

夕卡岩型矿床成因类型及成矿特征

张遵遵¹, 李泽琴², 惠亚娜³

(1. 武汉地质调查中心, 武汉 430205;

2. 成都理工大学地球核技术四川省重点实验室, 成都 610059;

3. 北京桔灯地球物理勘探有限公司, 北京 102200)

摘要: 夕卡岩型矿床是一种具有重要工业意义的矿床类型, 多年以来一直是矿床学研究工作的热点, 经过一个多世纪的发展历程, 对该类矿床的认识也由传统的接触交代成因演变为多种成因; 但目前仍然有很多地质工作者局限于传统的接触交代成因。为了能够更好的认识该类矿床, 本文在前期夕卡岩成因类型总结的基础上, 归纳了各种夕卡岩及夕卡岩型矿床的主要特征及成矿作用, 分析了不同成因夕卡岩类型之间的区别和联系。

关键词: 夕卡岩; 夕卡岩类型; 夕卡岩型矿床; 成矿特征

中图分类号: P611, P613 **文献标识码:** A

0 引言

夕卡岩型矿床是一种具重要工业意义的矿床类型, 一般指产于中酸性侵入体与碳酸盐类岩石或其它含 Ca、Mg 质岩石接触带或附近, 由含矿热液的交代作用形成, 并与夕卡岩在成因上和空间上有关的矿床^[1]。夕卡岩型矿床的研究是古老而传统的课题, 一个多世纪以来国际上对夕卡岩型矿床的研究长盛不衰, 不断有所创新, 取得了丰厚的成果, 大大提高了夕卡岩型矿床的研究程度。

由于夕卡岩型矿床的时空分布和规模等都与夕卡岩有关, 所以在夕卡岩型矿床的找矿评价中正确判定夕卡岩的成因具有重要的意义。上世纪 70 年代, 桂林冶金地质研究所收集整理了国内外许多夕卡岩型矿床的地质资料, 编写了夕卡岩型矿床八十例, 是前期研究工作的一个重要汇总。80 年代 Овчинников (1980)^[2]、涂光炽 (1981)^①、Einaudi (1981)^[3]、翟裕生等 (1982) 等^[4] 分别从不同的角度提出了夕卡岩的多成因性, 这为夕卡岩型矿床的研

究与勘探提供了新的思路。随后, 赵斌 (1989)、赵一鸣 (1990、2002)、Meinert (1992、2000、2005) 等^[5-10] 也分别探讨了夕卡岩的多成因性及其形成地质条件的广泛性, 并拓宽了夕卡岩型矿床的范围, 但主要是对传统成因夕卡岩及夕卡岩型矿床做了较详细的研究和总结。梁祥济等 (2000)^[11-12] 从实验岩石学角度总结了夕卡岩和夕卡岩型矿床的形成机理, 表明了夕卡岩形成的物理化学条件的宽广性, 也为夕卡岩的多成因性提供了较好的解释。以上论著的发表与出版, 其极大的丰富了夕卡岩的成矿理论; 一些地质工作者在这些理论的指导下不断探索与创新, 在夕卡岩型矿床研究中也提出许多新的观点等, 使得夕卡岩型矿床方面的研究成果更加丰富多彩。本文作者曾结合国内外夕卡岩成因的各种观点, 根据夕卡岩形成的地质环境、控制因素、形成方式和特征等不同, 把夕卡岩的成因类型归纳为 5 种类型^[13]。但是, 目前理解夕卡岩的形成不受传统成因的限制仍是夕卡岩型矿床研究中最主要的挑战之一。

本文将参考国内外对夕卡岩型矿床研究的新成果, 对各种夕卡岩类型^[13] 的主要特征及相关成矿作用、成矿特征进行总结, 分析不同成因类型之间的区

收稿日期: 2015-10-27; 改回日期: 2016-08-11; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 中国地质调查局地调项目(编号:121201010000150011-05)资助。

作者简介: 张遵遵(1984—), 男, 硕士, 地球化学专业, 从事地质矿产调查工作。通信地址: 武汉东湖高新技术开发区光谷大道 69 号, 武汉地质调查中心; 邮编: 430205; E-mail: hnzunzun@163.com

别和联系。

1 夕卡岩类型划分

目前国内外大量的研究资料表明,夕卡岩和夕卡岩型矿床具多成因性,并不是只有岩浆热液交代作用才能形成,在不同的地质构造背景下,通过相应的地质作用(交代作用、冷却结晶作用、喷流沉积、变质结晶作用)也可以形成。

本文作者曾结合国内外夕卡岩成因的各种观点,根据夕卡岩形成的地质环境、控制因素、形成方式和特征等不同,把夕卡岩的成因类型归纳为以下五种:1)热液交代型;2)岩浆型;3)喷流沉积型;4)变质型;5)多因复成型^[13]。

