

变质矿床成因分类的讨论

沈其韩

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要: 在探讨了变质矿床的定义并结合前人研究的基础上,对变质矿床初步提出了一个新的成因分类方案。该方案共分为五个大类和十三个亚类,并对每个大类和亚类都提出了一些代表性矿床实例。新的变质矿床成因分类方案为:(1)受变质矿床类,分为受变质硅铁质建造沉积矿床、受变质硅铁质建造火山-沉积矿床、受变质其它建造沉积-火山沉积矿床、受变质火成岩改造矿床和受变质细碧角斑质火山喷发沉积矿床五个亚类;(2)区域变质作用变成矿床类,分为变质重结晶型、变质化学反应重组型和变质热液型三个亚类;(3)局部变质作用变成矿床类,分为接触交代夕卡岩矿床、局部接触热变质变成矿床和局部动力变质变成矿床三个亚类;(4)受变质沉积-火山沉积变质热液叠加改造矿床类;(5)混合岩化作用形成矿床类,又分为混合岩化交代型和后期混合岩化热液型两个亚类。

关键词: 受变质矿床; 变成矿床; 混合岩化作用矿床; 局部变质作用; 区域变质作用

中图分类号: P611.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493(2007)03-0371-12

地质工作者习惯将矿床成因分为外生、内生和变质三大类。外生矿床主要指沉积矿床、风化淋滤矿床、残坡积矿床等。内生矿床主要指与岩浆活动直接有关的矿床。变质矿床包括两个方面,一是指经历了区域变质作用叠加改造的上述两类矿床,二是指由区域变质作用和局部变质作用直接形成的矿床。变质作用主要来自地球深部上升的热流,或是深部地壳由上部巨厚的地层承压所转化而来的热流,或是直接由岩浆活动带来的影响,因此,从严格的科学意义上来说,变质矿床也应归入内生矿床范畴。我们也看到变质矿床具有一定的共性和明显的特殊性,有别于外生矿床和岩浆矿床,其中赋存有超大型和特大型矿床,对国民经济建设起到了重大的支撑作用。由于类型众多,故应区分开来进行深入研究,正确区分变质矿床的成因类型,对促进普查找矿,合理判别和评价矿床的规模和远景,具有十分重要的实际意义和科学意义。

本文首先对前人所下的变质作用矿床的定义

和变质作用矿床成因分类作一介绍,进而对变质作用矿床的涵义和变质作用矿床成因划分提出探讨性的意见,并列举了各种变质成因类型的代表性矿床实例,以供参考。

1 变质矿床涵义和成因分类概况

什么样的矿床可称为变质作用矿床(以下简称变质矿床),不同的学者有不同的定义。前苏联学者别列夫采夫(1972)对变质矿床曾下过一个定义:“所谓变质作用矿床,是指发生了强烈变化(重结晶)的,或者在区域热动力变质作用或超变质作用条件下所产生的一种金属堆积,它是被变质的岩石在溶解、重结晶或深熔过程中,其金属进行迁移和富集的结果”(转引董申保,1999^①)。这一定义,把混合岩化作用(超变质作用)所形成的矿床列入变质矿床系列。定义中他强调金属的富集而忽视了非金属矿的形成,变质成矿流体(热液)的作用也未给予应有的重视。董申保(1999)给变质矿床的定义是:“在变

收稿日期:2007-04-01;修回日期:2007-07-13

作者简介:沈其韩,男,1922年生,中国科学院院士,长期从事早前寒武纪变质地质学研究。通讯地址:北京市西城区百万庄大街26号,中国地质科学院地质研究所。E-mail: huixiasong@cags.net.cn

① 董申保. 1999.《董申保文集》,原载于1990年《冯景兰教授诞辰90周年纪念文集》100-192页。

质地区受区域变质作用的影响形成的矿床称为变质作用矿床。它们是在区域变质作用和区域混合岩化作用下,原岩建造中的含矿建造,矿源层和原有矿床受变质重结晶、变质热液和混合岩化产生的流体、混合岩浆及后期热液作用的影响,它们之中的含矿组分或工业矿物,经过迁移、搬运而形成矿床。”这一定义主要强调了区域变质作用及其相关的混合岩化作用成矿,而对局部变质作用如接触热变质、接触交代变质和动力变质的成矿未予考虑。

笔者在前述的两位学者定义的基础上,稍加补充修改,对变质矿床提出如下定义:“在变质岩区,岩石受区域变质作用、接触交代变质作用、局部接触热变质、动力变质作用和混合岩化作用的影响而形成的矿床,称为变质作用矿床。在变质作用过程中,有的含矿建造中的原有矿床受到不同程度的变质重结晶改造;有的原岩建造中的含矿建造、矿源层受变质重结晶和/或化学反应重组,形成具有工业意义的变质矿物;有的受变质热液和混合岩化的钾钠硅酸岩流体和后期热液的影响,使含矿建造中的有用组分,经活化、迁移、搬运、沉淀而形成新的矿床。”

