

文章编号:文章编号:1673-9469(2009)01-0085-05

矽卡岩和矽卡岩型矿床研究方法

张景森,张 静,周俊杰

(河北工程大学 资源学院,河北 邯郸 056038)

摘要:从宏观和微观两方面简述了在矽卡岩和矽卡岩型矿床研究中常用的研究方法,包括遥感解译法、地球物理勘探法、野外地质填图法、岩(矿)相学和矿物学研究、矿物相平衡研究、流体包裹体研究和稳定同位素方法等,尤其是介绍了近年来出现的新方法,如遥感解译方法和矿物相平衡定量计算方法等。文章认为,矽卡岩型矿床的研究应将宏观和微观方法结合起来进行,并不断地引入新的研究手段以更好地揭示矽卡岩型矿床的形成和分布规律以及理解其成岩成矿作用机理。

关键词:矽卡岩;矽卡岩型矿床;研究方法;宏观;微观;新进展

中图分类号: P588.31+2

文献标识码: A

Research methods for skarns and skarn deposits

ZHANG Jing-sen, ZHANG Jing, ZHOU Jun-jie

(College of Natural Resource, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: This paper summarizes the common methods for studying of skarns and skarn deposits both macroscopically and microcosmically, including remote sensing interpretation, physical geographical prospecting, field geological mapping, petrography (or mineralogy) and mineralogy, mineral phase equilibrium, fluid inclusion and stable isotope, the new means developed recently such as remote sensing interpretation and quantitative calculation for mineral phase equilibrium are introduced especially. The consideration of integration of macroscopic and microcosmic methods and constant introduction of new means in the skarn deposit studies have important significance in further revealing the formation and distribution of skarn deposits, and understanding their petrogenic and metallogenic mechanism.

Key words: skarn; skarn deposit; research method; macroscopy; microcosmic; new advances

矽卡岩型矿床在世界各地分布十分广泛,是一种具有重要工业意义的矿床类型。这类矿床是钨的最主要来源,是铜、铁、钼、锌的主要来源之一,同时也是钴、金、银、铅、铋、锡、铍、硼、稀土等相对次要的来源。我国是世界上矽卡岩矿床分布最广、采冶历史最悠久的国家之一。矽卡岩矿床是我国富铁矿、富铜矿和钨、锡、铋矿的主要矿床类型,是钼、铍、铅锌、金、银等矿床的重要类型以及硼、金云母、透辉石、硅灰石、透闪石等非金属矿产的主要来源。矽卡岩型铜矿占我国铜矿储量的第三位(16.4%),占富铜矿储量的第二位;矽卡岩型铁矿占富矿储量的第一位(38.0%)。

矽卡岩矿床因其矿床类型的重要性和岩石矿物组合的特殊性引起人们的重视,一个多世纪以来,国际上矿床学界及岩石学界对矽卡岩矿床的研究长盛不衰,尤其近三十年来,在矿物学、流体包裹体、微量元素和稀土元素地球化学、稳定同位素地球化学、成矿构造地质背景和成矿动力学等方面,都取得了许多新的进展和创新^[1-4]。

矽卡岩型矿床的形成受到构造、岩浆岩、围岩及物理化学条件的制约。为了确定矽卡岩矿床的形成条件、产状、形态与规模、物质来源等特征,对矽卡岩型矿床的研究涉及岩石学、矿物学、地球化学、构造地质学等多门学科的研究技术和方法,本