2 不同类型夕卡岩成矿特征

2.1 热液交代型夕卡岩与成矿

热液交代夕卡岩是指各种富含硅铝质的热液,在一定的物理化学条件下,通过扩散作用、渗滤作用与碳酸盐岩类或其它含Ca、Mg质岩石地层发生交代反应而形成的一套“钙-铁-镁-铝硅酸盐矿物”组合。这类夕卡岩形成于相对开放的环境中,矿物组分相对复杂;其根据形成的控制因素、产出特征等,可以分为接触交代型、层控交代型2种。

(1)接触交代型

传统的接触交代型夕卡岩是指中酸性侵入岩与碳酸盐岩或其它含Ca、Mg质岩石地层接触带形成的一套硅酸盐矿物组合。但人们在找矿勘探中发现了与超基性、基性-中性侵入岩有关的、与火山作用、混合岩化作用有关的夕卡岩及矿床^[14-18],虽然不多见,但确实是存在的。由于它们都产于铝硅酸盐岩(包括侵入岩、火山岩、混合岩)与碳酸盐岩类或其它含Ca、Mg质围岩接触带或附近,是由高温热液与有利的围岩地层发生接触交代反应形成,可以把它们归属到接触交代型夕卡岩范围。该类夕卡岩的产出受接触带构造控制明显,一般呈不规则状、脉状、扁豆状、囊状、柱状等,且产状变化较大;夕卡岩根据成分、结构和构造等可见有不同程度的分带性等。

有资料表明接触交代带流体存在两个系统,它们代表不同来源,一种是岩浆来源,一种是天水循环来源,还存在地层水(建造水)加入的可能性^[19]。接

触交代夕卡岩矿床的特点是具有两种截然不同的蚀变阶段,早期夕卡岩阶段形成高温无水的夕卡岩矿物如石榴石(钙铝榴石/钙铁榴石)和辉石(透辉石/钙铁辉石);晚夕卡岩阶段形成低温含水的夕卡岩矿物如绿帘石、角闪石、阳起石和绿泥石。这两个阶段通常被认为是分别以岩浆水和大气水为主导的热液交代作用的结果^[20-21]。据Teera Kamvong(2009)研究资料,在泰国Loei褶皱带北部的Phu Lon夕卡岩型铜金矿床中,早期夕卡岩阶段的钙铁榴石、透辉石矿物的流体包裹体表现为高温、高盐度和氧化环境的特征;晚期夕卡岩阶段的绿帘石、透闪石、阳起石矿物包裹体表现为低温、低盐度的特征,并且只含有一种富液相的包裹体^[22]。此类矿床成矿物质的沉淀,一般认为主要是高温岩浆热液和相对低温的大气水混合时温度降低引起的。但是,Timothy Baker(2009)通过墨西哥Bismark矿床流体包裹体的LA-ICP-MS方法分析研究,认为矿物质的沉淀主要是由于酸性的含矿流体与碳酸盐岩中和反应时pH值升高造成的,有可能伴随温度的降低,但不认为降温是矿物质沉淀的主要因素^[23]。

(2)层控交代型

常印佛、刘学圭(1983)把长江中下游广泛发育的一种产状特殊的夕卡岩称为“层控式”夕卡岩;凌其聪(1998,2002,2003)认为“层控式”夕卡岩矿床中的夕卡岩和矿体主要顺地层呈似层状或透镜状产出,并探讨了该类夕卡岩的地球化学特征及成矿机制等^[24-26]。通过综合分析可以把层控交代型夕卡岩矿床理解为是在一定的物理化学条件下,由各种富含硅铝质的含矿热液(以岩浆演化的热液为主)作用于有利的岩性界面或层间滑脱构造时,通过扩散交代、渗滤交代作用所形成的一套赋矿的硅酸盐矿物组合,该类夕卡岩型矿床受地层控制明显,可以与岩体没有直接的关系。层控交代型夕卡岩的矿物组成及矿物特征与接触交代型相似,主要呈层状、似层状或透镜状顺地层产出。在顺层方向上热液以较快的渗滤交代作用为主,分带现象不明显,且稀土元素含量变化不大;穿层方向上以缓慢的扩散交代作用为主,可见不同程度的分带性,且稀土元素含量在近距离变化就很大^[27-28]。地层岩性对夕卡岩及矿床的形成起控制作用,一般地层提供了一些成矿物质或成为初始矿源层,其成矿温度和接触交代型相比,一般较低。夕卡岩矿体大多数赋存在地层沉积间断面、不同地层界面和不同岩性组合的相变面中及其上下。比如,铜陵地区冬瓜山铜矿床、狮子山金矿床等。

