

doi: 10.12029/gc20170206

李靖辉, 陈化凯, 张宏伟, 张云海, 张同林, 温国栋, 张盼盼. 2017. 豫西太平镇轻稀土矿床矿化特征及矿床成因[J]. 中国地质, 44(2): 288-300.  
Li Jinghui, Chen Huakai, Zhang Hongwei, Zhang Yunhai, Zhang Tonglin, Wen Guodong, Zhang Panpan. 2017. Mineralization characteristics and ore genesis of the light rare earth deposit in Taiping Town, western Henan[J]. Geology in China, 44(2): 288-300(in Chinese with English abstract).

## 豫西太平镇轻稀土矿床矿化特征及矿床成因

李靖辉<sup>1</sup> 陈化凯<sup>1</sup> 张宏伟<sup>2</sup> 张云海<sup>1</sup> 张同林<sup>1</sup> 温国栋<sup>1</sup> 张盼盼<sup>1</sup>

(1. 河南省核工业地质局, 河南 信阳 464000; 2. 河南省国土资源科学研究院, 河南 郑州 450000)

**摘要:** 豫西太平镇稀土矿床是新发现的中型轻稀土矿床。3条稀土矿脉共圈定4个矿体。矿体平均厚度1.77 m, 平均品位 $\omega(\Sigma\text{REO})$ 为2.23%, 初步估算资源量达10万t。稀土矿体严格受北西向断裂构造控制, 赋存于太平镇—板山坪背斜北翼的中元古代斜长花岗岩和二郎坪群中。 $\Sigma\text{LREO}$ 占83.23%~99.35%,  $\Sigma\text{HREO}$ 占16.77%~0.65%,  $\text{CeO}_2+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Nd}_2\text{O}_3$ 在总量中分配比为79.56%~94.15%。稀土矿物以氟碳铈矿为主, 矿石中主要稀土矿物的REE配分属 $\text{Ce} > \text{La} > \text{Nd}$ 富LREE强选择配分型。矿石稀土轻稀土富集, 重稀土亏损, 轻重稀土分馏明显, LREO/HREO比值大, 钕为弱的正异常, 不明显铈异常,  $\text{Eu}/\text{Sm}$ 平均值0.38;  $\text{Th}/\text{U}$ 比值大, 与岩浆成因的重晶石稀土元素分配模式类似, 显示岩浆成因。燕山期断裂构造叠加在早古生代二郎坪群及张家庄岩体内, 沿断裂充填形成的成矿时代不早于(108±1) Ma的脉型轻稀土矿床。矿床成因为壳幔混源、受断裂构造控制的石英脉—蚀变岩型。主要找矿标志: 在断裂构造中充填物为石英脉及萤石化、重晶石化、黄铁矿化等蚀变岩, 以及弱的Th放射性异常, 较低的U含量。

**关键词:** 矿化特征; 轻稀土富集; 钕正异常; 岩浆成因; 太平镇

中图分类号: P618.7; P611 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2017)02-0288-13

## Mineralization characteristics and ore genesis of the light rare earth deposit in Taiping Town, western Henan

LI Jinghui<sup>1</sup>, CHEN Huakai<sup>1</sup>, ZHANG Hongwei<sup>2</sup>, ZHANG Yunhai<sup>1</sup>,  
ZHANG Tonglin<sup>1</sup>, WEN Guodong<sup>1</sup>, ZHANG Panpan<sup>1</sup>

(1. Henan Nuclear Geological Bureau, Xinyang 464000, Henan, China; 2. Henan Academy of Land & Resources Sciences, Zhengzhou 450000, Henan, China)

**Abstract:** In western Henan Province, the rare earth ore deposit in Taiping Town is a newly-found medium-sized light rare earth deposit. Four orebodies were delineated in the three rare earth veins. The average thickness of the orebodies is 1.77 m, the average grade is 2.23 percent, the preliminary estimation of the amount of the resources is up to 100000 tons. Rare earth orebodies occur in the Mesoproterozoic plagiogranite and Erlangping Group, north of Taiping Town—Banshanping anticline, and are strictly controlled by NW-trending structures. The  $\Sigma\text{LREO}$  accounts for 83.23%–99.35%, The  $\Sigma\text{HREO}$  accounts for 16.77%–0.65%, and the

收稿日期: 2016-03-20; 改回日期: 2016-10-20

基金项目: 2015年度河南省国土资源厅“两权价款”地质科研项目(2015-1547-6)资助。

作者简介: 李靖辉, 男, 1972年生, 教授级高级工程师, 主要从事矿产地质勘查工作; E-mail: good-wood@163.com。

distribution ratio of  $CeO_2+La_2O_3+Nd_2O_3$  is 79.56%–94.15%. Rare earth mineral mainly is bastnaesite. The major rare earth minerals belong to the strongly selective partition pattern which is rich in LREE with feature of  $Ce>La>Nd$ . The rare earth ore reveals a depletion of light rare earth and enrichment of heavy one, with a weak positive Eu and indistinct Ce anomaly as well as distinct fractionation processes. The average ratio of Eu/Sm is 0.38; the ratio of Th/U is high, the indication of magmatic origin is similar to bariterare earth distribution pattern. The veined light rare earth ores fill in the fault structures which formed in Yanshanian and were superimposed upon the Erlangping Group and Zhangjiazhuang rock mass. So the ore-forming epoch is not earlier than  $(108\pm 1)$  Ma. The origin of the deposit belongs to the quartz vein and altered rock type, controlled by the crust-mantle mixed source and faulted structure. Exploration indicators include the filling materials composed of quartz vein and fluoritization baratization pyritization, altered rock, weak Th radioactive anomalies and low content of U. The results obtained by the authors are very important for theoretical research on rare earth minerals as well as prospecting and work deployment in Henan Province.

**Key words:** mineralization characteristics; light REE enrichment; positive Eu anomaly; magmatic origin; Taiping Town

**About the first author:** LI Jinghui, born in 1972, senior engineer, bachelor, engages in geological and mineral resource survey and research; E-mail: good-wood@163.com.

**Fund support:** Supported by Department of Land and Resource of Henan Province Geological Research Project (No. 2015-1547-6).

## 1 引言

稀土矿是我国的优势矿种之一(王登红等, 2013),但作为矿产资源大省的河南一直没有突破,仅在新安县铝土矿勘查中发现了伴生轻稀土矿(李中明等, 2007)。2013年,河南省核工业地质局首次在西峡县太平镇按照《稀土矿地质勘查规范》(DZ/T 0204-2002)进行稀土矿普查时,发现了3条以Ce、La、Nd轻稀土元素为主的稀土矿脉,地表出露长120~3280 m,平均宽度1.77 m,  $\omega(\sum REO)$ 平均品位达2.23%, 2015年底初步估算(333)+(334)?  $TR_2O_3$ 资源量10余万t,进一步找矿潜力较大。

## 2 地质背景

太平镇稀土矿位于西峡县太平镇,大地构造位置为北秦岭(二郎坪)岩浆岛弧( $Pz_1$ )。秦岭造山带是华北板块与扬子板块汇聚形成的复合造山带,由3个地块组成:华北地块、扬子地块及其间的秦岭造山带。北秦岭南北分别以商丹断裂、栾川断裂为界,是华北地块的南部活动边缘。北秦岭自南向北以朱(朱阳关)一夏(夏馆)断裂、瓦穴子断裂为界,依次为秦岭群、二郎坪群和宽坪群(张国伟等, 2001)。二郎坪地体呈NW向楔形夹持于瓦穴子断裂和朱夏断裂之间(图1),是秦岭造山带的重要的构造—地层单元,主要由二郎坪群变质岩和一些花岗岩类侵入体构成。二郎坪群为一套早古生代弧

后盆地环境的火山—沉积建造(赵娇等, 2012)。

区内岩浆活动频繁,侵入岩、火山岩均较发育。岩石成分以中酸性岩类为主,岩浆活动主要为古生代、侏罗纪—白垩纪二个阶段。古生代侵入岩:包括张家庄中酸性岩带和西庄闪长岩体。侏罗纪—白垩纪中酸性侵入岩:主要为早白垩世花岗岩类,包括老君山和满子营等花岗岩岩体。

区内主要构造带在横向分布上多呈北西—北西西向带状展布。朱阳关—夏馆断裂带;汤河—瓦穴子—乔端断裂带;栾川—维摩寺断裂带为区内主要断裂构造格架。它们控制着区内的地层、岩浆岩及地质矿产的分布。二郎坪群在区域上构成以大庙组为核部的太平镇—板山坪复式斜歪—倒转背斜,南、北两侧分别与秦岭群和宽坪岩群断层接触,北翼因岩体吞噬出露不全,南翼地层发育较全。

