

环太平洋地区的矽卡岩矿床

赵一鸣

(中国地质科学院矿床地质研究所)

内容提要: 环太平洋地区是世界上最重要的巨型矽卡岩矿床成矿带。在地跨亚、美、澳三大洲二十多个沿岸国家中,共分布有一千多个不同类型的矽卡岩矿床。按含矿矽卡岩主要金属元素的不同,可把本区矽卡岩矿床划分为铁、铜、铅-锌、钨、锡、钼、金七类。文中对各类矽卡岩矿床的分布和主要地质特征作了概括介绍。按含矿矽卡岩矿物组合的不同,又可分为镁矽卡岩型、钙矽卡岩型、锰质矽卡岩型和碱质矽卡岩型四类。太平洋东西两岸的矽卡岩矿床有许多共同点,但在矿化强度、分布规律和成矿时代等方面又有一定差异。文中还论述了本区矽卡岩矿床的成矿系列和岩浆岩成矿金属性问题。

主题词: 矽卡岩矿床 矿床分类 地质特征 成矿规律 环太平洋地区

环太平洋地区是世界上最重要的巨型矽卡岩矿床成矿带,在地跨亚、美、澳三大洲长约40000km的20多个沿岸国家中,共分布有1000多个不同类型和规模大小不等的矽卡岩矿床。在详细研究总结中国矽卡岩矿床的基础上,我们进一步综合分析了中国、日本、朝鲜、苏联、菲律宾、越南、泰国、马来西亚、印尼、巴布亚新几内亚、澳大利亚、加拿大、美国、墨西哥、洪都拉斯、尼加拉瓜、古巴、海地、秘鲁和智利等20余个国家中300多个较重要的矽卡岩矿床的地质资料,为本区矽卡岩矿床的类型特征、分布和某些成矿规律作一初步探讨。

一、矿床类型和主要地质特征

本区的矽卡岩矿床类型,按含矿矽卡岩主要金属元素的不同,可分为以下七类:①矽卡岩铁矿床;②矽卡岩铜矿床;③矽卡岩铅锌矿床;④矽卡岩钨矿床;⑤矽卡岩锡矿床;⑥矽卡岩钼矿床;⑦矽卡岩金矿床。上述各类矿床中还常伴生其他金属元素,单一金属的矽卡岩矿床很少见。在个别地区还发现有矽卡岩铀(稀土)矿床(中国赛马,澳大利亚马丽凯瑟林)。按含矿矽卡岩矿物组合的不同,又可分为镁矽卡岩型、钙矽卡岩型、锰质矽卡岩型和碱质矽卡岩型四类。镁矽卡岩的伴生金属矿化可能有Fe、Cu、Au、Sn、B、Be等;钙矽卡岩可能伴生Fe、Cu、W、Mo、Au、Pb、Zn、Be、Bi等矿化,但锰质矽卡岩主要与Pb、Zn、(Ag)矿化有关;碱质矽卡岩目前仅见个别U(Nb、TR)矿床。

下面将本区各类矽卡岩矿床的分布概况和主要地质特征简述如下:

1. 矽卡岩铁矿床 Einaudi等(1981)⁽²¹⁾曾根据矽卡岩铁矿床产出的构造背景,划分为岛弧型钙矽卡岩铁矿床和科迪勒拉型镁矽卡岩铁矿床两类。这一分类,未把我国和苏联的许多矽卡岩铁矿床生成的大地构造背景考虑进去,因此,有一定片面性。笔者认为,按产出的大地构造环境的不同,矽卡岩铁矿床可大致分为以下四类:①产于古老地盾中与混合岩化热液作用有关的镁矽卡岩型铁(硼)矿床(苏联塔约什,中国辽宁翁泉沟);②产于地台活化区与中(基)性侵入岩有关的钙镁质矽卡岩铁矿床(中国邯邢、莱芜等);③产于优地槽褶皱区和拗陷区与中酸性或酸性侵入岩(或火山岩)有关的铁矿床(如日本、菲律宾和中国东北大小兴安岭地区的许多矿床);④产于冒地槽褶皱区或拗陷区与花岗岩类侵入体有关的铁矿床(中国湖北大冶,福建马坑,美国西部的一些矿床)。

