

## 山东省郯山稀土矿地质特征及找矿前景分析

王继芳,孙茂田,杜显彪,甘延景,张国权,王志亮

(山东省鲁南地质工程勘察院,山东 兖州 272100)

**摘要:**郯山稀土矿为山东省唯一一处中型规模的稀土矿产地,是轻稀土矿床,目前矿山采矿许可证内(+20~-160 m)的资源储量已所剩不多。为扩大矿床资源储量,延长矿山服务年限,2012年对矿床深部进行了勘查,在原矿体深部(-160~-500 m)探求了稀土矿石量419.3万t,稀土氧化物总量19.3万t,平均品位( $RE_2O_3$ )4.61%。取得了较好的找矿成果。郯山稀土矿床分布在郯山碱性杂岩体顶、底板附近,共圈定矿体25个,矿体形态可分为脉型及细脉—网脉带型两种。其中①号矿体为矿床范围内主矿体,占矿床估算储量的54%。矿体展布严格受构造控制,成矿为多期次。矿床成因与燕山早期的碱性花岗岩、霓辉正长岩及石英正长岩等组成的碱性杂岩体关系密切,为与碱性侵入体有关的中—低温热液稀土矿床。通过深部勘查,进一步了解了郯山稀土矿的成矿地质背景、矿床地质特征。通过分析矿床成因、找矿标志及找矿前景,为今后的郯山稀土矿深部和外围找矿指明了方向。

**关键词:**稀土矿;地质特征;找矿前景;郯山

**中图分类号:**P618.7 **文献标识码:**A

**引文格式:**王继芳,孙茂田,杜显彪,等.山东省郯山稀土矿地质特征及找矿前景分析[J].山东国土资源,2016,32(6):32-40. WANG Jifang, SUN Maotian, DU Xianbiao, etc. Geological Characteristics and Prospecting Potentiality of Xishan Rare Earth Deposit in Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(6): 32-40.

## 0 引言

郯山稀土矿位于山东省微山县韩庄镇境内,西临微山湖畔,北距微山县城20 km。区内地势平坦,大部分为湖积平原,标高在+32.6~+63.2 m间,相对高差30.6 m。郯山稀土矿于1964年在检查放射性航测异常时发现,1970—1975年进行了详查,提交了《山东微山101矿区普查勘探报告》,求得稀土氧化物总量(C1+C2)11.99万t,矿石量382.53万t,平均品位( $RE_2O_3$ )3.25%。1989年投产开采,目前为生产矿山。郯山稀土矿为山东省乃至华东地区唯一一处中型规模的稀土矿产地,矿床的形成与中生代燕山早期碱性侵入岩有关。

现由山东微山湖稀土有限公司开采,采矿许可证内的①、②、④号等主要矿体已基本开采到采矿权规定的深度(+20~-160 m)。为扩大资源储量,2012年由济宁市政府出资对郯山稀土矿深部进行了勘查,共施工钻孔15个,工作量6 858.0 m,其中

水文孔1个,在原矿体深部(-160~-500 m)探求了(332)+(333)矿石量419.3万t,稀土氧化物总量19.3万t,平均厚度2.16 m,平均品位( $RE_2O_3$ )4.61%。找矿成果十分可观。

## 1 成矿地质背景

矿区位于华北板块(I)鲁西隆起区(II)鲁中隆起(II<sub>a</sub>)枣峰断隆(II<sub>a10</sub>)峰城凸起(II<sub>a10</sub>)的南西部(图1)。近EW向断裂构造将区内分隔成凸起与凹陷相间的构造格局,由北向南依次为枣庄凹陷、峰城凸起、韩庄凹陷。

矿区出露地层简单,主要有新太古代泰山岩群及新生界第四系。

区内断裂构造均为小型,受区域构造影响矿区主要发育有4组断裂: NW向和NE向断裂属压扭性; SN向断裂属张性; EW向断裂属压性。根据构造与矿化的时间关系,又分为成矿前构造、成矿期构造和成矿后构造。成矿前构造以NW向和NE向

收稿日期:2015-07-31;修订日期:2015-09-07;编辑:曹丽丽

作者简介:王继芳(1969—),男,山东成武人,工程师,主要从事地质矿产勘查工作;E-mail:2006\_wjf@163.com

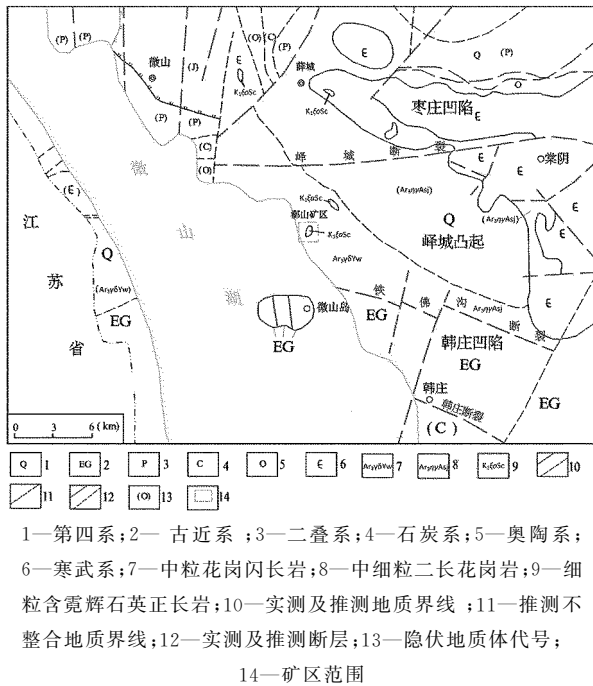


图 1 山东微山地区区域地质略图

最发育,SN 向,EW 向次之。成矿期断裂构造继承了矿前断裂构造再次活动改造而成,是稀土矿体的控矿和赋矿构造,因此成矿期的断裂构造不论规模大小基本上都赋存矿脉。矿体形态、产状、规模严格受断裂构造控制。矿后构造继承了矿前构造和成矿期构造而发育的,改造以前形成的构造,并产生了新的断裂,有的表现较宽的破碎带。

