http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

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

于学峰[1,2],唐好生[3],韩作振[1],李长有[3]

1) 山东科技大学地质学院,山东青岛,266510; 2) 山东省地质博物馆,济南,250013;
3) 山东省鲁南地质工程勘察院,山东兖州,272000

内容提要:郯山和龙宝山稀土矿具有相似的成矿地质背景、控矿岩体特征及矿床地质特征。燕山早期碱性侵入岩与稀土矿关系密切,稀土矿体主要赋存于杂岩体内及其附近围岩中;稀土元素和同位素研究表明,含矿质的富碱岩浆可能属壳幔混源型,碱性岩浆及成矿物质最初可能都来源于上地幔同一部位,而在岩浆上侵过程中同化混染了地壳物质。郯山稀土矿为单一富轻稀土矿床,矿脉类型以含稀土石英重晶石碳酸盐脉为主,含稀土矿物以氟碳铈矿和氟碳钙铈矿为主,碳酸铈钠矿和菱钙锶铈矿属国内首次发现。龙宝山稀土矿为稀土、金共生矿,矿脉类型主要为石英脉和硅化角砾岩;含稀土矿物主要有氟碳铈矿、氟碳铈镧矿、氟碳钙铈矿;金矿物有自然金、银金矿等。成矿时代稍晚于岩浆岩形成时代,属中生代燕山晚期;矿床成因类型为碱性岩浆期后中-低温热液稀土矿床。

关键词: 稀土矿床;碱性岩;地质特征;壳幔混源;山东郯山

鲁南郯山-龙宝山地区是我国重要的稀土矿产区和找矿有利地区,20世纪70年代勘查评价的郯山稀土矿,是我国一处著名的中大型轻稀土矿床;20世纪90年代末期,又在郯山矿区外围及苍山龙宝山地区发现了一批小型稀土矿床和矿点,显示出良好的找矿前景。矿床的形成与中生代燕山早期碱性侵入岩有关。前人鲜有文章对该区稀土矿成矿特征进行研究总结,本文旨在通过对郯山、龙宝山稀土成矿特征的对比研究,探讨碱性杂岩体的控矿作用,总结成矿规律,以期对本区进一步找矿有所启示。

1 成矿地质背景

鲁南郯山-龙宝山地区位于滨西太平洋成矿域中部,华北板块东南缘,郯庐断裂带以西,鲁西地块之鲁中隆起区南部,尼山凸起的南西翼。区内地层主要为新太古代泰山岩群山草峪组变质岩系,古生代寒武系、奥陶系碳酸盐岩及碎屑岩,石炭—二叠系碎屑岩等。受郯庐断裂长期左行扭动的影响,派生了区域性NW向、NNW向断裂,如燕甘断裂、龙辉断裂等,形成了著名的鲁南小型"帚状"构造;这些主干断裂及次级断裂控制了地层及岩浆岩的展布。NW—NNW向,NE—NEE向的次级断裂是主要控矿构造。新太古代—古元古代花岗闪长岩及二长花岗岩等构成了本区的结晶基底。中生代燕山早期构造—岩浆活动强烈,形成了主要由二长质-正长质岩石构成的铜石、郯山、龙宝山等潜火山杂岩体。同时形成了与中生代燕山早期潜火山岩浆热液有关的稀土矿床、金矿床等(图1)。

2 矿床地质特征

2.1 郯山稀土矿床

2.1.1 矿区地质概况

矿区位于微山县东南约17km的郯山村及其周缘,西临微山湖。在地质构造部位上,居于鲁中隆起区之尼山凸起西南边缘。区内地层主要为新生代第四系及少量新太古代泰山岩群;新太古代变质英云闪长质岩石构成本区的古老基底;中生代燕山早期侵入岩发育,形成著名的郯山岩体,主要岩性有正长岩类(正长岩、石英正长岩、含霓辉石石英正长岩等)、碱性花岗岩及各类脉岩(图2)。

郯山岩体主体呈NE—SW向延伸,主体由正长岩、石英正长岩及含霓辉石石英正长岩等组成。正

本文为山东省矿产资源补偿费项目"苍山县龙宝山地区金矿成矿预测"等资助成果。
收稿日期:2009-04-11;改回日期:2009-12-15;责任编辑:郝梓国。
作者简介:于学峰,男,1962年生。研究员。山东科技大学在读博士研究生,主要从事矿产勘查及矿床学研究、资源评价与技术管理。通讯地址:250013,山东省济南市历下区历山路52号;电话:0531—86556925;Email: xfengy@sohu.com。

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

长岩体与新太古代变质岩石呈不规则的枝杈状接触，接触带处多发生程度不同的碱性交代作用，形成蚀变岩和交代岩，有时则伴随发生铌(Nb)、钍(Th)及稀土金属(TR)矿化，形成富铀烧绿石、钍石和独居石等矿物。矿区内脉岩分布广泛，与稀土矿化有关的主要有 2 类，即石英正长斑岩脉和霓石石英正长斑岩脉，脉岩中含有霓辉石及氟碳铈矿、独居石等矿物；岩脉走向多为 NE 向及 NW 向，脉幅宽度一般 0.5～1.5m，最宽达 10m 以上。

矿区内断裂构造发育。按形成先后及其与成矿的关系分为成矿前、成矿期和成矿后断裂：①成矿前断裂：为正长岩类及各种脉岩充填的断裂；以 NW 向和 NE 向最为发育。②成矿期断裂：具有继承成矿前断裂构造的特点，分为 NW，NNW，NE，NEE，SN 和 EW 向 6 组，以前 4 组断裂较为多见，是主要控矿、赋矿构造。矿脉形态、产状、规模受控于成矿期断裂构造。③成矿后断裂：是继承成矿前和成矿期的断裂构造，主要有 NE，EW 和 SN 向 3 组，表现为破碎断裂构造形式，破碎带发育，但断距较小，一般为 1m 左右。

2.1.2 矿体特征

稀土矿矿体总体为脉状(图 2)，根据产出特点，可分为单脉状、网脉状及浸染状矿体：①单脉状矿体，为形态比较规则，厚度相对较大，延伸连续性较好的矿体。②网脉型矿体，系指含稀土碳酸岩细脉，脉宽 1～2mm。其发育在单脉状矿体外侧，多条细脉交织相伴组成网脉带。③浸染状矿体，系指含稀土矿物等矿化物质，以微细脉状、浸染状充填交代于含霓辉石正长岩及其他岩石中形成矿石者。在矿区内，此类浸染状矿石数量大、品位较低。

上述 3 种形态的矿体，主体为单脉状矿体，其按产出方向可分为 NW—NNW，NE—NEE 及近 EW 向和近 SN 向 4 组，以 NW—NNW 和 NE—NEE 向矿体为主体；近 EW 向和近 SN 向矿体规模小、不规则、变化大。

(1) NW—NNW 向矿脉。此组矿脉倾向 210°～245°，倾角 50°～70°，如 1～4，8～16 号矿脉等。该组矿脉数量多，含稀土品位高，TR_2O_3 最高品位达 59.14%。矿脉延伸长，最长达 620m；延深大，深达 500 余米。同条矿脉纵深变化较稳定，局部有分支、复合、膨大、尖灭等现象(图 3)。