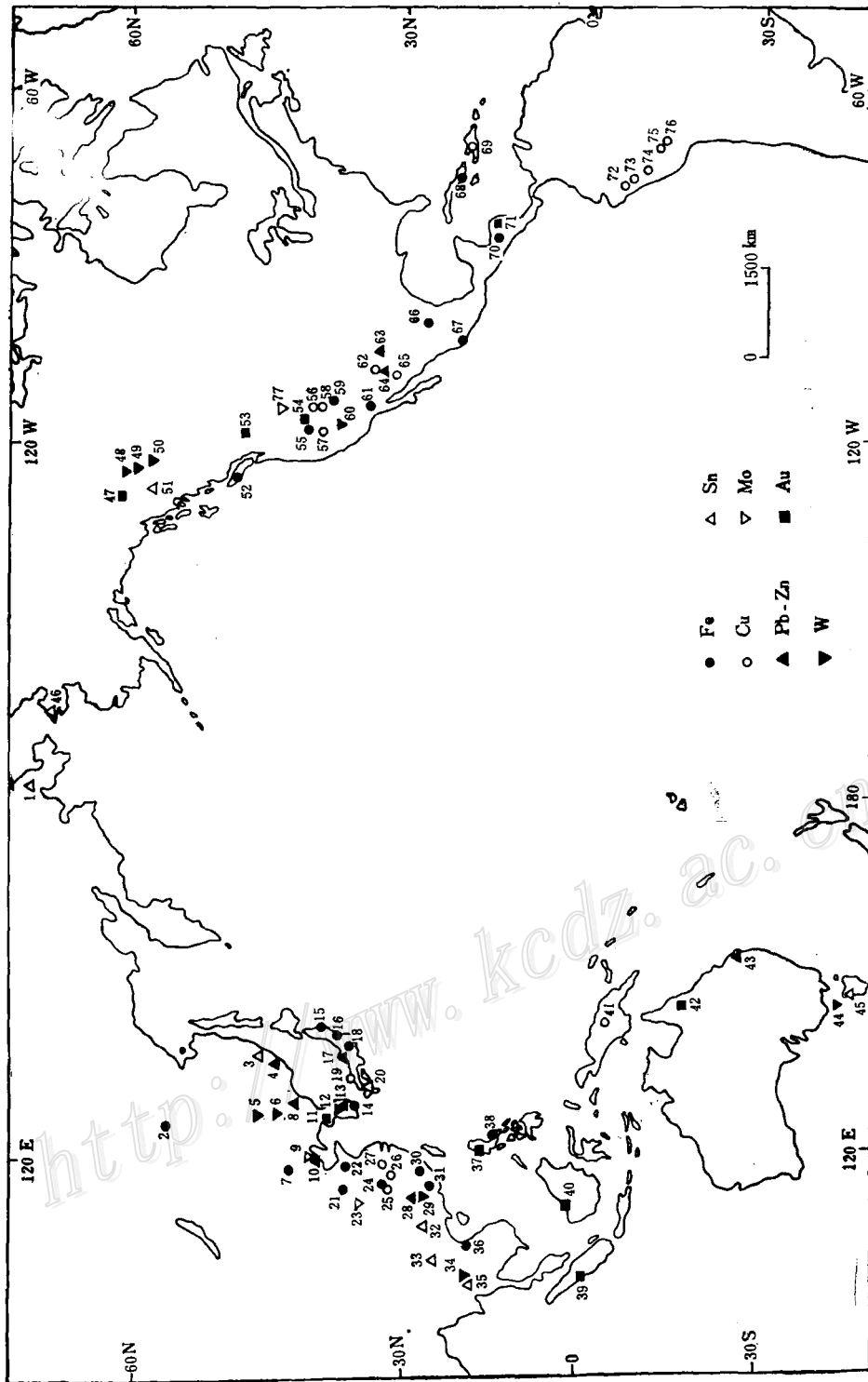


图 1 环太平洋地区矽卡岩矿床分布略图

Fig. 1. Sketch map showing distribution of skarn deposits in Circum-Pacific region.

- 1—苏联科奇半岛伊基尼琴斯克 (Itenyurginsk, Chukotka, USSR, Sn, B, Be)⁽¹²⁾; 2—苏联阿尔丹塔约什 (Tayoshi, Aldan, USSR, Fe, B)⁽³⁰⁾; 3—苏联远东叶洛斯拉夫斯克 (Iroslovsk, the Far East, USSR, Sn); 4—苏联远东捷丘赫 (Czechuhuy, the Far East, USSR, Pb, Zn); 5—中国黑龙江翠宏山 (Chuihongshan, China, W, Mo, Pb, Zn, Fe); 6—中国黑龙江弓棚子 (Gongpengzi, China, W, Cu, Pb, Zn); 7—中国内蒙黄岗 (Huanggang, China, Fe, Sn); 8—中国吉林天宝山 (Tiaobaoshan, China, Pb, Zn, Cu); 9—中国辽宁杨家杖子 (Yangjiazhangzi, China, Mo)⁽⁵⁾; 10—中国辽宁八家子 (Bajiazi, China, Pb, Zn)⁽¹¹⁾; 11—朝鲜遂安 (Suian, Korea, Au, Cu, B, Bi); 12—朝鲜山塘 (Sangdong, Korea, W, Mo, Bi); 13—朝鲜莲花 (Yeonhwa, Korea, Pb, Zn)⁽³⁴⁾; 14—朝鲜勿泰 (Mulkum, Korea, Fe)⁽⁴⁰⁾; 15—日本本州釜石 (Kamaishi, Japan, Fe, Cu)⁽⁴⁰⁾; 16—日本本州八尾 (Yaguki, Japan, Fe, Cu, W)⁽⁴⁰⁾; 17—日本本州中庵 (Nakatsutsu, Japan, Pb, Zn, Cu)⁽³³⁾; 18—日本本州秩父 (Chichibu, Japan, Fe, Cu, Pb, Zn)⁽⁴⁰⁾; 19—日本本州卷谷 (Sasagatani, Japan, Cu, Zn)⁽⁴⁰⁾; 20—日本九州尾平 (Obira, Japan, Sn, Cu)⁽⁴⁰⁾; 21—中国河北邯邢 (Hanying, China, Fe)⁽²⁾; 22—中国山东莱芜 (Laiwu, China, Fe); 23—中国河南三道庄 (Sandaozhuang, China, Mo, W); 24—中国湖北铁山 (Tieshan, China, Fe, Cu); 25—中国湖北铜录山 (Tonglushan, China, Cu, Au, Fe); 26—中国江西城门山 (Chengmenshan, China, Cu, Zn); 27—中国安徽铜官山 (Tongguanshan, China, Cu, Fe)⁽⁴⁰⁾; 28—中国湖南水口山 (Shuikoushan, China, Pb, Zn, Cu, Au); 29—中国湖南柿竹园 (Shizhuyuan, China, W, Sn, Mo, Bi)⁽³⁾; 30—中国福建马坑 (Makeng, China, Fe, Mo, Zn)⁽⁶⁾; 31—中国广东大顶 (Dad'ing, China, Fe, Sn); 32—中国广西大厂 (Dachang, China, Sn, Pb, Zn, Sb)⁽²⁾; 33—中国云南个旧 (Gejiu, China, Sn, Cu, Pb, Zn)⁽⁹⁾; 34—泰国独玛 (Doi Mok, Thailand, W); 35—泰国沙蒙 (Samcong, Thailand, Sn, W); 36—越南石溪 (Shechi, Vietnam, Fe); 37—菲律宾碧瑠 (Baguio, Philippines, Au, Ag, Zn); 38—菲律宾拉普 (Larap, Philippines, Fe)
- 39—印度尼西亚西邦其 (Muara Sipongi, Sumatera, Indonesia, Au, Cu); 40—马来西亚越巴乌 (Bawu, Sarawak, Malaysia, Au); 41—巴布亚新几内亚奥克特迪 (Ok Tedi, Papua-New Guinea, Cu, Au)⁽¹⁷⁾; 42—澳大利亚昆士兰州雷德多姆 (Red Dome, Queensland, Australia, Au, Cu, Pb, Ag); 43—澳大利亚昆士兰州班班 (Ban Ban, Queensland, Australia, Pb, Zn)⁽¹³⁾; 44—澳大利亚金岛 (King Island, Tasmania, Australia, W); 45—澳大利亚塔斯马尼亚州摩依纳 (Moina, Tasmania, Australia, Sn, W, Be, Zn)⁽²⁵⁾; 46—美国阿拉斯加罗斯特河 (Rost River, Alaska, USA, Sn, W, Be)⁽¹⁹⁾; 47—加拿大育空特雷克斯 (Whie-horse, Yukon, Canada, Au, Cu, Ag); 48—加拿大育空麦克丹 (Mc-Dame, British Columbia, Canada, W, Mo)⁽¹⁹⁾; 49—加拿大育空堪顿 (Cantung, Yukon, Canada, W, Cu); 50—加拿大不列颠哥伦比亚亚派尔 (Mc-Dame, British Columbia, Canada, W, Mo)⁽¹⁹⁾; 51—加拿大不列颠哥伦比亚西尔 (Cassiar, British Columbia, Canada, Sn)⁽²⁰⁾; 52—加拿大温哥华岛派尔 (Mc-Dame, British Columbia, Canada, Fe); 53—加拿大不列颠哥伦比亚镍板 (Nickle Plate, British Columbia, Canada, Au, Ag); 54—美国内华达州科珀谷 (Copper Canyon, Nevada, USA, Au); 55—美国内华达州布依纳维斯塔山 (Buena Vista Hills, Nevada, USA, Fe); 56—美国内华达州维克多利 (Victoria, Nevada, USA, Cu); 57—美国内华达州耶灵顿 (Yerington, Nevada, USA, Cu)⁽²²⁾; 58—美国内华达州易莱 (Ely, Nevada, USA, Cu)⁽²²⁾; 59—美国犹他州铁泉 (Iron Spring, Utah, USA, Fe); 60—美国加利福尼亚州派因克里克 (Pine Creek, California, USA, W, Mo, Cu)⁽¹⁵⁾; 61—美国加利福尼亚州鹰山 (Eagle Mountain, California, USA, Fe); 62—美国亚利桑那州克利斯麦斯 (Christmas, Arizona, USA, Cu); 63—美国新墨西哥州喀隆特霍克 (Groundhog, New Mexico, USA, Pb, Zn, Cu)⁽²⁸⁾; 64—美国新墨西哥州林切布克 (Linchburg, New Mexico, USA, Pb, Zn); 65—墨西哥坎内尼亚 (Cananea, Mexico, Cu)⁽²⁷⁾; 66—墨西哥沙莱隆纳 (Soly Luna, Mexico, Fe); 67—墨西哥潘纳科罗拉多—玛米 (Peña Colorado-EI Mamey, Mexico, Fe); 68—古巴达魁利 (Daquiri, Cuba, Fe); 69—海地梅米 (Meme, Haiti, Cu); 70—洪都拉斯阿加特加 (Agateca, Honduras, Fe); 71—厄瓜多尔洛塔塔 (Rosita, Nicaragua, Au, Cu)⁽¹⁴⁾; 72—秘鲁玛西斯特拉尔 (Macisdral, Peru, Cu); 73—秘鲁安塔密那 (Antamina, Peru, Cu, Fe, Mo); 74—秘鲁莫洛克恰 (Morococha, Peru, Cu, Fe, Mo); 75—秘鲁费鲁巴姆巴 (Irupampa, Peru, Cu); 76—秘鲁廷塔亚 (Dantia, Peru, Cu); 77—美国爱达荷州鲍特利克 (Little Boulder Creek, Idaho, USA, Mo, W)

