分析结果表
Tab. 1 Results of ore elements analysis

成分	Be	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Zr
含量(10^{-6})	1.99	42.2	11 779	372	112	2 218	63.4	54.2	46.5	172	2 126	119
成分	Mo	Ba	W	Pb	F	Th	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃
含量(10^{-6})	0.97	3 706	2.09	5.68	3 466	17.0	90.1	441	898	111	377	61.1
成分	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Au	Ag	
含量(10^{-6})	12.0	54.5	4.25	18.9	2.28	5.72	0.57	2.98	0.45	0.03	2.3	
成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	TFe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	烧失量
含量(10^{-2})	39.24	4.79	3.20	12.90	19.67	10.53	1.02	0.45	1.70	2.40	0.11	3.42

注:分析测试由江西地矿局赣南中心实验室完成。

含量为0.28%；精矿中G1样 RE_2O_3 为0.63%，G2样 RE_2O_3 为0.57%。其中稀土分量 Ce_2O_3 为0.28%、 La_2O_3 为0.14%、 Y_2O_3 为0.022%、 Yb_2O_3 为0.0016%，说明九子沟稀土元素以铈族稀土为主。

3.2.3 矿石组构

(1) 矿石结构：矿石呈细粒-中粒自形粒状结构、包含结构。自形粒状结构：矿石主要矿物为透辉石和黑云母，呈自形-半自形，粒径大致相等，粒径一般为0.5~3 mm。包含结构：矿石中部分透辉石、黑云母等矿物中间包裹自形粒状的磷灰石，构成包含结构(图2)。

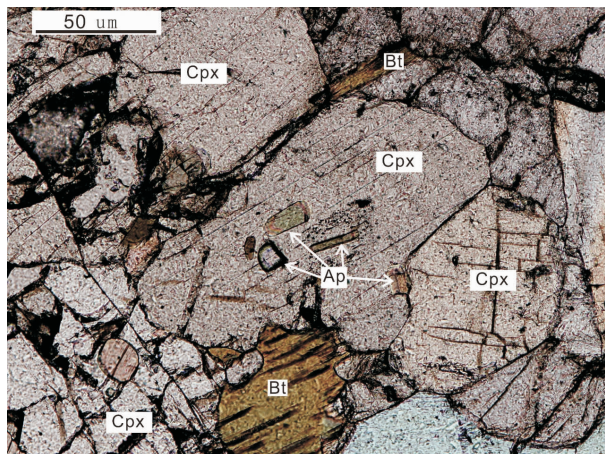


图2 透辉石(Cpx)中磷灰石(Ap)包体图

Fig. 2 Apatite(Ap) as inclusion in diopside(Cpx)

(2) 矿石构造：原生矿石为块状构造，在地表或者近地表矿石呈全风化-半风化状态，为松散块状或砂粒状构造。

4 赋存状态

稀土 Sc 元素在自然界有3种存在形式：独立矿物、类质同象及离子状态。九子沟基性-超基性岩中这3种形式的稀土 Sc 皆有出现。

4.1 独立矿物稀土矿

使用配能谱仪的高分辨率场发射扫描电镜对矿样进行分析，矿石中发现了稀土的独立矿物褐帘石，没有发现钪的独立矿物。褐帘石为后期形成，常沿透辉石矿物的裂隙分布(图3)，褐帘石的化学分析结果见表2。

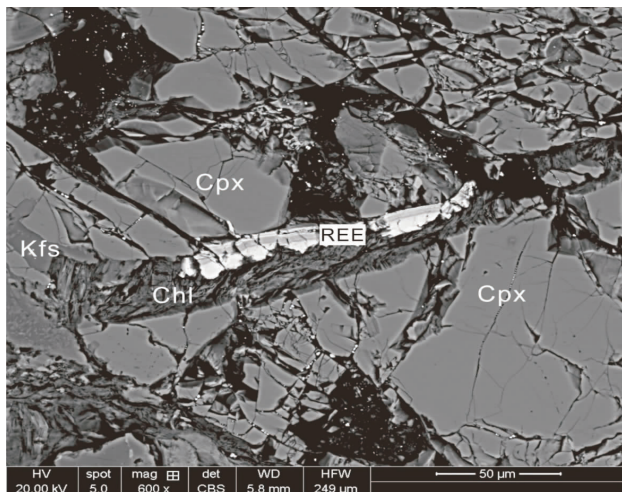


图3 透辉石(Cpx)中褐帘石(REE)、绿泥石(Chl)共生图

Fig. 3 Paragenetical mineral orthite(REE) and chlorite (Chl) in diopside(Cpx)