在早古生代,二郎坪群火山活动较为发育。二郎坪群分布于朱阳关—夏馆断裂带北侧,呈北西西向带状展布。火山岩占地层厚度的50%以上。二郎坪群细碧—石英角斑岩系总体上可划分为2个喷发旋回。第一旋回相当于大庙组,为火山喷发—沉积旋回,由5个韵律组成,反映了火山活动由强到弱的变化过程,表现为爆发→喷溢→间歇沉积的特点。第二旋回相当于火神庙组。由4个韵律组成,反映了火山活动由弱→强→弱的特点,偏基性和酸性的岩石交替出现。西部小寨组、抱树坪组构成另一个沉积—喷发旋回。

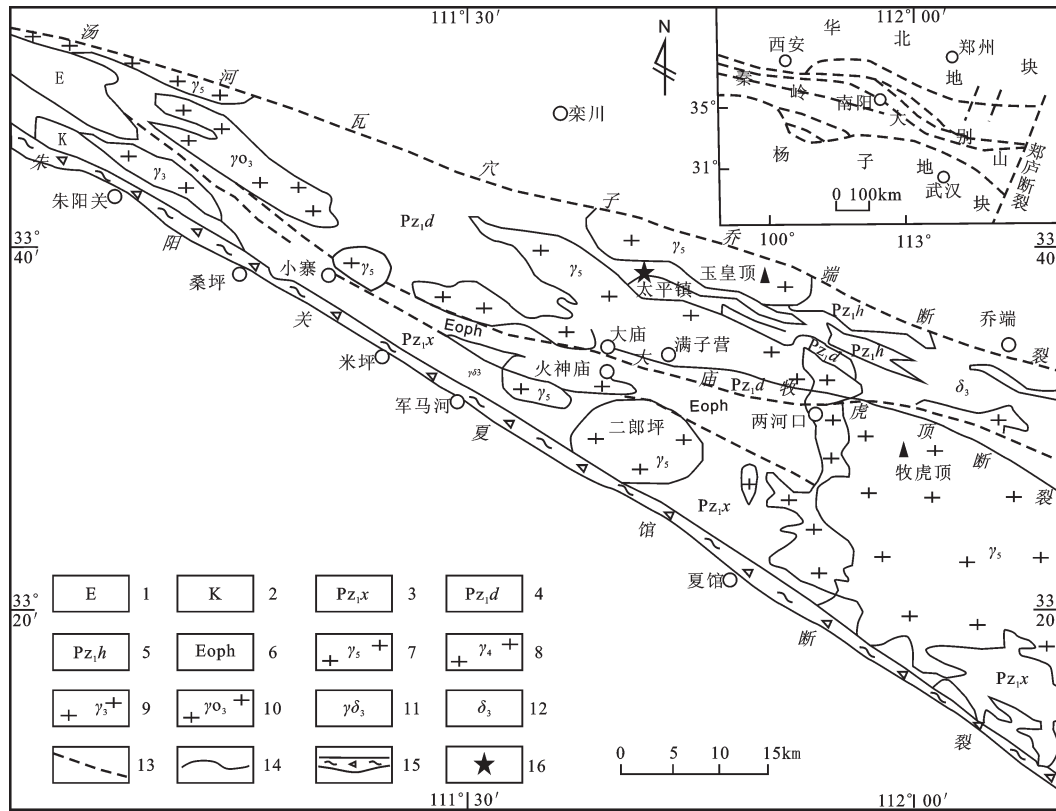


图1 豫西太平镇区域地质图(王铭生等,1999)

1—古近—新近系;2—白垩系;3—小寨岩片;4—大庙岩片;5—中元古界宽坪群;6—元古界秦岭群;7—二郎坪群;8—燕山期花岗岩;9—加里东花岗岩;10—加里东斜长花岗岩;11—海西期花岗闪长岩;12—海西期闪长岩;13—断层;14—地质界限;15—韧性剪切带;16—太平镇稀土矿床

Fig. 1 Geological sketch map of Taipingzhen area(after Wang et al.,1999)

1—Paleogene ; 2— Cretaceous; 3—Xiaozhai Formation; 4— Damiao Formation; 5— Meso—Proterozoic Kuangping Group; 6—Paleo—Proterozoic Qinling Group; 7—Early Palaeozoic Erlangping Group; 8— Yanshanian granite; 9— Caledonian granite; 10— Caledonian plagiogranite; 11— Hercynian granodiorite; 12— Hercynian diorite; 13— Fault; 14—Geological boundary; 15—Ductile shear zone; 16— Rare earth mine of Taipingzhen

### 3 稀土矿床地质特征

区内主要为二郎坪群火神庙组(Pz<sub>1</sub>h)和少量大庙组(Pz<sub>1</sub>d)。火神庙组近东西向呈带状分布于矿区南部,岩层呈单斜产出,产状210°~230°∠55°~75°,倾角变化较大,局部近直立,岩性主要为斜长角闪片岩、斜长角闪岩、角闪岩和长英质岩类等。斜长角闪片岩:灰绿色、浅灰色、浅黑灰色,片状结构,块状构造;岩石主要有斜长石(约26%)、角闪石(55%)、黑云母(13%),副矿物磁铁矿(4%)、赤铁矿(1%)组成。Ⅱ、Ⅲ号部分稀土矿(化)带即赋存在该层位内,产于该地层的断裂带中,常见黄铁矿化、硅化、碳酸盐化,赤铁矿化蚀变,是稀土矿的主要产出岩性之一。斜长角闪岩:灰绿、灰色至浅黑灰色,粒状变晶结构,块状构造;岩石主要为普通角闪石

(35%)、斜长石(10%)、石英(39%)、黑云母(6%),副矿物磁铁矿(4%)及少量磷灰石组成。常见绿帘石化、绿泥石化、黄铁矿化、硅化、碳酸盐化,磁铁矿化蚀变。在局部地段岩石中可见到气孔、杏仁、流动和枕状构造,具典型海底火山强烈喷发(喷溢)活动沉积的特征,硅质岩的出现反映本组可能形成水体较深。大庙组有少量分布于矿区东南部,总体呈近东西向分布,岩层呈单斜产出,产状210°~220°∠55°~60°。大庙组主要为一套变质碎屑岩和碳酸盐岩沉积建造,岩性以黑云石英片岩、黑云斜长片岩、大理岩为主夹炭硅质板岩、变细碧岩、变石英角斑岩、凝灰岩等。二郎坪群火山岩岩石,绝大部分属亚碱性系列,形成于新元古—早古生代大陆边缘弧后裂谷盆地环境。

区内主体褶皱构造是以太平镇—板山坪为主

背斜,形成南北两翼大致对称,紧密线状复式倒转褶皱系。褶皱呈紧闭线状、轴面近直立,脊线走向 $290^{\circ}$ 。该背斜总体向西倾伏,向东仰起。在主背斜南北两侧,对称分布着两个倒转向斜构造带:大庙—青山倒转向斜和石灰窑沟倒转向斜。南带轴面南倾,向北倒转。北带正好相反,均属单向同斜紧闭线状褶皱。

区内断裂不很发育。主要以北西西向断裂为主,主要有F1、F2、F3,分别长120 m、2526 m、3280 m,厚度分别为1.65 m、1.83 m和2.47 m,产状 $220^{\circ}\angle 52^{\circ}\sim 83^{\circ}$ ,呈舒缓波状,F2断裂向北西出现分枝复合现象,为区内主要含稀土矿脉。次为北东向构造F5,长约1100 m,厚度2~3 m,产状 $300^{\circ}\angle 50^{\circ}$ ,为后期构造,呈顺时针错动北西西向断裂,错距数米。

张家庄岩体( $\gamma O_3^2$ )分布于中、南部,呈东西向带状展布,岩性主要为斜长花岗岩,岩石呈灰白色,半自形柱粒状结构,块状构造,岩石主要有碱性长石(32%)、斜长石(16%)、石英(36%)、黑云母(5%)和绿帘石(4%)及副矿物磁铁矿(6%)组成。张家庄岩体 $\Sigma REE$ 为 $80.53\times 10^{-6}\sim 114.56\times 10^{-6}$ ,LREE/HREE为4.37~6.54, $\delta Eu$  0.64~1.02,具中等轻重稀土分馏程度,铕异常不明显。锆石U-Pb年龄399 Ma(田伟等,2005),稍晚于二郎坪群火山岩系。