与矽卡岩铁矿床有关的岩浆岩岩性多种多样,从基性、中性、中酸性到酸性都有,包括辉长岩、辉长闪长岩、辉绿岩、辉绿闪长岩、闪长岩类,二长岩、花岗闪长(斑)岩、石英二长岩和花岗岩等,也有潜火山岩和花岗质混合岩,其中以中性侵入岩占优势。成矿时代从元古代、古生代到中、新生代,但以中新世为主。不同岩性的成矿岩浆岩存在着明显的成矿专属性,随着成矿岩浆岩酸度的变化,即从辉长岩、辉绿岩类→闪长岩、二长岩类→中酸性杂岩体,一直到花岗岩类,铁矿伴生的金属元素组合相应依次发生变化;Co(Ni、Au)→Cu、Co(Au)→Cu、Pb、Zn、(Mo)→Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo→Sn。

与中性和基性岩浆岩有关的铁矿床内接触带,常显示较强烈的氯钠交代现象,主要表现为钠长石化,部分矿区还伴有方柱石化。由于这类交代岩分布范围较广,往往可作为重要的找矿标志。

铁矿石主要由磁铁矿组成,次为假像赤铁矿和黄铁矿,有些矿床中常伴生有菱铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、辉钼矿、辉钴矿和锡石等,个别矿床主要由假像磁铁矿组成。矿石中的脉石矿物可能有透辉石、石榴石、符山石、镁橄榄石、斜(粒)硅镁石、萤石、石英和方解石。磁铁矿交代透辉石、石榴石、镁橄榄石等矽卡岩矿物的现象十分普遍,形成各种交代结构。在矽卡岩铁矿成矿过程中,常有大量F、Cl等挥发组分参与,其证据是,在一些矽卡岩铁矿床的矿石和近矿交代岩中,常有方柱石、含氯角闪石、萤石、硅镁石族、金云母、含铁金云母等富含挥发组分的交代矿物产出,此外,在矿物的流体包裹体中常发现有石盐子晶。当矿石中挥发组分含量很高时,有可能形成韵律性皱纹状或环纹状构造,主要由磁铁矿和萤石、符山石、石榴石等矿物互间组成。

2. 矽卡岩铜矿床 矽卡岩铜矿床在本区有较广泛的分布(图1),特别是在中国的长江中下游地区、日本、美国西部、墨西哥和秘鲁等地。它是富铜矿的重要来源之一。这类矿床常与Fe、Au、Mo、Pb、Zn、Sn等金属矿化相伴产出,组成Cu、Cu-Fe(Au)、Cu-Mo、Cu-Au、Cu-Pb-Zn、Cu-Sn等多种矿化组合。

成矿岩体从闪长岩到花岗岩均有,但与钙碱性系列的中酸性石英闪长岩、石英二长岩、花岗闪长岩类及其浅成岩相更为密切。成矿时代主要为中新世,少数为海西期的产物(如中国黑龙江三矿沟,巴布亚新几内亚Ok Tedi)。

在与酸性或中酸性浅成小侵入体有关的矿床中,矽卡岩铜矿化常与斑岩型(钼)矿化相伴随,而在接触带附近的围岩中又往往有热液交代型矿体(化)产出,如美国犹他州的Bingham、亚利桑那州的Mission、秘鲁的英洛克恰和中国江西城门山等矿区。有的矿区还可能出现更浅成的爆破角砾岩型铜矿化(中国湖北铜山口)。上述矿床(化)类型,构成互有时空成因联系“多位一体”的矽卡岩型、斑岩型(爆破角砾岩型)-热液交代(充填)型铜(钼、金、铅、锌)成矿系列。

