

地质与矿产

山东省稀有金属矿产地质特征及成矿规律研究

席志轩¹,汪子杰²,张德明²,张新柱³,李得建³,王辰¹,刘国鲁⁴(1.长安大学地球科学与资源学院,陕西西安 710054;2.山东省第四地质矿产勘查院,山东潍坊 261021;
3.徽山湖矿业集团,山东微山 277600;4.山东省第五地质矿产勘查院,山东泰安 271000)

摘要:稀有金属是国家重要的战略性资源,近年来受到国家高度重视。山东省是稀有金属的聚集地,省内稀有矿产可分为滨海沉积型、花岗伟晶岩型和滨海潟湖沉积型3种类型,主要分布在山东荣成市、新泰市、枣庄市等地。该文详细论述了各类矿床的矿床地质特征、矿物、岩石学特征及资源储量,并总结了各类矿床的成因及成矿规律。提出了下一步工作意见,为山东省稀有矿产的找矿工作提供指导。

关键词:稀有金属;滨海沉积;花岗伟晶岩;矿床成因;成矿规律;山东省

中图分类号:P618.6 **文献标识码:**A

引文格式:席志轩,汪子杰,张德明,等.山东省稀有金属矿产地质特征及成矿规律研究[J].山东国土资源,2018,34(2):24-28. XI Zhixuan, WANG Zijie, ZHANG Deming, etc. Study on Geological Characteristics and Metallogenic Regularity of Rare Metal Minerals in Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 2018, 34(2): 24-28.

0 引言

稀有金属矿产主要有:铌、钽、锂、铍、锆、钨、镱、铯等。其中山东省主要出露铌、钽、铍、锆、钨矿。其独特的物理化学性质广泛应用于经济、军事等多个领域,是重要的战略性储备资源^[1]。稀有金属元素既可以形成独立的矿床,也可以组合在一起形成多矿种的稀有金属矿床,其矿床成矿机制和成矿作用研究也一直受到国际上的广泛关注^[2-4]。近年来,有关稀有金属矿床的研究取得了较多进展,包括稀有金属矿床的成因类型及特征^[5-8],花岗岩体地球化学特征及成因^[4,9-14]、稀有金属矿物学^[15-16]、成矿元素富集机制^[1,17]、岩浆-热液演化与成矿关系^[3,18-23]、成岩成矿年代学^[24-25]等方面。司幼东等^①就山东省胶东一带滨海沉积型砂矿床研究表明,漂砂矿床赋存锆石甚多,极有开探价值。中国冶金地质总局山东局对山东半岛沿岸沉积砂矿进行研究,根据砂矿类型划分为:海积砂矿、冲积砂矿、残积坡积砂矿3种,并认为燕山期碱性岩体为锆英石砂

矿的主要物质来源。后来有关人士对山东省内稀有元素做了调查并发表了简报,地质工作者在该区陆续开展了对3种矿床的研究工作,并得出了初步评价。

1 资源分布现状

根据产出地质条件、矿体及矿石等特征,山东省稀有金属矿床可划分为滨海沉积型砂矿床、花岗伟晶岩型矿床和滨海潟湖沉积型矿床3种类型(表1)。

2 矿床地质特征

2.1 滨海沉积型砂矿床

2.1.1 胶东滨海沉积型

司幼东等^①就山东省胶东一带滨海沉积型砂矿床研究表明,山东省一带,尤其是海岸河川沿岸,花岗岩易于风化形成漂砂矿床,其中稀有元素矿物的蕴藏情况,已知其中赋存锆石甚多,极有勘探价值。

收稿日期:2017-06-20;修订日期:2017-08-03;编辑:陶卫卫

基金项目:山东省第四地质矿产勘查院,山东省三稀矿产资源潜力及找矿方向研究(SDZS-2016-GTT01)