收稿日期:2009-01-04

基金项目:国家自然科学基金(40872056);河北工程大学博士专项基金

特约专稿

作者简介:张景森(1966-),男,山东泗水人,博士,副教授,从事矿床学、岩石学、水文地质及矿山环境保护方面的教学与研究。

文对涉及矽卡岩和矽卡岩矿床的研究方法从宏观和微观两个层面进行简单总结,以期对矽卡岩和矽卡岩矿床的研究工作提供基本的思路和指导。

1 宏观研究方法

1.1 遥感解译法

遥感技术在矿产勘查方面的应用越来越占据重要的地位,遥感图像宽广的视野、丰富的线性构造、环形构造、块状构造及其相互组合关系显示出地质构造、岩浆岩体、矿化蚀变信息,为分析矿床的控矿条件提供了丰富的信息^[5]。大多数矽卡岩矿床直接与岩浆活动有关,其形成受到构造、岩浆岩等条件控制,利用遥感资料分析矽卡岩矿床、岩浆岩体、构造之间的关系,研究矿床形成的区域性规律,进行区域成矿预测成为快捷有效的手段。矽卡岩矿床普遍存在的矿化蚀变或近矿热液蚀变形成的蚀变晕圈是矿床存在的直接标志,它们特有的光谱特性可以敏锐地被现今的遥感传感器所识别。某些成矿元素和伴生元素的矿化集中区可导致地植物的变异,从而形成遥感图像中的色调异常,是植被覆盖区矿产勘查的重要成矿标志。矿化蚀变信息和地植物异常信息,利用数字图像处理技术进行多波段、多种类遥感图像的综合处理分析进行增强和提取,综合遥感资料、物探、化探和地质资料等多源地学信息,可以直接圈定找矿靶区、指明有利成矿的远景地段,对于常规方法难以发现的隐伏矿床更显示出其优势。

1.2 地球物理勘探法

地球物理的重力、磁性、电法、放射性勘探方法都可以应用于矽卡岩矿床研究,这是因为许多矽卡岩具有很强的地球物理响应^[6,7]。矽卡岩具有比围岩较大的密度,可以引起重力异常或地震波的不连续性,这在一些大型的矽卡岩铁矿床中特别显著。矽卡岩和有关的岩体都可形成磁异常,氧化型岩体因含有大量的磁铁矿^[8]或其它磁性矿物如高温磁黄铁矿^[9]形成高磁异常,还原型岩体则含有钛铁矿而形成低磁异常^[10]。矽卡岩中散布的大块的硫化物可以形成强的激电、电磁或大地电磁响应,碳酸盐岩的交代作用形成以石墨形式存在的含碳物质则形成与矽卡岩无关电性异常。一些矽卡岩含有足够的铀和钍,可以在空中或地面进行辐射探测^[11,12]。地球物理勘探是发现

隐伏型矿床的重要方法^[13],但值得注意的是,不同的矽卡岩矿床或矿床类型都有其特殊的地球物理性质,从而限制了物理勘探模式的通用性。

1.3 野外地质填图

矽卡岩矿床常具有分带性,尤其是矽卡岩的矿物种类繁多,往往呈不同的矿物组合产出,在空间上呈带状分布。如邯邢铁矿区广泛分布的矽卡岩型铁矿床从围岩到岩体一般可以区分四个带,即大理岩带、磁铁矿带、矽卡岩带和钠长岩化带^[14]。研究矽卡岩矿床分带特征离不开野外地面和地下填图,并注意以下几个方面:

1) 矽卡岩的矿物识别:矽卡岩矿物如石榴石、辉石、绿帘石、角闪石等,是鉴别矽卡岩形成系统最重要的矿物。它们可以形成于不同的阶段和温度条件,如进变质阶段和退变质阶段。退变质矽卡岩矿物有时显示脉状构造,如石英-方解石脉可以切割块状的进变石榴石矽卡岩。确定矽卡岩矿物和矿石矿物之间的形成先后关系对矿物勘探是十分有效而重要的。

2) 矽卡岩矿物的颜色:从侵入体到围岩的分带中单个矽卡岩矿物也可以呈现系统的颜色变化。石榴石通常在中心带呈暗红棕色,向边缘变成较浅的棕色,在大理岩边部则为灰绿色^[15]。辉石颜色变化较不明显,但典型地反映出向着大理岩边缘铁和(或)锰逐渐增加^[16]。