区内岩浆岩发育新太古代片麻状中粒花岗闪长岩和中生代碱性杂岩。新太古代片麻状中粒花岗闪长岩呈岩株状产出,局部有长英质脉分布。中生代燕山期岩浆岩在郟山一带发育,侵入于早期中粒花岗闪长岩中,呈 NW—SE 向展布,与围岩呈不规则的枝叉状接触。接触界线清楚,局部因交代作用及混染作用而不明显。该区岩体多为第四系所覆盖,出露面积仅 0.5 km<sup>2</sup>,在地形上构成海拔 60 m 左右的椭圆形山包(图 2)。中生代燕山期碱性杂岩主要有含霓辉石英正长岩、碱性花岗岩等,含霓辉石英正长岩多为 NW 向延伸,并向 SW 倾斜,呈不规则枝叉状侵入中粒花岗闪长岩中,接触处多发生程度不同的碱性交代作用。岩体主体岩性由正长岩、石英正长岩及含霓辉石英正长岩等组成。按岩石矿物钾长石、石英、钠长石定量比例关系,在矿物定量三角图解上,岩体分布在石英正长岩区。主要造岩矿物是钾长石、斜长石(钠长石、钠更长石、中更长石)、

霓辉石、石英、钠铁闪石等。岩石中副矿物有锆石、磷灰石、金红石、榍石、磁铁矿、萤石等。而独居石、钍石、褐帘石、氟碳铈矿、铈磷灰石等分布并不普遍,且具选择性。副矿物锆石中的微量元素稀土元素含量较高。碱性花岗岩出露矿区西南侧,面积不大。岩体长轴大致呈 NW 向延伸,与正长岩体的关系不清。主要矿物为钾长石(63.67%)、钠长石(5.60%)、石英(24.35%),矿物粒径在 0.3~3.5 mm 间,大多在 0.5~2 mm 间。副矿物有榍石、锆石、磷灰石、磁铁矿、金红石等,此外还有次生褐铁矿和晚期碳酸盐。碱性长石一般发育高岭土化。

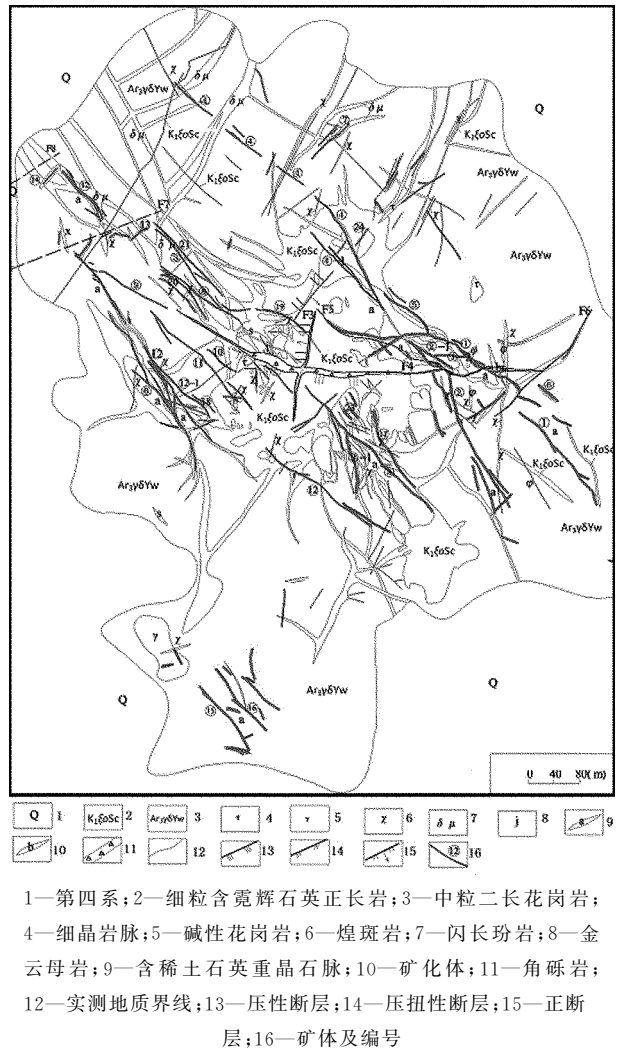


图 2 郟山矿区稀土矿矿床特征示意图

## 2 矿床特征

### 2.1 矿体特征

矿体多围绕郟山剥蚀残丘展布,分布在碱性岩

体顶、底板附近。各矿脉的规模、产状、组分、品位等方面不尽相同。参与编号的矿体有 25 个(表 1),以往工作达到详查程度的有①,②,④,⑥,⑫及⑯1号矿体,其他矿体控制程度较低。其中①,②,④,⑫号

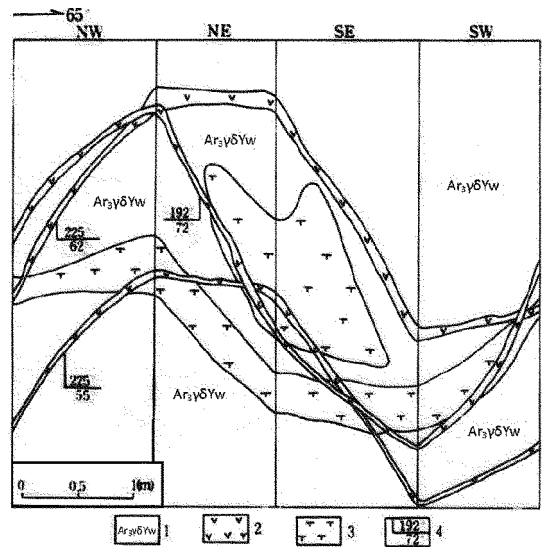
矿体为矿山主要开采对象,+20~-160 m 标高范围内矿量已基本采完,⑫号矿体为矿床范围内主矿体,占矿床估算储量的 54%。