热液交代夕卡岩型矿床的成矿作用方式有渗滤交代作用和扩散交代作用,在整个夕卡岩化和矿化过程中,渗滤作用和扩散作用都存在,并有明显的物质带进带出,由于热液中各组分的活动性不同,常形成不同程度的交代分带现象。同一个矿床内,不同的交代作用方式形成的矿物类型及成分也有差别,如 Gaspar M 等(2008)在研究 Crown Jewel 金矿床石榴石的 REE 地球化学行为时,指出石榴石中的稀土元素含量与三氧化二铝含量具有明显的正相关关系,富 Al 的石榴石是在较低的水/岩比值下,通过缓慢的扩散交代作用形成的,相对富集 Y、Zr 和 Sc,显示典型的重稀土富集而轻稀土亏损和不明显的 Eu 异常的配分模式;而富铁的石榴石是在水/岩比值较高的环境下,通过快速的渗滤交代作用形成的,总稀土含量较低,配分模式表现为轻稀土富集而重稀土亏损,并且有明显的 Eu 正异常等^[29]。另外根据流体包裹体或地球化学等方面的研究可以看出,在夕卡岩化或矿化过程中还伴随着热液流体系统不断的演化,夕卡岩或矿体的形成很难说只有单一的某类热液作用的结果,往往有其它热液的加入,成矿物质也通常具有多种来源^[26,30-31]。通常成矿作用均为成矿流体输运和化学反应相结合的一种耦合过程^[32],成矿流体输运可以不断的提供成矿物质或活化、转移围岩的成矿元素,而流体输运过程中与围岩的交互作用、与其它类型热液混合所引起的化学反应等,可以导致成矿物质的沉淀。

对于接触交代夕卡岩型矿床,成矿物质往往以岩浆源为主;对于层控交代型,沉积成岩期多形成矿源层或矿胚,后期含矿热液叠加改造。如西藏亚贵拉超大型夕卡岩铅锌多金属矿床,矿体产于变石英砂岩与大理岩岩性转换部位,呈层状、似层状与地层整合产出,连永牢等(2009)通过该矿床地质地球化学特征和流体特征的研究,认为夕卡岩矿体是在热水喷流沉积的基础上叠加了后期岩浆热液交代作用^[33]。侯增谦等(2011)、杨爽等(2012)通过冬瓜山层控夕卡岩铜矿床的研究,认为该矿床为早期喷流沉积与后期热液交代叠加复合成矿^[34-35]。但并不是所有的层控夕卡岩型矿床在沉积成岩期存在成矿物质初始富集作用,当含有成矿物质的岩浆热液沿层间构造破碎带侵入和碳酸盐围岩发生化学反应,也可以生成层控夕卡岩型矿体,比如福建龙岩地区的马坑铁(钼)矿床^[36]。

2.2 岩浆型夕卡岩与成矿

我国一批学者(林新多等,1987,1989,1999;许

国建等,1990;常印佛等,1991;吴言昌,1992,1996;赵斌等,1993,1995;赵劲松等,2003,2008,2015)在一些夕卡岩型矿床的研究工作中,通过夕卡岩体特征、岩(矿)石的结构构造特征和熔融包裹体的发现以及成岩成矿实验研究,认为某些夕卡岩为岩浆成因^[37-47]。岩浆夕卡岩是由“夕卡岩岩浆”冷却结晶作用形成的石榴石、辉石等 Ca、Mg、Fe 的硅酸盐矿物组合,主要矿物晶体中含硅酸盐熔体和硅酸盐熔体-流体包裹体。岩浆夕卡岩体与其它常见的岩体形成机制形同,主要是“夕卡岩岩浆”的成分较为特殊。铝硅酸盐岩浆活动为“夕卡岩岩浆”的产生提供了热源和物质基础,碳酸盐地层为“夕卡岩岩浆”的形成准备了条件,当铝硅酸盐岩浆在同化混染了部分碳酸盐围岩后,在有利的构造地带经去气、脱硅和液态不混溶分离作用等,即可以生成这种特殊的岩体——岩浆型夕卡岩。

岩浆成因夕卡岩形成温度主要介于 900 ~ 1150℃ 之间,熔融包裹体和流体-熔融包裹体的存在则是其岩浆成因的直接证据^[47];发育有海绵陨铁结构,气孔构造、豆状构造、流动构造,自身熔离现象普遍。岩浆夕卡岩体形态复杂多样,主要呈脉状,还有呈角砾岩筒状者,其产出受构造裂隙控制,具成群出现特点;岩浆夕卡岩体规模变化很大,与围岩通常呈突变接触,界线鲜明^[43,45]。杜杨松等(2011)根据岩浆夕卡岩产出位置的不同将岩浆夕卡岩分成原地夕卡岩和异地夕卡岩两类,原地夕卡岩岩体多分布在壳幔同熔岩浆侵入体与碳酸盐围岩的接触带上,常能见到因同化混染作用不彻底而留下的围岩残留体;异地夕卡岩岩体常分布在断裂带或地层虚脱带中,在夕卡岩岩体边缘一般有冷凝边和烘烤边^[48]。另外,这两类岩浆夕卡岩在水平分带、矿物组成、地球化学特征及相关矿床类型等方面,存在一定的差异。赵劲松等(2007)通过大冶-武山矿化岩浆夕卡岩的稀土元素地球化学研究,认为该类夕卡岩的球粒陨石标准化 REE 配分模式具有两个突出特点:一是,以富集轻稀土元素(LREE)右倾为特征;二是,多数以具有 Eu 正异常为特征^[28]。

