

苏鲁榴辉岩型金红石矿床研究进展*

Advances in the study of eclogite type rutile deposits in Jiangsu and Shandong

陈振宇, 王登红, 余金杰, 徐 珏

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

CHEN ZhenYu, WANG DengHong, YU JinJie and XU Jue

(Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

摘 要 文章对苏鲁榴辉岩型金红石矿床的研究进展进行了简单综述。苏鲁超高压变质带金红石矿床的勘探可追溯到 20 世纪 50 年代末, 近年来找矿工作取得重要进展, 已查明金红石矿床总储量达数千万吨。矿床属典型的榴辉岩型金红石矿床, 与超高压变质作用关系密切。金红石在榴辉岩中最主要也最具工业价值的赋存方式是呈粒间颗粒充填于主矿物绿辉石和石榴石之间, 金红石中的微量元素与其寄主榴辉岩的类型和产状有明显的相关性, 并且可反映其形成温度, 因此在苏鲁超高压变质榴辉岩和金红石矿床的研究中具有重要价值。富钛基性原岩是榴辉岩型金红石矿床形成的物质基础, 高压区域变质作用是这类矿床形成的必要条件。

关键词 苏鲁; 超高压变质; 榴辉岩; 金红石矿床

钛及钛合金由于其重量轻、强度高、耐高温、耐超低温、耐腐蚀、钛氧化物性能稳定等优良性能, 在现代国防工业、航空航天及其他工业部门都有广泛的用途。我国钛资源丰富, 但其中 98% 以上是钛铁矿, 金红石资源极少, 尤其是高品质的原生金红石钛资源更加紧缺。目前, 我国原生金红石的产地主要是湖北枣阳大阜山和山西应县碾子沟, 约占全国金红石总储量的 97% (邱检生等, 2006)。苏鲁地区从上世纪 50 年代后期以来, 陆续发现并开展了几轮金红石找矿工作, 并取得重要进展, 已发现原生金红石矿床资源量达数千万吨 (黄建平等, 2002)。本文是对苏鲁榴辉岩型金红石矿床的研究进展的一个简单综述。

1 勘探历史

据全国地质资料馆资料, 苏鲁地区的金红石矿床勘查历史基本上可以分为 3 个阶段, 第一个阶段约为 1958~1968 年, 此阶段以发现、勘查金红石砂矿为主, 由江苏省地质局第 1 大队、第 5 大队、徐州专区地质普查大队、山东省冶金局第 5 队及山东地质局第三综合地质大队等地勘部门在江苏省赣榆县、东海县、徐州东部及山东省平度县、荣城县、莱西县等地陆续发现了 10 多个与榴辉岩体关系密切的金红石砂矿, 并提交了 16 份以上的勘查报告; 第二个阶段为 1989~1997 年, 此阶段以发现、勘查榴辉岩型金红石原生矿为主, 由江苏地矿局地矿所、山东省地矿局第 4 地质队、山东省化工地质勘察院及化工部泰安地质勘察院等地勘部门在江苏省新沂县蒋马—东海县毛北地区、山东省诸城市上崔家沟、山东省莒南县洙边乡、山东省莒南县演马乡及山东省日照市虎山等地分别发现了多个榴辉岩型金红石矿床, 并提交了 5 份以上相应的勘查报告; 第三阶段为 2000 年至今, 这期间, 江苏省地质调查研究院在新一轮国土资源大调查中苏北东海县毛北—新沂市小焦地区发现了 20 多个典型的榴辉岩型金红石矿体, 总储量达数千万吨, 属大型-超大型矿床; 同时, 位于东海县毛北的中国大陆科学钻探工程主孔岩心也揭示了累积厚度达 1 000 m 的含金

*本文得到国家重点基础研究发展规划项目 (No.2003CB716507) 及国家自然科学基金项目 (No.40603009) 的资助
第一作者简介 陈振宇, 男, 1978 年生, 助研, 在读博士, 主要从事矿床矿物学和微束分析研究。