表 1 郟山稀土矿床主要矿体特征

| 矿体  | 形态 | 产状      |       | 规模    |       | 厚度(m)      | 品位 RE <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>(10 <sup>-2</sup> ) |
|-----|----|---------|-------|-------|-------|------------|--|
|     |    | 倾向(°)   | 倾角(°) | 长度(m) | 斜深(m) |            |  |
| ①   | 脉状 | 196~230 | 58~68 | 258   | 432   | 0.22~10.14 | 0.83~9.55  |
| ②   | 脉状 | 205~239 | 58~85 | 294   | 394   | 0.14~5.03  | 0.77~12.33   |
| ③   | 脉状 | 225     | 60~80 | 580   | 250   | 0.2~4.0    | 3.71   |
| ④   | 脉状 | 242     | 65~75 | 258   | 320   | 0.30~5.75  | 1.03~13.77   |
| ⑤   | 脉状 | 230     | 65~70 | 90    |       | 0.15~1.5   | 9.83   |
| ⑥   | 脉状 | 230~255 | 53~76 | 480   | 405   | 0.33~7.28  | 1.56~6.85  |
| ⑦   | 脉状 | 130     | 45~65 | 80    |       | 0.5~1.3    | 1.00~2.91  |
| ⑧   | 脉状 | 220     | 65~75 | 100   |       | 0.2~2.5    | 2.90   |
| ⑨   | 脉状 | 35~181  | 45~80 | 120   |       | 0.17~1.10  | 3.36   |
| ⑩   | 脉状 | 230     | 72    | 60    |       | 0.20~2.00  | 0.51~1.45  |
| ⑪   | 脉状 | 230     | 75~80 | 200   |       | 0.15~2.30  | 1~7.57   |
| ⑫   | 脉状 | 230~266 | 56~76 | 535   | 580   | 0.24~9.98  | 1.01~5.64  |
| ⑫-1 | 脉状 | 220~256 | 61~80 | 490   | 587   | 0.42~6.63  | 0.86~7.58  |
| ⑯1  | 脉状 | 235~260 | 50~71 | 440   | 387   | 0.21~8.08  | 1.09~5.93  |
| ⑬   | 脉状 | 130~145 | 70~75 | 70    |       | 3.30       | 15.90~18.20  |
| ⑮   | 脉状 | 210~250 | 60~70 | 200   | 250   | 0.15~2.20  | 0.76~8.31  |
| ⑮   | 脉状 | 225     | 70~80 | 120   |       | 0.05~2.50  | 1.15~2.18  |
| ⑰   | 脉状 | 235~250 | 60~70 | 130   |       | 0.10~0.40  | 品位较低   |
| ⑱   | 脉状 | 225     | 70~80 | 40    |       | 0.15~1.50  | 2.17~3.48  |
| ⑲   | 脉状 | 180~230 | 60~70 | 190   |       | 0.45~2.00  | 0.40~9.24  |
| ⑳   | 脉状 | 230     | 80    | 110   |       | 0.15~1.50  | 0.90~6.36  |
| ㉑   | 脉状 | 160     | 55~70 | 160   | 160   | 0.20~4.50  | 5.80~15.52   |
| ㉒   | 脉状 | 140~160 | 70    | 90    |       | >0.65      | 7.23~10.46   |
| ㉓   | 脉状 | 235     | 60    | 35    |       | 0.25       | 2.10~3.38  |
| ㉔   | 脉状 | 126     | 79    | 30    |       | 0.10       | 15.84  |

区内矿体展布严格受构造控制。由于矿区构造发育且具多期次活动的特征,成矿也是多期次的,所以成矿前和成矿时的裂隙皆充矿,可见有后期形成的矿脉穿插前期矿脉现象(图 3)。矿脉的展布和构造的分布是一致的。矿脉走向有 NW, NNW, NE, NEE 向;近 SN 向和近 EW 向等。其中走向 NW 的矿体是矿区主要矿体。也是该次深部勘查的主要对象。矿体形态为脉型及细脉—网脉带型。前者脉幅大,长度 30~540 m,宽度 10 cm 至 9.19 m;后者脉幅小,长度、宽度都不大,单独细脉工业意义不大,但由密集细脉组成的细脉带具工业意义<sup>[2]</sup>。

2012 年补充勘查主要对①,②,⑫,⑥、⑯1及⑫-1号矿体深部(-160~-500 m)做了补充勘探,使这些矿体深部达到了详查程度。从-160 m 中段矿床地质图可以发现,成矿后断层 F7, F8 对矿体连续性造成较大影响,而近 SN 向的正断层 F3, 上盘