老君山系列( $\eta\gamma_5$ )由早白垩世的斑状黑云母二长花岗岩组成,从岩体内部至外部分别为含小斑细中粒黑云母二长花岗岩( $\eta\gamma_5^1$ )、中斑中粒黑云母二长花岗岩( $\eta\gamma_5^2$ )和大斑中粗粒黑云母二长花岗岩( $\eta\gamma_5^3$ )。 $\Sigma REE$ 为 $260.97\times 10^{-6}\sim 349.69\times 10^{-6}$ ,LREE/HREE为14.23~21.25, $\delta Eu$  0.54~0.69,具较高的轻重稀土分馏程度,不明显的铕负异常。黑云母二长花岗岩年龄为 $(108\pm 1)\sim (111\pm 1)$ Ma,岩体形成于早白垩世,岩石为富钾铝质、过铝质碱质钙碱性岩系,具有I型特征的S型花岗岩,是中国东部晚中生代大规模岩浆作用晚期的产物(孟芳,2010)。

满子营独立单元 $\Sigma REE$ 为 $160.41\times 10^{-6}$ ,LREE/HREE为13.08, $\delta Eu$ 为0.56,具较高的轻重稀土分馏程度,不明显的铕负异常。具壳源S型花岗岩特征,是由板块所导致的活动陆源上陆壳物质部分熔融的产物(郭采莲等,2010)。

### 3.1 矿体特征

稀土矿紧邻太平镇西北的大西沟—火神庙—

带,主要赋存在F1、F2、F3断裂构造带内(图2),3条断裂构造呈NWW向近平行产出,间距60~180 m,产状 $213^{\circ}\sim 236^{\circ}\angle 59^{\circ}\sim 83^{\circ}$ ,位于张家庄岩体、火神庙组 and 老君山岩体内,但稀土矿体主要赋存在张家庄岩体的斜长花岗岩中,部分赋存在火神庙组斜长角闪片岩内,穿插于老君山二长花岗岩内矿化较弱,未圈出矿体。3条稀土矿带因I号脉规模较小未进行矿体圈定外,在II、III号稀土矿脉中,圈出稀土矿体4个,II号脉共圈定3个矿体,即II1、II2、II3,III号脉共圈定1个矿体III1。II3为II号脉主矿体,长度1360 m,产状 $300^{\circ}\sim 320^{\circ}\angle 50^{\circ}\sim 69^{\circ}$ ,矿体呈脉状(图3),矿体最低标高+570 m,最高标高+1040 m,最大倾斜延伸420 m。矿体最大厚度2.84 m,最小厚度1.18 m,平均厚度2.28 m,属稳定型。品位变化区间为0.497%~8.388%,平均品位2.01%,其有用组分均匀程度属较均匀型。III号脉III1矿体,矿体呈脉状,长度1730 m,产状 $300^{\circ}\sim 320^{\circ}\angle 40^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ,矿体最低标高+510 m,最高标高+1010 m,最大倾斜延伸380 m。矿体最大厚度2.96 m,最小厚度1.14 m,平均厚度2.23 m,属稳定型。品位变化区间为0.059%~10.516%,平均品位2.75%,其有用组分均匀程度属较均匀型。所有矿体除后期F5略有错动外,基本无其他后期断裂破坏及脉岩穿插,矿体三度空间形态保存完好,构造影响程度小。矿体分别赋存在对应断裂带的石英—蚀变岩脉中,矿体呈脉状和透镜状,产状与断裂产状基本一致。矿体富集出现在产状变异处,倾角较陡或平面上转折处富集明显。矿体基本特征见表1。矿床平均厚度1.77 m,平均品位2.23%, $(333)+(334)$ ?初步估算 $TR_2O_3$ 资源量为10万t。

### 3.2 矿石组分及矿物特征

主要矿物为石英、方解石、绿泥石、重晶石、黑云母、绢(白)云母,次要矿物氟碳铈矿、萤石、重晶石、黏土矿物、黄铁矿、菱铁矿、磁铁矿、辉钼矿、菱沸石,副矿物锆石、磷灰石,次生矿物为赤铁矿、褐铁矿。

稀土矿物以氟碳铈矿为主,呈自形或半自形晶柱状体,矿物结晶颗粒较粗大,粒径0.05~12.0 mm,淡褐色或黄褐色。通常呈双锥形产出,并为萤石所交代。薄片镜下观察(图4c、d):氟碳铈矿呈较自形柱状,粒径0.05~5.0 mm,浅黄色、无色,可见弱多色性,高正突起,高级白干涉色,平行消光,正延长符号。



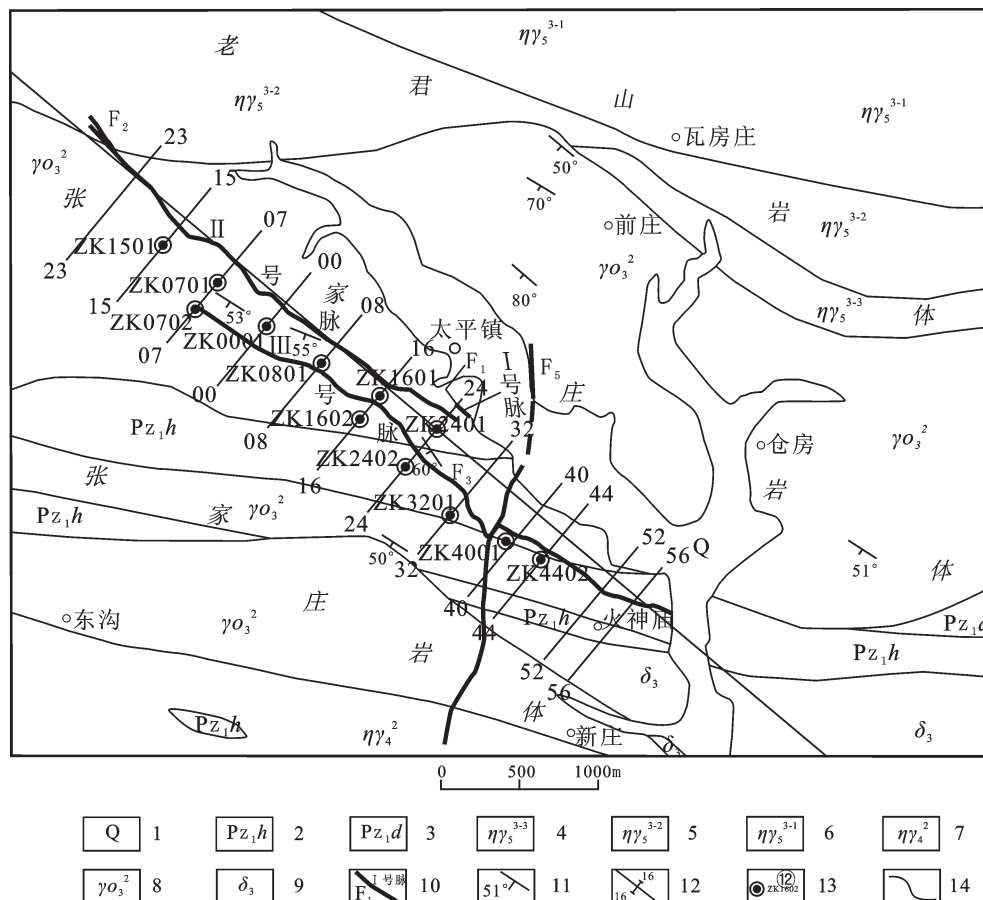


图2 太平镇稀土矿地质图

1—第四纪堆积、洪积物；2—二郎坪群火神庙组；3—二郎坪群大庙组；4—燕山期大斑粗粒二长花岗岩；5—燕山期中斑中粒二长花岗岩；6—燕山期小斑中细粒二长花岗岩；7—华力西期中粒花岗岩；8—加力东期斜长花岗岩；9—加力东期闪长岩；10—断裂构造带及脉体编号；11—产状；12—勘查基线、勘查线及编号；13—完工钻孔及编号；14—地质界线

Fig. 2 Geological map of rare earth mine in Taiping Town

1—Quaternary diluvial and diluvium material; 2—Huoshenmiao Formation in Erlangping Group; 3—Damiao Formation in Erlangping Group; 4—Yanshanian coarse grained monzonitic granite with big phenocryst; 5—Yanshanian medium grained monzonitic granite with mid-phenocryst; 6—Yanshanian medium-fine grained monzonitic granite with small phenocryst; 7—Variscan medium grained granite; 8—Caledonian plagiogranite; 9—Caledonian diorite; 10—Fault tectonic belt and vein number; 11—Attitude of strata; 12—Prospecting base line, prospecting line and its serial number; 13—Completed drill hole; 14—Geological boundary

石英：粒状变晶结构、块状构造。呈他形粒状和柱状，粒径0.02~1.4 mm，破碎程度较轻，裂纹较多，含少量萤石和黄铁矿矿物充填在缝隙中。

萤石、重晶石与稀土矿物一起呈块状、浸染状、条带状出现。萤石地表多为淡黄色和无色，钻孔中多为紫色和淡绿色。半自形粒状，粒径0.05~0.8 mm。既有粗晶萤石，也有粉末状颗粒，在主矿体和后期细脉中均有出现。