(2) NE—NEE 向矿脉。此组矿脉倾向 125°～145°，倾角 60°～75°，如 7，22，24 号脉等。该组矿脉数量少，含稀土品位低。含稀土石英重晶石脉 TR_2O_3 最高品位 2.91%，含稀土霓辉花岗斑岩 TR_2O_3 最高品位为 10.46%。矿脉延长短，最长达 80～90m，硅质高，萤石多。

在矿区 0.85km² 范围内，已知含稀土单矿脉 60 余

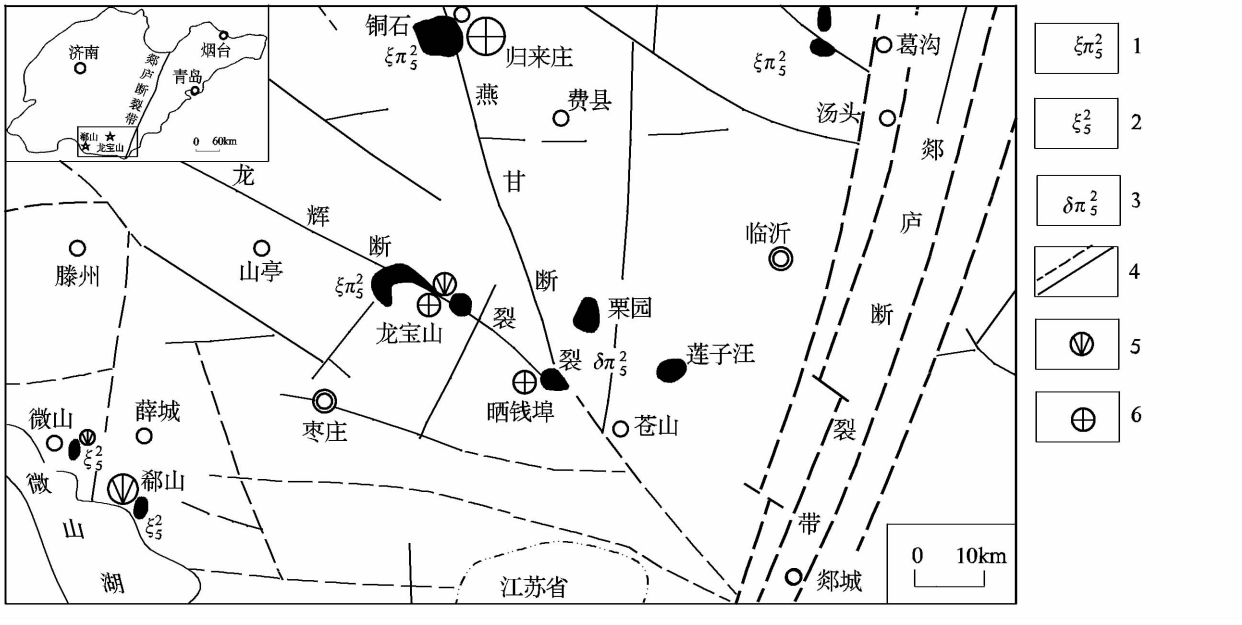


图 1 鲁南地区构造岩浆岩及稀土(金)矿分布略图

Fig. 1 Sketch showing distribution of tectonic-magmatic rock and rare earth deposits in southern Shandong Province

1—正长斑岩；2—正长岩；3—闪长斑岩；4—断裂；5—稀土矿床(点)；6—金矿床(点)

1—Syenite porphyry；2—syenite；3—diorite porphyry；4—fault；5—rare earth deposit(spots)；6—gold deposit (spots)

http://www.cnki.net

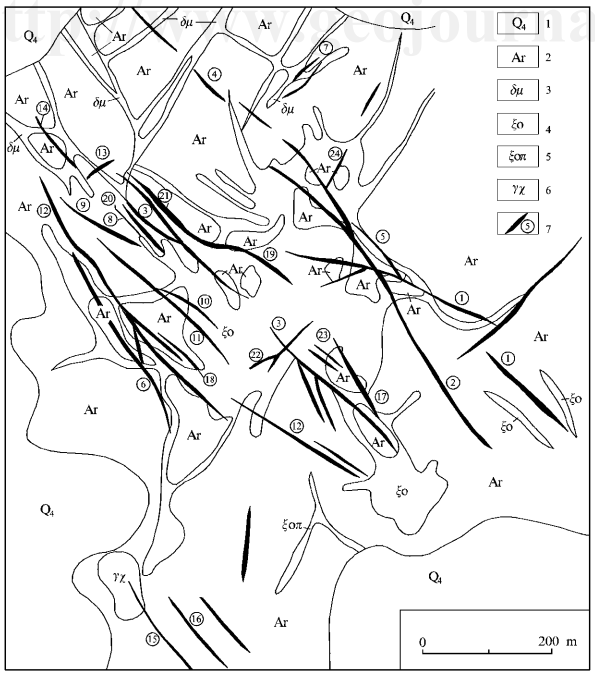


图 2　山东微山郗山稀土矿区地质简图
(据孔庆友等,2006 年)

Fig. 2　Geological sketch of Weishan-Chishan rare earth mine area in Shandong Province (after Kong Qingyou et al., 2006)

1—第四系;2—新太古代变质基底岩系;3—中生代燕山早期闪长玢岩;4—燕山早期石英正长岩; 5—燕山早期霓辉石石英正长斑岩;6—燕山早期碱性花岗岩;7—轻稀土矿体及编号

1—Quaternary; 2—Neoarchean metamorphic country rock system;3—dioritic porphyrite in early Mesozoic Yanshan period; 4—quartz syenite in early Yanshan period; 5—aegirine-augite quartz syenite porphyry; 6—alkaline granite in early Yanshan period;7—light rare earth ore bodies and numbers

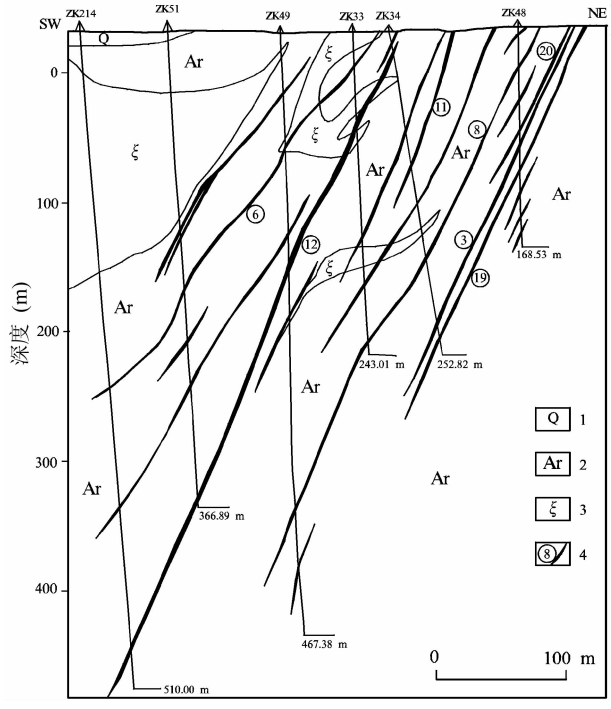


图 3　郗山稀土矿区第 39 勘探线剖面图 (据山东省地质局第二地质队,1975 年)