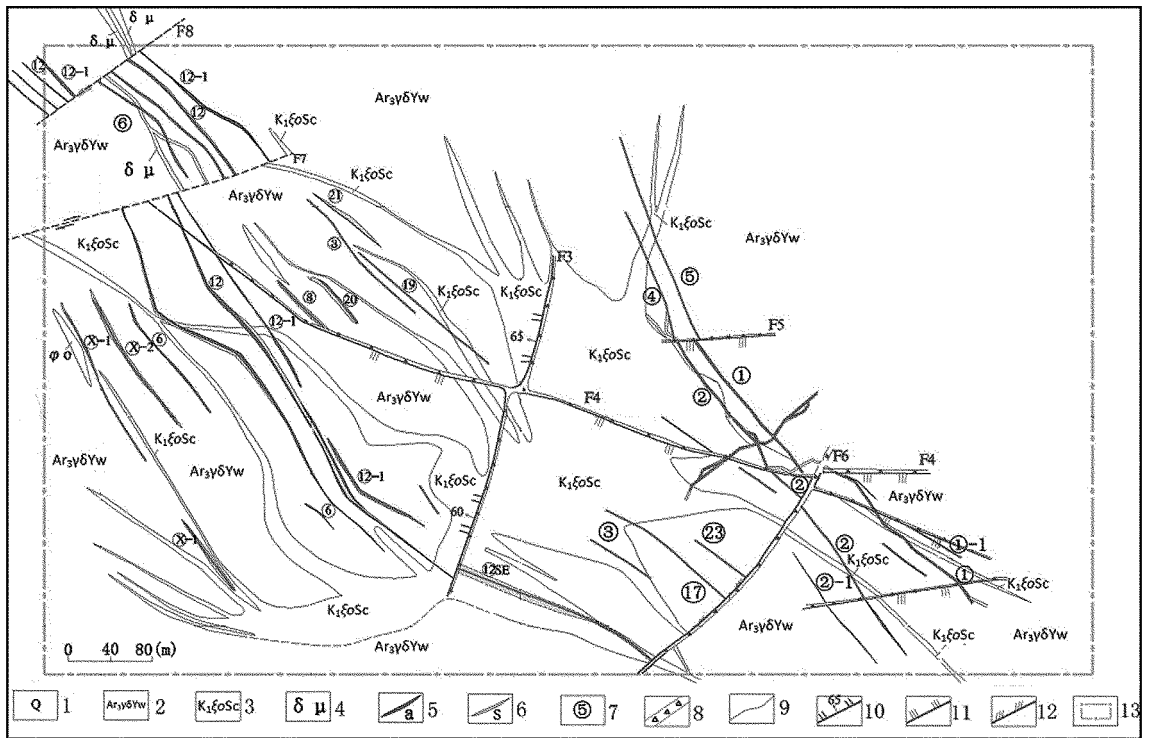


1—中粒花岗闪长岩;2—含稀土石英重晶石脉;3—正断层;4—产状

图 3 4号矿体 QJ22 素描图

形成以⑫号矿脉为主的矿脉群规模较大,而其下盘

以①号矿脉为主的矿脉群规模较小(图 4)。



1—第四系;2—中粒花岗闪长岩;3—细粒含霓辉石英正长岩;4—闪长玢岩;5—含稀土石英重晶石脉;6—矿化体;7—矿脉编号;  
8—破碎带;9—地质界线;10—正断层及产状;11—压性断层;12—压扭性断层;13—矿区范围

图 4 郗山稀土矿床-160 m 中段平面图

⑫号矿体位于郗山西 300 m 处,为矿床深部范围内主矿体,占矿床估算储量的 54%。矿体赋存于 NW 向断裂构造带内及其顶底板片麻状中粒花岗闪长岩中,呈脉状产出,矿化较为连续,沿走向呈舒缓波状变化,具分支复合、膨缩等特征,与不同方向的矿脉相交、穿插。因构造影响该矿体可划分为北西段和南东段,详见联合勘探线剖面图(图 5)。

⑫号矿体北西段:矿体由 53 个工程控制,在采矿权范围-160 m 以上有 38 个工程控制,深部-160~-500 m 有 15 个钻探工程控制,并且-40 m 水平施工沿脉巷道工程长度 266 m。矿体展布于 28~54 勘探线间,分布标高+37~-550 m,长度 535 m。矿体走向 320°~356°,倾向 SW,倾角 56°~75°,局部地段倾角变化较大。矿体厚度为 0.24~9.98 m,平均厚度 3.26 m,厚度变化系数 67%,属厚度较稳定型矿体。氧化稀土品位( $RE_2O_3$ )一般 1.01%~5.64%,最高 24.28%,平均品位 4.05%,品位变化系数 123%,属有用组分不均匀型矿体。

⑫号矿体南东段:矿体由 13 个工程控制,展布

于 5~13 勘探线间,分布标高+41~-80 m,长度 172 m。矿体走向 305°,倾向 215°,倾角 68°。呈脉状产出,沿走向呈舒缓波状变化,矿化连续,但总体矿化较弱,氧化稀土含量( $RE_2O_3$ )一般 0.17%~4.98%,最高 17.45%,平均品位 3.10%,品位变化系数 107%,属有用组分不均匀型矿体;厚度为 0.25~5.82m,平均厚度 1.99 m,厚度变化系数 134%,属厚度不稳定型矿体。矿体与围岩呈过渡接触关系或截然分明,围岩为片麻状中粒花岗闪长岩及正长岩。局部见有断层切割,但对矿体破坏程度较小。

### 2.2 矿石质量

稀土矿物以氟碳铈矿为主,其次为氟碳钙铈矿。矿石呈半自形—他形粒状结构、自形粒状结构及交代残余结构,块状构造、条带状构造、浸染状构造。矿石主要类型为含稀土石英重晶石碳酸岩、含稀土细脉浸染状片麻状中粒花岗闪长岩。区内稀土矿体以脉状、网脉状产出,按物质组分差异分为 4 种类型:含稀土石英重晶石碳酸盐脉、含稀土放射状霓辉