含铜矽卡岩包括钙矽卡岩和镁矽卡岩。在内接触带侵入岩中广泛发育钾质交代现象,在内外接触带的矽卡岩和钾质交代岩之上又常叠加各类晚期热液蚀变,包括绢云母化、硅化、阳起石(透闪石)化、绿泥石化、蛇纹石化、斜黧帘石化等,这些蚀变与铜矿化基本上是同期生成的交代产物,

铜矿石的组成金属矿物主要是黄铜矿、黄铁矿和磁铁矿,次为磁黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿,少数矿床还有毒砂、硫砷铜矿、砷黧铜矿和辉铋矿等。在地表附近的氧化带中,可能有孔雀石、蓝铜矿、铜蓝、硅孔雀石、赤铜矿、黑铜矿。含铜硫化物通常呈细脉状、浸染状或不规则团块状交代早期生成的矽卡岩、磁铁矿石、斑岩或其他交代岩,

3. 矽卡岩铅锌矿床 矽卡岩铅锌矿床在苏联远东、日本、朝鲜、中国东部、美国西部和墨西哥等地均有分布(图1)。与成矿有关的岩浆岩大多为中新世较浅成的中酸性和酸性岩株或岩墙状侵入体。围岩为不同时代的灰岩或白云岩。

在本区的许多矽卡岩铅锌矿床中,常发育一套富锰的矽卡岩矿物组合,主要由锰钙辉石、锰钙铁辉石、钙蔷薇辉石、锰斜辉石、蔷薇辉石、锰黑柱石和锰阳起石等。个别矿床中还发现有较多的锰榴石(中国辽宁八家子)。

含铅锌矿的锰质矽卡岩常产于距侵入岩接触带有一定距离的碳酸盐围岩中,沿断裂裂隙或不同岩性的层间构造破碎带产出,也有产于岩墙和碳酸盐围岩接触带的,一般组成单矿物或双矿物交代岩。其生成方

式主要为接触渗滤交代作用。锰质矽卡岩的生成温度相对较低,流体包裹体研究表明,大约属200—450℃之间。锰质矽卡岩的生成时间也比钙矽卡岩要晚一些,常见它叠加于钙矽卡岩之上。

在国外文献上,以往把锰质矽卡岩归属于钙矽卡岩的一部分(柯尔仁斯基,1955;扎里柯夫,1968)^[38]。作者(1983,1986,1989)曾建议把锰质矽卡岩(钙锰质矽卡岩)作为一个独立的矽卡岩建造^[39],从钙矽卡岩建造中划分出来。因为它无论在矿物共生组合、矿物成分、交代分带、生成地质条件和伴生矿化等各方面,均与钙矽卡岩有明显的差别。

矽卡岩铅锌矿床常围绕侵入体或矿化中心向碳酸盐围岩方向,显示清晰的交代矿化分带,以辽宁八家子矿区为例,从石英闪长岩接触带往西北向白云质大理岩方向,其交代矿化分带依次为:镁矽卡岩磁铁矿化→钙矽卡岩黄铁矿化→锰质矽卡岩方铅矿、闪锌矿矿化。

4. 矽卡岩钨矿床 矽卡岩白钨矿床在太平洋成矿带甚为发育,广泛分布于中国、苏联、日本、朝鲜、加拿大、美国和澳大利亚等国的太平洋沿岸地区(图1)。控矿围岩主要为古生代灰岩和泥质灰岩,也有前寒武纪变质岩中的大理岩。与成矿有关的侵入岩主要为中生代石英二长岩、花岗闪长岩和花岗岩类,一般呈岩基或较大的岩枝形式产出,说明矿床形成的深度相对较大。少数成矿岩体的时代较老,为海西期(中国翠宏山、澳大利亚金岛)。

含矿矽卡岩绝大多数属钙矽卡岩,仅个别矿床中有镁矽卡岩。矽卡岩的矿物成分较简单,以单斜辉石和石榴石为主,次有符石石、硅灰石和方柱石等。Newberry(1979)曾提出两种含钨矽卡岩类型^[30],即“还原型”(或堪顿麦克顿型)和“氧化型”(或金岛型)。前者形成于含碳质的围岩中或形成深度较大,后者形成于不含碳质的或含赤铁矿的围岩中或形成深度较小。Sato, K(1982)研究了日本的含钨矽卡岩^[31],划分出还原的白钨矿型和氧化的钼白钨矿型两类。他指出,白钨矿型矿床与钨铁矿系列花岗岩类有关,而钼白钨矿型矿床则与磁铁矿系列花岗岩有联系。

笔者对本区6个国家15个含钨矽卡岩矿床中辉石和石榴石成分统计结果表明,大部分含钨矽卡岩中的辉石含钙铁辉石分子较高($\text{Hed}_{38-95} \text{Joh}_{2-12}$),而与其共存的石榴石中钙铝石榴石分子大于钙铁石榴石分子($\text{And}_{0-70} \text{Gros}_{34-90}$)。这说明它们主要属于还原型矽卡岩。部分矿床(如中国湖南新田岭等)的辉石和石榴石属于过渡成分($\text{Hed}_{10-58} \text{Joh}_{7-16.5}, \text{And}_{32-79} \text{Gros}_{13-55}$)。只有少数矿床中的石榴石富含钙铁石榴石分子,而辉石主要为透辉石,属氧化型。

矽卡岩钨矿床可根据其伴生金属矿化的不同,进一步分为W、W-Cu、W-Mo、W-Mo-Bi、W-Cu-Zn-Pb、W-Mo-Sn-Zn-Pb-(Bi)等各种矿化组合。含钨矿物主要为白钨矿,它常呈自形或半自形粒状浸染体交代辉石、石榴石等矽卡岩矿物。少数矿床中,除白钨矿外,还伴生有黑钨矿(如中国湖南柿竹园等)。

5. 矽卡岩钼矿床 矽卡岩钼矿床在本区为数不多,但一些矿床的规模却很大,如中国辽宁杨家杖子、河南三道庄和美国爱达荷州的Little Boulder Creek等均属大型。

与矽卡岩钼矿床有关的侵入体为中新生代或晚古生代的花岗岩、花岗斑岩、花岗闪长岩和石英二长岩,在岩石化学上相对富钾和富挥发分,具有较高的F/Cl比值。太平洋两岸含钼岩体的岩性有一定差别,西岸亚澳地区的含钼岩体大多为较酸性的花岗岩类,而东岸美国的一些矽卡岩钼矿床中则以石英二长岩为主。矽卡岩钼矿床的围岩时代相对偏老,主要为中晚元古代及古生代。