变质矿床属于比较复杂的再造矿床,它形成于一定的大地构造环境下,与沉积和火山沉积的含矿建造或岩浆建造有关,又受到一定具体构造的制约,总体上又受到变质作用的控制。由于其成因的复杂性,对有些变质矿床的成因,常出现不同的意见和争论。

20世纪50~70年代间,对变质矿床的成因分类比较简单。据董申保(1999)介绍,基本上可以马加克扬和Stanton(1972)为代表,他们以沉积变质为主导思想,分为受变质和变质矿床,不足之处是未把变质岩形成的工业矿床与变质成因矿床加以严格区分,变质作用中的流体作用被忽略了,混合岩化作用成矿也未提及。稍后,斯米尔诺夫(1976,译文1982)在“矿床地质学”一书中论述了变质矿床成因分类,他也把变质矿床分为受变质矿床和变成矿床两大类,将接触交代变质矿床归入变成矿床一类,对超变质作用有一定的论述,但与成矿联系不多。

20世纪80年代至90年代及稍后,国外关于变

质矿床的成因分类可以Belevtsev(1984)为代表,国内这方面的分类以程裕淇等(1983)和董申保(1999)作为代表。现简述如下。

Belevtsev(1984)的变质矿床成因分类为:

(1)受变质矿床,包括:a沉积型,b火山型和c岩浆型;

(2)变质矿床,包括:a原地型和b异地型;

(3)超变质矿床,包括:a再生交代型和b后花岗岩化交代型。

程裕淇等(1983)在“再论矿床的成矿系列”一文中,从成矿系列的角度,划分了变质成矿系列组合。该组合主要包括区域变质岩地区所见变质较强的矿床(受变质矿床)和主要在变质作用过程中形成的矿床(变成矿床)两部分。一级为系列,根据原岩建造不同而划分;二级为亚系列,根据原来成矿物质组分不同而划分,不同的亚系列,根据原来矿物相、岩相或矿床类型的差异再进一步划分。对变质成矿系列的具体划分如下。

受变质沉积矿床成矿系列(变-1),可进一步划分为:变-1a,受变质沉积铁矿亚系列、变质硅铁质建造的成矿系列;变-1b,受变质沉积铁、硫(黄铁矿)亚系列,以黄铁矿为主的硫化物层状矿床亚系列;变-1c,受变质沉积铅、锌、铜、铁亚系列,主要由变质的炭质黑色页岩相铅锌矿、泥灰岩相铅锌矿、不纯砂岩相铜矿和泥灰岩相铁矿组成。

受变质火山(火山-沉积)矿床成矿系列(变-2)。

受变质火山型—变质热液型铁矿床(变-3),包括了变-3a:受变质铜、铁矿亚系列,和变-3b:受变质白钨矿亚系列。

受变质沉积型—混合岩化富集成矿系列(变-4)。

混合岩化富集成矿系列(变-5),其中受变质硼矿床亚系列中,有①混合岩化气液交代型和②混合岩化热液型。

程裕淇等的分类,对受变质沉积、火山沉积矿床及混合岩化交代和混合岩化热液矿床考虑较多,而对大量的变成矿床论述不多,对受变质矿床亚类按矿种的划分也值得研究。

王和胜（1998）对辽宁早前寒武纪金、铜、铅锌（银）矿床变质成矿系列也进行了划分，详见表1。

董申保（1999）在“中国变质矿床概述”一文中提出的变质作用矿床的成因类型的划分为：

- I 前变质矿床；
- II 变质形成矿床，包括 a 变质重结晶型和 b 变质热液型；
- III 混合岩化矿床，包括 a 原地交代型和 b 后期热液交代型。

2 变质矿床分类的基本思路和准则

本文的变质矿床的成因分类，以变质作用作为主线和主导方向，包括区域变质作用（含超变质作用）、局部接触热变质作用、接触交代变质作用和局部动力变质作用等不同变质作用类型。以原岩建造接受变质作用时间在后或同时，以及含矿建造和矿源层类型的不同及差异，作为划分成因大类及次一级亚类的主要依据。受变质矿床的划分，以原有矿床遭受区域变质作用后保存了原有矿床的总体特征，但已具有不同程度的变质印记作为主要标记。变成矿床的主要标志是原有建造或矿源层中的有用组分重结晶重组，或在一定温压条件下固体与固体反应，或在流体（含

OH⁻和CO₂等气体）参与下，经化学反应，形成能被工业利用的新矿物集合体或组合。混合岩化作用是区域变质作用演化到一个新阶段的产物，其形成的矿床均归入混合岩化作用矿床中。