花斑岩脉、含稀土霓辉石脉、铈磷灰石脉。上述 4 种矿脉类型以含稀土石英重晶石碳酸盐脉数量较多，

分布广泛,其他 3 种矿脉都是零星分布。矿脉中稀土矿物可划分为 4 类组合(表 2)。

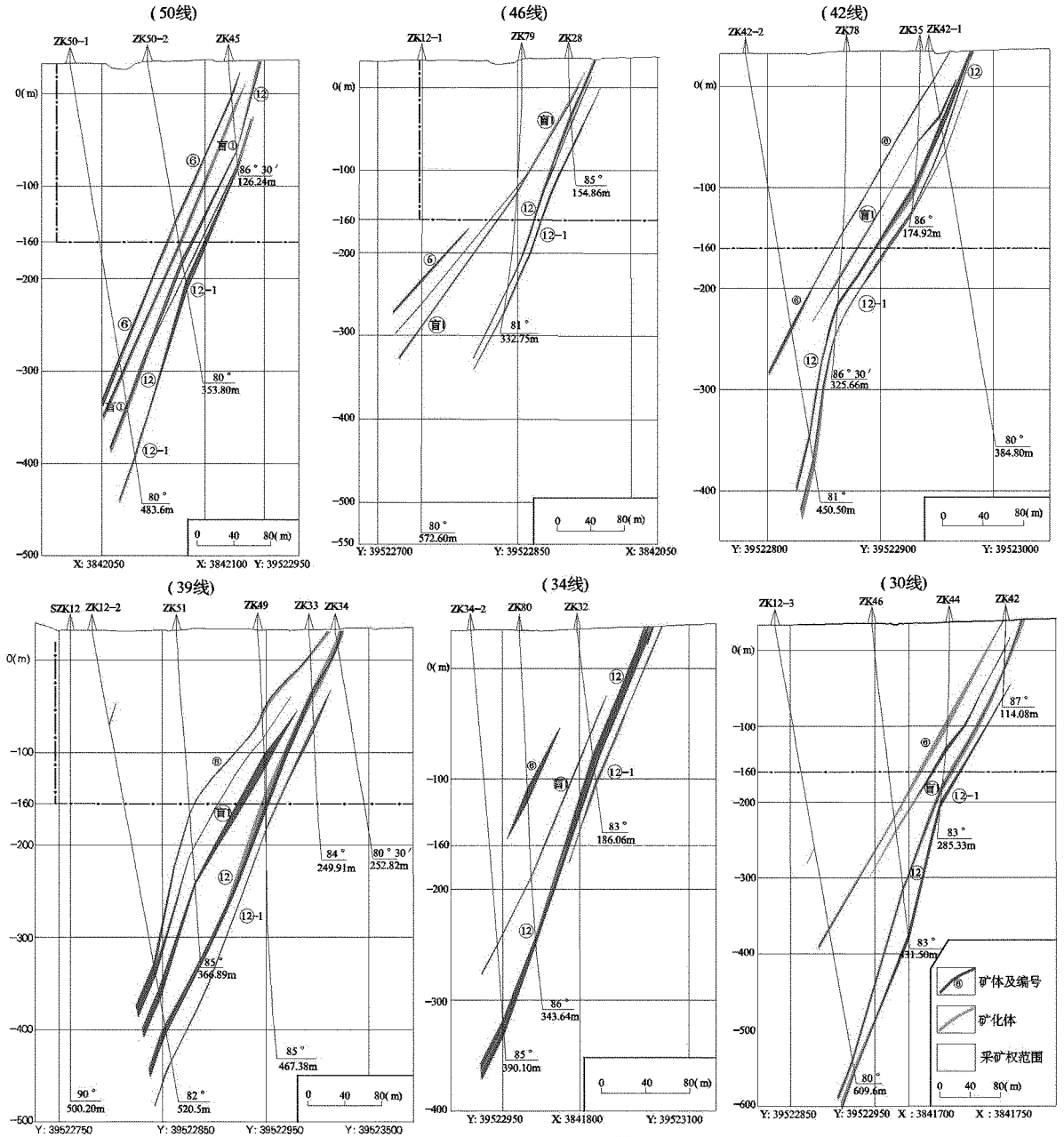


图 5 ⑫号联合剖面示意图

矿石矿物组合是复杂多样的(表 3),稀土矿物以氟碳酸盐类的氟碳铈矿、氟碳钙铈矿为主,还有碳酸盐类的碳酸铈钠矿,菱钙铈矿及铈磷灰石等。地表风化后均染成黑褐色,被水针铁矿、褐铁矿及土状物质胶结,改变了原来的稀土矿物,暂定名为风化稀土 1.2.3.4。

矿石化学成分:经对矿石化学分析及半定量分析,主要稀土元素有:铈、镧、钆、镨、钕、钷、钆、铽、铈等,其他元素有钍、铀、钼、铅等。其中 Ce,La,Nd,Pr,Sm,Eu,Y,Th 均大大地高于克拉克值。Yb,Se,Nb,Hf,Sr,Be,Cd,W,Ag,Pb,Mo 等元素高于克拉克值几倍。Zr,P,As,Li,Be,Ga,Bi,Ca,

Zn 等元素高于或等于克拉克值;有些略低于克拉克值。Sm, Ni, Cr, Co, V, Ti, Mn 等元素低于克拉克值。矿石中矿物及稀土矿物所含稀土元素数量是不一致的(表 3、表 4)。矿区中稀土元素各分量分析结果见表 5,由表 5 可以看出,该矿区是富铈族稀土矿床,并以铈含量为最高,镧、钕、镨次之。矿石中其他矿物或多或少都含有稀土元素,绝大多数的稀土元

素能够工业利用,富含 Ce, La, Nd, Pr, Sm 等,但重稀土钇元素低微;Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量大多数为 0.01%~0.02%,有综合利用价值。但钽含量低,富铈而贫钽;Sr, Th 个别含量较高,但分布不均,一般利用价值不大;矿区内 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量低微,仅矿区西南辉石正长岩脉含量略高,平均品位 1.30%,最高 3.73%。岩脉规模不清<sup>[3-4]</sup>。

表 2 稀土矿物组合

| 矿物组合     | 主要矿物  | 备注                               |
|----------|---|----------------------------------|
| 碳酸盐组合    | 氟碳铈矿、氟碳钙铈矿、碳酸铈钠矿、菱钙铈铈矿、独居石、富铈烧绿石、钍石、石英、重晶石、碳酸盐、萤石、白云母以及钛铁金红石、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿等,另外还有霓辉石、钠铁闪石、长石等                  | 主要的一种脉状矿体。包括氟碳铈矿碳酸盐组合、碳酸铈钠矿碳酸盐组合 |
| 褐铁矿组合    | 氟碳铈矿、风化稀土 1.2.3.4、褐铁矿、石英、重晶石、萤石、白云母、氟碳钙铈矿、软、硬锰矿、水针铁矿、铅铁矾、铜矾、铁矾、铜铅矿、赤铁矿、蛋白石、玉髓、次生石英、重晶石、粘土及硫化物残余、独居石、钍石、富铈烧绿石、钛铁金红石等 | 碳酸盐组合的地表脉状矿石                     |
| 铈磷灰石组合   | 铈磷灰石、萤石、氟碳铈矿、碳酸盐、霓辉石、钾长石、石英等  | 透镜状、条带状,既有单独矿脉(②矿体)又有与碳酸盐组合相伴产出者 |
| 氟碳铈矿榴石组合 | 氟碳铈矿、独居石、钍石、榴石、钾长石、石英、钠长石、磷灰石、褐帘石、钛铁金红石等  | 含稀土放射状霓辉花斑岩脉的组合类型(②矿体),仅地表见到     |