3) 矽卡岩的结构构造和产状与其形成深度和环境紧密相关。矽卡岩矿物的形成容易改变原岩矿物占据的体积。块状和匀质的矽卡岩表明有充足的物质来源,而大量空洞的存在则说明元素供给明显不足。这对估计矿床的规模非常有用。在深的形成环境中,岩石往往以韧性方式变形,可以是侵入体沿沉积岩层理就位,也可以是沉积岩褶皱或流动直到它们与侵入体近于平行接触,矽卡岩与围岩侵入接触往往呈近平行的层状。相对地,浅部岩石往往通过破裂和断层形式发生变形,因而大多数相对浅的矽卡岩矿床的侵入接触与沉积岩层理强烈不协调,矽卡岩切割层理或呈块状取代某些有利岩层^[17,18]。这种变形还极大地增加了围岩的渗透性,有利于岩浆流体和大气水流体的活动^[19],大气水的流入和随之发生的退变蚀变引起矽卡岩矿物的破坏。网状脉、脆性破裂和角砾岩以及强烈的水热蚀变成为矽卡岩浅部形成环境的指示标志。这些结构形式的差异则会影响到

卡岩矿床的规模和形态特征。

4) 围岩的岩性与构造:如白云质或钙质围岩以及它们的层理、片理和裂隙性及深度都会影响到砂卡岩的特征,岩浆岩结构不只是可以了解侵入岩侵位深度,同时还是砂卡岩形成深度的线索。

5) 脉体是形成于浅部环境砂卡岩的显著特征之一,应注意观察其倾向和方向以及蚀变特征。

为了清晰地理解砂卡岩体系、避免错误,最好的办法是每次只集中于上述特征的一个特征、重复地观察整个砂卡岩分带。

2 微观研究方法

主要是指对砂卡岩矿床进行室内的测试与分析,包括岩(矿)相学和矿物学研究、矿物相平衡研究、流体包裹体研究、同位素研究等。

2.1 砂卡岩岩(矿)相学与矿物学研究

砂卡岩矿床一般都是经历多次气水热液交代形成的,成矿过程通常可分为砂卡岩期和石英-硫化物期两个成矿期。有一些矿物如石英、方解石几乎在所有的砂卡岩中都存在,金属氧化物赤铁矿和磁铁矿和金属硫化物在大多数矿床中是普遍的。另一些矿物如硅镁石、方镁石、金云母、滑石、蛇纹石和水镁石,是典型的镁质砂卡岩矿物,而在大多数其它类型的砂卡岩中缺失。另外,还有许多锡、硼、铍和含氟的矿物是分布很有限、但局部很重要的共生矿物。不同类型的矿床或不同分带中,矿物种类和含量往往各不相同。

砂卡岩矿物学研究着重研究其各组成矿物的成分特征。利用现代分析技术,尤其是电子探针技术,可以很容易地确定矿物的精确成分。许多矿物具有显著的成分变化,如石榴石、辉石和角闪石,可以对砂卡岩形成环境提供有意义的信息。有些矿物对于砂卡岩和矿床的分类与勘探具有重要意义,如含锰的辉石,锰钙辉石(johannsenite)几乎排外地发现于锌矿砂卡岩中;锡可以被组合到石榴石、榍石和符山石等硅酸盐矿物中,经济上是不可回收的,但早期含锡的砂卡岩矿物经过广泛的退变或云英岩化蚀变则可释放出这种锡,并沉淀于氧化的或硫化物矿石中;稀土元素(REEs)往往在特定的矿物相如石榴石、符山石、绿帘石和褐帘石中富集^[20,21];一些砂卡岩甚至形成可开采的稀土矿和铀矿^[11,12]。矿物还可用于估算砂卡岩形

成的多种条件如温度、压力(形成深度)、氧逸度和离矿体的距离。例如,石榴石和辉石的存在指示 > 400°C 的高温,绿帘石和角闪石族矿物暗示约 < 400°C 至相当低的温度。