Fig. 3　Profile of No. 39 exploration line in Chishan rare earth mine area(after No. 2 Geological Team, Shandong Geological Bureau,1975)

1—第四纪残坡积层;2—新太古代变质基底岩系;3—中生代燕山早期正长岩(含霓辉石英正长岩);4—稀土矿体及编号

1—Quaternary; 2—Neoarchean metamorphic country rock system; 3—Syenite of early Mesozoic Yanshan period (egyrinaugite-bearing quartz syenite);4—rare earth deposits and numbers

条,较多地分布在碱性岩体顶、底板附近;在 60 余条矿脉中,规模较大者有 24 条(图 2 中编号者),进行详查评价的主要为 1,2,3,4,6,14,15 号 7 条矿脉。各矿脉的规模、产状及矿石品位等不尽相同,详见表 1。

单脉型稀土矿体,按其物质组分又可分为以下 4 种类型:①含稀土石英重晶石碳酸岩脉(地表为含稀土褐铁矿化石英重晶石脉),此类型是矿区主要含稀土矿脉;②含稀土霓辉花岗斑岩脉;③含稀土霓辉石脉;④铈磷灰石脉。4 种类型矿脉以含稀土石英重晶石碳酸岩脉数量最多,分布广泛,其他 3 种矿脉分布零星。

2.1.3　矿石特征

(1) 矿石的矿物组合。含稀土矿物有氟碳铈矿、氟碳钙铈矿、菱钙锶铈矿、独居石、钍石、富铀烧绿石、铈磷灰石、碳酸锶铈矿、硅钛铈矿、碳酸铈钠矿等,其中碳酸铈钠矿和菱钙锶铈矿属国内首次发现。矿区中这些含稀土矿物以氟碳铈矿和氟碳钙铈矿为主。按矿石的矿物组合特征,矿区内的稀土矿石可划分如下 4 种组合。

碳酸岩组合:包括氟碳铈矿碳酸岩组合、碳酸铈钠矿碳酸岩组合,是矿区内主要矿体的矿物组合。此组合中的矿物有氟碳铈矿、氟碳钙铈矿、碳酸铈钠矿、菱钙锶铈矿、独居石、富铀烧绿石、钍石、石英、重晶石、方解石、白云石、萤石、白云母及钛铁矿、金红石、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿,以及含霓辉石、钠铁闪石、长石等。

褐铁矿组合:该组合是碳酸岩组合的地表脉状矿石组合。主要矿物有氟碳铈矿、风化稀土矿(1,2,3,4 号稀土矿脉),以及褐铁矿、石英、重晶石、萤石、白云母、氟碳钙铈矿、软锰矿、硬锰矿、水针铁矿、铅铁矾、铅矾、铁矾、钼铅矿、赤铁矿、蛋白石、玉髓,还有次生石英、重晶石、独居石、钍石、富铀烧绿石、钛

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

铁金红石等。

铈磷灰石组合：此组合既有单独成矿脉者(24号脉)，又有与第一组合相伴者。主要矿物有铈磷灰石、萤石、氟碳铈矿、碳酸盐类矿物、霓辉石、钾长石、石英等。

氟碳铈矿榍石组合：该组合是含稀土放射状霓辉花岗斑岩脉的组合类型(22号脉)，仅于地表见到。主要矿物有氟碳铈矿、独居石、钍石、榍石、钾长石、霓辉石、石英、钠长石、磷灰石、褐帘石、钛铁金红石等。

矿脉的矿物组合比较复杂，地下、地表矿物含量亦不相同。稀土矿物以氟碳酸盐类的氟碳铈矿、氟碳钙铈矿为主；次为碳酸盐类的碳酸铈钠矿、菱钙锶铈矿及铈磷灰石等。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组分，命名为风化稀土矿(1,2,3,4号稀土矿脉等)。

(2) 矿石的化学成分。矿石的主要有益组分为轻稀土元素，主要包括 Ce,La,Nd,Pr,Sm 以及 Eu,Er,Gd,Lu,Y 等 10 种；其他金属元素有 Tu,U,Mo,Pb 等。据全区统计计算结果，TR_2O_3 变化于 1.55%～4.92%之间，总平均品位为 3.25%。矿石的主要化学组分含量见表 2。

郁山稀土矿床为富铈族稀土矿床，稀土组分中以铈含量为最高(占稀土总量的 48.58%～53.45%)；其次为镧(占 24.42%～41.47%)、钕(占 7.17%～16.13%)、镨(占 3.17%～6.67%)；少量的稀土组分有钐(占 0.26%～2.30%)、钆(占 0.07%～0.41%)、铕(占 0.04%～0.88%)、钇(占 0.08%～0.46%)、镝(占 0.02%～0.10%)。

表 1 微山郗山稀土矿区主要矿体特征一览表

Talbe 1 Characteristics of major ore bodies in Weishan-Chishan rare earth mine area

矿体编号	矿体规模		矿体产状(°)		矿石品位及其变化(TR_2O_3%)	地质特征
	长度(m)	脉宽(m)	倾向	倾角		
1	长 620 深 500	0.2～8.0	181～230	50～70	含稀土总量沿走向、倾向变化不大，平均 4.27，最高 59.14	矿脉为含氟碳铈矿为主的褐铁矿化石英重晶石脉，深部为含稀土石英重晶石碳酸岩脉；矿脉追踪了 NW 向、近 EW 向 2 组裂隙，具有膨大、分支、复合现象
2	长 320 深 350	0.3～4.5	240～260	60～85	平均 4.66	矿脉类型与 1 号矿脉相同，只是白云母含量较高
3	长 580 深 250	0.2～4.0	225	60～80	南东段为 2.71，北西段为 2.93	类型与 1 号脉基本一致，只是在矿脉中段有数量较多的黑色蛋白石；矿脉的支脉、平行小脉数量较多
4	长 460 深 320	0.2～5.0	220～240	65～75	品位变化较大，向北西段降低，平均为 3.98	矿脉类型与 1 号矿脉基本一致，矿脉有明显的追踪、分支、复合现象；矿脉南东段连续性好，而北西段断续出露
6	长 290 深 350	0.5～7.0	240	60～70	平均 2.03	矿脉为含稀土褐铁矿化石英重晶石脉(浅部)——含稀土石英碳酸岩脉(深部)；矿脉具分支、复合现象
14	长 110 深 200	4.5～9.1	225	65～80	2.10～37.18	矿脉为含稀土褐铁矿化石英重晶石脉及含稀土石英碳酸岩脉，其基本为由细脉组成的网脉带
15	长＞200 深 250	0.2～2.2	210～250	60～70	0.76～8.31	矿脉为含稀土重晶石石英脉

注：据山东省地质局第二地质队，1975 年。表中矿体长度为揭露控制长度；矿体深度为钻孔控制斜深。

表 2 矿石化学组分含量表

Talbe 2 Chemical compositions of ores

组分名称	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	BaO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	TiO_2	MnO	SO_3	CO_2	F	S
平均值(10^{-2})	39.45	8.20	3.54	11.18	0.84	5.21	2.37	3.21	0.22	0.18	0.43	5.28	11.04	0.65	0.63