岩浆夕卡岩的成矿作用是伴随含矿夕卡岩浆的贯入成岩过程而发生的,包括熔离作用,熔离—热液充填—交代作用和气液伟晶充填—交代作用。在特殊情况下,还有夕卡岩—铁矿浆的不混溶分离—韵律式堆积(晶)成矿作用^[43]。在矿床类型上,原地岩浆夕卡岩可与铜矿床和铁矿床等各种矿床伴生,而异地岩浆夕卡岩一般只与铁矿床伴生。

2.3 喷流沉积型夕卡岩与成矿

喷流沉积型夕卡岩与中酸性岩没有明显的关系。喷流沉积型夕卡岩是在喷流沉积和喷流交代作用下形成的,其特点是形成于沉积成岩时期,多形成于拉张构造环境(主要为大陆裂谷或陆缘裂谷及裂陷槽环境)。关于这类成因的夕卡岩及成矿作用已被愈来愈多地地质工作者所接受。I. S. Oen 等(1986)通过对 Grythyttan 火山-沉积盆地的层凝灰岩中的层纹状锰石榴石、黑硬绿泥石夕卡岩的研究,认为夕卡岩中的锰石榴石、黑硬绿泥石为自生矿物,为成岩期形成,从而提出该夕卡岩及其矿床是由与 Grythyttan 盆地中的火山作用有关的海底热液活动形成的观点^[49]。涂光炽(1987)指出:“闽西南某铅锌矿床中呈层状产出的角岩或夕卡岩是热水沉积产物”^[50]。路远发(1998, 1999)通过对滇西羊拉地区层状夕卡岩的研究,发现夕卡岩的岩石化学特征、稀土分布形式等与热水沉积物相似,并且夕卡岩的流体具有深部源与海水源的二元混合特征,认为是喷流沉积成因^[51-52]。潘凤雏等(1997, 2002)、杜光树等(1988)、李金高等(2001)、姚鹏等(2002, 2006)等分别从不同的角度对西藏甲马铜多金属矿床进行研究,认为矿床的主要容矿岩石层状夕卡岩为喷流沉积成因^[53-55]。王长明等(2007)通过内蒙古黄岗梁锡铁多金属矿床层状夕卡岩的 REE 地球化学及碳、氧同位素组成关系等研究,发现其特征可与许多沉积喷流型块状硫化物矿石及其共生的喷流岩相对比,认为是喷流沉积成因^[56]。张旺生(2009)在研究西藏念青唐古拉地区铜铅锌多金属矿床热水沉积岩特征与成矿关系时,指出西藏拉屋和亚贵拉矿区存在喷流沉积的夕卡岩,认为其上部为层状热水交代蚀变岩,其下部为网脉状热水交代蚀变岩的同位共生现象,正是海底喷流中心的一种典型剖面结构^[57]。

喷流沉积型夕卡岩,根据形成的构造相不同,可分为面状和网脉状两大类。面状夕卡岩呈层状、似层状产出,与上、下岩层的产状一致,岩性界面清晰、平直,沿走向稳定延伸一定距离后可尖灭或过渡为正常沉积岩,是喷流热液在水-岩界面上交代蚀变冷凝结晶-沉积固结的产物;网脉状夕卡岩多分布在面状夕卡岩的下伏岩层中,沿裂隙带产出,穿层性明显,交代蚀变边清楚,与围岩呈渐变关系,是喷流热液在沉积界面以下沿裂隙带充填-交代的产物。面状夕卡岩多呈绿色、暗绿色、暗灰色等,其主要矿物成分为透辉石、透闪石、阳起石、钙铁榴石、绿帘石及

绿泥石等,并有较多石英、方解石与之共生;矿物粒度较细、透辉石多呈细粒或“雏晶”集合体状,发育纹层状构造、条纹条带状构造、同生角砾状构造及包卷-滑塌构造等。这类夕卡岩有贫 Al_2O_3 、 TiO_2 、REE 和富铁(TFeO)等特征,夕卡岩的 REE 分布模式与现代大洋中脊热水沉积物相似,以钙铁榴石为主的夕卡岩,其 REE 分布模式以呈现 Ce 负异常为特征^[51-58]。

与喷流沉积夕卡岩伴生的矿产主要为铅锌铜多金属矿,其成矿作用受拉张构造环境及区域性同沉积断裂等的控制。主要通过两种方式成矿:一是,水-岩界面之上的同生沉积成矿;二是,沉积界面以下的同生交代-充填成矿^[57-59]。同生沉积成矿常形成层状矿体;同生交代-充填成矿常形成与地层交切的脉状、网脉状矿体,二者共生或分别出现。

2.4 变质型夕卡岩与成矿

Einaudi 等(1981)根据夕卡岩生成机理不同,划分出变质夕卡岩和交代夕卡岩两大类^[4]。而这里所讲的变质夕卡岩是指在一定的温度和压力下,由已经存在的原有物质通过自身相互作用而形成的一套特有硅酸盐矿物组合。该类夕卡岩形成于相对封闭的环境,受地层、区域或局部热异常等控制明显。