重晶石是另一种与稀土矿相关的脉石矿物。呈粒状和柱状，粒径0.03~0.7 mm。与萤石和氟碳铈矿成共生结构，由于风化作用，重晶石多为粉末状。

利用太平镇稀土矿样品电子探针的扫描背散射电子成像分析技术，鉴定物相的微区成分。图5中的稀土矿（即氟碳铈矿），其分子式为 $(Ce, La, Nd...)(CO_3)F$ ，呈黄色、绿黄色、浅褐色，产出形态有颗粒状和板状晶体，与萤石、重晶石、方解石、石英共生。图5为氟碳铈矿的能谱分析图，电子探针测试结果见表2，其结果表明主要成分以Ce、La、Nd为主，与样品基本分析结果（表3）、计算结果（表4）一致，表明在太平镇稀土中，富含轻稀土元素，以铈、镧、钕三者较为富集。少量氟碳铈矿发生了蚀变，Ca、Mg、Al、Si以类质同象形式代替Ce、La、Nd。

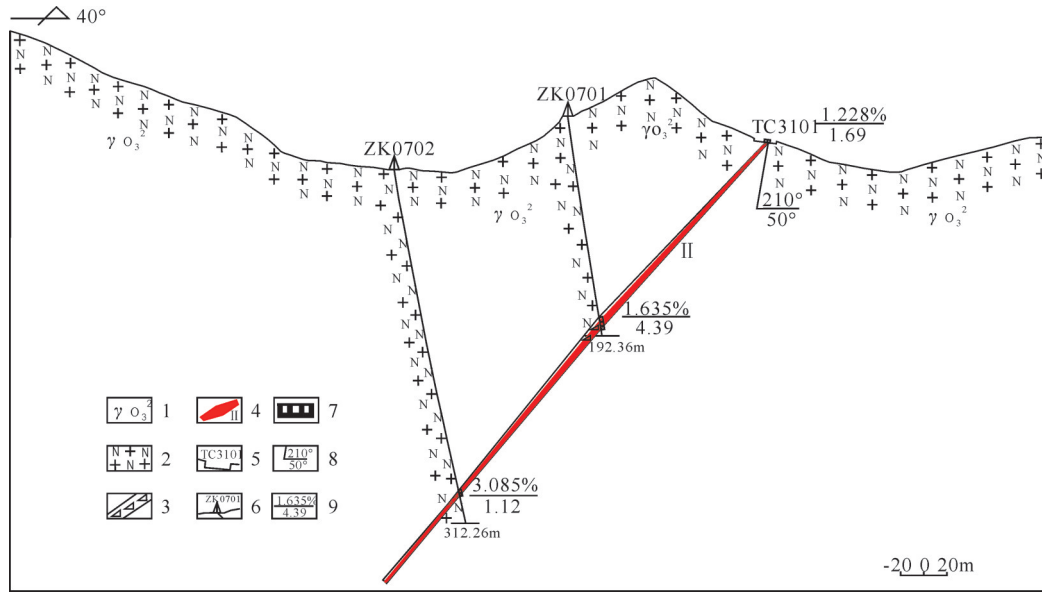


图3 太平镇稀土矿07号勘查线剖面示意图

1—加里东期斜长花岗岩;2—斜长花岗岩;3—构造破碎带;4—稀土矿工业矿及脉号;5—槽探及编号;6—钻孔及编号;7—刻槽或劈心取样位置;8—产状;9—稀土氧化物总量品位/真厚度(m)

Fig.3 Geological section along No. 07 exploration line of rare earth mine in Taiping Town

1—Caledonian plagiogranite; 2—Plagiogranite; 3—Structural fracture belt; 4— Rare earth mine's industrial ore and its vein number; 5—Trenching and its serial number; 6—Drill hole and its serial number; Sampling point in the trenching or drill hole; 8—Attitude of the fault; 9—Grade and true thickness (m) of the gross REO

表1 太平镇稀土矿床矿体基本特征

Table 1 Features of the rare earth mines and orebodies in Taiping Town

矿脉号	矿体编号	矿体基本特征			
		长度/m	平均厚度/m	平均品位/%	形态及产状
	II 1	150	1.22	2.20	呈透镜状, 产状 220°∠57°
2	II 2	168	0.95	0.87	呈透镜状, 产状 225°∠57°
	II 3	1360	2.28	2.01	呈脉状, 产状 216°∠57°
3	III 1	1730	2.23	2.75	呈脉状, 产状 215°∠68°
矿床			1.77	2.23	

氟碳铈矿以独立矿物形式广泛分布于整个矿区。

根据3条稀土矿脉的稀土含量与所占总量的比例(表3、表4),有高轻稀土元素Ce、La、Nd,低重稀土特点。 $\Sigma$ LREO所占89.10%~99.62%, $\Sigma$ HREO所占0.38%~10.90%, $\text{CeO}_2+\text{La}_2\text{O}_3+\text{Nd}_2\text{O}_3$ 在总量中分配比为68.76%~84.83%。 $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$ 占3.10%~6.14%,其他稀土组分均小于1%。

### 3.3 围岩蚀变特征

稀土矿体产于加里东期斜长花岗岩<sup>①</sup>、火神庙组变细碧岩和燕山期二长花岗岩中,稀土矿体中有石英脉和蚀变岩。蚀变硅化、萤石矿化、重晶石化、

碳酸盐化、褐铁矿化、绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化。前四种蚀变与稀土矿化关系密切。

### 3.4 稀土元素地球化学特征

在表5中,前5个样品为含稀土矿化的构造蚀变岩,后5个样品为稀土矿石样品,可知断裂构造带的稀土元素总量较高, $\Sigma$ REE为 $555.31 \times 10^{-6}$ ~ $43361.18 \times 10^{-6}$ ,平均为11541.35,LREE/HREE为16.22~146.67,平均为98.10, $\delta\text{Eu}$ 为0.39~1.40,平均1.04,具有不明显的铕正异常。 $\delta\text{Ce}$ 为0.40~1.15,平均为0.86,具有弱的铈负异常,Eu/Sm变化于0.18~0.43,平均为0.30(图6)。Sm/Nd比值较低(0.03~

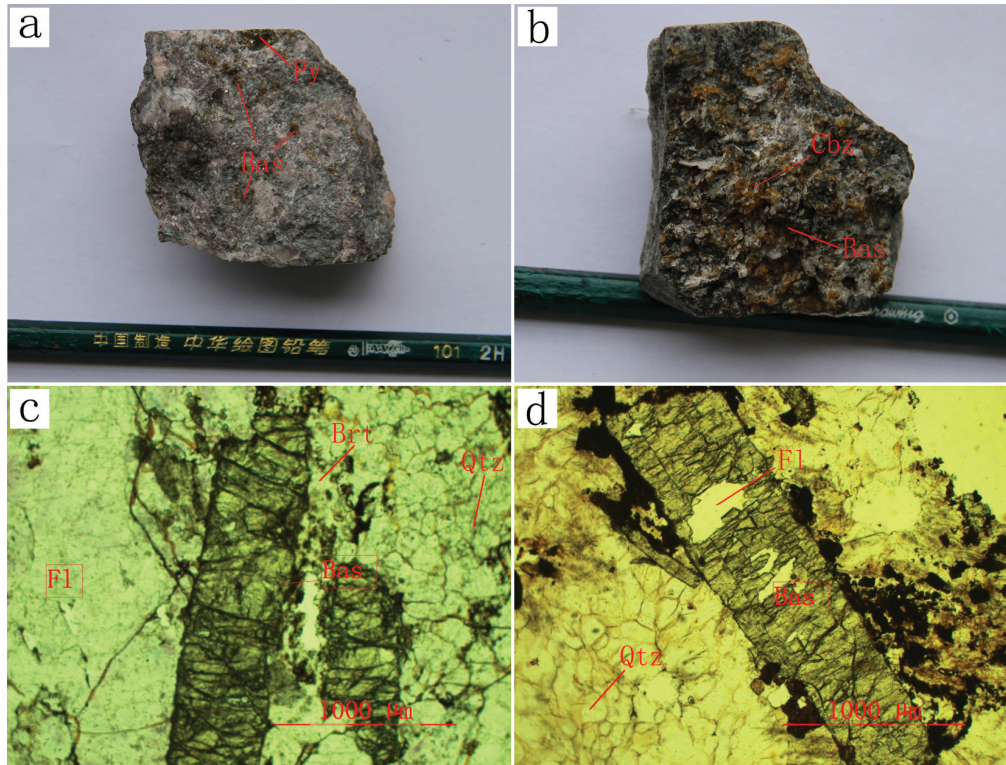


图4 太平镇稀土矿标本及薄片

a—ZK4002岩心标本;b—ZK0801岩心标本;c—氟碳铈矿石英蚀变岩薄片;d—氟碳铈矿重晶石萤石石英蚀变岩薄片;  
Cbz—菱沸石;Bas—氟碳铈矿;Fl—萤石;Brt—重晶石;Qtz—石英;Py—黄铁矿