注：据采自 1,4,12 号脉 7 个钻孔岩心组成的Ⅱ号选矿试验样的分析结果。

http://www.ecojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

钕和镨相伴,成正比关系,镧的变化与钕、镨成反比关系。钇组稀土元素比较少见,钇的含量与稀土总量成反比关系,即总量愈高,钇的氧化物含量反而相对地降低。

矿石中有益组分,除稀土外,尚含有少量铀、钍及铌等。铀主要赋存在富铀烧绿石中,钍主要赋存在钍石及其他一些含稀土矿物中。矿石中 Nb_2O_3 含量多者可达 0.01%以上,具有综合利用价值。

2.1.4　围岩蚀变特征与矿化阶段

脉状矿体与围岩接触界线清楚,蚀变较弱;而网脉状矿化带附近围岩蚀变作用较强。主要表现为碱质交代现象(钾长石化、钠长石化等),其他蚀变有碳酸盐化、重晶石化、萤石化、硫化物矿化、稀土矿化等。近矿围岩普遍矿化(特别是相距较近的 2 条矿脉围岩之间),其稀土氧化物含量一般在 0.1%～1.0%之间,个别者高达 5%。

根据矿物的形成顺序分析,稀土矿物在岩浆阶段就有生成,之后岩浆期后阶段渐增,至全部形成。稀土矿物开始形成于岩浆后期的碱性交代作用阶段,到热液阶段终止。稀土矿物与 K,Na,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岩脉形成就有 2 次以上。硫化物的形成晚于以上各种矿物。从矿化特点来看,稀土矿脉的形成也有先后,含稀土霓辉花岗斑岩脉、含稀土霓辉石脉、铈磷灰石脉可能为先期形成,含稀土石英重晶石碳酸岩脉等可能是晚期的热液阶段形成的。

2.2　龙宝山稀土矿床[1]

2.2.1　矿区地质特征

龙宝山稀土矿位于苍山县城西北约 15km 处的龙宝山一带;在地质构造部位上居于鲁中隆起区南部尼山凸起的南翼,龙辉断裂北东侧。

区内地层主要为寒武纪朱砂洞组、馒头组和张夏组碎屑岩及碳酸盐岩。中生代燕山早期形成的龙宝山杂岩体位于矿区中部,其岩性主要为角闪正长斑岩、石英正长斑岩、二长斑岩、含霓辉正长斑岩。NW 向的龙辉断裂横穿矿区西南侧; NNE、NE 向断裂为主要控矿、赋矿构造(图 4),该组断裂在平面及剖面上常呈波状弯曲,走向 5°～25°,倾向 SE 或 NW,倾角 60°～90°。断裂破碎带宽 0.3～5m,硅化、碳酸盐化、褐铁矿化发育,局部有稀土矿化、金及多金属矿化。围绕龙宝山杂岩体放射状构造发育,其总体特征是北端撒开,南端收敛,并均被脉岩充填。

2.2.2　矿体特征

龙宝山矿区共圈定稀土矿体 9 个(图 4),矿体均受断裂裂隙控制,总体呈脉状或透镜状产出。矿体规模一般较小,控制程度较低,除③号和①号矿体深部有稀疏钻探控制外,其他矿体多为地表工程控制的小矿体。

③号矿体受Ⅲ号断裂蚀变带控制,其产状、形态与蚀变带基本一致。矿体长大于 400m,控制斜深在 150m 以上;厚度 0.22～4.54m,平均 1.38m;矿石中 TR_2O_3 品位在 1.16%～9.69%,最高 18.56%,平均 3.62%。金平均品位 2.73×10^{-6}。由地表向深部呈厚度变大、品位增高的趋势;矿石类型主要为褐铁矿化石英脉、褐铁矿化硅化角砾岩及碎裂状蚀变正长斑岩等。

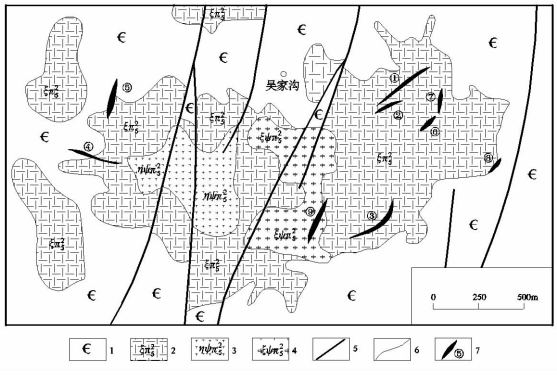


图 4　龙宝山稀土矿区地质图[1]

Fig. 4　Geological sketch of Longbaoshan rare earth mine area

1—寒武系;2—燕山早期正长斑岩;3—燕山早期霓辉二长斑岩;4—燕山早期霓辉正长斑岩;5—断层;6—稀土矿脉及编号

1—Cambrian;2—Syenite porphyry in early Yanshan period;3—egyrinaugite monzoporphyry in early Yanshan period; 4—egyrinaugite syenite porphyry in early Yanshan period;5—fault; 6—rare earth deposit veins and numbers

①号矿体受Ⅰ号断裂蚀变带控制。矿体长大于 250m,控制斜深 140m;厚度 0.64～2.79m,平均 1.45m;矿石中 TR_2O_3 品位在 1.02%～2.28%,平均 1.88%。金品位 2.34×10^{-6}～5.85×10^{-6}。矿体向深部呈厚度变大、品位增高的趋势;矿石类型主要为褐铁矿化石英脉、褐铁矿化硅化角砾岩。其他矿体特征见表 3。

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

2.2.3 矿石特征

(1) 矿石的矿物组分。含稀土矿物有氟碳铈矿、氟碳铈镧矿、氟碳钙铈矿及氟碳铈矿氧化物(风化稀土);其他金属矿物有褐铁矿、磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿及少量自然金、银金矿等。非金属矿物主要有石英、方解石、钾长石、斜长石、辉石、黑云母、萤石、重晶石、角闪石、磷灰石、锆石及榍石等。

按矿石的矿物组合特征,矿区内的稀土矿石可划分为 3 种矿物组合:石英-萤石-碳酸盐矿物-重晶石组合、褐铁矿-石英-碳酸盐矿物-重晶石组合、褐铁矿-绿泥石-黑云母-辉石组合。

(2) 矿石的化学成分。分析测试结果表明,矿石的主要有益组分为以铈族元素为主的轻稀土元素,钇族元素含量较少;其中 Ce 含量最高,其次为 La,Nd,Pr,Sm,Y,Eu,Er,Gd,Lu 等。据全区统计计算结果,TR_2O_3 主要变化于 1.46%～3.78%之间,平均品位为 2.73%。伴生有用组分为 Au,Ag,Cu,Pb,Zn 等,其中 Au 含量一般为 0.15×10^{-6}～0.80×10^{-6},最高达 93.4×10^{-6};部分矿体(如①、③)中金含量已达到工业要求形成金矿体。如①号矿体伴生组分含量平均值(10^{-6}): Au6.89, Ag 55.6,Cu868.6,Pb1448,Zn2230,As21.1。

(3)矿石类型与结构构造。矿石类型主要有角砾岩及碎裂岩含稀土矿石、石英脉含稀土矿石、辉石岩黑云母岩含稀土矿石及正长斑岩含稀土矿石。

矿石结构有粒状变晶结构、鳞片变晶结构、填隙结构、变余斑状结构等。矿石构造主要有浸染状构造、角砾状构造、块状构造、碎裂状构造等。主要含稀土矿物氟碳钙铈矿、氟碳铈矿;多呈自形、半自形柱状及不规则粒状赋存于玉髓集合体中或包裹于石英晶体内,少量分布于石英晶粒间。