作者简介:席志轩(1992—),男,河南新乡人,主要从事地质工程工作;E-mail:1025129230@qq.com

①司幼东,青岛海滨砂中含有稀有元素之矿物初步研究报告,1960年。

锆石在花岗岩内成为副成分矿物产出,且含量较高,为什么会在沉积性砂矿床富集,其原因可能是在含有相关稀有矿物的花岗岩类风化的附近地带,受了河流冲刷或海浪淘汰自然漂选的结果。这种风化的

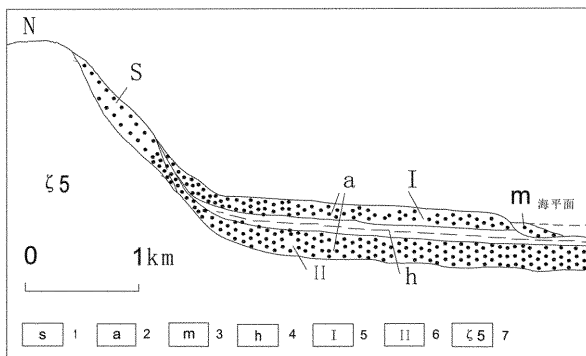
方式多以脱散作用为主,而以分解作用为副,故矿物颗粒的硬度、比重为其富集成矿的主要条件,因此上述各稀有元素矿物的分布,极易限于某局部的范围以内,而便于开采。

表1 山东省内稀有金属矿床的分布及地质特征

类型	实例	区域位置		地层	赋存状态	矿产	矿体特征
		地理位置	地质位置				
滨海沉积型稀有金属砂矿床	山东省荣成市石岛含铈锆石砂矿床	位于荣成市东南约在16~28 km	沿海地带	第四纪临沂组 and 旭口组	砂矿	铈、锆	①海积型锆石砂矿:品位一般比较高,矿层分布稳定、规模较大,常形成具有工业意义的矿床。②冲积型锆石砂矿:分布比较广泛,其为矿区内比较重要的类型。风化剥蚀型砂矿:矿层厚度变化较大,分布不稳定
花岗岩伟晶岩型稀有金属矿床	新泰市石棚钼铌矿床	位于新泰市西北约20 km处的石园棚—梨园沟一带	居于鲁西隆起内的新甫山凸起西侧	新太古代泰山岩群雁翎关组	侵入岩	钼、铌	长约7 km,宽约2 km,分布范围约14 km ² 。花岗岩伟晶岩脉走向一般300°~320°,倾向主要为NE,个别倾向SW。倾角变化在30°~70°之间,一般近地表变陡
滨海潟湖沉积型稀有金属矿床	枣庄市抱犊崮天青石矿床	位于枣庄市山亭区东南约30 km的抱犊崮西南坡	居于鲁中隆起内的尼山凸起的东南部	寒武纪朱砂洞组	海相沉积地层	天青石	天青石矿地层呈向SW凸出的牛形,长约2.5 km。矿化层厚1.8~2.0 m。自东而西固定了3个透镜状矿体。1号矿体:长50 m,厚1.50 m,倾向67°,倾角8°。2号矿体:长50 m,厚1.6 m;倾向20°,倾角5°;3号矿体:长100 m,厚1.5 m;倾向3°,倾角6°

锆英石砂矿来源以大面积出露的碱性岩体为主。由于碱性岩体所处的地貌位置,形成了上面所述类型砂矿床,岩浆的分液过程由碱性趋于酸性,可以发现由岩体中部的碱性岩向外变成石英正长石,以至变成花岗正长岩的过程(图1)。碱性岩中部含二氧化锆为0.1%以上,向外递减至石英正长岩则为0.05%以下。碱性、酸性杂岩体横切震旦纪变质岩系,根据花岗岩的肉目对比,其时代可能属燕山期。