4.2 类质同象稀土矿

九子沟岩体中大部分稀土 Sc 元素是以类质同象的形式赋状态存于其他矿物中，尤其是分散在含Ca的磷灰石中，置换Ca离子。从磷灰石单矿物化学分析结果表(表3)可知，不同颜色的磷灰石，稀土含量差异较大。稀土含量在0.478%~1.11%，平均为0.63%，灰白色磷灰石含量最高。

4.3 离子相稀土矿

在九子沟岩体风化壳中，有部分稀土 Sc 元素以离子形式存在，呈可交换性吸附状态分布于蚀变的黏土矿物(蒙脱石、滑石等)中，这部分稀土 Sc 可以直接浸出(肖军辉等，2018)。在研究区采集5件稀土样品，进行离子相稀土浸取量测试，浸取率在4.33%~16.24%(表4)。地表探槽中深度1 m以浅，浸取率为12.49%~16.24%，人工露头揭露3 m以深，浸取率为4.33%~4.72%。浸取结果显示越近地表离子相稀土比例越高，表明离子相稀土含量与岩体风化程度有很大的关系。

5 矿床成因及找矿标志

5.1 矿床成因

九子沟岩体呈不规则状分布于庙坪-康家梁韧性剪切带(F10)中，严格受秦岭岩群与北侧早古生代断陷带间的深大断裂控制，呈不规则状产出。其

表 2 褐帘石化学分析结果表

Tab. 2 Chemical composition analysis results of orthite

分析项目	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃
含量(%)	2.13	17.81	37.55	12.04	14.41	6.23	9.83

注:分析测试由中国地质科学院地质研究所完成。

表 3 磷灰石单矿物化学分析结果表(%)

Tab. 3 Results of mineral analysis of apatite(%)

磷灰石种类	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	F	RE ₂ O ₃	H ₂ O	Cl
红色	40.19	53.73	0.20	0.13	1.62	0.655	—	—
浅黄绿色	40.58	53.30	0.29	—	1.68	0.478	—	—
肉红色	38.35~39.07	52.38~54.36	—	—	1.90~1.95	0.681	0.22	0.02~0.25
灰白色	38.76~39.44	53.27~54.36	1.45	—	2.13~2.80	1.11	0.14	0.02~0.36

注:数据来自凤县九子沟磷灰石矿床勘探报告。

表 4 离子相稀土浸取量统计表

Tab. 4 Leaching capacity of rare earth in ionic phase

样品编号	w(TRE ₂ O ₃)(10 ⁻²)	w(SRE ₂ O ₃)(10 ⁻²)	浸取率(%)	备注
H1	0.104	0.015	14.48	自然露头
H2	0.080	0.013	16.24	自然露头
H3	0.160	0.020	12.49	自然露头
H4	0.208	0.009	4.33	人工露头
H5	0.127	0.006	4.72	人工露头

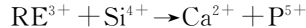
注:分析测试由江西地矿局赣南中心实验室完成。

形成是由于晚加里东期深大断裂切穿上地幔而使超基性岩浆上侵直接结晶所致,为幔源结晶型(孙民生等,1996)。

晚加里东期扬子地块由南向北俯冲,秦岭岩群由北向南仰冲、抬升,导致其南北两侧出现区域性韧性深大断裂,并使上地幔超基性岩浆沿断裂带上侵,形成九子沟单元基性-超基性岩体。

根据九子沟岩体的形态不规则,呈长条状,沿断裂分布,具锯齿状接触界线,内部定向构造不发育及内有围岩棱角状捕虏体等特征,确定岩浆侵位机制为被动就位。

由于稀土 Sc 离子半径与 Ca²⁺ 离子半径很接近,岩体在结晶过程中,岩浆中稀土 Sc 元素进入磷灰石晶体结构中置换 Ca²⁺,形成含类质同象稀土 Sc 元素的磷灰石(朱笑青等,2004)。随着磷灰石矿中 P₂O₅ 的品位的增高,稀土 Sc 元素含量也增加,两者呈正消长关系。稀土元素的类质同象是不等价置换的,它们的置换方式为:



后期有含稀土元素的岩浆沿黑云母透辉石岩的裂隙侵入,结晶形成独立的稀土矿物褐帘石。

风化壳中的离子相稀土 Sc 元素来自稀土独立矿物褐帘石和磷灰石中的类质同象物。因此,九子沟稀土 Sc 矿成因类型为超基性岩型稀土矿,成矿期与九子沟岩体形成时代相同,为加里东期。