(1) 区域变质阶段形成的夕卡岩

区域变质阶段形成的夕卡岩及矿床,如澳大利亚的布罗肯希尔和新泽西的福兰克林等层控硫化物矿床,瑞典的 Langban、日本的 Noda-Tamagaw 和巴西的布里提拉马锰矿床等^[9],以及我国滇东南老君山成矿区等^[60]。它们几乎全产在与古生代结晶基底有关的由区域变质作用形成的一套变质沉积岩系中。Jaroslava(2009)通过波希米亚地块三个不同单元的岩石学、地球化学及锆石年龄等方面的研究,认为该地区的夕卡岩主要是由含有海底喷流的混杂沉积岩层,在封闭系统通过区域变质作用形成^[61]。区域变质型夕卡岩具明显层位性和岩类组合特征,多呈面形分布,延长较远,断断续续可延长 100 km 以上。没有物质的带进带出,主要表现为岩石重结晶和元素重新组合;夕卡岩无分带现象,其结构构造具有明显沉积变质作用的特征,如柱状变晶结构,定向构造、变余层理构造等^[7, 60]。

(2) 接触变质型夕卡岩

接触变质型夕卡岩虽也环绕岩浆岩成圈成带,但其顺围岩层理分布,与传统的接触交代夕卡岩不同,而是围岩物质本身热变质的产物^[4]。如江西永平矿区,层状夕卡岩成分相对简单,形成温度相对较

低,一般具粒状变晶结构、块状构造。从岩体向外,存在着由夕卡岩→夕卡岩灰岩→大理岩→正常灰岩的分布规律。廖宗廷等(2001)通过研究,认为夕卡岩是沉积-火山沉积岩,受后期热动力作用改造形成的,其形成模式为:碳酸盐岩中的钙等通过粒间溶液扩散进入到火山岩中,而火山岩中的硅、铝、铁则扩散进入碳酸盐岩中,当达到平衡后便形成以钙铝榴石和钙铁榴石为主的夕卡岩^[62]。马毅等(2006)也报道了类似成因的夕卡岩^[63]。王星(2008)通过系统研究青海谢坑铜金矿床夕卡岩的地球化学特征,发现矿化夕卡岩岩石化学特征及稀土元素、微量元素地球化学特征与泥灰岩和辉石闪长岩类岩浆岩极其一致,认为该夕卡岩并非传统意义上的夕卡岩,而是热作用下的岩浆岩及泥灰岩的自变质成因夕卡岩^[64]。

变质成因的夕卡岩原岩多夹有火山沉积或热水沉积等,富含成矿物质,当岩石原有物质经过深埋或其它热动力的作用下,原有岩石的矿物成分、化学成分、结构构造等将发生改变,原来矿物或岩石中所含的结晶水、粒间水和层间水也可以形成变质的气水溶液,它们能促使地层内成矿物质的迁移和富集,所以与变质成因的夕卡岩相关的成矿作用方式主要是变质交代作用、重结晶作用等。

2.5 多因复成型夕卡岩与成矿

地质演化过程往往是复杂的,在夕卡岩或夕卡岩型矿床的形成过程中可能经历了多种地质作用。当早期形成的夕卡岩或夕卡岩型矿石经历了后阶段的地质作用叠加改造,有时会在一个矿区范围内出现多种成因类型或多因复成型的夕卡岩或夕卡岩型矿石。一般超大型矿床的形成是多种成矿作用的叠加,多具有沉积成因的矿源层或矿胚。而下面的几个大型-超大型夕卡岩型矿床被认为具备热水沉积成矿作用和其他成矿作用的叠加改造。

(1)Broken Hill 铅锌矿。世界著名矿床学家 Stanton R L(1983)认为,澳大利亚的 Broken Hill 超大型夕卡岩型铅锌矿床并不是由传统的岩浆热液接触交代形成,而是通过海底热水沉积,并经后期的区域变质作用形成的^[65]。

(2)鄂拉山铜多金属矿。我国青海鄂拉山地区的大型夕卡岩铜多金属矿床也具有类似的成因,据宋治杰等(1995)鄂拉山铜多金属矿带中,矿化往往和夕卡岩伴生,这些夕卡岩体在形成上具有多阶段和多成因性,大体上可分为3种类型:热水沉积-变质夕卡岩;花岗质岩体边缘交代夕卡岩;热水沉积-

变质-岩浆气液叠加夕卡岩。而富矿体主要与多因复成型的夕卡岩有关^[66]。

(3)都龙锡锌多金属矿。云南省马关县都龙超大型锡锌多金属矿床的主要含矿岩石——层状夕卡岩,顺层产出于中寒武统田蓬组片岩、大理岩中。刘玉平等(2000)通过层状夕卡岩的地质、岩石化学和稀土元素地球化学等特征的研究,提出其形成大致经历了热水沉积、区域变质和岩浆热液叠加等三个阶段,属于多因复成夕卡岩^[67]。一个超大型矿床的发现,一般会引来多方地质工作者的重视及研究,这些研究成果极大的丰富了矿床的成矿理论,但有时候关于矿床的成因会存在多种认识,这也就说明了越是大型-超大型的矿床,其成矿作用往往越复杂,一般情况下是多种成矿作用叠加的结果。