砂样品中尚未见到钼、铌矿物,而仅见少量锆英石及几粒独居石之类。文登营钾长石个别样品中含钍1.13%,钇0.1%,并含有数种稀有元素。在单矿物分析中(锂辉石),一个样品含Nb₂O₅含量达到0.105%,但在后采的取样化验结果中未能重复发现。白沙滩公社西与杨水站的风化混合片麻岩中锆含量0.1%。



1—残坡积物;2—洪冲积砂;3—海积砂;4—湖沼相泥质粉砂;
5—I层含矿砂体;6—II层含矿砂体;7—正常岩体

图1 荣成市石岛锆石砂矿层分布示意图

2.1.2 刘家滩—青矾岛一带滨海沉积型

青矾岛一带的海滨砂层中钛铁矿、锆英石、金红石含量较高,满足工业要求。小观高岭土矿个别样品含Nb₂O₅(五氧化二钽)可达边界品位要求,但重

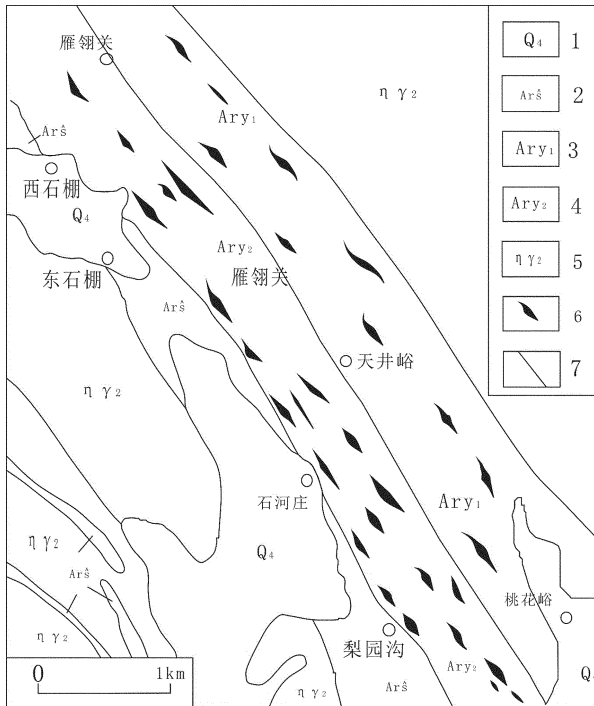
刘家滩—青矾岛一带出露岩性主要是前震旦胶东岩群的古老片麻岩系和花岗岩类,青矾岛出露白垩纪安山岩及砂砾岩层,这些岩石应该是滨海砂的主要来源。这一带的海滨砂层极不稳定,几乎是分不出明显的层位。根据野外观察大致分为2种情况:①海岸冲积砂层,该砂层由多层细砂、粗砂或粗砂砾石及砾石层交替成不规则的互层,黑色矿物往往在细砂层中成1~10 cm的小薄层,构成似黑色条带状细砂层,而粗砂及砾石层中很少见到黑色(重砂物)的富集,这种砂层常组成I级阶地;②在海岸滩上,由细砂组成I级阶地,此阶地中亦杂有部分黑色矿物,但是不易形成富集,然而在青矾岛的海滩与I级阶地之间有一层或二层含有富集钛铁矿、锆英石、金红石的细砂层,厚度在0.7~1.10 m以上,之上则为泥质砂层,其成因还不太明确。

矿物来源的假想:青矾岛地段处于荣成地堑北端,底层及岩性出露主要为白垩纪安山岩,玄武岩和

砂砾岩层,多为红色岩层。海滨则有部分为风砂所掩盖,对岸的鸡鸣岛底部(南侧)见有混合片麻岩出露很少,而东部旧荣成以东为花岗岩。蒲湾附近及以西则为片麻岩及斜长角闪岩类,南部则为伟德山花岗岩体,从地形位置来分析,钛铁矿、锆英石、金红石等矿物原生岩石是上述岩性,而且在蒲湾以西地区,重砂测量结果含钛铁矿较高,而青矾岛附近则较少。相反的刘家滩、蒲湾的重砂样品中,钛铁矿的含量则极少,加之鸡鸣岛为一航测的强磁异常区,但地表尚未发现铁矿。据此,可以设想鸡鸣岛附近赋存较大的含钛铁矿的磁铁矿体隐伏于地下(海水),成为该层含铁、锆英石、金红石矿的矿源。