5.2 找矿标志

(1)构造标志。本区断裂构造发育,唐藏-丹凤-商南为区域性深大断裂,使上地幔超基性岩浆沿断裂带上侵形成九子沟超基性岩体。该断裂为超基性岩浆运移、沉淀提供通道和空间,在有利地段形成稀土矿(化)体。区内的深大断裂是寻找超基性岩型稀土矿的间接标志。

(2)岩体标志。本区稀土矿的矿床类型是超基性岩型,超基性岩体是稀土矿的赋矿岩体,所以超基性岩体是本区寻找稀土矿最明显的直接标志。

(3)地球化学标志。沿特殊地质体分布的形态规则、强度高、分带明显的 La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Y、Sc 等元素的地球化学异常,是该区寻找稀土钪矿的重要标志。

6 结论

(1)九子沟基性-超基性岩体内部稀土 Sc 元素以独立稀土钪矿物和类质同象稀土钪形式存在;岩体中的黑云母透辉石岩全岩含矿,主要含稀土元素的矿物为稀土独立矿物褐帘石和同质同象磷灰石。褐帘石为九子沟岩体中首次发现的独立稀土矿物。岩体所含稀土主要为轻稀土 La、Ce、Pr、Nd、Sm 及重稀土 Gd、Y 等元素。

(2)岩体风化壳矿石中稀土以独立矿物、类质同象和离子状态 3 种形式共存。钪矿以类质同象和离子状态形式存在,越近地表岩石风化越强烈,离子相稀土 Sc 的含量越高。

(3)九子沟稀土钪矿成因类型为超基性岩型稀土钪矿,为幔源结晶型,成矿期与九子沟岩体形成时代相同,为加里东期。

参考文献(References):

陕西省地质局第三地质队,陕西省凤县九子沟磷灰石矿床地质勘探报告[R]. 1976.

Geological team No. 3 of Shaanxi bureau of geology, Geological Exploration Report of Jiuzigou apatite deposit in Fengxian County, Shaanxi Province[R]. 1976.

朱智华,云南牟定二台坡岩体中钪的发现及其意义[J]. 云南地质,2010,29(3):235-244.

ZHU Zhihua, The discovery and significance of Sc in Ertaipo Rock Body of Mouding, Yunnan[J]. Yunnan Geology,

2010,29(3):235-244.

杨宗振. 凤县九子沟低品位磷矿综合利用研究报告[J]. 陕西地质,1994,12(2): 94-97.

YANG Zongzhen, Comprehensive Utilization of low-grade Phosphate rock in Jiuzigou, Feng County[J]. Geology of Shaanxi,1994,12(2):94-97.

陕西省地质调查院,中国区域地质志·陕西志[M]. 北京:地质出版社,2017.

Shaanxi Geological Survey Institute. Regional Geology of China, Shaanxi Province[M]. Beijing: Geological Publishing House,2017.

樊会民,张嘉升,柏千惠,等. 陕西秦巴地球化学分区及找矿意义[J]. 西北地质,2018,51(2):75-82.

FAN Huimin, ZHANG Jiasheng, BAI Qianhui, et al. Geochemical Landscape of Qinba Area in Shaanxi Province and Its Prospecting Significance[J]. Northwestern Geology, 2018,51(2):75-82.

肖军辉,王进明,王振. 川西含稀土矿中钪的赋存状态研究[J]. 稀土,2018,39(2):40-47.

XIAO Junhui, WANG Jinming, WANG Zhen. Study on occurrence state of scandium of scandium-containing rare earth ore in western of Sichun Province[J], Chinese Rare Earths,2018,39(2):40-47.

孙民生,王德耀,董恒笔. 1:5 万辛家庄幅区域地质调查报告[R]. 陕西区调队. 1996.

SUN Minsheng, WANG Deyao, DONG Hengbi, Regional Geological Survey Report of 1:50000 Xinjiazhuang Sheet [R]. Regional Geological Survey team of Shaanxi Province. 1996.

朱笑青,王中刚,黄艳,等. 磷灰石的稀土组成及其示踪意义[J]. 稀土,2004,25(5):41-45.

ZHU Xiaqing, WANG Zhonggang, HUANG Yan, et al. Ree content and distribution in apatite and geological tracing significance[J]. Chinese Rare Earths, 2004, 25(5): 41-45.