无论是世界上或环太平洋地区的矽卡岩钼矿床大多属钙矽卡岩型,近矿岩体的钾交代现象十分发育,主要表现为钾长石化和绢云母化,并伴有较强的硅化。在一个矿田或矿床中,矽卡岩钼矿床可与斑岩型、热液脉型、爆破角砾岩型钼矿床(化)相伴产出,构成一定的矿床成矿系列。

根据矽卡岩钼矿床伴生的金属矿化组合的不同,可进一步划分为:矽卡岩Mo矿床(中国辽宁杨家杖子)、矽卡岩Mo-W矿床(中国河南三道庄、美国爱达荷州Little Boulder Creek)、矽卡岩Mo-Cu矿床(美国蒙大拿州Cannivan Gulch)和矽卡岩Mo-Cu-U矿床(澳大利亚新南威尔士州Mount Tennyson)。

6. 矽卡岩锡矿床 矽卡岩锡矿床主要分布在太平洋西岸亚澳地区,包括中国的华南、东北、苏联远东、

日本、泰国、马来西亚和澳大利亚南部，在太平洋东岸，矽卡岩锡矿床不发育，仅见于美国阿拉斯加和加拿大的不列颠哥伦比亚州等地区，而且规模都不大。

与成矿有关的侵入体多属壳源重熔型花岗岩，以酸度高、 $K_2O > Na_2O$ 、铝过饱和、富含挥发分F、B、Li等为特征。花岗岩类侵入体的Sn-B-F地球化学专属性和成矿关系甚为密切，是这类矿床的重要找矿标志之一。

大多数矽卡岩锡矿床伴生W、Cu、Pb、Zn (Be、Mo、Bi) 等矿化。按矿石主要组成金属矿物的不同，可以划分出：锡石-硫化物、锡石-磁铁矿、锡石-白钨矿-硫化物和硼钙锡矿等建造。有的矿区还发育含锡钙铁榴石矽卡岩建造（如加拿大加西尔和中国云南个旧打磨山）。以上锡矿石建造中以锡石-硫化物建造分布最广和最重要。

含锡矽卡岩既可以是钙矽卡岩，也可以是镁矽卡岩，主要决定于碳酸盐围岩的成分。在我国云南个旧，由于围岩为三叠纪灰岩、白云质灰岩（或灰质白云岩）互层，于是两类矽卡岩在区内共存，形成含锡石的透闪石矽卡岩和石榴石-钙铁辉石矽卡岩等。在广西大厂和澳大利亚塔斯马尼亚的摩依纳矿区，由于围岩是泥盆纪和奥陶纪灰岩，含锡矽卡岩主要为钙矽卡岩。

在含锡矽卡岩及其附近的交代岩中，往往发育大量氟硼质交代矿物，常见的有萤石、电气石和斧石，有些矿床中还可能出现硅硼钙石、硼钙锡矿、赛黄晶、氟硼镁石、灰枪晶石、氟镁石、硼镁石等罕见矿物，形成较特殊的叠加于矽卡岩之上的氟硼质交代岩（赵一鸣等，1987）^[9]。

7. 矽卡岩金矿床 矽卡岩金矿床以往由于数量不多和一般规模不大而未被重视。近年来，随着找金工作的深入，在美国科珀谷、加拿大镍板、澳大利亚雷德多姆和中国（如大冶鸡冠咀）等地陆续发现了一批大型矿床，从而引起人们的关注。目前，该类金矿床在环太平洋地区已占有较重要的位置，分布相对也较广（图1）。除了独立的矽卡岩金矿床外，在许多矽卡岩铜矿床、铁铜矿床和铅锌矿床中还常伴有伴生金，可供综合回收利用。

与金矿成矿有关的侵入体主要为中新生的闪长岩、闪长玢岩、石英闪长岩、花岗闪长（斑）岩和流纹斑岩岩株或岩墙。围岩时代从前寒武纪、古生代到新生代均有。围岩岩性可能有白云岩、灰岩、白云质灰岩和火山岩等。因此，含矿矽卡岩既可以是镁矽卡岩，也可以是钙矽卡岩，但以钙矽卡岩占优势。

金矿化一般与晚期的热液交代作用有关，即在矽卡岩之上常叠加较强烈的热液蚀变作用，如绿帘石化、阳起（透闪）石化、绿泥石化、硅化、绢云母化、碳酸盐化或蛇纹石化等。金主要以自然金和银金矿的形式存在，部分矿床还见有金（银）的碲化物，包括针碲金矿、针碲金银矿、碲金银矿、碲金矿等（如澳大利亚雷德多姆、菲律宾碧瑶、印尼西苏门答腊玛拉西邦其和中国山东沂南）。

矿体多呈透镜状、似层状、囊状、筒状或其他不规则状，产于接触带矽卡岩或其邻近的大理岩及其他交代岩中。矿石的金属硫化物矿化和金矿化主要为细脉状、脉状和浸染状，局部为块状。在一些矿区（田）中，发现有金属分带现象，如美国的科珀谷，以侵入体为中心，由内往外可分为：Cu-Au(-Ag)带→Au-Ag带→Pb-Zn-Ag带（Wotruba, P. R., et al., 1986）。

从区域成矿分析的角度考虑，矽卡岩型金矿床和其他类型金矿床或金属矿床之间常有密切的时空成因联系，例如在中国山东沂南金矿田，经我们研究，可构成一个由钙矽卡岩型金（铜）矿床、镁矽卡岩型铁矿床（化）和斑岩型金矿床组成的成矿系列；又如在巴布亚新几内亚的奥克特迪矿床，斑岩型铜金矿化、矽卡岩型金矿化和“淋滤帽”金矿化三位一体。

我国东部地区矽卡岩矿床分布广泛，目前已发现了2个大型独立的矽卡岩金矿床（湖北大冶和安徽铜陵地区）和一批中小型矿床，还有许多矽卡岩矿床中有伴生金产出，其储量相当可观。因此，今后进一步寻找该类金矿床有较好的远景，值得很好重视。

二、本区矽卡岩矿床的某些成矿规律

1. 太平洋两岸矽卡岩矿床的某些差异 太平洋东西两岸矽卡岩矿床的类型和地质特征(包括成矿岩浆岩和围岩的时代、岩性、矽卡岩类型、矿物共生组合、矿化组合以及矿体地质地球化学特征等方面)有许多共同特点,但在矿化强度、区域分布、分带和成矿时代等方面又有一定差异,主要表现为:

(1) 太平洋东岸相对富铜,广泛分布于美国西部、墨西哥、秘鲁等地的许多矽卡岩铜矿床多与斑岩铜矿床相伴产出,而且规模均较大。在太平洋西岸,矽卡岩铜矿床主要集中于中国的长江中下游地区,其他国家和地区虽也有矽卡岩铜矿床产出,但除个别矿床外,无论从分布和矿床的规模上都远不如东岸。