2.2 花岗伟晶岩型稀有金属矿床

与花岗岩在成因上有关的稀有金属矿床,是一个重要的稀有金属矿床类型。当前仍然以 Nb, Ta, Be, Li, Cs 和 Rb 等为主。山东省内的花岗伟晶岩型矿床主要为分布在新泰石棚一带的古元古代花岗伟晶岩脉中的铌、钽矿床(图 2)。铌、钽主要赋存于伟晶岩中的铌铁矿、锂辉石、锂电气石、绿柱石、硅铍石、独居石等矿物内。



1—第四系;2—新太古代泰山岩群山草峪组;3—新太古代泰山岩群雁翎关组上亚组;4—新太古代泰山岩群雁翎关组下亚组;5—二长花岗岩;6—含铌钽花岗伟晶岩脉;7—断层

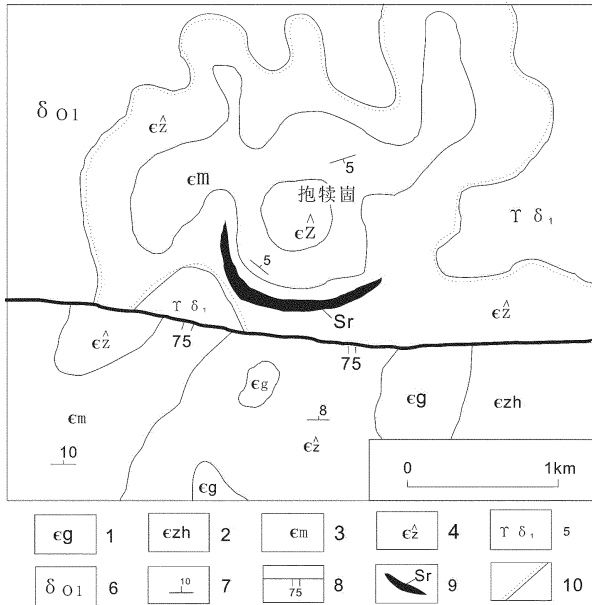
图 2 新泰石棚地区含铌钽伟晶岩脉分布略图

山东省内与花岗伟晶岩及其他花岗质岩石有关的稀有矿产,除铌、钽外尚有铍矿化。已知铍矿点有荣成大疃刘家和新泰天宝黄花岭 2 处。荣成大疃刘家铍矿点位于中生代燕山晚期榉山花岗岩体南端,矿化发育在含铍绢云母化高岭土化蚀变正长花岗岩中,为热液蚀变型铍矿化。含铍矿物为羟硅铍石。矿化绢云母蚀变岩 Be_2O 含量为 0.070 90% ~ 0.136 2%,达到工业要求;矿石中伴生的 Nb_2O_5 含量为 0.001% ~ 0.002%, Ga 为 0.003 5% ~ 0.003 8%, ZrO_2 为 0.026 9% ~ 0.039 9%。新泰天宝黄花岭铍矿化发育在古元古代伟晶岩脉中,含铍矿物为绿柱石,为伟晶岩型铍矿化。含绿柱石伟晶岩脉赋存于新太古代变质岩系中,主要含矿岩脉 1 条,岩脉宽 1~3 m,绿柱石呈较大的晶体分布在伟晶岩中。矿石矿物主要是铌铁矿,次为铌钽矿、锂辉矿、锂电气石、绿柱石、硅铍石、锆石、独居石等;脉石矿物为钾长石、斜长石、石英、白云母等。铌铁矿呈黑色或浅褐色,性脆,硬度中等。赋存于块体状结构带的铌铁矿,晶体较大,呈长柱状或板状,最大可达 6 cm×2.5 cm,晶形不完整,沿裂隙有钠长石贯入;赋存于粒状结构带中的铌铁矿,晶形较完整,晶体小(<5 mm),有的具有双锥晶体。铌钽矿呈褐色—浅黄褐色,长柱状晶体,油脂光泽,硬度中等,性脆。矿石主要结构为粒状结构和伟晶结构;主要构造为块状构造。矿石中 $Nb_2O_5 + Ta_2O$ 含量一般在 0.02% 左右,最高为 0.064%,矿石中伴生 Rb 含量为 0.01% ~ 0.35%, Cs 为 0.01% ~ 0.02%, Li_2O 为 0.01%, BeO 为 0.008%, Ga 为 0.005%, 伴生组分多可综合利用。