2.2.4 围岩蚀变特征

区内围岩蚀变发育,与稀土矿化关系密切的主要有硅化、萤石化、黄铁矿化、褐铁矿化、碳酸盐化及重晶石化等。沿断裂构造或裂隙呈带状分布,多种蚀变叠加部位是成矿的有利地段。

3 成矿作用与矿床成因讨论

3.1 岩浆演化与成矿作用

3.1.1 碱性杂岩体的一般特征

鲁南地区中生代岩浆活动强烈,形成了郗山、龙宝山等碱性侵入岩体。郗山碱性杂岩体位于尼山凸起西南边缘,近 SN 向的峄山断裂与近 EW 向的峄城断裂交汇部位附近。杂岩体形态不规则,与围岩呈枝叉状接触,边部无定向组构,含较多棱角状围岩捕虏体,属以被动式就位为主的就位机制类型。出露面积约 $0.3km^2$,呈岩枝产出,平面形态为近椭圆形,有分叉现象,长 550m,宽 350m,长轴走向 NE;主要岩性为细粒霓辉石英正长岩、石英正长岩、正长岩,次为角闪石英正长岩、黑云正长斑岩、正长斑岩、霓辉石英正长斑岩和煌斑岩等。杂岩体主侵入期时间为 140Ma(长春地质学院中心实验室,K-Ar 法测定),属中生代燕山早期产物。

表 3 苍山龙宝山稀土矿区主要矿体特征一览表

Table 3 Chanracteristics of major ore bodies in Cangshan-Longbaoshan rare earth mine area

矿体编号	矿体规模		矿体产状			平均品位(TR_2O_3%)	地质特征
	长度(m)	厚度(m)	走向	倾向	倾角(°)		
①	长>250 深 140	1.45	NE	不稳定	近直立	1.88	不规则脉状,矿脉主要为褐铁矿化石英脉、褐铁矿化硅化角砾岩,向深部厚度变大、品位增高
②	150	2.38	NEE	NNW	70～83	3.66	脉状
③	长>400 深>150	1.38	NE	不稳定	近直立	3.62	脉状,矿脉主要为褐铁矿化石英脉、褐铁矿化硅化角砾岩及碎裂状蚀变正长斑岩,向深部呈厚度变大、品位增高之势
④	200	3.63	NW	不稳定	近直立	1.56	脉状
⑤	160	3.99	NNE	NWW	50～70	2.41	脉状,矿脉主要为褐铁矿化硅化角砾岩
⑥	90	26.64	NE	NW	80	3.46	透镜状,矿石类型为角砾状褐铁矿化斜长辉石岩及黑云母岩
⑦	90	2.8	近 SN	W	75	1.53	脉状
⑧	80	1.92	NE	NW	73	1.92	透镜状
⑨	100	3.07	NE	NW	80	3.07	脉状

注:据山东省第二地质矿产勘查院,1997 年。表中矿体深度为钻孔控制斜深。

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

龙宝山杂岩体受郯庐断裂的次级断裂龙辉断裂控制,岩体呈不规则椭圆形的岩株侵位于新太古代变质岩系和中、下寒武统地层中,出露面积约 3.5 km^2,岩体中含有大量灰岩和老变质岩捕掳体。是经多期多阶段岩浆侵入活动形成的中偏碱性杂岩体,主要岩石类型有:(含霓)辉石正长(斑)岩、斑状正长岩和正长斑岩、石英碱长正长岩、二长斑岩等,岩体侵入时间为(174.11±3.47)～(119.25±2.32) Ma (据宋友贵,1997)❷,属中生代燕山早期。

碱性杂岩体与稀土矿关系密切,矿体与岩体在空间上密不可分,稀土矿体主要赋存于杂岩体内及其附近围岩中,远离杂岩体无矿化现象。岩浆岩对稀土矿化的控制作用主要表现在:一是富含稀土元素的正长质岩浆活动为成矿提供丰富的物质基础;二是多期次多阶段的碱性岩浆活动,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。

3.1.2　岩石化学特征

郯山、龙宝山碱性杂岩体的主要岩石化学成分见表 4(田景祥等,2002;夏庆霖等,2002)。郯山碱性杂岩体 SiO_2 含量为 67.58%,里特曼指数 $\sigma=4.48$,属碱钙性岩石;$K_2O+Na_2O+CaO>Al_2O_3>Na_2O+K_2O$,为次铝型;标准矿物中出现石英,为硅过饱和型;A/NKC=0.89,属"I"型花岗岩。龙宝山岩体贫 Al_2O_3 和 CaO,富 N_2O、K_2O、Fe,$\omega FeO/(\omega FeO+\omega MgO)>0.8$,ASI(铝饱和指数)<1,且 $mAl_2O_3<(mNa_2O+mK_2O)$,具有碱性花岗岩类(PAG)的特征。PAG 主要为地幔成因,但不排除有一些地壳物质参与的可能。PAG 除裂谷带外,也可能产出于活动大陆边缘的弧后盆地。这种构造及富含锆石、磷灰石、褐帘石和磁铁矿等副矿物的岩石学特征都与龙宝山杂岩体地质情况相吻合。

表 4　岩体平均常量元素含量特征 (%)

Table 4　Contents characteristics of average constant elements in ore bodies (%)

组分名称	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	P_2O_5
郯山岩体★	67.58	15.81	1.53	0.49	1.53	3.90	6.59	0.22
龙宝山岩体※	64.17	13.21	0.04	1.02	1.78	5.36	4.66	0.10
全球陆壳丰度值▲	60.74	15.35	5.61	3.41	6.31	3.3	2.36	

注:★据田景祥等,2002;※夏庆霖等,1997 年;▲据黎彤,1998。

3.1.3　稀土元素地球化学

郯山碱性杂岩体稀土元素含量及有关参数见表 5,$\delta Eu=0.32$,$\Sigma Ce/\Sigma Y=31.20$,指示为负铕异常轻稀土富集型,稀土曲线右倾(图 5),轻稀土部分斜率较大,重稀土部分平坦,显示其为基性岩浆部分熔融之产物。

龙宝山岩体的稀土含量较高且变化范围较大,稀土总量为(280～1022.73)×10^{-6},平均为 414.4×10^{-6},约为地壳稀土丰度的 2.5 倍;轻稀土较重稀土强烈富集,$\Sigma Ce/\Sigma Y$ 值为 22.11～31.89,平均为 25.0,是地壳中 $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 值的近 9 倍;铕弱负异常(δEu 为(0.79～0.94)×10^{-6});铈亦为弱亏损,(δCe 为(0.73～0.91)×10^{-6})。从龙宝山岩体稀土元素配分模式图可以看出:不同期次侵入的岩浆岩稀土元素分布形式均呈向右陡倾的斜线,且配分曲线形态基本相似,说明各阶段侵入的岩浆具有演化继承性的特点。

表 5　岩体稀土元素含量(×10^{-6})