这些早期喷流沉积叠加后期改造的多因复成夕卡岩,往往还保留喷流沉积型夕卡岩的特点,如呈层状与地层整合产出,保留有典型的同生沉积组构。该类夕卡岩型矿床的成矿作用在不同矿床有所不同,有的是同生沉积成矿作用为主,内生成矿流体叠加改造;有的以内生成矿作用为主,同生沉积作用只形成矿源层或矿胚;也有的矿床同生沉积成矿和内生叠加成矿都很重要。

3 结语

从以上五类夕卡岩的成因类型可以看出,不同的成因类型的夕卡岩在形成机制上既有区别又有相似的地方。它们在形成过程中都不同程度的伴随着交代作用,无论是哪种成因类型的夕卡岩其形成都需要:①有利的物质基础(富硅铝质热液或铝硅酸盐岩;碳酸盐岩或其它Ca、Mg质岩石、沉积物);②一定的物理化学条件(在某些催化剂的作用下可以降低夕卡岩形成的温度压力条件)。只要满足这两个条件,夕卡岩就可以在多种地质环境中通过不同的地质作用(交代作用、冷却结晶作用、喷流沉积、变质结晶作用)并在适合的地质空间形成。

注释:

① 涂光炽. 1981年在上海举行的全国铁矿工作会议上的学术报告.

参考文献:

- [1] 姚凤良, 孙丰月. 矿床学教程[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1-254.
- [2] Овчинников Л. Н. Ополигенности скарновых железорудных месторождений[J]. Геология Рудных Месторождений, 1980, 22(3): 58-73.
- [3] Einaudi M T, Meinert L D, Newberry R T. Skarn deposits [J]. Econ Geol., 1981, 75: 317-391.
- [4] 翟裕生, 石准立, 林新多, 等. 鄂东大冶式铁矿成因的若干问题[J]. 地球科学, 1982(3): 239-251.
- [5] 赵斌. 中国主要夕卡岩及夕卡岩型矿床[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 1-268.
- [6] 赵一鸣, 林文蔚, 毕承思, 等. 中国夕卡岩矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 1-200.
- [7] 赵一鸣. 夕卡岩矿床研究的某些重要新进展[J]. 矿床地质, 2002, 21(2): 114-120.
- [8] Meinert L D. Skarns and skarn deposits [J]. Geoscience Canada, 1992, 19(4): 145-162.
- [9] Meinert L D, Lentz D R, Newberry D J. A special issue devoted to skarn deposits [J]. Economic Geology, 2000, 95: 1183-1184.
- [10] Meinert L D, Dipple G M, Nicolescu S. World skarn deposits [C] // Hedenquist J W, Thompson J F H, Goldfarb R J, Richards J P. Eds. Economic Geology 100th Anniversary Volume, Society of Economic Geologists, 2005: 299-336.
- [11] 梁祥济. 中国夕卡岩和夕卡岩矿床形成机理的实验研究[M]. 北京: 学苑出版社, 2000: 1-365.
- [12] 梁祥济, 王福生. 层控交代型夕卡岩矿床形成机理的实验研究[J]. 黄金地质, 2000, 6(4): 1-13.
- [13] 张遵遵, 李泽琴, 陈晓雁, 等. 夕卡岩的多成因性及夕卡岩型矿床找矿评价[J]. 地质找矿论丛, 2011, 26(2): 157-161.
- [14] 马润则, 魏显贵, 肖渊甫. 米仓山地区一种与超基性岩有关的夕卡岩[J]. 四川地质学报, 2000, 20(1): 17-22.
- [15] 代军治, 毛景文, 赵财胜, 等. 辽宁肖家营子夕卡岩型铜(铁)矿床高盐度流体特征及演化[J]. 岩石学报, 2008, 24(9): 2124-2132.
- [16] 王兴保. 雅满苏铁矿床地质特征及成因浅析[J]. 地质找矿论丛, 2005, 20(增刊): 125-128.
- [17] 李厚民, 丁建华, 李立兴, 等. 东天山雅满苏铁矿床夕卡岩成因及矿床成因类型[J]. 地质学报, 2014, 88(12): 2477-2489.
- [18] 喻茨玫. 西榆皮铅矿床流体包裹体研究及成岩成矿机理的探讨[J]. 大地构造与成矿学, 1988, 12(4): 317-326.
- [19] 黄华盛. 夕卡岩矿床的研究现状[J]. 地学前缘, 1994, 1(3-4): 105-111.
- [20] Meinert L D, Hedenquist J W, Sato H H. Formation of anhydrous and hydrous skarn in Cu-Au ore deposits by magmatic fluids [J]. Econ Geol, 2003, 98: 147-156.