(2) 太平洋西岸富锡,而东岸则贫锡。前已提及,矽卡岩锡矿床主要分布于西岸的亚澳地区,尤其集中于华南、苏联远东、泰国和澳大利亚南部,而在太平洋东岸仅有少数规模不大的矿床或矿点。

(3) 在成矿带的分布上,东西两岸亦有一定区别。美洲西部的矽卡岩矿带多呈纵向延展,大致和造山带平行,主要沿科迪勒拉—安第斯构造带分布,自西向东显示一定的区域矿化分带性(见后)。在太平洋西岸,虽然总体上矿床环太平洋沿岸分布,也有一些近纵向分布的成矿带,但却发展纬向成矿带。例如,就中国东部地区而言,自北向南依次有燕辽、东秦岭、长江中下游和南岭等成矿带。即使是广泛分布于华北地台上的邯邢式铁矿床,其重要矿田也大致有呈纬向展布的趋势。

(4) 与矽卡岩成矿有关的侵入岩的时代,西岸比东岸稍老。在太平洋西岸,成矿岩体的时代以侏罗纪和白垩纪为主,部分地区还有印支期和海西期,第三纪的侵入岩一般见于岛弧地区(如日本、菲律宾等地);在太平洋东岸则以第三纪和晚白垩世占优势。

2. 矽卡岩矿床的区域成矿分带 由于太平洋板块向美洲大陆俯冲的结果,美洲大陆西部边缘的金属矿床大致有呈南北向平行的带状分布趋势:一般矽卡岩型铁矿床主要沿海岸附近展布,往东变为以铜、金、(钨、钼)为主,再向东为铅锌矿带。

在太平洋西岸,成矿分带与东岸有很大差别,从华北地台向南北两侧,矽卡岩矿床的金属矿化组合作有规律的纬向分带变化:在地台内部发育邯邢式矽卡岩Fe(Co)矿床。向北在纬向燕山褶皱带为Cu、Mo、Pb、Zn、Fe成矿带;而到东北地槽褶皱带,成矿带主要呈北东向展布,东部以Pb、Zn、W、Sn、(Cu、Mo)为主,西部则为Fe、Pb、Zn、Sn、Cu成矿带。华北地台向南边有不完全对称的类似分带趋势,当然有一定差别,在地台南缘的东秦岭褶皱带,矽卡岩矿床的成矿地质条件和金属矿化组合和北缘的燕山褶皱带十分相似,即为Cu、Mo、Pb、Zn、Fe组合,但在长江中下游地区主要为Fe、Cu、Au、(Co)组合,向南在南岭纬向褶皱带则为W、Sn、Pb、Zn、(Mo、Bi、Be)成矿带。

3. 与矽卡岩矿床有关的成矿系列 本区的矽卡岩矿床在一个成矿区、矿田或矿床中,一般很少是孤立地产出的,常和其他类型矿床紧密共生,即往往有一组在时、空和成因上互有联系的不同类型矿床共同产出,构成一定的成矿系列。归纳起来,其中较重要的有:

(1) 与中酸性浅成小侵入体有关的矽卡岩型-斑岩型-热液交代(或充填)型Cu(Mo、Fe、Au、Pb、Zn)成矿系列。这一成矿系列在美国西部、秘鲁等比较发育,在中国长江中下游、燕辽和东秦岭等地也有分布。一般表现为在斑岩岩体中有细脉浸染型Cu(Mo)矿化,伴生钾化、绢英岩化等蚀变;在接触带有矽卡岩型Cu(Au)矿床产出,而在接触带附近的碳酸盐围岩中或灰岩和碎屑岩之间的层间构造带中,则往往有热液交代(充填)型Cu(Pb、Zn)矿床产出。

(2) 与花岗岩类侵入体有关的矽卡岩型-云英岩型-热液交代型Sn、(W、Mo、Be)多金属成矿系列。该成矿系列的典型代表是中国个旧、大厂和澳大利亚塔斯马尼亚等地的锡多金属矿床(田)。表现为在含锡花岗岩与碳酸盐围岩接触带有钙矽卡岩或镁矽卡岩产出,伴有Sn、W、Cu(Fe、Mo、Zn、Bi)矿化,在岩体内接触带可能有云英岩型Sn、W、Be、(Nb、Ta、TR)矿化,沿内外接触带的裂隙带可能有W、Sn(Cu、Be)矿化石英-电气石脉或其他氟硼质交代岩脉产出,而离岩体接触带有一定距离的碳酸盐围岩中则

往往产有热液交代型似层状或脉状锡石-硫化物矿体或Pb-Zn(Ag)矿脉。

(3) 与中酸性或酸性侵入岩有关的矽卡岩型-(云英岩型)-热液交代型W、(Mo、Sn、Bi)多金属成矿系列, 其实例如中国湖南柿竹园、黑龙江翠宏山和苏联东方2号矿床等。该系列在接触带产有矽卡岩型W(Mo、Sn、Bi)矿床, 在外接触带的碳酸盐围岩中一般发育热液交代型Pb-Zn(Sn)矿体。有的矿床在靠近岩体的矽卡岩带叠加网脉状云英岩W(Sn、Mo、Bi)矿化。还有的矿床在近大理岩一侧的矽卡岩富集磁铁矿矿体。

(4) 与中酸性侵入岩有关的镁(钙)矽卡岩型-锰质矽卡岩型-热液交代型Pb、Zn(Fe、Mo、Cu、Ag)成矿系列。典型例子如中国辽宁八家子、内蒙白音诺和美国喀隆特霍克等矿床。在这一成矿系列中, 镁(钙)矽卡岩磁铁矿(黄铁矿、黄铜矿)化主要直接产于岩体接触带或靠近接触带的围岩中, 含Pb-Zn(Ag)的锰质矽卡岩多产于离接触带有一定距离的碳酸盐围岩中, 它是主要的矿床类型。此外, 还常有热液交代型Pb-Zn(Ag)矿脉产出, 并常伴有铁锰碳酸盐化。

(5) 与中性(偏碱性和基性)火山-侵入岩有关的玢岩型-矽卡岩型-热液充填(交代)型Fe(S)矿床成矿系列, 如中国长江中下游宁芜地区的许多铁矿床。

以上仅列举了本区几个较重要的矽卡岩矿床成矿系列, 实际上还可能建立起更多的具有不同特色的成矿系列, 有待进一步研究和发掘。

4. 矽卡岩矿床的岩浆岩成矿专属性 总的看, 本区与矽卡岩矿床有关的岩浆岩侵入体存在着明显的成矿专属性。不同酸度的岩浆岩侵入体所伴生的矽卡岩金属矿化组合也不一样。