Fig. 4 The specimen and thin section of rare earth mine in Taiping Town

a—Bore specimen in ZK4002; b—Bore specimen in ZK0801; c—Thin section of bastnaesite in the quartz altered rock; d—Thin section of bastnaesite in the barite—fluorite—quartz altered rock; Bas—Bastnaesite; Cbz—Chabazite; Fl—Fluorite; Brt—Barite; Qtz—Quartz; Py—Pyrite

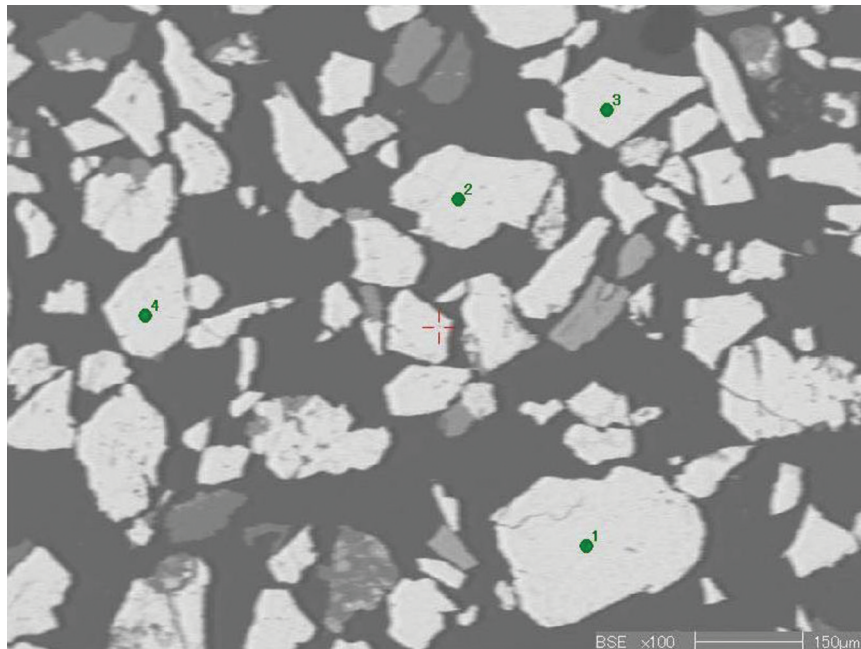


图5 太平镇稀土矿样品(氟碳铈矿)的背散射电子图像

Fig. 5 Back-scattered electron images of rare earth mine (bastnaesite) sample in Taiping Town



表2 太平镇稀土矿的氟碳铈矿电子探针分析测试结果(%)

Data	F	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	Total
点1	14.354	0.000	21.161	28.912	0.000	11.583	0.000	0.041	0.000	76.051
点2	14.479	0.000	21.661	28.906	0.017	11.514	0.000	0.049	0.000	76.627
点3	14.484	0.000	17.931	30.831	0.000	13.193	0.000	0.064	0.000	76.503
点4	14.827	0.000	21.267	28.920	0.000	11.382	0.000	0.046	0.000	76.442

注:测试单位为中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所(甲级资质)。

表3 太平镇稀土矿床稀土氧化物含量(%)

Table 3 Rare earth oxide content of rare earth mine in Taiping Town (%)

样号	送样位置	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CeO <sub>2</sub>	Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LREO	HREO	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +CeO <sub>2</sub> +Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ΣREE
H387	Tc3301-1 西 40°, 8.30 ~ 9.30 m	0.103	0.076	0.015	0.037	0.002	0.0003	0.235	0.002	0.216	0.237
H390	ZK0001-8, 孔深 87.96 ~ 88.96 m	0.058	0.046	0.008	0.026	0.002	0.0003	0.143	0.001	0.13	0.144
H397	Tc0801-2 西 40°, 9.60 ~ 10.60 m	0.018	0.031	0.003	0.01	0.001	0.0001	0.064	0.002	0.059	0.066
H399	Tc0801-4 西 40°, 12.80 ~ 13.80 m	0.114	0.223	0.019	0.061	0.004	0.001	0.427	0.003	0.398	0.43
H403	ZK3201-19, 孔深 183.30 ~ 184.30 m	0.132	0.241	0.021	0.065	0.003	0.0009	0.468	0.003	0.438	0.471
H388	Tc3301-西 40°, 9.30 ~ 10.30 m	0.292	0.462	0.046	0.136	0.004	0.0017	0.947	0.005	0.889	0.952
H389	ZK1602-16, 孔深 182.76 ~ 183.86 m	0.463	0.757	0.072	0.236	0.007	0.0027	1.548	0.007	1.456	1.555
H400	Tc0801-5 西 40°, 16.40 ~ 17.40 m	0.638	1.445	0.115	0.348	0.012	0.0045	2.581	0.011	2.431	2.591
H401	ZK0701-10, 孔深 183.86 ~ 184.86 m	0.594	1.148	0.094	0.328	0.012	0.004	2.197	0.009	2.07	2.207
H402	ZK4002-14, 孔深 237.26 ~ 238.26 m	1.444	2.659	0.216	0.8	0.025	0.0089	5.187	0.02	4.902	5.207

注:分析测试单位为核工业北京地质研究院分析测试研究中心(甲级资质);前5个样品为矿化蚀变岩样品;后5个样品为矿石样品。

表4 太平镇稀土矿床稀土氧化物及轻、重稀土元素氧化物所占总量的比例(%)

Table 4 Proportion of rare earth oxides, light and heavy rare earth elements of rare earth mine in Taiping Town (%)

样号	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CeO <sub>2</sub>	Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
H387	43.43	32.05	6.14	15.69	0.71	0.14	0.44	0.15	0.19	0.03	0.14	0.08	0.09	0.04
H390	40.26	31.98	5.90	18.18	1.05	0.19	0.50	0.20	0.24	0.05	0.21	0.03	0.14	0.05
H397	26.87	46.93	4.07	14.52	0.94	0.21	2.56	0.39	0.84	0.18	0.64	0.07	0.64	0.26
H399	26.41	51.92	4.44	14.25	0.82	0.23	0.51	0.28	0.22	0.03	0.10	0.02	0.06	0.02
H403	28.07	51.21	4.38	13.82	0.71	0.20	0.41	0.26	0.16	0.02	0.06	0.02	0.04	0.02
H388	30.70	48.49	4.78	14.24	0.42	0.18	0.34	0.23	0.18	0.02	0.06	0.02	0.02	0.01
H389	29.78	48.69	4.63	15.18	0.45	0.18	0.30	0.21	0.15	0.02	0.04	0.02	0.01	0.01
H400	24.62	55.78	4.44	13.41	0.47	0.17	0.33	0.21	0.12	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01
H401	26.93	52.01	4.24	14.89	0.55	0.18	0.32	0.23	0.13	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01
H402	27.73	51.07	4.15	15.36	0.48	0.17	0.27	0.24	0.11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00

注:本表根据分析测试数据计算结果。

0.07), 暗示岩石来自于俯冲进入地幔的地壳物质与地幔混合作用形成的富集地幔(朱志敏等, 2008)。

### 3.5 稀土矿化与U、Th关系

二郎坪群火山岩锆石 Th/U 比一般为 0.69~

3.83。由于 Th<sup>4+</sup>、U<sup>4+</sup> 的离子半径较为接近, 因而发生类质同象置换(张培善等, 1985), 甚至形成内潜同晶。根据样品取样及分析测试表 6 和表 7 可以看出, 本区稀土矿品位在 1%~10%, 矿床平均品位在



表5 断裂构造中样品稀土元素含量  
Table 5 The content of rare earth elements in fault structure samples