表 3 矿石组合化学单项分析 (%)

| 项目 | SrO      | Cu       | Pb       | Zn       | U        | Th       | TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Ga       | ZrO <sub>2</sub> | Mo      |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------|------------------|---------|
| 最大 | 9.55     | 0.27     | 0.317    | 0.114    | 0.024    | 0.1838   | 14.62                          | 0.0254                         | 0.0006                         | 0.0025   | 0.058            | 0.055   |
| 最小 | 0.06     | 0.004    | 0.008    | 0.006    | 0.0006   | 0.0013   | 1.76                           | 0.0139                         | 0                              | 0        | 0                | 0       |
| 平均 | 1.448667 | 0.018972 | 0.085278 | 0.027417 | 0.005017 | 0.037597 | 5.666                          | 0.013022                       | 0.000903                       | 0.001378 | 0.015433         | 0.01615 |

表 4 稀土矿物含稀土元素 (%)

| 矿物名称                            | 氟碳铈矿   | 氟碳钙铈矿  | 铈磷灰石   | 碳酸铈钠矿  | 菱钙铈铈矿  | 硅铈铈矿  | 独居石   |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| RE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 77.80  | 66.78  | 67.04  | 26.51  | 47.73  | 46.88 | 69.46 |
| CeO <sub>2</sub>                | 47.10  | 50.60  | 50.00  | 46.46  | 47.00  | 24.30 | 36.60 |
| La <sub>23</sub>                | 40.30  | 27.20  | 26.00  | 43.50  | 42.10  | 16.30 | 21.80 |
| Nd <sub>23</sub>                | 7.85   | 14.30  | 13.80  | 5.85   | 6.50   | 4.34  | 7.40  |
| Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub> | 3.02   | 4.81   | 4.56   | 2.61   | 2.87   | 1.86  | 2.84  |
| Sm <sub>23</sub>                | 0.27   | 0.96   | 1.26   | 0.10   | 0.14   | 0.38  | 0.56  |
| Eu <sub>23</sub>                | 0.061  | 0.14   | 0.21   | 0.033  | 0.037  |       |       |
| Gd <sub>23</sub>                | 0.091  | 0.25   | 0.40   | 0.056  | 0.056  |       |       |
| ER <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | <0.005 | 0.006  | 0.026  | 0.005  | <0.005 |       |       |
| Lu <sub>23</sub>                | <0.005 | <0.005 | <0.006 | <0.005 | <0.005 |       |       |
| Y <sub>23</sub>                 | 0.072  | 0.11   | 0.31   | 0.062  | 0.034  |       |       |

### 2.3 围岩蚀变

含稀土石英重晶石碳酸盐脉是沿不同级别裂隙侵入片麻状中粒花岗闪长岩、正长岩、霓辉正长岩、钠长斑岩、破碎带等,脉状矿体与围岩接触界线清晰,蚀变较弱,而网脉状(细脉带型)矿化附近围岩蚀变作用较强,蚀变主要是碱性(特别 Na)交代,还有碳酸盐化、重晶石化、萤石化、硫化物化、稀土矿化等

作用。矿化围岩主要为片麻状中粒花岗闪长岩和各类正长岩。片麻状中粒花岗闪长岩岩石钠交代作用普遍存在,钠质交代作用主要表现为钾长石(大多数为微斜长石),有时还有斜长石的钠长石化和奥长石化,因而蠕英结构普遍发育,同时生成各种交代成因的条纹长石,有时还出现净边结构和斜长石颗粒边缘牌号明显降低现象。另一特征是大多数情况下,

石英呈不甚规则的条纹状或条带状沿片麻理分布。正长岩类岩石结构大多数为斑状、似斑状结构。斑晶通常发育了各种环带状结构,斑晶中条纹长石分布普遍,基质一般具半自形粒状结构、显微细晶结构等。这类岩石中大多数是中细粒结构,只有在少数情况下为粗粒花岗结构。铁镁硅酸盐矿物含量很少也是这类岩石的特征,而往往以霓辉石为主要铁镁矿物。矿化围岩的稀土矿化特征以独居石为主,次为氟碳铈矿等,在片麻状中粒花岗闪长岩中见有少量褐帘石产出。围岩普遍含矿,特别是近矿和两矿脉之间有较好的稀土矿化。围岩含矿是由浸染状含稀土细脉沿羽状裂隙充填所致。一般稀土氧化物( $TR_2O_3$ )含量为 0.1%~1.0%,个别高达 5%。围岩含矿不受围岩岩性影响,而是与含矿裂隙的多少成正比关系。有的裂隙能直接观察到,地表呈黑色、黑褐色线状,有的镜下才能观察到。

表 5 稀土元素各分量分析结果(%)

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| CeO <sub>2</sub> :48.58~53.45 | La <sub>23</sub> :24.42~41.47              |
| Nd <sub>23</sub> :7.17~16.13  | Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub> :3.17~6.67 |
| Sm <sub>23</sub> :0.26~2.30   | Gd <sub>23</sub> :0.07~0.41                |
| Eu <sub>23</sub> :0.04~0.88   | Dy <sub>23</sub> :0.02~0.10                |
| Y <sub>23</sub> :0.08~0.46    |  |