辉长岩、辉绿岩、闪长岩和二长岩类主要伴生矽卡岩铁、钴(铜、金)矿化, 如广泛分布于中朝准地台的邯邢式铁矿床, 美国西部加利福尼亚鹰山、Shasta、犹他州铁泉、加拿大温哥华岛的英派尔矿山以及菲律宾的拉拉普, 越南慕萨和檳榔寨等铁矿床。

与石英闪长岩、花岗闪长岩类侵入体有关的矽卡岩矿化主要是铁、铜、金(铅、锌、钴), 如中国湖北铁山、铜录山, 日本釜石, 美国新墨西哥州的菲世洛中央矿山, 内华达州科珀谷和加拿大镍板矿床。

与花岗闪长岩和石英二长岩类侵入体伴生的矽卡岩矿化主要是铜、钨和铅、锌, 如中国黑龙江弓棚子、美国加利福尼亚州的Strawberry和派因克里克、日本Fujigatani(藤ヶ谷)、澳大利亚金岛和秘鲁安塔密那等矿床。

与矽卡岩锡(钨、钼、铋、铍、铅、锌)矿床有关的侵入岩一般为壳源、重熔型花岗岩类, 包括中国云南个旧、广西大厂、湖南柿竹园、河南三道庄、苏联远东、澳大利亚塔斯马尼亚等许多矿床。

综上所述, 当岩浆岩酸度从辉长岩、辉绿岩→闪长岩、二长岩→石英闪长岩、花岗闪长岩→石英二长岩到花岗岩类变化时, 与其有关的矽卡岩矿床的矿化组合相应作如下变化: Fe、Co→Fe、Co、(Cu、Au)→Cu、Fe、Au、Pb、Zn→Cu、W、Pb、Zn→Sn、Mo、(W、Bi、Be、Pb、Zn)。

矽卡岩铁矿床虽可与不同酸度的岩浆岩有关, 但其伴生矿化组合也存在着明显的成矿专属性(见前)。

三、结语

1. 环太平洋地区是世界上最重要的巨型矽卡岩矿床成矿带, 不仅矿床数量多、品位富、类型复杂, 而且许多矽卡岩矿床的储量在世界金属矿床总量中也占有十分重要的位置。

2. 本区矽卡岩矿床可大致划分为Fe、Cu、Pb-Zn、W、Sn、Mo、Au等七类, 每一类以某种金属元素为主的矿床中又常伴生其他金属组分。所以, 矽卡岩矿床常为多种金属伴生的矿床, 可供综合利用。矽卡岩金矿床在本区有一定远景, 应加强对该类金矿的找矿工作。

3. 按矽卡岩主要矿物成分的不同, 可划分为镁矽卡岩、钙矽卡岩、锰质矽卡岩和碱质矽卡岩四类, 其中以前两类为主, 几乎伴生极大多数矿化组合, 锰质矽卡岩主要伴生Pb-Zn(Ag)矿化, 而碱质矽卡岩仅伴生U(Th、Nb、TR)矿化。

4. 太平洋东西两岸的矽卡岩矿床虽有许多共同点, 但亦有一定差异, 主要表现为东岸富铜贫锡, 矿带多呈纵向延展, 成矿岩体的时代偏新; 西岸富锡, 相对贫铜, 发育横向分布的矿带, 成矿岩体的时代相对偏老。

5. 本区许多矽卡岩矿床在一定地质环境中, 常和其他类型矿床共生, 构成某些在成因上互有联系的矿床成矿系列, 这是今后在矿床评价时值得注意的问题。

6. 与矽卡岩矿床有关的岩浆岩存在着较明显的成矿专属性, 不同酸度的岩浆岩组合、不同大地构造和区域地球化学环境, 往往伴生不同的金属矿化组合。

参 考 文 献

- [1] 北京铀矿地质研究所赛马矿床研究组 1977 我国东北赛马碱性岩体中的铀矿床 中国科学 第5期
- [2] 陈毓川、黄民智、徐珏、艾永德、李祥明、唐绍华、孟令库 1985 大厂锡石硫化物多金属成矿带地质特征及成矿系列 地质学报 第59卷 第3期
- [3] 杨超群、田焕章、杨世义 1980 湖南东坡网脉状云英岩-矽卡岩复合型钨钼铋矿床 中国地质科学院院报宜昌地质研究所分刊 第1卷 第1号
- [4] 沈保丰、翟安民、李增慧、汪玉麟 1981 冀南邯邢式铁矿成矿地质条件分析 地质学报 第55卷 第2期
- [5] 林文蔚 1987 辽西杨家杖子钼矿田的交代系列 矿床地质 第6卷 第1期
- [6] 赵一鸣、谭惠静、许振南、袁润广、毕承思、郑入来、李大新、孙静华 1983 闽西南地区马坑式钙矽卡岩型铁矿床 中国地质科学院矿床地质研究所所刊 第1号(专辑1)
- [7] 赵一鸣、林文蔚、毕承思、李大新 1985 中国矽卡岩矿床的几个重要交代系列 国际交流地质学术论文集(4) 为二十七届国际地质大会撰写 地质出版社
- [8] 赵一鸣、林文蔚、毕承思、李大新 1986 中国矽卡岩矿床基本地质特征 中国地质科学院院报第14号
- [9] 赵一鸣、李大新 1987 云南个旧锡矿床花岗岩接触带的交代现象 中国地质科学院院报 第10号
- [10] 郭文魁 1957 论安徽铜官山铜矿成因 地质学报 第37卷 第3期
- [11] 董永观 1986 八家子铅锌矿矿化蚀变分带特征 矿床地质 第5卷 第4期
- [12] Aleksandrov, S. M., 1974, Geochemistry of boron-tin mineralization in the magnesian skarns of eastern Chukotka: *Geochemistry Internat.*, Vol. 11, p. 532-539.
- [13] Ashley, P. M., 1980, Geology of the Ban Ban zinc deposit, a sulfide-bearing skarn, Southeast Queensland, Australia: *Econ. Geol.*, Vol. 75, p. 15-29.
- [14] Bevan, P. A., 1973, The Rosita mine—a brief history and geological description: *Canadian Inst. Mining Metallurgy Bull.* Vol. 66, No. 736, p. 80-84.
- [15] Brown, P. E., Bowman, J. R., and Kelly W. C., 1985, Petrologic and stable isotope constraints on the source and evolution of skarn-forming fluids at Pine Creek, California. *Econ. Geol.*, Vol. 80, No. 1, p. 72-95.
- [16] Cooke, B. J. and Godwin, C. I., 1984, Geology, mineral equilibria, and isotopic studies of the McDame tungsten skarn prospect, North Central British Columbia. *Econ. Geol.*, Vol. 79, No. 5, p. 826-847.
- [17] Daries, H. L., Howell, W. J. S., Fardon, R. S. H., Carter, R. J. and Bumstead, E. D., 1978, History of the Ok Tedi porphyry copper prospect, Papua-New Guinea: *Econ. Geol.*, Vol. 73, p. 796-809.
- [18] Dick, L. A. and Hodgson, C. J., 1982, The MacTung W-Cu(Zn) contact metasomatic and related deposits of the Northeastern Canadian Cordillera. *Econ. Geol.*, Vol. 72, p. 845-867.
- [19] Dobson, D. C., 1982, Geology and alteration of the Lost River tin-tungsten-fluorine deposit, Alaska. *Econ. Geol.*, Vol. 77, No. 4, p. 1033-1052.
- [20] Einaudi, M. T., 1977, Petrogenesis of copper-bearing skarn at the Mason Valley mine, Yerington district, Nevada. *Econ. Geol.*, Vol. 72, p. 769-795,
- [21] Einaudi, M. T., Meinert, L. D. and Newberry, R. J., 1981, Skarn deposits. *Econ. Geol.*, 75th Anniv. Vo-