	H387	H390	H397	H399	H403	H388	H389	H400	H401	H402
La	878.20	494.39	152.31	968.32	1126.97	2491.24	3948.50	5439.55	5066.85	12309.26
Ce	618.76	374.93	253.94	1817.80	1962.56	3757.13	6162.34	11767.09	9343.07	21645.27
Pr	120.50	70.31	22.37	157.91	170.56	376.73	595.40	951.84	774.42	1787.20
Nd	318.96	224.48	82.76	525.28	557.64	1162.43	2024.01	2980.37	2816.27	6856.05
Sm	14.58	12.99	5.41	30.32	29.02	34.29	60.34	105.10	104.23	217.52
Eu	2.85	2.33	1.21	8.46	8.03	14.08	23.66	38.60	34.80	76.95
Gd	8.96	6.25	14.74	19.01	16.76	28.46	39.81	74.10	61.98	121.77
Tb	2.94	2.44	2.23	10.14	10.29	18.51	27.57	46.02	43.82	105.90
Dy	3.84	2.99	4.87	8.08	6.75	15.00	19.92	27.54	24.81	49.83
Ho	0.67	0.57	1.02	1.10	0.87	1.79	2.30	3.01	2.61	2.29
Er	2.91	2.59	3.73	3.58	2.45	5.38	5.35	6.92	3.64	2.88
Tm	1.59	0.43	0.64	0.76	1.66	2.57	2.91	2.91	2.90	6.64
Yb	1.89	1.83	3.72	2.20	1.48	1.25	1.41	3.20	2.35	3.03
Lu	0.83	0.65	1.52	0.79	0.65	1.06	1.05	1.16	1.08	1.29
Ra	0.74	1.10	0.37	0.82	0.49	1.50	1.10	1.80	1.20	2.00
U	4.90	3.50	3.00	2.90	2.20	4.60	3.50	3.40	3.00	6.20
Th	12.90	60.90	7.10	18.40	17.40	41.80	60.60	95.90	64.90	151.00
k	1.49	0.04	0.85	1.00	0.09	0.69	0.04	0.50	0.25	0.04
LREE	1953.85	1179.43	518.00	3508.10	3854.79	7836.51	12814.25	21285.55	18139.65	42892.22
HREE	23.62	17.74	32.25	45.54	40.01	73.12	99.97	164.87	143.19	293.63
∑REE	1977.47	1197.17	550.25	3553.64	3894.79	7909.63	12914.22	21441.43	18282.84	43185.88
δ Eu	0.71	0.70	0.39	1.01	1.02	1.40	1.39	1.27	1.22	1.32
δ Ce	0.40	0.43	0.93	1.02	0.97	0.84	0.87	1.15	1.02	0.99
LREE/HREE	82.70	66.48	16.06	77.03	96.37	107.17	128.16	129.08	127.68	146.07
Eu/Sm	0.20	0.18	0.22	0.28	0.28	0.43	0.39	0.37	0.33	0.35
Sm/Nd	0.05	0.06	0.07	0.06	0.05	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03
La/Yb	463.46	270.00	40.98	439.77	760.65	1985.78	2794.63	1698.22	2154.73	4064.43
La/Sm	60.23	38.05	28.15	31.93	38.84	72.66	65.43	51.75	48.61	56.59
Gd/Yb	4.73	3.41	3.96	8.63	11.31	22.69	28.18	23.13	26.36	40.21

注:由核工业北京地质研究院分析测试研究中心(甲级资质)分析;单位:K为%,Ra为 $10^{-13}$ ,其他均为 $10^{-6}$ 。

2.23%。U含量一般在 $0\sim 36.8\times 10^{-6}$ ,含稀土矿化时,一般在 $1\times 10^{-6}\sim 15\times 10^{-6}$ 。Th含量一般在 $1.1\times 10^{-6}\sim 300\times 10^{-6}$ ,极个别样品也小于 $401\times 10^{-6}$ ,含稀土矿化时,约每 $\omega(\sum REO)1\%$ 为 $35\times 10^{-6}\sim 45\times 10^{-6}$ 。Th/U比值变化较大,一般为0.62~790,显示岩浆成因(Pidgeon R T et al, 1998)。Th/U比值大于9,有可能成稀土矿床(点)。在全区统计240件样品分析测试结果进行线性关系分析,Th含量与 $La_2O_3$ 、 $CeO_2$ 、

$Nd_2O_3$ 呈强正相关关系,U与 $La_2O_3$ 、 $CeO_2$ 、 $Nd_2O_3$ 呈较强正相关关系。

#### 4 矿床成因探讨

从围岩稀土元素地球化学特征来看(图7),总体特征稀土含量除老君山岩体稍高外,一般均在 $300\times 10^{-6}$ 以下,稀土元素分配模式大致呈左高右低、铕异常的右倾型,不同地质体其倾率、铕异常强度

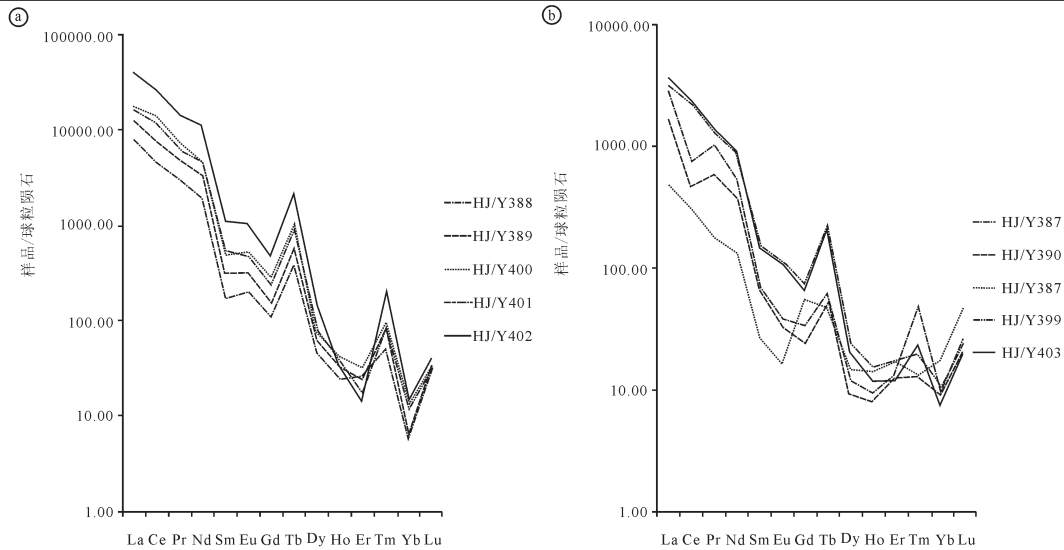


图6 稀土矿样品(a)、稀土矿化样品(b)稀土配分模式图(据球粒陨石标准值数据)

Fig.6 Rare earth distribution pattern of rare earth ore samples (a), rare earth samples of mineralization (b) (chondrite standard data after Boyntion, 1984)

不同,与本区石英脉-蚀变岩型稀土元素地球化学特征较大差异,脉体稀土元素分布特征存在着强铈异常,围岩总体均为弱的负铈异常,而与火神庙组中的重晶石稀土元素类似,为铈正异常。

二郎坪群火山岩 $\Sigma$ REE为 $52.58 \times 10^{-6} \sim 155.0 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE为1.59~8.21, $\delta$ Eu为0.89~1.25,具轻重稀土分馏程度低,无明显铈异常,但二郎坪群重晶石LREE富集和显著的Eu正异常是海底热液稀土元素组成的基本特征(燕长海等,2007)。锆石的Th、U含量较高,Th/U比值达0.69~3.83,平均值1.48,指向岩浆成因特征(赵娇等,2012)。

该区稀土矿化矿石稀土总量低、LREE/HREE比值相对小(小于100)、 $\delta$ Eu为0.39~1.02,平均0.77,具有弱的铈负异常; $\delta$ Ce为0.40~1.02,平均为0.75,具有弱的铈负异常;Eu/Sm比值为0.18~0.28,平均为0.23,小于球粒陨石的0.324(Boyntion, 1984),反映了铈负异常。而工业矿石稀土总量高、LREE/HREE比值相对较大(大于100)、 $\delta$ Eu为1.22~1.40,平均1.32,具有弱的铈正异常; $\delta$ Ce为0.84~1.15,平均为0.97,铈异常不明显;Eu/Sm比值为0.33~0.43,平均为0.38,大于球粒陨石的0.324,反映了铈正异常;分配模式为向右陡倾型(图5)。LREE强富集,La/Yb、La/Sm、Gd/Yb比值较大,显示轻重稀土和轻、重稀土分馏且较强烈。一般认为在上地幔Eu/Sm比值为0.23,而在地壳中比值为0.16~0.20(黎

形,1976)。比值变化于0.18~0.43,既有大于0.23,又有小于0.23,说明断裂构造充填物既有来自上地幔成分,也有地壳成分。

秦岭造山带经历了新元古代、古生代和中生代构造岩浆热液事件和造山作用。在本区,二郎坪弧后盆地古生代沿朱(朱阳关)夏(夏馆)断裂发生俯冲增生及碰撞,形成了早古生代岛弧岩浆带:张家庄—板山坪岩浆带和满子营独立单元。在三叠纪南北大陆汇集,侏罗—白垩纪老君山系列和满子营岩体等侵入,使秦岭造山带最终成型。