2.2 砂卡岩矿床的矿物相平衡研究

矿物相平衡研究可以确定砂卡岩形成的温度、压力条件和矿物反应关系。使用相平衡模拟计算方法研究矿物相平衡关系则是重要的发展方向^[22]。自 20 世纪 90 年代以来,利用内洽性热力学数据库和相关的计算机软件,可以定量地计算一系列相图^[23,24]。所计算的相图包括:P-T 投影图,描述了所选定的模式体系中在 P-T-X(即压力-温度-成分)空间内所有可能的矿物间的变质反应关系;矿物共生图解,描述了特定 PT 条件下体系矿物组合、固溶体成分与全岩成分之间的关系;P-T 视剖面图,是对某一特定全岩成分在 P-T-X 空间内所做的剖面、表达了具体成分岩石变质矿物组合、矿物成分的相平衡关系;还有 P-X、T-X 视剖面图,则表示在固定 T 或 P 时矿物组合、成分在 P-X 或 T-X 空间内的相平衡关系。借助于这些图解,可以确定天然岩石中矿物组合的温度-压力条件、解释矿物包裹体、矿物成分环带和变质反应关系等。特别地,在 P-T 视剖面图解上,每一个矿物组合都会有一个特定的稳定范围,可以直接与实际观察到的矿物组合进行对比,确定其形成的温度-压力条件。在这种图上,还可以定量计算出各种矿物成分、矿物摩尔含量和岩石饱和水含量等值线,从而可以更精确地限定岩石变质 P-T 条件和 PT 轨迹^[25,26]。到目前为止,这种方法已经被成功地应用于阐明从低压、中压到高压、甚至超高压条件下泥质岩石和基性岩石的变质相平衡关系^[24,26-30]。应用热力学模拟的方法研究矿床的矿化和围岩蚀变的相平衡关系,国外已经有一些简单的应用^[31],国内还未见报道,但这种方法应用于模拟研究砂卡岩矿床和其它热液型矿床的形成条件必将重要的发展方向。

2.3 流体包裹体研究

利用流体包裹体测试技术测量砂卡岩矿物中的流体包裹体可以确定其形成的温度、压力、盐度、流体成分等。

研究表明,砂卡岩变质过程温度范围很大。进变质阶段流体包裹体均一化温度可以高达

700℃以上,退变质阶段石英脉流体包裹体均一化温度低至 100℃ - 250℃。稳定范围广泛的石英、方解石和萤石等透明矿物的生长可以从早期的高温至后期的低温连续捕获流体^[18, 32],高温矽卡岩矿物如镁橄榄石、透辉石等则不可能捕获后期的低温流体。

大多矽卡岩流体包裹体的盐度很高、范围很宽。包裹体中的子晶矿物有 NaCl、KCl、CaCl₂、FeCl₂、CaCO₃、CaF₂、Fe₂O₃、CuFeS₂ 和 ZnS 等^[33]。高温时盐度高达 50wt% (NaCl 当量)以上,低温退变的盐度则又可以低至 2.5wt% - 10.5wt% (NaCl 当量)^[18]。这些盐度能够反映流体的来源以及岩浆水、原生水和大气水的混合程度^[34]。

流体包裹体中的气体成分有 CO₂、CH₄、N₂、H₂S 等,其中流体中 CO₂ 含量是控制矽卡岩矿物稳定性的关键变量。

2.4 稳定同位素方法

研究矽卡岩时常用稳定同位素 O、H、C 和 S 等确定体系流体的来源。研究表明,大多数大型矽卡岩系统存在多来源的流体,其中岩浆流体和大气水流体最为重要。

矽卡岩中石榴石、辉石及有关的石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值都在 +4 至 +9 范围,与岩浆起源的水相一致^[22],明显高于同矿床中沉积方解石、石英和大气水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值。不同矽卡岩矿床的含水矿物如黑云母、角闪石和绿帘石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值和 δD 值范围在 $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}$ 关系曲线图上显示出从岩浆水到本地沉积水和大气降水之间的混合^[35],或者显示多源流体混合。

方解石中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值也显示出上述类似的混合特征, $\delta^{13}\text{C}$ 值范围从远离矽卡岩的石灰岩的典型沉积型值到石榴石和辉石裂隙中方解石的典型岩浆型值^[36]。

矽卡岩矿床中各种硫化物矿物(包括黄铁矿、磁黄铁矿、辉钼矿、黄铜矿、闪锌矿、斑铜矿和方铅矿等)的 S 同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值具有很窄的范围,与岩浆流体中的沉淀矿物一致。在一些矽卡岩的边缘,矿化流体沿着流动路径也可从沉积岩(包括蒸发岩)中获得一些硫^[37]。