- lume, p. 317—391.
- [22] Fleming, A. W., Handley, G. A., Williams, K. L., Hills, A. L., and Corbett, G. J., 1986, The Porgera gold deposit, Papua New Guinea. *Econ. Geol.*, Vol. 81, No. 3, p. 660—680.
- [23] Hewitt, W. P., 1943, Geology and mineralization of the main mineral zone of the Santa Eulalia district, Chihuahua, Mexico. *Geol. Soc. America Bull.*, Vol. 64, p. 173—204.
- [24] James, L. P., 1976, Zoned alteration in limestone at porphyry copper deposits, Ely, Nevada. *Econ. Geol.*, Vol. 71, p. 488—512.
- [25] Kwak, T. A. P., and Askens, P. W., 1981, Geology and genesis of the laminar F-Sn-W(-Be-Zn) skarn at Moina, Tasmania, Australia. *Econ. Geol.*, Vol. 76, p. 439—467.
- [26] Laney, C. A., 1945, Iron Mountain iron-ore deposits, Lava Bed district, San Bernardino County, California. *California Div. Mines Bull.*, 129, p. 27—38.
- [27] Meinert, L. D., 1982, Skarn, Manto, and breccia pipe formation in sedimentary rock of the Cananea mining district, Sonora, Mexico. *Econ. Geol.*, Vol. 77, No. 4, p. 919—949.
- [28] Meinert, L. D., 1987, Skarn zonation and fluid evolution in the Groundhog mine, Central mining district, New Mexico. *Econ. Geol.*, Vol. 82, No. 3, p. 523—545.
- [29] Mulligan, R., and Jambor, J. L., 1968, Tin-bearing silicates from skarn in the Cassiar district, northern British Columbia. *Canadian Mineralogist*, Vol. 9, p. 358—370.
- [30] Newberry, R. J., 1978, Systematics in W-Mo-Cu skarn formation in the Sierra Nevada: An overview. *Geol. Soc. America, Abstracts with Programs*, Vol. 11, p. 486.
- [31] Sato, K., 1982, Characteristics of tungsten skarns in Japan, two contrasting types. —Symposium on Tungsten Geology, Jiangxi, China, Geological Publishing House, Beijing, p. 203—209.
- [32] Torrey, C. E., et al., 1986, Geology and mineralization of the Red Dome (Mungana) gold skarn deposit, North Queensland, Australia. In "Gold'86; An International Symposium on the Geology of Gold Deposits, Proc. Vol. 1", p. 504—517.
- [33] Shimizu, M., and Iiyama, J. T., 1982, Zinc-lead skarn deposits of the Nakatatsu mine, Central Japan. *Econ. Geol.*, Vol. 77, No. 4, p. 1000—1012.
- [34] Yun, S., and Einaudi, M. T., 1982, Zinc-lead skarns of the Yeonhwa-Ulchin district, South Korea. *Econ. Geol.*, Vol. 77, No. 4, 1013—1032.
- [35] Ициксон М. И., 1979, Металлогеническая зональность тихоокеанского сегмента земли. Москва, "Недра", 230с.
- [36] Радкевич Е. А., 1977, Металлогенические провинции тихоокеанского рудного пояса. Москва, "Наука", 176с.
- [37] Щеглов А. Д., 1987, Скарновые месторождения тихоокеанского рудного пояса. Тихоокеанская Геология, №4, с. 17-20.
- [38] Жариков Б. А., 1968, Скарновые месторождения. В кн.: Генезис эндогенных месторождений. Москва, "Наука", с. 220—300.
- [39] Шабынин Л. И., 1974, Рудные месторождения в формации магнезиальных скарнов. Москва, "Недра", 286с.
- [40] 官沢俊弥 1979 接触交代鉱床の研究 官沢俊弥教授退官記念会編

SKARN DEPOSITS IN THE CIRCUM-PACIFIC BELT

Zhao Yiming

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)

Abstract

The Circum-Pacific region is one of the most important gigantic skarn-metallogenic belts in the world. In more than 20 coastwise countries of this region, there exist thousands of skarn deposits of different types.

According to the differences in major metallic elements, the skarn deposits may be classified into seven subtypes, i. e., iron, copper, lead, zinc, tungsten, tin, molybdenum and gold skarn deposits. In this paper, the distribution and geological characteristics of the above-mentioned types of skarn deposits are described briefly. Skarn deposits may also be classified on the basis of the dominant calc(magnesian)-silicate mineral assemblages into four types, i. e., magnesian, calcic, manganoan, and alkaline skarn types. Magnesian skarns may be associated with iron, copper, gold, tin, boron and beryllium mineralizations, calcic skarns are concerned with iron, copper, tungsten, molybdenum, gold, beryllium, lead, zinc and tin mineralizations, manganoan skarns are only related to lead and zinc (silver) mineralizations, and alkaline skarns occur together with uranium (thorium, niobium) deposits.

Although skarn deposits along both east and west Pacific rims have many general characteristics, they show some differences in geotectonic setting, mineralization intensity, distribution and metallogenic epoch.

In this paper, ore-forming series and metallogenic specialization of magmatic rocks related to skarn deposits are also discussed.