### 3 矿床成因

中生代燕山期,矿区发育断裂构造,中生代岩浆沿断裂脉动侵入于前寒武纪片麻状中粒花岗闪长岩中。早期碱性正长岩形成(正长岩中的钾长石经长春地质学院中心实验室钾氩法测定,同位素年龄为 140 Ma)之后为各种不同岩性的脉岩形成,最后是稀土矿脉的形成(稀土矿脉中的白云母经长春地质学院中心实验室钾氩法测定同位素年龄 110 Ma)。岩体与矿脉之间同位素年龄相近,显然矿脉与岩体具有成因关系。从岩体中钾长石形成 140 Ma 到矿脉中白云母形成 110 Ma,与地质绝对年龄数值对比,是白垩纪产物,都属于燕山期形成的。稀土矿脉的形成也有先后,先期形成含稀土霓辉花斑岩脉、铈磷灰石脉,最后为含稀土石英重晶石碳酸盐脉等。

矿物形成的大致顺序如表 6 所示,从表 6 可知,与稀土矿有关的矿物形成从岩浆阶段就有,随岩浆期后阶段渐增,至全部形成。稀土矿物从岩浆后期的碱性交代作用发生矿化开始,到热液阶段最强烈

为止。稀土矿物与 K,Na,C,F,S,P 等关系极为密切;与钠长石、霓辉石、钠铁闪石、磷灰石、石英、碳酸盐、重晶石、萤石等相伴生。铈磷灰石、氟碳酸稀土矿物、碳酸盐稀土矿物晶出早于重晶石、方解石。由于稀土矿物晶出时间较长,大体上早期晶出者与重晶石、方解石、石英相互包裹、穿插。含稀土石英重晶石碳酸盐形成有二次以上,重晶石、方解石、石英的形成有 2~3 次,后期矿脉穿插了早期形成的矿脉,硫化物的形成晚于以上各种矿物。

综上所述,初步认为郗山稀土矿床是与碱性侵入体有关的中—低温热液稀土矿床。

### 4 找矿标志

根据矿床成因类型,结合稀土矿床的具体特点,认为该区找矿标志有以下几个方面:

(1)岩石标志。稀土矿与燕山早期的碱性花岗岩、霓辉正长岩及石英正长岩等组成的碱性杂岩体关系密切,稀土矿体主要赋存于杂岩体内及其附近围岩中,远离杂岩体则无矿化现象。富含稀土元素的正长质岩浆活动不仅为成矿提供丰富的物质基础,同时也为成矿元素活化迁移和聚集成矿提供了充足的热源和热液。因此燕山早期碱性杂岩体是寻找稀土矿的岩石标志<sup>[1]</sup>。

(2)放射性异常标志。郗山稀土矿是 1964 年在检查放射性航测异常时发现的,该矿区存在钍、铀放射性元素,钍元素以单矿物钍石为主,其他稀土矿物中也有存在(图 6)。在富铀烧绿石矿物中存在铀元素,含 U<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 为 20.54%。共发现了 100 r 以上的放射性异常 254 处。大于 1 000 r 的异常 25 处,大于 2 000 r 的异常 8 处。这些异常的分布以正长岩中为多,特别以侵入正长岩中的含稀土褐铁矿化石英重晶石脉附近为最多。黑云母斜长片麻岩中也有超过 1 000 r 异常出现,但数量不多。从地表观察,不论什么岩性,只要呈现烘烤现象(红长石化),铁质浸染,并有数量不一的黑色矿物等特征,放射性异常就高。多数放射性异常的分布与含稀土石英重晶石脉有直接关系(表 6),r 值高,稀土总量高,而钍、铀的含量也高,稀土总量与钍、铀含量成正比关系。因此有放射性异常是寻找稀土矿的重要物理标志。

表 6 矿物生成顺序

| 矿物名称   | 岩浆阶段 | 岩浆期后阶段  |        |               | 表生阶段 |
|--------|------|---------|--------|---------------|------|
|        |      | 富铀烧绿石矿化 | 铈磷灰石矿化 | 稀有氟碳酸、稀有碳酸盐矿化 |      |
| 霓辉石    |      |         |        |               |      |
| 钠铁闪石   |      |         |        |               |      |
| 石英     |      |         |        |               |      |
| 钾长石    |      |         |        |               |      |
| 钠长石    |      |         |        |               |      |
| 榍石     |      |         |        |               |      |
| 锆石     |      |         |        |               |      |
| 磷灰石    |      |         |        |               |      |
| 磁铁矿    |      |         |        |               |      |
| 富铀烧绿石  |      |         |        |               |      |
| 独居石    |      |         |        |               |      |
| 钍石     |      |         |        |               |      |
| 铈磷灰石   |      |         |        |               |      |
| 氟碳铈矿   |      |         |        |               |      |
| 氟碳钙铈矿  |      |         |        |               |      |
| 重晶石    |      |         |        |               |      |
| 碳酸盐    |      |         |        |               |      |
| 石英     |      |         |        |               |      |
| 白云母    |      |         |        |               |      |
| 菱钙铈铈矿  |      |         |        |               |      |
| 碳酸铈钠矿  |      |         |        |               |      |
| 硫化物    |      |         |        |               |      |
| 蛋白石、玉髓 |      |         |        |               |      |
| 赤、褐铁矿  |      |         |        |               |      |
| 软、硬锰矿  |      |         |        |               |      |
| 铅铁矾    |      |         |        |               |      |
| 铅矾     |      |         |        |               |      |
| 白铅矾    |      |         |        |               |      |
| 钼铅矿    |      |         |        |               |      |
| 铁矾     |      |         |        |               |      |
| 风化稀土   |      |         |        |               |      |
| 绢云母    |      |         |        |               |      |
| 绿泥石    |      |         |        |               |      |