2.3 滨海潟湖沉积型稀有金属矿床

山东省内发现的此类矿床只有 1 处,分布在枣庄市东北部抱犊崮一带的天青石矿床(图 3)。矿体呈层状赋存于寒武纪朱砂洞组丁家庄白云岩段的顶部,形成于咸化潟湖环境,层位稳定。在区域上,与含天青石矿层相当层位常赋存有石膏矿床^[26]。

矿石矿物为天青石,脉石矿物有方解石、白云石、石英、文石及少量粘土矿物。矿石呈白色,细晶粗晶结构,块状构造及角砾状构造。依据矿石结构构造特点,矿区内矿石划分为 3 种类型:块状矿石、细粒块状矿石、角砾状矿石。不同类型矿石中天青石的含量差别较大,块状矿石中天青石含量最高,一般为 70%~80%,细粒块状矿石多已硅化,其中天青石含量比较均匀,一般在 50%左右;角砾状矿石由



1—晚寒武世崮山组;2—中寒武世张夏组;3—早至中寒武世馒头组;4—早寒武世朱砂洞组;5—新太古代花岗岩闪长岩;6—新太古代石英闪长岩;7—地层产状;8—张性断层及产状;9—天青石矿化体;10—不整合地质界线

图3 枣庄抱犊崮天青石矿区地质图

天青石及灰岩碎块组成,多已硅化,其中天青石含量变化最大,一般在30%左右。矿石中 SrSO_4 含量在不同矿石类型中变化较大。由此可见,因其产出矿体部位不同变化也较大,反映了矿化的不均匀性。

3 成矿规律

山东省滨海沉积型稀有金属砂矿床的含矿砂体大致平行于海岸分布,成矿物质来源于沿海地区的碱性—偏碱性侵入岩的分化剥蚀物,有用物质存在于锆石中。花岗伟晶岩型稀有金属矿床与古元古代花岗伟晶岩脉有关,岩脉中含铌铁矿、锂辉石、锂电气石、绿柱石、硅铍石、独居石等矿物,铌、钽主要赋存其中。滨海潟湖沉积型稀有金属矿仅见枣庄抱犊崮一带天青石矿床,分布于朱砂洞组丁家庄白云岩段的顶部,丁家庄白云岩发育自下而上的白云质灰岩—白云岩—天青石岩组成的沉积旋回。

在荣成大疃镇刘家一带铍矿(化)体即赋存在中粗粒正长花岗岩中,该矿床为羟硅铍石—绢云母—碳酸盐—石英—长石等矿物组合,副矿物以重晶石、赤铁矿、褐帘石、金红石等矿物组合为特征,以绢云母化、高岭土化、滑石化蚀变为标志。在基性岩(玄武岩)向酸性岩的演化过程中地壳中的铍元素不断升