北秦岭在奥陶纪原特提斯洋的俯冲而由早期的被动陆源转变为活动边缘,俯冲作用不仅使岩浆岛弧形成,还同时形成了以热水沉积的二郎坪群古生代弧后盆地环境(张国伟等,2001),部分二郎坪群俯冲至华北陆块之下,重熔的壳源物质在古生代与地幔物质相互作用,引起岩浆上侵,形成碰撞花岗岩和A型花岗岩,部分岩体如张家庄岩体经燕山期的变质改造。

中生代的陆内造山活动是以陆内俯冲推覆重置和扩张隆升裂解为特征,岩石圈的拆沉作用不同地段的底侵和软流圈上隆抬升,导致伴随大规模花岗岩活动。在燕山晚期,秦岭由南北向挤压环境转化为伸展阶段后,在太平镇复式背斜的轴部形成与背斜轴面近平行的张性断裂,在太平洋板块远程效应下,含矿的地幔流体与部分二郎坪群含岩浆成因

表6 太平镇稀土矿样品取样位置及特征

Table 6 The sampling points of rare earth mine and their characteristics in Taiping Town

样品号	取样位置	样品特征
H156	1号脉, TC0801-2 西端 40°, 3.90~4.40 m	含紫色萤石矿化的石英碎裂岩
H187	2号脉, TC4301-4 西端 40°, 9.60~10.50 m	含紫色萤石矿化、重晶石化的石英碎裂蚀变岩
H199	2号脉, ZK2402-10, 212.16~213.166 m	灰褐色, 含黄铁矿化、少量辉钨矿化, 碎裂蚀变岩
H201	2号脉, TC0801 西端 40°, 8.70~9.70 m	含紫色萤石矿化、重晶石化的石英碎裂岩
H258	2号脉, TC1401 西端 40°, 12.40~13.30 m	褐黄色, 含萤石矿化、重晶石化、氟碳铈矿化的碎裂蚀变岩
H266	2号脉, TC1101-2 西端 40°, 6.80~7.60 m	褐黄色, 含重晶石化的氟碳铈矿的碎裂蚀变岩
H289	2号脉, TC4301 西端 40°, 8.60~9.60 m	褐黄色, 含重晶石化的氟碳铈矿的碎裂蚀变岩
H295	2号脉, TC1402-4 西端 40°, 8.00~9.00 m	褐黄色, 重晶石化、方解石化, 含氟碳铈矿的碎裂蚀变岩
H310	2号脉, TC1402-4 西端 40°, 9.00~10.00 m	褐黄色, 含重晶石化的氟碳铈矿的碎裂蚀变岩
H327	3号脉, TC1901-4 西端 40°, 12.50~13.50 m	灰白色, 含石英团块、萤石矿化、细脉重晶石矿化、绿泥石化碎裂蚀变岩
H245	3号脉, ZK2301-3, 117.26~118.26 m	褐黄色, 含重晶石化的氟碳铈矿的碎裂蚀变岩
H366	3号脉, ZK3201-19, 184.30~185.20 m	灰白色, 石英破碎呈团块状, 见 5mm <sup>3</sup> 大小的立方体黄铁矿, 偶见辉钨矿化, 萤石矿化、细脉重晶石矿化、绿泥石化明显, 碎裂蚀变岩
H144	Tc1501 西端 0m 处, 3号脉上盘处围岩	灰白色, 碱性长石约占 30%、斜长石 20%、石英 35%、黑云母 5%、绿帘石 4%、副矿物磁铁矿 10%, 片麻状斜长花岗岩
H377	ZK0701 孔深 70m 处, 2号脉与 3号脉间围岩	灰白色、块状, 片麻状斜长花岗岩

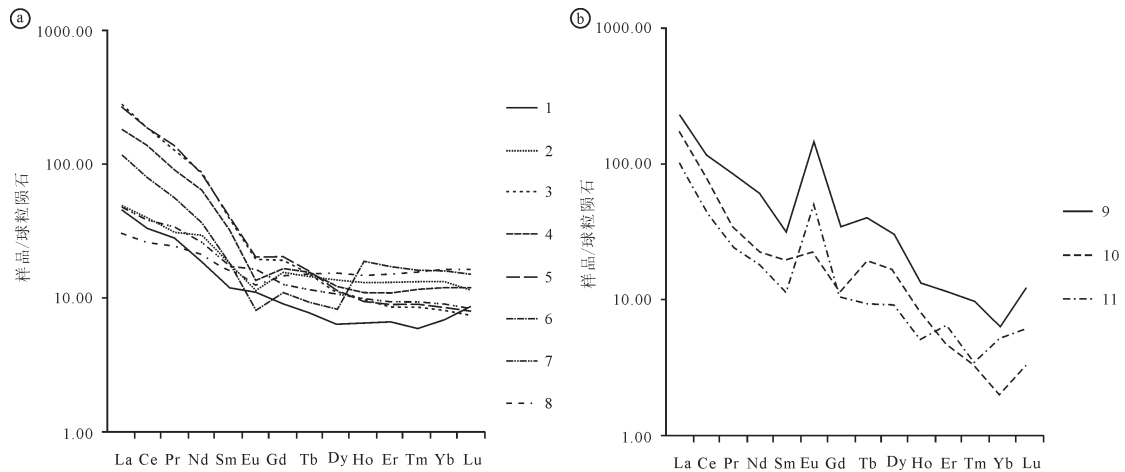


图7 不同地质体(a)、二郎坪群重晶石岩类(b)稀土分配模式图(球粒陨石标准值数据 Boynton, 1984)

1—张家庄糜棱岩化细中粒斜长花岗岩; 2—张家庄糜棱岩化细粒斜长花岗岩; 3—老君山系列片麻状大斑中粒黑云二长花岗岩; 4—老君山系列片麻状中斑中粒黑云二长花岗岩; 5—老君山系列片麻状细斑中粒黑云二长花岗岩; 6—满子营岩体中粗粒二长花岗岩; 7—火神庙组(变)细碧岩; 8—火神庙组(变)石英角斑岩; 9—11—火神庙组不同重晶石样品

Fig.7 Rare earth distribution pattern of different geological bodies (a), Silurian barite rocks (b) (chondrite standard data after Boynton, 1984)

1—Mylonitized fine-medium grained plagiogranite of Zhangjiazhuang; 2—Mylonitized fine grained plagiogranite of Zhangjiazhuang; 3—Gneissic medium grained biotite monzonitic granite with big porphyritic grain of Laojunshan series; 4—Gneissic medium grained biotite monzonitic granite with medium porphyritic grain of Laojunshan series; 5—Gneissic medium grained biotite monzonitic granite with fine porphyritic grain of Laojunshan series; 6—Medium to coarse monzonitic granite of Manziying rock mass; 7—Spilite of Huoshenmiao Formation; 8—Baschtaunite of Huoshenmiao Formation; 9—11—Different barite samples of Huoshenmiao Formation



表7 主要稀土氧化物和Th、U含量  
Table 7 The content of major REO, Th and U

样号	样品类型	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%	CeO <sub>2</sub> /%	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%	ΣREO/%	U /10 <sup>-6</sup>	Th /10 <sup>-6</sup>	Th/U
H156	矿石	0.945	1.502	0.404	3.061	9.7	145.2	14.97
H187	矿石	1.753	2.823	0.767	5.722	8.3	258.3	31.12
H199	矿石	0.385	0.601	0.159	1.233	2.2	56.1	25.5
H201	矿石	1.979	3.253	0.881	6.561	5.2	235.7	45.33
H258	矿石	3.071	5.034	1.156	10.089	10.4	232.3	22.34
H266	矿石	2.582	4.133	1.013	8.388	5.1	177.5	34.8
H289	矿石	1.388	2.56	0.642	5.009	0.3	237	790.00
H295	矿石	2.733	5.346	1.431	10.516	2.6	383.3	147.42
H310	矿石	2.601	5.088	1.358	9.921	7.6	401.8	52.87
H327	矿石	1.340	2.254	0.531	4.478	8.3	227.8	27.45
H245	矿石	0.832	1.202	0.321	2.562	11.8	286.4	24.27
H366	矿石	0.486	0.819	0.220	1.669	14.1	61.3	4.35
H144	斜长花岗岩	0.002	0.003	0.001	0.007	8.7	5.4	0.62
H377	斜长花岗岩	0.010	0.017	0.005	0.042	36.8	23.3	0.63