- [21] Yesim Yücel öztürk, Cahit Helvacl, Muharrem Sat? r. The influence of meteoric water on skarn formation and late-stage hydrothermal alteration at the Evciler skarn occurrences, Kazdag, NW Turkey [J]. Ore Geology Reviews, 2008, 34(3): 271-284.
- [22] Teera Kamvong, Khin Zaw. The origin and evolution of skarn-forming fluids from the Phu Lon deposit, northern Loei Fold Belt, Thailand: Evidence from fluid inclusion and sulfur isotope studies[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 34: 624-633.
- [23] Martina Bertellia, Timothy Bakera, James S Cleverley. Geochemical modelling of a Zn-Pb skarn: Constraints from LA-ICP-MS analysis of fluid inclusions [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2009, 102(1): 13-26.
- [24] 常印佛, 刘学圭. 关于层控式夕卡岩型矿床——以安徽省内下扬子拗陷中一些矿床为例[J]. 矿床地质, 1983, 2(4): 25-33.
- [25] 凌其聪, 周贵斌, 黄许陈, 等. 层控式夕卡岩矿床特征及成矿机制——以铜陵大团山铜(金)矿床为例[J]. 贵金属地质, 1998, 7(2): 91-103.
- [26] 凌其聪, 刘丛强. 冬瓜山层控夕卡岩型铜矿床成矿流体特征及其成因意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2002, 32(3): 219-226.
- [27] 凌其聪, 刘丛强. 层控夕卡岩及有关矿床形成过程的稀土元素行为——以安徽冬瓜山矿床为例[J]. 岩石学报, 2003, 19(1): 192-200.
- [28] 赵劲松, 邱学林, 赵斌, 等. 大冶-武山矿化夕卡岩的稀土元素地球化学研究[J]. 地球化学, 2007, 36(4): 400-412.
- [29] Gaspar M, Knaack C, Meinert L D. REE in skarn systems: a LA-ICP-MS study of garnets from the Crown Jewel gold deposit [J]. Geochim Cosmochim Acta, 2008, 72: 185-205.
- [30] 张乾, 潘家永. 论接触交代夕卡岩型多金属矿床的矿质来源——以铅同位素组成为依据[J]. 矿物学报, 1994, 14(4): 369-372.
- [31] Meinert L D, Hefton K K., Mayes D. Geology, zonation and fluid evolution of the Big Gossan Cu-Au skarn deposit, Ertsberg district, Irian Jaya [J]. Economic Geology, 1997, 92: 509-534.
- [32] 於崇文, 蒋耀淞, 肖正域. 安徽铜陵层控夕卡岩型铜矿床的成矿作用动力学[J]. 地质学报, 1995, 69(3): 243-254.
- [33] 连永平, 曹新志, 燕长海, 等. 西藏工布江达县亚贵拉铅锌矿床地质特征及成因分析[J]. 地质与勘探, 2009, 45(5): 570-576.
- [34] 侯增谦, 杨竹森, 吕庆田. 安徽铜陵冬瓜山大型铜矿: 海底喷流-沉积与夕卡岩化叠加复合成矿过程[J]. 地质学报, 2011, 85(5): 659-686.
- [35] 杨爽, 杜杨松, 曹毅, 等. 安徽铜陵冬瓜山层控夕卡岩铜矿床形成过程——来自磁黄铁矿的证据[J]. 现代地质, 2012, 26(1): 54-57.
- [36] 张志, 张承帅. 福建马坑铁(铜)矿床夕卡岩矿物学特征及分带研究[J]. 岩石学报, 2014, 30(5): 1339-1354.
- [37] 林新多. 夕卡岩的一种成因——岩浆成因[J]. 地质科技情报, 1987(2): 92-94.
- [38] 林新多, 许国建. 岩浆成因夕卡岩的某些特征及形成机制初探[J]. 现代地质, 1989, 3(3): 351-358.