Table 5　Rare earth element contents(×10^{-6}) of Chishan alkalic complex

岩体岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Cd	Tb	Dy	Ho	Er
郯山正长岩★	741	975	75.1	231	86.5	5.85	14.3	1.64	6.05	1.57	3.01
龙宝山正长岩※	235	440	50.8	184	30.3	6.3	16.1	1.3	7.0	0.96	2.7
岩体岩性	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	ΣCe	EY	ΣCe/ΣY	δEu	$(La/Sm)_N$	Eu/ Sm
郯山正长岩★	0.51	2.63	0.36	37.7	2182.22	2114.45	67.77	31.20	0.32	5.39	0.068
龙宝山正长岩※	/	1.9	0.27	28.4	1005.03	964.4	40.23	23.74	0.81	4.88	0.208

注:★ 青岛海洋地质研究所测试,据田景祥等,2002;※ 山东省第二地质矿产勘查院,1997 年。

3.1.4　同位素地球化学❷

(1)锶同位素特征。龙宝山岩体石英(碱长)正长岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值变化于 0.707922～0.710919,锶初始比值 I_{Sr} 值为 0.707766,这一相对较低的 I_{Sr} 值与北美、东非的富钾碱性岩类的 I_{Sr} 值(0.7058～0.7099)十分相近,可能来源于地幔中富碱、含金云母,且碱金属亏损最少部位的部分熔融作用(Faure and Powell,1972)。在 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 时间演化图(图 6)上,龙宝山石英正长岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值位于壳幔混源区,由此推断,正长质岩浆来源于富含碱和不相

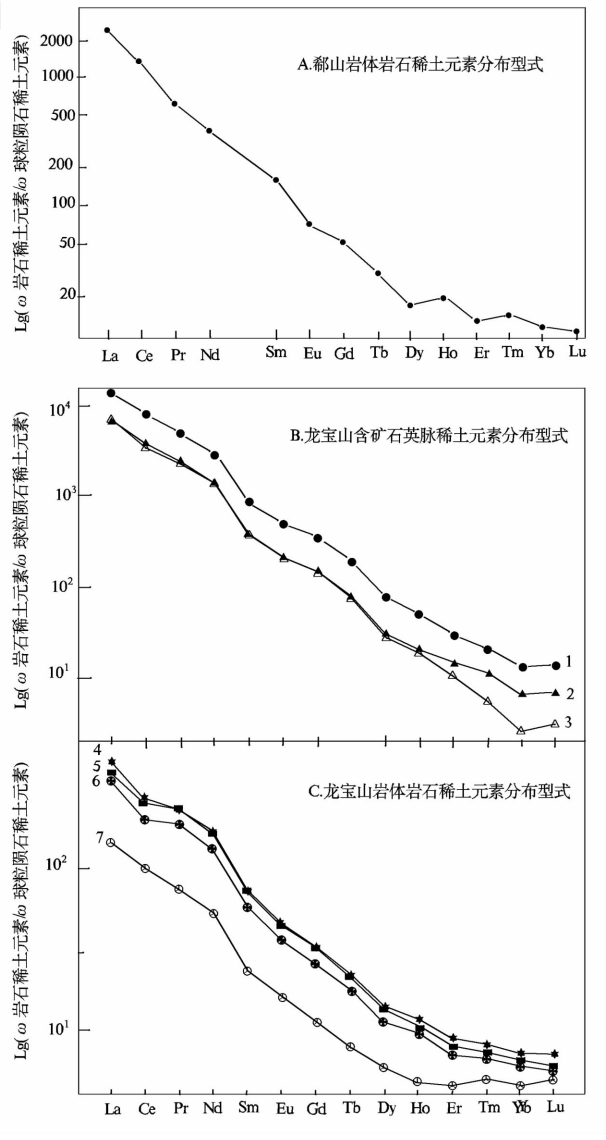


图 5 郗山-龙宝山岩体稀土元素分布模式图（田景祥等，2002；夏庆霖等，2002）

Fig. 5 Distribution model of rare earth elements in Chishan-Longbaoshan rock body(after Tian Jingxiang, et al, 2002; Xia Qingling, et al, 2002)

1—③号矿体；2—②号矿体；3—①号矿体；4—斑状正长岩；5—蚀变斑状正长岩；6—蚀变斑状正长岩；7—辉石正长斑岩

1—No. 3 ore body ；2—No. 2 ore body；3—No. 1 ore body；4—porphyritic syenite；5—altered porphyritic syenite；6—altered porphyritic syenite；7—pyroxene syenite porphyry

容元素的地幔，而且可能是同化混染了地壳物质后形成了二长-正长质岩石，这与野外常见的正长质岩石中常含基底岩石（泰山岩群变质岩）和寒武纪石灰岩包体的现象是相符的。

（2）全岩氧同位素组成。龙宝山岩体的全岩氧同位素分析结果见表 6，全岩氧同位素值（$\delta^{18}O$）范围为 7.6‰～11.7‰，其中二长-正长质岩石 $\delta^{18}O$ 值较低，而角闪闪长玢岩和角闪正长岩具有较高的 $\delta^{18}O$ 值。根据有关研究（吴利仁，1985），中国东部壳幔混源岩浆与壳源岩浆的 $\delta^{18}O$ 分界值是 10‰，据此推断，本区富碱岩浆应属壳幔混源型；而角闪闪长质-二长质岩浆可能更接近于壳源型。

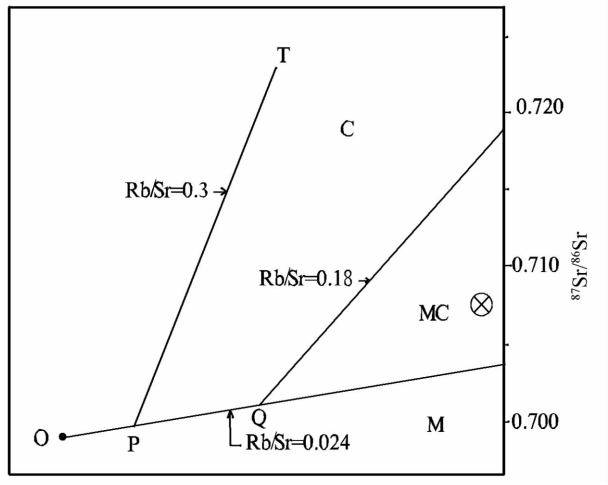


图 6 龙宝山岩体在 Sr-T（时间）关系图中的投影点位置❷

Fig. 6 Projection point of Longbaoshan ore body in Sr-T diagram

M—幔源区；MC—壳幔混源区；C—壳源区

M—mantle source area；MC—mantle and crust area；C—crust source area

表 6 岩石氧同位素测定结果表

Table 6 Oxygen isotope determination results of rock

样品号	岩石名称	$\delta^{18}O_{SMOW}$（‰）	备注
LB-13	石英正长岩	9.1	全岩
LB-22	正长岩	8.6	全岩
LB-25	角闪闪长玢岩	11.7	全岩
LB-40	角闪二长岩	10.1	全岩
LB-78	辉石正长岩	8.0	全岩
LB-79	石英碱长正长岩	8.6	全岩
LB-85	含霓辉石二长岩	8.4	全岩
LB-RZ1	石英正长岩	7.6	全岩
LB- RZ1	石英	10.0	单矿物
LB- RZ1	磁铁矿	4.1	单矿物