红石榴辉岩体,且基本集中在2 000 m深度以内,使得苏鲁地区榴辉岩型金红石矿床的资源潜力进一步提高。

2 地质背景

位于中国中东部的秦岭—大别—苏鲁造山带是华北与扬子板块俯冲-碰撞作用的产物,含柯石英和金刚石等超高压变质岩的发现使其成为研究大陆碰撞造山作用及动力学的最佳位置。苏鲁地区位于该造山带的东部,这里出露的是大陆板块俯冲到上地幔深处经历超高压变质作用,然后又折返回地表的造山带根部物质(张泽明等,2002)。苏鲁造山带南缘发育的超高压变质成因的榴辉岩带是整个中国中部造山带折返抬升最高部位,具有较典型的造山带根部特征。通过区域地质调查工作,查明区内发育岩石地层有新太古代至古元古代东海岩群、中新元古代锦屏岩群和云台岩群,呈一系列北东向和近东西向构造岩块分布,岩石中密集发育晋宁期韧性推覆剪切带和右形走滑韧性剪切带,后期普遍为印支期滑脱韧性剪切带叠加,形成复杂的韧性剪切系统,是阜宁期华北板块南缘地体拼贴B型俯冲碰撞作用、晋宁期华北板块与扬子板块软碰撞作用和印支期扬子板块向华北板块之下A型俯冲碰撞作用的结果(潘明宝等,2003)。

3 矿床地质特征

近年来在东海、新沂一带的榴辉岩体中已发现20多个金红石矿体,形成了大型的榴辉岩型金红石矿床。该区榴辉岩主要产于郯庐断裂以东的东海杂岩变质侵入岩中,整个榴辉岩带总体走向与区域北东向主构造线方向一致,榴辉岩分布的区域往往有韧性剪切带展布。已发现榴辉岩体数千个,其规模大的可长达数千米,宽数百米,小的长仅几米至几十厘米,宽几厘米。榴辉岩体多呈透镜状、扁豆状,长宽比一般3:1~5:1,部分可达10:1以上。一些榴辉岩体形态弯曲,甚至呈褶皱和钩状体,平面上呈弯月形、马蹄形,反映其遭受韧性变形。榴辉岩具有多种不同类型,从地表露头的研究来看,至少有3种不同产状:①产于超基性蛇纹岩中,在许沟、蒋庄等地均可见到;②产于演马场岩组大理岩中;上述两类榴辉岩数量相对较少,且规模较小;③产于东海杂岩变质侵入岩中,此类榴辉岩数量多,规模大,也是金红石矿床的主要赋矿岩石(黄建平等,2002)。从大陆科学钻探工程主孔100~2 050 m岩芯的研究来看,榴辉岩具不同的全岩化学成分和不同矿物组成,按全岩化学成分可划分为高硅型、高铝型、高钛型、高钛铁型、高镁型和正常型榴辉岩(张泽明等,2004);按矿物组成可分为普通金红石榴辉岩、石英金红石榴辉岩、多硅白云母金红石榴辉岩,蓝晶石金红石榴辉岩,金红石黑云绿帘纤闪石岩(退变的石榴辉石岩)和金红石-含钒钛磁铁矿榴辉岩。其原岩可能有多种复杂成因类型。徐珏等(2004)对中国大陆科学钻探工程100~2 000 m的岩心、矿心的观察、编录揭示,主孔100~2 000 m所遇到的金红石矿化层有4层,第一矿化层在100~608 m,第二矿化层在608~737 m,第三矿化层在930~1 011 m,第四矿化层在1 595~1 993 m,四段矿化层位中金红石矿化累积视厚度达1 017 m。主要有经济价值的含钛相是金红石,其次是钛磁铁矿。主要含矿岩石是普通金红石榴辉岩和石英金红石榴辉岩,其次有多硅白云母金红石榴辉岩,蓝晶石金红石榴辉岩,金红石黑云绿帘纤闪石岩(退变的石榴辉石岩)和金红石-含钒钛磁铁矿榴辉岩。金红石在矿层中的含量一般为2%~5%(体积),多者高达8%~10%。金红石多产于石英榴辉岩、多硅白云母榴辉岩中。钛磁铁矿的TiO₂含量在49%~55%(重量),钛磁铁矿多见于黄铁矿-金红石-钛磁铁矿榴辉岩(546~608 m岩性段)中,含钛磁铁矿5%~25%,石榴单辉橄辉岩(608~683 m岩性段),含钛磁铁矿达5%~10%,以及第三含矿层中局部黑云绿帘角闪岩夹层内,含钛磁铁矿可达6%。