- [39] 吴言昌, 邵桂清, 吴炼. 岩浆岩夕卡岩及其矿床[J]. 安徽地质, 1996, 6(2): 30-39.
- [40] 许国建. 安徽长龙山夕卡岩岩浆型铁矿成因探讨[J]. 地球科学, 1990, 15(6): 649-656.
- [41] 赵斌, 赵劲松, 张重泽, 等. 岩浆成因夕卡岩的实验证据[J]. 科学通报, 1993, 38(21): 1986-1989.
- [42] 赵斌, 李院生, 赵劲松. 岩浆成因夕卡岩的包裹体证据[J]. 地球化学, 1995, 24(2): 198-200.
- [43] 吴言昌, 常印佛. 关于岩浆夕卡岩问题[J]. 地学前缘, 1998, 5(4): 291-301.
- [44] 王守旭, 张兴春, 冷成彪, 等. 中甸红山夕卡岩铜矿稳定同位素特征及其对成矿过程的指示[J]. 岩石学报, 2008, 24(3): 480-488.
- [45] 赵劲松, 赵斌, 张重泽, 等. 大冶-城门山夕卡岩矿床石榴子石和辉石中熔融包裹体成分研究[J]. 地球化学, 2003, 32(6): 540-551.
- [46] 赵劲松, 夏斌, 丘学林, 等. 海南岛石碌夕卡岩铁矿石中石榴子石的熔融包裹体及其意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(1): 149-160.
- [47] 赵劲松, 赵斌, 李建威, 等. 夕卡岩岩浆对中国北方某些夕卡岩型矿床形成的制约——来自包裹体激光拉曼分析证据[J]. 岩石学报, 2015, 31(4): 1079-1088.
- [48] 杜杨松, 曹毅, 张智宇, 等. 安徽沿江地区中生代原地和异地夕卡岩岩浆-热液成矿作用[J]. 地质学报, 2011, 85(5): 699-711.
- [49] Oen I S. et al. Mid-proterozoic exhalative-sedimentary Mn skarns containing possible microbial fossils, Grythyttan, Bergslagen, Sweden[J]. Economic Geology, 1986, 81: 1153-1543.
- [50] 涂光炽. 中国南方几个特殊的热液沉积矿床[C]//中国地质科学院矿床地质研究所. 中国矿床学——纪念谢家荣诞辰90周年文集, 北京: 学术书刊出版社, 1989: 189-198.
- [51] 路远发, 战明国, 陈开旭, 等. 羊拉地区含矿夕卡岩流体包裹体特征及其成因意义[J]. 矿床地质, 1998, 17(4): 331-341.
- [52] 路远发, 陈开旭, 战明国. 羊拉地区含矿夕卡岩成因的地球化学证据[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(3): 298-303.
- [53] 李金高, 王全海, 郑明华, 等. 西藏 sedex 型矿床赋矿性质对成矿元素的制约作用[J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(4): 11-20.
- [54] 潘凤雏, 邓军, 姚鹏, 等. 西藏甲马铜多金属矿床夕卡岩的喷流成因[J]. 现代地质, 2002, 16(4): 359-364.
- [55] 姚鹏, 顾雪祥, 李金高, 等. 甲马铜多金属矿床层控夕卡岩流体包裹体特征及其成因意义[J]. 成都理工大学学报, 2006, 33(3): 285-293.
- [56] 王长明, 张寿庭, 邓军, 等. 内蒙古黄岗梁锡铁多金属矿床层状夕卡岩的喷流沉积成因[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(5): 409-417.
- [57] 张旺生, 曹新志, 燕长海, 等. 西藏念青唐古拉地区铜铅锌多金属矿床热水沉积岩特征与成矿关系[J]. 地质科技情报, 2009, 28(1): 87-92.
- [58] 陈大经, 谢世业. 广西热水沉积成矿作用的基本特征[J]. 矿产与地质, 2004(5): 415-421.
- [59] 陈多福, 陈先沛, 陈光谦, 等. 热水沉积作用与成矿效应[J]. 地质地球化学, 1997(4): 7-12.
- [60] 曾志刚, 李朝阳, 刘玉平, 等. 老君山成矿区变质成因夕卡岩的地质地球化学特征[J]. 矿物学报, 1999, 19(1): 48-54.
- [61] Jaroslava PERTOLDOVA, Patricie TYCOVA, Krystof VERNRR. Metamorphic history of skarns, origin of their protolith and implications for genetic interpretation; an example from three units of the Bohemian Massif [J]. Journal of Geosciences, 2009, 54: 101-134.
- [62] 廖宗廷, 马婷婷, 李玉加. 永平矿区层状夕卡岩的成因及成矿意义[J]. 同济大学学报, 2001, 29(11): 1322-1326.
- [63] 马毅, 黎应书, 秦德先. 个旧锡矿区层状夕卡岩的成因探讨[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2006, 31(4): 6-9.
- [64] 王星, 肖荣阁, 杨立朋, 等. 青海谢坑铜金矿床石榴石夕卡岩成因研究[J]. 现代地质, 2008, 22(5): 733-742.
- [65] Stanton R L. Stratiform ores and metamorphic processes—Some thoughts arising from Broken Hill [J]. Broken Hill conference, 1983: 11-28.
- [66] 宋治杰, 张汉文, 李文明, 等. 青海鄂拉山地区铜多金属矿床的成矿条件及成矿模式[J]. 西北地质科学, 1995, 16(1): 134-144.
- [67] 刘玉平, 李朝阳, 刘家军. 都龙矿床含矿层状夕卡岩成因的地质地球化学证据[J]. 矿物学报, 2000, 20(4): 378-385.

Genetic types and metallogenic characteristics of skarn deposits

ZHANG Zunzun¹, LI Zeqin², HUI Yana³

(1. *Wuhan Center of Geological Survey, CGS, Wuhan 430205, China;*

2. *Key Laboratory of Applied Unclear Techniques in Geosciences,*

Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

3. *Beijing Orange Lamp Geophysical Exploration Co. LTD, Beijing 102200, China)*

Abstract: Being an important industrial type of mineral deposits, skarn deposits have been the subject of numerous studies over one century. Genesis of the deposit has developed from traditional single metasomatism to multi-origins. However there are still many geoscientists are confined to the traditional conception. In order to understand these deposits better this paper, based on the summary of the previous genesis of the skarn deposits summarizes the main characteristics of various skarns and skarn deposits and analyzes the connection and difference between different genetic skarns.

Key Words: skarn; Skarn type; skarn deposit; metallogenic characteristics