注：原地质矿产部矿床地质研究所测试。

结合其它地质、地球化学特征可以初步推断，郗山-龙宝山中生代燕山早期的岩浆活动产生于火山弧后拉张环境中，与中国东部橄榄安粗岩岩浆活动密切有关，具有富碱富钾、富铝贫钛、富钡和高稀土含量等特征，最初可能均源于上地幔的同一岩浆房，

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

幔源岩浆同化了一定数量的地壳物质后结晶形成的壳幔混源产物。稀土元素(尤其是轻稀土)的高度富集,反映了它们可能来源于地幔物质的低程度部分熔融,这是由于稀土元素的矿物/熔体分配系数很小,因而大量富集在熔融体中(赵振华,1984)。

3.2　构造环境与成矿作用

郯山-龙宝山地区处在著名的郯庐裂谷系内(袁忠信等,2001),位于郯庐断裂带西侧,鲁西断隆之尼山凸起的南西翼。中生代燕山期,由于太平洋板块向欧亚板块的俯冲,导致鲁西地区整体隆升;伴随郯庐断裂长期左行扭动,在其西侧派生了一系列区域性 NW 向、NNW 向及近 EW 向断裂(图 1),如蒙山断裂、燕甘断裂、龙辉断裂等,以及陆内盆地,如泗水-平邑盆地、枣庄-韩庄盆地等。主干断裂的交汇诱导了本区大规模的岩浆活动及热液作用,形成郯山、龙宝山等碱性侵入岩体。

受区域应力与侵入岩体的共同作用,矿区内断裂构造发育。郯山矿区与成矿关系密切的断裂有 NW—NNW 向、NE—NEE 向 2 组;主要矿脉多沿 NW—NNW 向构造充填,由于裂隙性质属压扭性,矿脉长、倾斜延伸大。NE 向裂隙为张扭性的,充填矿脉延伸较短,厚度较大。在主裂隙的旁侧,次级羽状裂隙甚为发育,常为细网脉所充填。

龙宝山矿区主要为 NNW,NE—NNE 及近 SN 向 3 组断裂,均为高角度张性或张扭性断层,NW 的龙辉断裂是区内的主干断裂,是主要的导岩导矿构造,控制着本区地层、岩浆岩和金、稀土矿化带的展布。其北东侧的 NNE 向、近 SN 向的断裂与矿化关系密切,多表现为多期次活动,经历了从左行到右行、从拉张到挤压的演化过程,为区内的主要控岩、控矿构造。含金稀土矿脉主要充填于上述裂隙中。

3.3　成矿物质来源

郯山杂碱性岩体中富含轻稀土、稀有及放射性物质,Sr,Nb,Zr,U,Th 元素含量均较高,郯山霓辉石英正长岩 ΣREE 含量达 1360×10^{-6}～2122.82×10^{-6}(林德松,1999;田景祥,2002)。副矿物中富含锆石、独居石、钍石、氟碳铈矿、铈磷灰石等,围绕杂岩体有一较高的航空放射性异常,因此该杂岩体本身即为富含轻稀土、稀有金属和放射性物质的碱性杂岩,在其后期演化过程中才会更富集轻稀土等成矿物质,含矿热液沿裂隙充填形成工业矿体。富含稀有稀土元素的碱性岩浆为成矿提供了充足的物质,杂岩体为稀土成矿的矿源体。

宋友贵、沈昆等(1997)❷,夏庆霖、陈永清等(2002)系统研究了龙宝山稀土、金矿微量元素(Nb,Ta)、锶同位素($^{87}Sr/^{86}Sr$),氧和铅同位素及稀土元素特征,认为龙宝山地区成矿物质与岩浆具有亲缘关系,成矿作用表现出对岩浆热液演化的继承性;稀土、金成矿物质初始来源可能为上地幔,直接来源则是燕山期侵入体和太古宙变质岩系。即成矿物质与碱性岩浆最初都来源于上地幔同一部位,而在岩浆上侵过程中同化混染了地壳物质,从太古宙老变质岩系中淬取了部分有用组分,这与四川大陆槽稀土矿矿源岩的研究结果是相似的(李小渝,2005;田世洪,侯增谦等,2008)。

3.4　成矿时代

郯山杂岩体主侵入期时间为 140Ma;稀土矿成矿时代为 110Ma(长春地质学院中心实验室,K-Ar 法测定,田景祥,2002)。龙宝杂山岩体侵入时间为(174.11±3.47)～(119.25±2.32)Ma;与金、稀土矿有关的蚀变及矿化年龄为(116.62±1.93)～(107.34±2.32) Ma (据宋友贵,1997)。莱芜胡家庄稀土矿成矿年龄为 123～135 Ma(储同庆等,1992;K-Ar 法测定)可见,稀土成矿时代晚于岩浆岩形成时代,属中生代燕山晚期。

3.5　成矿流体特征与成矿温度

通过包裹体研究(林德松,1999)表明,原生流体包裹体是稀土热液矿脉中最主要的包裹体类型,且与稀土成矿关系密切。经对郯山矿床矿脉中方解石、石英、重晶石及氟碳铈矿等矿物中包裹体研究得知,其主要类型为气液包裹体和液体包裹体,而气相包裹体和含子晶多相包裹体很少发育。从包裹体的实测均一温度来看,方解石包裹体的均一温度为 195～225℃,重晶石和萤石分别为 185℃和 207℃,石英为 275～222℃,氟碳铈矿为 220℃。

龙宝山矿区的石英、方解石、萤石等矿物中包裹体研究表明,流体包裹体以石英、方解石中最为发育,以富液二相包裹体最为常见,气液比多在 5%～30%。成矿热液具有鲜明的主成矿期,成矿温度在 l75～275℃,前后各有一些次成矿期,主成矿期盐度较低,为 1%～7%;成矿流体的液相成分以 Na^+、K^+ 为主,气相成分以 CO_2、CH_4 含量较高,成矿流体的体系以 $NaCl\text{-}KCl\text{-}H_2O$ 为主。

可见,成矿流体具有低温、低盐度的特点;稀土成矿作用属于热液成矿作用的温度范围,相当于中-低温热液成矿阶段。

3.6　矿床成因机制

郯山-龙宝地区稀土矿与燕山期构造演化、碱性

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

岩浆活动具有内在的时空、成因联系，与燕山期华北东部“热-构造”事件关系密切。中生代燕山早期，鲁西隆起区处于活动大陆边缘弧后拉张环境，来自上地幔的携带稀土、金等成矿元素富碱质岩浆在构造应力的驱动下，沿郯庐断裂带及其调整构造多次上侵，并不同程度的同化混染了地壳物质，形成了郁山、龙宝山等碱性杂岩体。岩浆活动晚期形成了大量脉岩，它们与稀土、金矿体在时间、空间上密切共生，均受 NW、NE 向等不同方向的断裂控制，其中郁山地区以 NW—NNW 断裂、龙宝山地区以 NE—NNE 断裂的控岩、控矿作用最为明显，燕山晚期是岩浆期后热液运移、成矿、元素富集成矿的主要阶段，断裂构造既为成矿流体运侈提拱了良好的通道，同时也为矿质沉淀提供了必备的空间。成矿物质与碱性岩浆最初可能来源于上地幔，岩浆上侵引起了强烈的地壳活化改造，使老基底中稀土、金等成矿元素发生活化、迁移，进入岩浆热液中，在大气降水的参与下形成失衡的开放体系，通过不断与围岩发生水岩交换作用，使成矿元素在热液系统中进一步富集；随着温度、压力等物理化学条件的改变，引起热液中稀土和金等成矿元素逐渐沿控矿断裂及次级裂隙构造发生沉淀而聚积成矿，形成了与碱性岩浆期后热液有关的中-低温热液稀土(金)矿床。在后期的表生阶段，浅部矿体中的稀土矿物经过氧化作用，形成部分表生(风化)稀土矿物。