4 矿石特征

4.1 金红石赋存状态、演化阶段

钛矿物相在壳源榴辉岩和榴辉岩质片麻岩中主要是金红石, 在幔源榴辉岩中以含钒钛磁铁矿为主有时兼具金红石, 在幔源石榴橄榄岩中主要出现钛斜硅镁石, 在强退变质的榴辉岩中金红石、钛磁铁矿普遍退变质为榍石(徐珏等, 2004)。金红石在榴辉岩中也有多种不同的赋存状态, 并可能分别代表了不同的变质演化阶段, 一是呈细粒包裹体形式于主矿物绿辉石、石榴石或副矿物锆石中, 可能形成于超高压峰期变质之前, 这类金红石由于粒度细小(一般 $<100\ \mu\text{m}$ 且不易分选, 基本不具工业价值); 二是呈粒间充填于主矿物绿辉石和石榴石之间, 粒度一般 $>100\ \mu\text{m}$, 可能与石榴石、绿辉石等同为超高压峰期变质产物; 三是呈蚀变残余形式被绿帘石、黝帘石、次闪石等矿物所包裹, 应是受后期退变质作用影响所致; 四是呈脉状、串珠状及巨晶状(粒度可达毫米级)充填在岩石中的细脉中, 可能是后期热液作用下的产物。其中第二种金红石约占90%, 最具工业价值(黄建平等, 2002)。退变质作用使得金红石部分或全部转化为钛铁矿、榍石, 降低了金红石的品位, 而后期热液作用则又使得金红石得到了一定程度的富集、沉淀, 但总的来说, 退变强烈的榴辉岩金红石的品位下降。

4.2 金红石的微量元素特征

金红石作为俯冲带变质岩(如榴辉岩)中容纳和控制高场强元素, 特别是 Nb、Ta 元素配分的重要矿物一直以来受到了许多地质学家的重视。Nb、Ta 及其他高场强元素被广泛应用于作为地质过程和地球化学模式的示踪剂, 其地球化学行为在俯冲带地质作用及壳-幔相互作用的研究中具有重要的指示意义。近年来的研究还发现, 金红石中的一些微量元素如 Nb、Cr、W 的含量与其原岩有继承和对应关系, 具有原岩指示意义, 可用于判断其原岩类型, 即金红石的矿物化学在沉积岩的物源区研究及变质岩的原岩判别中也有重要的示踪作用(Zack et al., 2004b)。此外, 最新研究表明, 金红石中的 Zr 元素含量与其形成温度有良好的线性关系, Zr 元素含量可作为金红石形成温度的温度计(Zack et al., 2004a; Watson et al., 2006), 这样就有可能通过对不同变质阶段生成的金红石分别测量其 Zr 元素含量计算其形成温度以反演变质岩的变质演化 P - T - t 轨迹。

最近, 笔者利用电子探针对取自CCSD钻孔100~2 000 m的18个不同类型榴辉岩样品及苏鲁地表露头不同产状的18个榴辉岩样品中的金红石进行了微量元素分析, 试图探讨榴辉岩的原岩即金红石的成矿物质来源、金红石形成温度等信息。分析结果显示, 不同类型的榴辉岩中的金红石具有不同的微量元素, 不同产状的榴辉岩中的金红石也具有不同的微量元素特征。金红石的微量元素特征与其寄主榴辉岩的岩石化学特征和产状有明显的相关性。在CCSD钻孔中, 蓝晶石榴辉岩中的金红石具有最高的Nb、Cr和Al含量, 与其全岩具有较高的Cr、Al含量相对应; 普通金红石榴辉岩具有最高的Fe、V和Zr含量, 与其全岩具有最高的Fe、V含量相对应。在地表露头榴辉岩中, 许沟的榴辉岩具有最高的Cr、Al、Zr及较高的V含量, 与其围岩超基性岩的岩石化学特征相对应; 小焦片麻岩中的榴辉岩具有最高的Fe含量, 其榴辉岩产状和岩石化学特征相当于CCSD钻孔中的金红石榴辉岩。所有金红石的Nb含量都不高, 在Zack等(2004b)的Nb-Cr图解上, 各种榴辉岩均位于原岩为超镁铁质岩石的区域内。

在同一个样品中, 一般呈石榴石、绿辉石包体形式和粒间充填形式的金红石具有较高的Zr含量, 而呈蚀变残余形式和热液充填形式的金红石Zr含量降低。根据最新的金红石Zr含量温度计可以算出金红石的形成温度, 计算所得的温度为534~772 $^{\circ}\text{C}$, 略低于根据石榴石-辉石矿物对温度计所得的峰期变质温度, 此分析结果也与王汝成等(2005)、高天山等(2006)的研究相一致。由金红石Zr温度计计算所得的温度偏低可能有几种解释, 一种可能是金红石形成于峰期变质作用之前; 一种可能的解释是, 榴辉岩在拆返过程中退变质作用明显, 流体活动强烈, 导致金红石中Zr扩散丢失, 金红石中Zr含量不同程度地受到角闪岩退变质过程中再平衡作用的影响, 致使计算的温度偏低(余金杰等, 2006); 而包体金红石可能在形成过程中相对“孤立”, 没有与锆石之间达到Zr元素的配分平衡(高天山等, 2006)。