高,在花岗岩中由老到新含量不断增加,在岩浆分异作用晚期阶段得以富集,形成该区的铍异常。伴随构造运动,岩浆期后热液沿裂隙上升迁移过程中,在适宜的理化环境下淬取花岗岩中的铍元素,在构造有利部位富集、沉淀成矿。该矿床成因为中温热液型铍矿床(含铍蚀变花岗岩型铍矿床)。

4 找矿建议

山东省稀有金属典型产地主要有枣庄抱犊崮、荣成大疃刘家、新泰石鹏、荣成—黄岛沿海等地,虽然前人已经对其进行了调查,但是有必要进行更深入的了解,结合就矿找矿、深部找矿的方法,对典型矿床进行详细解剖,希望找到新的稀有金属资源。

具体的找矿建议如下:①对胶东沿海尤其是荣成一带沿海进行全面勘查,选点采集少量样品进行快速鉴定分析,以发现大的砂矿床;②对荣成及乳山一带碱性岩开展系统检查,以寻找原生稀有元素矿床;③对已知的如青矾岛、文登营等地段进行详细的普查工作;④对新泰石棚一带的伟晶岩做更为细致的调查,希望发现新的矿床;⑤滨海潟湖沉积型稀有金属矿床研究的还不够全面,需要进一步加大此类矿床的调查;⑥利用各种野外工作手段,对全省进行全面调查梳理,采集少量样品,圈定成矿靶区。

参考文献:

- [1] Linnen R L, Van Lichtervelde M, Cerny P. Granitic pegmatites as sources of strategic metals[J]. Elements, 2012(8): 275-280.
- [2] Thomas R, Davidson P, Beurlen H. a. Tantalite-(Mn) from the Borborema Pegmatite Province, northeastern Brazil: conditions of formation and melt and fluid-inclusion constraints on experimental studies[J]. Mineralium Deposita, 2011(46): 749-759.
- [3] Thomas R, Davidson P, Hahn A. Ramanite-(Cs) and ramanite (Rb): New cesium and rubidium pentaborate tetrahydrate minerals identified with Raman spectroscopy [J]. American Mineralogist. 2008(93): 1034-1042.
- [4] London D, Morgan G B. The pegmatite puzzle [J]. Elements, 2012(8): 263-268.
- [5] Cerny P, Ercit T S. The classification of granitic pegmatites revisited [J]. The Canadian Mineralogist, 2005(43): 2005-2026.
- [6] Cerny P, London D, Novak M. Granitic pegmatites as reflections of their sources [J]. Elements, 2012(8): 289-294.
- [7] 周振华, 车合伟, 马星华, 等. 初论稀有金属矿床研究的一些重要进展 [J]. 地质与勘探, 2016, 52(4): 614-626.
- [8] 王登红, 王瑞红, 孙艳, 等. 我国三稀(稀有稀土稀散)矿产资源