由上可见，郁山-龙宝山地区稀土矿床与碱性侵入岩密切相关，属碱性岩浆期后中-低温热液稀土(金)矿床(王中刚，1986)。

4 结论

(1)郁山和龙宝山稀土矿具有相似的成矿地质背景、控矿岩体特征及矿床地质特征。处于郯庐断裂带西侧、尼山凸起的南西翼，鲁南小型帚状构造控制了本区含矿杂岩体、稀土矿床的展布，主干断裂及其次级断裂构造为成矿流体提供了良好的运移通道和储集空间。

(2)燕山早期碱性杂岩体与稀土矿关系密切，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。稀土元素、锶、氧和铅同位素研究表明，成矿有关的富碱岩浆可能属壳幔混源型，即碱性岩浆及成矿物质最初可能都来源于上地幔同一部位，而在岩浆上侵过程中同化混染了地壳物质，并从中淬取了部分有益组分。

(3)郁山稀土矿为一单一的富轻稀土矿床，矿脉类型以含铈族稀土矿物石英重晶石碳酸盐脉为主，其次是含铈族稀土矿物霓辉花岗斑岩脉，少量含稀土霓辉石脉和铈磷灰石脉。含稀土矿物有氟碳铈矿、氟碳钙铈矿、菱钙锶铈矿、独居石、钍石、富铀烧绿石、铈磷灰石、碳酸锶铈矿、硅钛铈矿、碳酸铈钠矿等，其中碳酸铈钠矿和菱钙锶铈矿属国内首次发现。矿区中这些含稀土矿物以氟碳铈矿和氟碳钙铈矿为主。

(4)龙宝山稀土矿为稀土、金共生矿床，主要矿体的金、稀土品位均达到工业要求；矿石类型主要为褐铁矿化石英脉、褐铁矿化硅化角砾岩及碎裂状蚀变正长斑岩。含稀土矿物有氟碳铈矿、氟碳铈镧矿、氟碳钙铈矿及氟碳铈矿氧化物(风化稀土)；其他金属矿物有褐铁矿、磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿及少量自然金、银金矿等。

(5)成矿时代晚于岩浆岩形成时代，属中生代燕山晚期；成矿温度属中-低温热液成矿；矿床成因类型为碱性岩浆期后中-低温热液稀土(金)矿床。

(6)鲁南地区分布有多处燕山期中偏碱性侵入岩体，如平邑县铜石、苍山县龙宝山、枣庄市峄城、费县的东峪等地的侵入体，与郁山碱性岩体在岩性条件、侵入体时代、地质构造条件等方面有着类似之处，并且有航空放射性异常出现，稀土找矿工作程度较低，是今后山东寻找轻稀土矿床的有利地区。

注 释

❶ 李长有，梁栋彬，杜显彪. 1997. 山东省郁山—龙宝山地区稀土矿普查报告. 山东省第二地质矿产勘查院(生产报告). 46～53.

❷ 宋友贵，沈昆，等. 1997. 鲁西南苍山县龙宝山—莲子汪地区金矿成矿规律研究及找矿靶区优选. 地质力学所，山东省地质科学实验研究院(科研报告). 23～40，93～97.

参 考 文 献

储同庆，王鹤年，朱法华. 1992. 鲁中地区碳酸岩稀土元素地球化学. 南京大学学报，4(1)：10～17.

孔庆友，张天祯，于学峰，等. 2006. 山东矿床. 济南：山东科学技术出版社，390～398.

李小渝，2005. 四川德昌大陆槽稀土矿床地质特征. 矿床地质，24(2)：151～160.

田京祥，张日田，范跃春，等. 2002. 山东郁山碱性杂岩体地质特征及与稀土矿的关系. 山东国土资源(山东地质)，18(1)：21～25.

林德松. 1999. 与碱性正长岩有关的热液脉型稀土矿床成矿特征. 矿产与地质，69(13)：6～12.

田世洪，侯增谦，杨竹森，等，2008. 四川大陆槽稀土矿床碳酸岩-英碱

正长岩锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素性质及其地质意义. 岩石学报,24(03):544～554.

王中刚. 1986. 我国稀有金属碳酸盐矿床的地球化学. 地球化学文集. 北京:科学出版社,136.

夏庆霖,陈永清. 2002. 山东龙宝山岩体稀土元素特征及矿源研究. 物探与化探,26(2):110～117.

夏庆霖,高燕,王小哈. 2002. 鲁西龙宝山金矿成矿流体特征与矿床成因模型. 黄金科学技术 10(3):13～17.

袁忠信,白鸽. 2001. 中国内生稀有稀土矿床的时空分布. 矿床地质,20(4):347～354.

Faure G, Powell J L. 1972. Strontium Isotope Geology. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. New York.

Geological Characteristics and Origin of Rare Earth Elements Deposits Related with Alkaline Rock in the Chishan-Longbaoshan Area, Shandong Province

YU Xuefeng[1,2), TANG Haosheng[3), HAN Zuozhen[1), LI Changyou[3)

1) *Geological Scientific College of Shandong Science and Technology University, Qingdao, Shandong*, 266510; 2) *Shandong Geological Museum, Jinan, Shandong*, 250013; 3) *Lunan Geo-engineering Exploration Institute, Yanzhou, Shandong*, 272000

Abstract

Rare earth deposits in the Chishan and Longbaoshan area have similar geological mineralization background, ore-controlling characteristics and deposit geological characteristics. Alkaline intrusive rock in early Yanshan period is closely related to rare earth elements deposits. Rare earth orebodies occur mainly in complex and country rocks. Study on rare earth elements and isotope results shows that ore-bearing alkaline concentrated magma likely belongs to crust-mantle magma source mixed type, and alkaline magma and ore-forming materials may be derived from the same parts of the mantle, and crust materials were mixed and assimilated in the magma intrusion. Chishan rare earth deposit is a single light REE enriched deposit, with REE-bearing quartz carbonate veins as major ore types. Ore-bearing minerals are dominated by bastnasite and parisite, and Ce-carbonate and Ca-strontianite were firstly discovered in China. Longbaoshan rare earth deposit is characterized by a paragenetic deposit between rare earth and gold ores. Quartz veins and silicified breccia veins are its major vein types; rare-earth bearing minerals are composed mainly of bastnaesite, Ce- and La-bearing bastnasite, and parisite. Gold minerals include native gold and silver gold. Ore-forming period was later than that of the formation of igneous rocks and belongs to late Mesozoic Yanshan period. The genesis of deposit is low or medium temperature alkaline magmatic hydrothermal rare earth deposit.

Key words: Rare earth deposit; alkaline rock; geological characteristics; mixed source of crust and mantle; Chishan in Shandong province