注:分析测试单位为核工业北京地质研究院分析测试研究中心(甲级资质)。

的重晶石混融,沿张性断裂面上升充填于张家庄斜长花岗岩、二郎坪群及老君山晚期二长花岗岩中,造成以轻稀土元素富集、不明显的铈负异常。由于成矿物质来源于壳幔混源,导致Th/U比值大,同时造成稀土元素的铈正异常强度明显低于未经后期构造改造或重熔的海底喷硫成因的重晶石中稀土元素铈正异常强度,且异于矿脉的围岩中稀土元素铈为明显的负异常,形成以的石英-蚀变岩型稀土矿脉。由于含矿的F2北西向断裂构造同时延伸到老君山大斑中粗粒黑云母二长花岗岩中,而老君山大斑中粗粒黑云母二长花岗岩锆石结晶年龄(108±1)Ma(孟芳,2010),据此推断其形成时代上限不早于(108±1)Ma。推测的直接依据是“含稀土矿的断裂构造带延伸至燕山期老君山岩体内,在没有有效的氟碳铈矿同位素测年时,只能推测其形成的上限年龄,而无法判断稀土矿形成的精确年龄。”

因此,初步认为稀土矿成因类型为壳幔混源热液成因的石英脉-蚀变岩型。

北西向断裂构造是矿体赋存的主要部位;石英脉是重要的含矿地质体;强烈硅化、萤石矿化、重晶石化和黄铁矿蚀变是主要矿化标志。弱的放射性异常,且Th含量大于U含量的是找矿的有利地段。野外可以根据FD3013数字伽玛测量仪及FD3019

数字能谱仪测量结果,可以指导找稀土矿床。

## 5 结论

(1)太平镇稀土矿床是受3条北北西向断裂构造的以Ce、La、Nd为主的轻稀土矿床,氟碳铈矿以独立矿物形式出现。

(2)3条稀土矿脉是以近平行的石英脉-蚀变岩型,在产状变异部位富集成矿。

(3)稀土矿配方模式是陡倾的左高右低、轻稀土富集,弱的铈正异常、弱的铈负异常,轻重稀土分馏且强烈,与岩浆热液成因重晶石分配模式类似,但轻稀土较富集、铈正异常较弱、弱的铈负异常大致一致。

(4)稀土矿床成因是受太平洋域构造影响,在燕山晚期弧后盆地在挤压阶段转化为拉张环境下,以地幔为主含矿岩浆热液沿太平镇背斜张性断裂充填而成,成矿物质是壳幔混源。推断成矿时代不早于老君山晚期(108±1)Ma。

(5)该区稀土矿床主要找矿标志为充填物为石英脉及萤石化、重晶石化、黄铁矿化等蚀变岩,以及弱的Th放射性异常,较低的U含量。

(6)该稀土矿床的发现,提高河南省内,甚至东秦岭地区对稀土矿床的理论研究,指导河南省稀土

矿床的工作部署与勘查。

**致谢:**审稿专家及编辑部老师给予了建设性意见和建议,在此表示由衷感谢。

## 注释

①河南省区调一直沿用斜长花岗岩命名。张家庄岩体岩石为浅灰白—浅灰绿色,(残余)花岗结构、糜棱结构,块状—定向构造、眼球纹理构造,主要由斜长石(60%~67%)、石英(28%~29%)、黑云母(2%~8%)、角闪石(1%~2%)、钾长石(0~2%)组成。其中斜长石 $An=25\sim 26$ ,半自形粒状,具聚片双晶,少部分呈眼球状,石英波状消光,部分具细粒化及亚颗粒化。副矿物主要为磁铁矿、磷灰石、锆石、石榴石等。在张家庄岩体外围东部川心垛和洞街岩体中见有少量钾长石似斑晶出现,局部出现二长花岗岩,局部暗色矿物增多成英云闪长岩。

## References

- Guo Cailian, Chen Danling, Fan Wei, Wang Aiguo. 2010. Geochemical and zircon U-Pb chronological studies of the Manziying granite in Erlangping area, western Henan Province[J]. *Acta Petrologica et Minerologica*, 29(1): 15-22(in Chinese with English abstract).
- Li Zhongming, Zhao Jianmin, Feng Hui, Li Wei, Jiao Zanchao, Yue Guo-li. 2007. First discovery of palaeo-weathering crust type REE deposit in Yushan area of Henan province and its significance[J]. *Mineral Resources and Geology*, 21(2): 177 - 180 (in Chinese with English abstract).
- Li Tong. 1976. Chemical element abundances in the earth and its major shells[J]. *Geochimica*, (3): 167-174(in Chinese with English abstract).
- Meng Fang. 2010. The Characteristics of the Laojunshan Intrusive and Mineralization, Western Henan Province[D]. China University of Geosciences Master Degree, 1- 76(in Chinese with English abstract).
- Pidgeon R T, Nemchin A A, Hichen G J. 1998. Internal structures of zircons from Archaean granites from the baring Range batholith: Implications for zircon stability and the interpretation of zircon U-Pb ages[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 132: 288-299.
- Tian Wei, Wei Chun-jing. 2005. Low Al-TTD series in caledonian period from the North Qinling Orogenic Belt: Rock characteristics, genesis and significance [J]. *Science in China(Series D)*, 35( 3): 215-224(in Chinese).
- Wang Mingsheng, Wu Xinqiang, Song Feng , Yan Jianshe, Liu Pinghe. 1999. The Establishment of the main structural Framework of the Maoji- Erlangping Down Faulted zone in Henan and its significance[J]. *Regional Geology of China*, 18(2): 23- 25(in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Wang Ruijiang, Li Jiankang, Zhao Zhi, Yu Yang,Dai Jingjing, Chen Zhenhui, Li Dexian, Qu Wenjun, Deng Maochun, Fu Xiaofang, Sun Yan, Zhen Guodong.2013. The progress in the strategic research and survey of rare earth, rare metal and rare-scattered elements mineral resources[J]. *Geology in China*, 40(2): 361-370(in Chinese with English abstract).
- Yan Changhai, Peng Yi, Zeng Xianyou, et al. 2007. The Copper Polymetallic Metallogenic Regularities of Erlangping Group in East Qinling [M]. Beijing: Geol. Pub. House, 1-328(in Chinese).
- Zhao Jiao, Chen Danling, Tan Qinghai, Chen Miao, Zhu Xiaohui, Guo Cailian, Liu Liang. 2012. Zircon LA- ICP- MS U- Pb dating of basic volcanics from Erlangping Group of the North Qinling, eastern Qinling Mountains and its geological implications[J]. *Earth Science Frontiers*, 19(4): 118- 125(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, Xiao Qinhui. 2001. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 1-855 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Peishan, Tao Kejie. 1985. Mineralogical characteristics of rare earth minerals in China[J]. *Journal of the Chinese rare earth Society*, 3(3): 1-5(in Chinese with English abstract).
- Zhu Zhimin, Zheng Rong cai, Zhou Jia yun, Chen Jiabiao, Shen Bing. 2008. Geochemistry of carbonatite in the Muluo REE deposit, Sichuan[J]. *Geology in China*, 35(4):754- 761(in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 郭彩莲,陈丹玲,樊伟,王爱国. 2010. 豫西二郎坪满子营花岗岩体地球化学及年代学研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 29(1): 15-22.
- 李中明,赵建敏,冯辉,李伟,焦赞超,岳国利. 2007. 河南省郁山古风化壳型稀土矿层的首次发现及意义[J]. *矿产与地质*, 21(2): 177 - 180.
- 黎彤. 1976. 化学元素的地球丰度[J]. *地球化学*, (3): 167-174.
- 孟芳. 2010. 豫西老君山花岗岩岩体特征及其成矿作用[D]. 中国地质大学硕士论文, 1-76.
- 田伟,魏春景. 2005. 北秦岭造山带加里东期低Al-TTD系列:岩石特征、成因模拟及地质意义[J]. *中国科学(D辑)*, 35( 3): 215-224.
- 王铭生,武新强,宋峰,燕建设,刘平和. 1999. 河南毛集—二郎坪断陷带主体构造格架的确立及意义[J]. *中国区域地质*, 18(2): 23-25.
- 王登红,王瑞江,李建康,赵芝,于扬,代晶晶,陈郑辉,李德先,屈文俊,邓茂春,付小方,孙艳,郑国栋. 2013. 中国三稀矿产资源战略调查研究进展综述[J]. *中国地质*, 40(2): 361-370.
- 燕长海,彭翼等,曾宪友,等. 2007. 东秦岭二郎坪群铜多金属成矿规律[M]. 北京:地质出版社, 1-328.
- 赵娇,陈丹玲,谭清海,陈森,朱小辉,郭彩莲,刘良. 2012. 北秦岭东段二郎坪群火山岩锆石的LA-ICP-MS U-Pb定年及其地质意义[J]. *地学前缘*, 19(4): 118-125.
- 张国伟,张本仁,袁学诚,肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京:科学出版社, 1-855.
- 张培善,陶克捷. 1985. 中国稀土矿主要矿物学特征[J]. *中国稀土矿物学*, 3(3): 1-5.
- 朱志敏,郑荣才,周家云,陈家彪,沈冰. 2008. 四川木洛稀土矿床碳酸岩地球化学[J]. *中国地质*, 35(4): 754-761.