通过对苏鲁地表露头和CCSD钻孔岩芯榴辉岩中金红石矿物的微量元素电子探针分析, 发现金红石的微量元素特征与其寄主榴辉岩的类型和产状有明显的相关性。而利用Zr含量计算的温度很好地限定了金红石的形成温度。研究表明, 金红石的微量元素分析在苏鲁超高压变质榴辉岩和金红石矿床的研究中具有重要价值。

5 金红石成矿制约因素

研究表明, 苏鲁超高压变质带的榴辉岩有多种类型, 其矿物组合和岩石化学差别很大, 其原岩可能有多种复杂成因类型。虽然榴辉岩中或多或少都含有金红石, 但其中只有50%左右的榴辉岩体金红石含量达工业品位。由于Ti元素是不活泼元素, 即使在超高压变质过程中也不会发生大量的迁移, 因此, 榴辉岩是否能构成金红石矿还与其原岩性质有关。最近邱检生等(2006)通过对CCSD主孔榴辉岩的岩石化学分析和对比总结, 根据 TiO_2 与其他元素的相关变异特点, 结合中国金红石矿床的平均品位(约2%)情况, 将榴辉岩区分为高钛榴辉岩($TiO_2 > 2\%$)和低钛榴辉岩($TiO_2 < 2\%$), 并据此系统对比了两类榴辉岩地球化学组成的差异。研究结果表明, 榴辉岩型金红石矿床的形成主要受原岩因素制约, 原岩的源区组成、产出环境、起源深度、部分熔融程度和随后的结晶分异过程对Ti的初始富集均具重要影响, 富钛基性原岩是榴辉岩型金红石矿床形成的物质基础, 高压区域变质作用是这类矿床形成的必要条件。

参 考 文 献

- 高天山, 郑永飞, 陈仁旭. 2006. 大别造山带黄镇榴辉岩矿物不同类型地质温度计应用和对比. 岩石学报, 22(7): 1957~1968.
- 黄建平, 马东升, 刘 聪, 等. 2002. 苏北超高压变质带榴辉岩型金红石矿床及其成因. 南京大学学报(自然科学), 38(4): 514~524.
- 潘明宝, 陈火根, 王 浩, 等. 2003. 苏鲁造山带南缘基础地质研究进展. 江苏地质, 27(1): 1~11.
- 邱检生, 王汝成, 蒋少涌, 等. 2006. 中国大陆科学钻探主孔高钛与低钛榴辉岩地球化学特征对比及其对金红石成矿的指示意义. 岩心学报, 22(7): 1875~1882.
- 王汝成, 王 硕, 邱检生, 等. 2005. CCSD主孔揭示的东海超高压榴辉岩中金红石: 微量元素地球化学及其成矿意义. 岩石学报, 21(2): 465~474.
- 徐 珏, 陈毓川, 王登红, 余金杰, 李纯杰, 傅旭杰, 陈振宇. 2004. 中国大陆科学钻探主孔100-2000米超高压变质岩中的钛矿化. 岩石学报, 20(1): 19~26.
- 余金杰, 陈振宇, 王平安, 等. 2006. 苏北榴辉岩中金红石的微量元素地球化学特征. 岩石学报, 22(7): 1883~1890.
- 张泽明, 许志琴, 刘福来, 等. 2002. 南苏鲁造山带根部的物质组成及变质作用. 地质通报, 21(10): 609~616.
- 张泽明, 许志琴, 刘福来, 等. 2004. 中国大陆科学钻探工程主孔(100-2 050 m)榴辉岩岩石化学研究. 岩石学报, 20(1): 27~42.
- Watson E B, Wark D A and Thomas, J B. 2006. Crystallization thermometers for zircon and rutile. Contrib. Mineral. Petrol., 151(4): 413~433.
- Zack T, von Eynatten H and Kronz A. 2004b. Rutile geochemistry and its potential use in quantitative provenance studies. Sediment Geol., 171: 37~58.
- Zack T, Moraes R, and Kronz A. 2004a. Temperature dependence of Zr in rutile: Empirical calibration of a rutile thermometer. Contr. Mineral. Petrol., 148: 471~488.