此外,地球化学的微量元素、稀土元素、稀有元素、金属元素异常分析,也是矽卡岩成因、找矿研究的重要方法和内容。

3 结束语

上述研究方法各有侧重,为了弄清矽卡岩矿床的形成规律,查明矿床分布特征,正确指导矿床评价与开发,应该把宏观和微观方法结合起来进行研究。随着科技进步和科学研究的进展,应该在传统研究方法的基础上不断引入和发展新的研究手段,如遥感解译法,相平衡定量计算模拟法,新方法手段的应用可以从不同的角度揭示矽卡岩形成和分布规律,帮助我们理解成岩成矿作用的机理,为扩大外围找矿与深部找矿提供科学的依据。

参考文献:

- [1]赵一鸣,林文蔚,毕承思,等. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京:地质出版社,1990.
- [2]MEINERT L D. Application of skarn deposit zonation models to mineral exploration[J]. Exploration and Mining Geology, 1997, 6 (2): 185 - 208.
- [3]赵一鸣. 矽卡岩矿床研究的某些重要新进展[J]. 矿床地质,2002,21 (2): 113 - 120.
- [4]CHEN Y J, CHEN H Y, ZAW K, et al. Geodynamic settings and tectonic model of skarn gold deposits in China: An overview[J]. Ore Geology Reviews, 2007, 31 (2): 139 - 169.
- [5]杨世瑜,王瑞雪. 矿床遥感地质问题[M]. 昆明:云南大学出版社,2003.
- [6]CHAPMAN B H, THOMPSON D T. Applications of geophysical logging within skarn - type deposits[J]. The Log Analyst, 1984, 25 (2): 13 - 24.
- [7]EMERSON D W, WELSH H K. Low - frequency permittivities of skarns and associated rocks[J]. Geophysics, 1988, 53: 1233 - 1240.
- [8]CHAPMAN R H, JOSEPH S E, CAMPBELL L G. Magnetic exploration for skarn deposits, Ivanpah mining district, San Bernardino County, California[J]. California Geology, 1986, 39 (8): 171 - 178.
- [9]WOTRUBA P R, BENSON R G, SCHMIDT K W. Geology of the Fortitude gold - silver skarn deposit, Copper Canyon, Lander County, Nevada[A]. SCHAFER R W, COOPER J J, VIKRE P G. Bulk mineable precious metal deposits of the western United States[C]. Reno: Geological Society of Nevada, 1988. 159 - 172.
- [10]SHIHARA S. The magnetite - series and ilmenite - series granitic rocks[J]. Mining Geology, 1977, 27: 293 - 305.
- [11]KWAK T A P, ABEYSINGHE P B. Rare earth and uranium minerals present as daughter crystals in fluid inclusions, Ma-