- 调查研究成果综述[J].地球学报,2016,37(5):569-580.
- [9] 袁忠信,张敏,万德芳.低 O^{18} 碱性花岗岩成因讨论——以内蒙巴尔哲碱性花岗岩为例[J].岩石矿物学杂志,2003,22(2):119-124.
- [10] London D.Pegmatites[J].The Canadian Mineralogist,2008(10):368.
- [11] London D.The origin of primary textures in granitic pegmatites[J].The Canadian Mineralogist,2009(47):697-724.
- [12] Okunlola O A, Akinola O O.Petrochemical characteristics of the Precambrian rare metal pegmatite of Oke-Asa area, Southwestern Nigeria; implication for Ta-Nb mineralization[J].RMZ-Materials and Geoenvironment,2010(57):525-538.
- [13] Akintola A I, Ikhane P R, Okunlola O A.Compositional features of precambrian pegmatites of Ago-Iwoye area Sout Western, Nigeria[J].Journal of Ecology and the Natural Environment,2012(3):71-87.
- [14] Lai X D, Yang X Y, Sun W D.Geochemical constraints on genesis of dolomite marble in the Bayan Obo REE-Nb-Fe deposit, Inner Mongolia; implications for REE mineralization[J].Journal of Asian Earth Sciences,2012(57):90-102.
- [15] Dill H G.The "chessboard" clarification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium[J].Earth-Science Reviews,2010(100):1-420.
- [16] Sheard E R, Williams-Jones A E, Heiligmann M, Pederson C, Trueman D L.Controls on the concentration of zirconium, niobium, and the rare earth elements in the Thor Laka rare metal deposit, Northwest Territories, Canada[J].Economic Geology,2012(107):81-104.
- [17] Zhu J C, Li R K, Li F C, et al.Topazalbite granites and rare-metal mine realization in the Limu district, Guangxi Province, southeast China[J].Mineralium Desposita,2001(36):393-405.
- [18] 牛贺才,单强,罗勇,等.巴尔哲超大型稀有稀土矿床富晶体的流体包裹体初步研究[J].岩石学报,2008,24(9):2149-2154.
- [19] Thomas R, Davidson P, Schmidt C.Extreme alkali bicarbonate- and carbonate-rich fluid inclusions in granite pegmatite from the Precambrian Rnne granite, Bornholm Island, Denmark[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology,2011,(161):315-329.
- [20] 杨武斌,牛贺才,单强,等.巴尔哲超大型稀有稀土矿床成矿机制研究[J].岩石学报,2009,25(11):2924-2932.
- [21] 杨武斌,苏文超,廖思平,等.巴尔哲碱性花岗岩中的熔体和熔体—流体包裹体:岩浆—热液过渡的信息[J].岩石学报,2011,27(5):1493-1499.
- [22] Kingsley A E, Ekwueme B N.Mineralization of pegmatites of the Oban Massif, Southeastern Nigeria; A preliminary analysis[J].Chin.J.Geochem,2009(28):146-153.
- [23] Pekov I V, Kononkova N N.Rubidium mineralization in rare-element granitic pegmatites of the Voron Tundras, Kola Peninsula, Russia[J].Geochemistry International,2010(48):741-760.
- [24] Camacho A, Baadagaard H, D Davis D W.Cerny P.Radiogenic isotope systematics of the Tanco and Silverleaf granitic pegmatites, Winnipeg River pegmatite district, Manitoba [J].The Canadian Mineralogist,2012(50):1775-1792.
- [25] 刘锋,张志欣,李强,等.新疆可可托海3号伟晶岩脉成岩时代的限定:来自辉钨矿 Be - Os 定年的证据[J].矿床地质,2012,31(5):1111-1118.
- [26] 孔庆友,于学峰,张天祯,等.山东矿床[M].济南:山东科学技术出版社,2006:399-409.

Study on Geological Characteristics and Metallogenic Regularity of Rare Metal Minerals in Shandong Province

XI Zhixuan¹, WANG Zijie², ZHANG Deming², ZHANG Xinzhu³, LI Dejian³, WANG Chen¹, LIU Guolu⁴

(1. Earth Science and Resource College of Chang'an University, Shanxi Xi'an 710054, China; 2. No.4 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Weifang 261021, China; 3. Weishanhu Mining (Group) Limited Corporation, Shandong Weishan 277600, China; 4. No.5 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Tai'an 271000, China)

Abstract: Rare metal is an important strategic resources. In recent years, it has been highly focused in our country. Shandong province is also a gathering place of rare metals. Rare minerals in Shandong province can be divided into sedimentary type, granite type and sedimentary type. They are mainly distributed in Rongcheng city, Xintai city and Zaozhuang city. In this paper, geological characteristics, mineral and petrological characteristics and resource reserves of the deposits have been discussed in detail, and the origin and metallogenic regularity of various types of deposits have been summarized. Some suggestions have been put forward in order to provide guidance for rare mineral prospecting in Shandong province for the next step.

Key words: Rare metal resource; seashore deposit; granitic pegmatite; deposit cause; metallogenic regularity; Shandong province