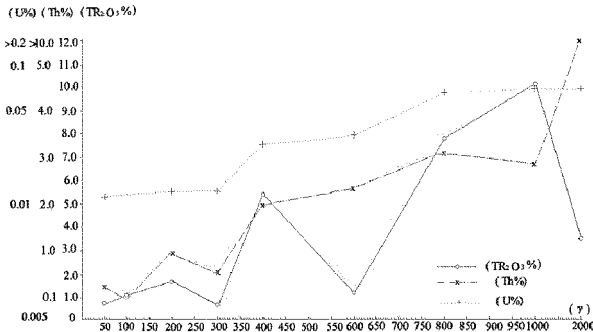


图 6  $\gamma$  值与  $TR_2O_3\%$ ,  $Th\%$ ,  $U\%$  关系图

表 7 放射性元素 Th 在矿物中的含量 (%)

|            |       |      |         |
|------------|-------|------|---------|
| 矿物名称       | 钍石    | 独居石  | 硅铈铈矿    |
| 含 Th 量 (%) | 69.93 | 2    | 0.53    |
| 矿物名称       | 氟碳铈矿  | 铈磷灰石 | 风化稀土    |
| 含 Th 量 (%) | 0.4   | 0.4  | 0.2~0.3 |

(3) 矿化蚀变标志。稀土矿常常伴随碳酸盐化、重晶石化、萤石化、钠长石化等，矿区内重晶石碳酸岩脉、萤石脉、花岗斑岩脉发育，因此这些矿化蚀变和脉岩的发育是寻找稀土矿重要的矿化蚀变标志。

(4) 就矿找矿。稀土矿呈脉状、网脉状产出，具有尖灭再现、分支复合等特点。因此在原有稀土矿深部和外围是寻找稀土矿是最有效的方法之一。

## 5 找矿前景分析

通过对郟山稀土矿各种资料的分析研究，尤其是对深部勘查资料的进一步分析，认为该区仍具有较好的找矿前景。

(1) 郟山稀土矿深部勘查工作主要针对几条矿脉(①, ②, ⑫, ⑥、⑩ 1 号矿体)深部补做了探矿工作，在原矿床深部(标高-160~-500 m)估算稀土矿石资源储量 436.2 万 t，稀土氧化物总量 19.3 万 t，平均厚度 2.14 m，平均品位 ( $RE_2O_3$ ) 4.55%。仅此资源储量已超过上部矿床累计探明总量。若将其其他矿脉进行有效控制，在目前范围内估算其资源储量将会进一步提高。

(2) 根据矿脉的空间展布情况，在地表已得到较充分的揭露，其分支、交叉、尖灭、再现等情况均有出现，形态复杂。在剖面上由于深部工程控制较稀、矿

脉较地表显得整齐,如再加密钻孔,亦会出现尖灭、分支等现象。根据上部采掘资料,矿山在开采中发现较多盲矿体,该次在深部勘探中也发现了④1矿体,随着勘探工程的加密,还会有盲矿体被发现。

(3)矿区对 NE 向矿脉研究程度低,根据矿山生产实际工作中发现的 NE 向矿脉,如④3,不管是品位还是厚度均较稳定,由于目前-160 m 标高以上已采完,深部无工程控制,故该次工作未估算其资源储量。

(4)根据该次勘查资料,矿体至-500 m 大多未尖灭,其下部应有较多资源储量。并且矿区外围勘查资料较少,有的稀土矿体已延出区外,如果对矿区外围进行普查,应该还有一定的资源前景。目前郯山稀土矿为一中型矿床,通过进一步勘查,其资源储

量达到大型矿床是完全有希望的。

## 参考文献:

- [1] 田京祥,张日田,范跃春,等.山东郯山碱性杂岩体地质特征及与稀土矿的关系[J].山东地质,2002,18(1):21-25.
- [2] 于学峰,唐好生,韩作振,等.山东郯山-龙宝山地区与碱性岩有关的稀土矿床地质特征及成因[J].地质学报,2010,84(3):407-417.
- [3] 李建康,袁忠信,白鸽,等.山东微山稀土矿床成矿流体演化及对成矿的制约[J].矿物岩石,2009,29(3):61-68.
- [4] 周玲棣,赵振华.我国富碱侵入岩的岩石学和岩石化学特征[J].中国科学(B辑),1994,24(10):1093-1101.
- [5] 周伟伟,蔡剑辉,阎国翰.山东郯山碱性杂岩体地球化学特征及其意义[J].西北地质,2013,46(4):93-105.

## Geological Characteristics and Prospecting Potentiality of Xishan Rare Earth Deposit in Shandong Province

WANG Jifang, SUN Maotian, DU Xianbiao, GAN YanJing, ZHANG Guoquan, WANG Zhiliang  
(Lunan Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Yanzhou 272100, China)

**Abstract:** Xishan deposit is the only medium size rare earth deposit in Shandong province. At present, only few reserve which is permitted in the mining license (+20~160 - m) has been left. In order to expand the deposit reserves and extend the mine service life, deep exploration of this deposit has been carried out in 2012. In the deep of original ore body (160 m ~ 500 m), 4.193 million tons rare earth ore quantity and 193000t total rare earth oxides have been found. Average grade of RE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is 4.61%. Good ore-prospecting results have been gained. Xishan rare earth deposit distributed in the top and bottom of XiShan alkaline complex rocks. 25 ore bodies have been circled. The ore deposit can be divided into vein type ore body and veinlet-net vein type. No.12 ore body is the main ore body in the scope of the deposit. It accounts for 54% of the estimated reserves. Distribution of ore bodies are strictly controlled by structures, and belong to metallogenic multiple times type. The origin of deposit has close relation with alkaline complex rock which are composed of alkaline granite, neon glow syenite and quartz-syenite in early Yanshan period. It is a low temperature hydrothermal rare earth deposit related to alkaline intrusive rocks. Through deep exploration of Xishan rare earth deposit, its metallogenic and geological background and geological characteristics have been further understood. Through analysis on the origin, prospecting marks and prospecting prospect, the exploration direction in the deep and surrounding areas in the future has been pointed out.

**Key words:** Rare earth deposit; geological characteristics; prospecting potentiality; Xishan area