- ry Kathleen U - REE skarn, Queensland, Australia[J]. Mineralogical Magazine, 1987, 51 (Part 5): 665 - 670.
- [12] LENTZ D R. Radioelement distribution in U, Th, Mo, and rare - earth - element pegmatites, skarns, and veins in a portion of the Grenville Province, Ontario and Quebec[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1991, 28: 1 - 12.
- [13] 施俊法, 姚华军, 李友枝, 等. 信息找矿战略与勘查百例[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [14] 郑建民, 毛景文, 陈懋弘, 等. 冀南邯郸 - 邢台地区砂卡岩铁矿的地质特征及成矿模式[J]. 地质通报, 2007, 26 (2): 150 - 154.
- [15] ATKINSON W W J R, EINAUDI M T. Skarn formation and mineralization in the Contact Aureole at Carr Fork, Bingham, Utah[J]. Economic Geology, 1978, 73 (7): 1326 - 1365.
- [16] HARRIS N B, EINAUDI M T. Skarn deposits in the Yerington District, Nevada: Metasomatic skarn evolution near Ludwig[J]. Economic Geology, 1982, 77: 877 - 898.
- [17] EINAUDI M T. Descriptions of skarns associated with porphyry copper plutons, southwestern North America[A]. TITTELEY S R. Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits, southwestern North America[C]. University of Arizona press, 1982, 139 - 184.
- [18] MEINERT L D. Skarns and skarn deposits[J]. Geoscience Canada, 1992, 19: 145 - 162.
- [19] SHELTON K L. Composition and origin of ore - forming fluids in a carbonate - hosted porphyry copper and skarn deposit: A fluid inclusion and stable isotope study of Mines Gaspé, Quebec[J]. Economic Geology, 1983, 78 (3): 387 - 421.
- [20] KATO Y. Rare earth elements in the skarn - type deposits in Japan[J]. Mining Geology, 1989, 39: 62.
- [21] GEMMELL J B, ZANTOP H, MEINERT L D. Genesis of the Aguilar zinc - lead silver deposit, Argentina: Contact metasomatic versus sedimentary exhalative[J]. Economic Geology, 1992, 87: 2085 - 2112.
- [22] 魏春景, 周喜文. 变质相平衡的研究进展[J]. 地学前缘(中国地质大学, 北京), 2003, 10(4): 341 - 351.
- [23] HOLLAND T J B, POWELL R. An internally consistent thermodynamic data set for phase of petrological interest[J]. Journal of Metamorphic Geology, 1998, 16: 309 - 343.
- [24] POWELL R, HOLLAND T, WORLEY B. Calculating phase diagrams involving solid solutions via non - linear equations, with examples using thermocalc[J]. Journal of Metamorphic Geology, 1998, 16: 577 - 588.
- [25] GUIRAUD M, POWELL R, REBAY G. H₂O in metamorphism and unexpected behaviour in the preservation of metamorphic mineral assemblages[J]. Journal of Metamorphic Geology, 2001, 19: 445 - 454.
- [26] WEI C J, POWELL R. Calculated phase relations in high - pressure metapelites in the system NKFMAH (Na₂O - K₂O - FeO - MgO - Al₂O₃ - SiO₂ - H₂O) with application to natural rocks[J]. Journal of Petrology, 2004, 44: 183 - 202.
- [27] WEI C J, POWELL R. Phase relations in high - pressure metapelites in the system KFMASH (K₂O - FeO - MgO - Al₂O₃ - SiO₂ - H₂O) with application to natural rocks[J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 2003, 145: 301 - 315.
- [28] WEI C J, POWELL R. Calculated phase relations in the system NCKFMASH (Na₂O - CaO - K₂O - FeO - MgO - Al₂O₃ - SiO₂ - H₂O) for high - pressure metapelites[J]. Journal of Petrology, 2006, 47 (2): 385 - 408.
- [29] JING SEN ZHANG, CHUN JING WEI, YU XING LOU, et al. Phase equilibria of hornblende - bearing eclogite in the western Dabie Mountain, central China[J]. Acta Geologica Sinica - English Edition, 2009, 83 (1): 57 - 69.
- [30] 张景森, 魏春景, 周喜文. 大别山西段含蓝闪石 - 蓝晶石榴辉岩的相平衡研究[J]. 岩石学报, 2006, 22 (12): 2861 - 2874.
- [31] SALVI S. Mineral and fluid equilibria in Mo - bearing skarn at the Zenith Deposit, Southwestern Grenville Province, Renfrew Area, Ontario, Canada[J]. The Canadian Mineralogist, 2000, 38: 937 - 950.
- [32] ROEDDER E. Fluid inclusions[J]. Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy, 1984, 12: 644.
- [33] KWAK T A P. Fluid inclusions in skarns (carbonate replacement deposits)[J]. Journal of Metamorphic Geology, 1986, 4: 363 - 384.
- [34] HAYNES F M, KESLER S E. Compositions and sources of mineralizing fluid for chimney and manto limestone - replacement ores in Mexico[J]. Economic Geology, 1988, 83: 1985 - 1992.
- [35] LAYNE G D, LONGSTAFFE F J, SPOONER E T C. The JC tin skarn deposit, southern Yukon Territory: II. A carbon, oxygen, hydrogen, and sulfur stable isotope study[J]. Economic Geology, 1991, 86: 48 - 65.
- [36] BROWN P E, BOWMAN J R, KELLY W C. Petrologic and stable isotope constraints on the source and evolution of skarn - forming fluids at Pine Creek, California[J]. Economic Geology, 1985, 80: 72 - 95.
- [37] MEGAW P K M, RUIZ J, TITTELEY S R. High - temperature, carbonate - hosted Ag - Pb - Zn (Cu) deposits of northern Mexico[J]. Economic Geology, 1988, 83: 1856 - 1885.