3 变质矿床成因分类方案和矿床实例

对前人变质矿床的分类方案加以补充修改，使新的分类方案尽可能合理可行。本文将变质矿床分为五个大类，十三个亚类，具体划分方案如下。

第一大类，受变质矿床：分为受变质硅铁质建造沉积矿床、受变质硅铁质建造火山-沉积矿床、受变质其它建造沉积和火山-沉积矿床、受变质火成岩改造矿床和受变质细碧角斑质火山喷发沉积矿床五个亚类。

第二大类，区域变质作用变成矿床：包括变质重结晶型、变质化学反应重组型和变质热液型三个亚类。

第三大类，局部变质作用变成矿床：包括接触交代夕卡岩矿床、局部接触热变质变成矿床和局部动力变质变成矿床三个亚类。

第四大类，受变质沉积-火山沉积变质热液叠加改造矿床。

第五大类，混合岩化作用形成矿床：包括混合岩化再生交代型和后期混合岩化热液型两个亚类。

表1 王和胜（1998）对辽宁早前寒武纪金、铜、铅锌（银）矿床变质成矿系列的划分
Table 1 Division of early Precambrian Au, Cu, Pb, Zn (Ag) ore deposits in metamorphic metallogenic series for Liaoning Province (after Wang Hesheng, 1998)

成矿系列	成矿亚系列	矿床（种）类型	矿床实例
受变质沉积成矿系列	早元古代碳酸盐岩浊积岩系中的层控铅锌矿床成矿亚系列	层控铅锌矿床	宽甸张家堡子铅锌矿床
	早元古代碳酸盐岩-碎屑岩（浊积岩系）中的金矿床成矿亚系列	浊积岩型金矿床	凤城白云金矿床
		碎屑岩型金矿床	盖州猫岭金矿床
受变质火山-沉积成矿系列	晚太古代金、铅锌、硫、铁矿床成矿亚系列	块状硫化物型铜锌硫矿床	清原红透山铜锌矿床
		绿岩带型金矿床	清原南龙王庙金矿床
	早元古代铅、硫（钴）、铁、稀有元素矿床成矿亚系列	铅、硫（钴）、铁、稀有元素矿床	宽甸四平街含铜稀有元素硫铁矿床、辽宁上华岩寺含铜（钴）硫铁矿矿床
变质热液（-交代）成矿系列	晚太古代金、铁矿床成矿亚系列	韧性剪切带糜棱岩型金矿床	阜新排山楼金矿床 锦州王蛮沟金矿床
		硅铁建造型金矿床	辽阳棉花堡子金矿床
	早元古代铅锌矿床成矿亚系列	铅锌矿床	凤城青城子铅锌矿床 北瓦沟坨沟铅锌矿床

据原文表1，又根据表2稍加补充

此外,在冲击变质作用过程中,常有金刚石矿化,但到目前为止,尚未发现有工业意义的矿体或矿床,故未将其包括在变质矿床成因系列中。

3.1 受变质矿床

指原先已形成的矿床,后来又经受了区域变质作用的影响和改造的矿床,先形成的矿床在成因上与区域变质作用无关。这类矿床原先统称为变质矿床。程裕淇(1955)^①和斯米尔诺夫(1976),Belevtsev(1984)都将此种矿床称为受变质矿床,已得到国内外学者的广泛应用。董申保(1999)将受变质作用轻微影响的已有矿床,称为前变质矿床。笔者认为受变质矿床一词比较符合客观实际,故在分类时亦采用此名。该类矿床经受区域变质作用的绿片岩相、角闪岩相至麻粒岩相等不同变质程度的影响。以硅铁建造中的铁矿为例,随着变质程度的加深,矿石矿物可由细粒,中粒更至粗粒的变化,粒状体出现优选方位。伴生的硅酸盐矿物可由绿泥石、透闪石等到镁铁闪石、普通角闪石再到次透辉石和紫苏辉石等。矿体因变质变形而出现强烈褶皱、缩短膨胀、拉长、尖灭等现象,但总体地质特征基本上没有太大的变化,不同区域变质程度的变质印记基本上都能保存。

本类矿床由于原先含矿建造的不同,可进一步划分为以下五个亚类。

3.1.1 受变质硅铁质建造沉积矿床

此类型矿床,以条带状铁矿为主,有时还有锰矿伴生。它相当于Gross(1965,1980)所称的苏比利尔湖型,主要是沉积矿床,时代以古元古代为主。这类矿床在世界范围内分布十分广泛,不少为特大型和超大型矿床,如加拿大魁北克省拉布拉多铁矿区,巴西的米纳斯-吉拉斯铁矿床,俄罗斯的克里沃罗格铁矿床和库尔斯克磁异常区,都由多个铁矿床组成,而且富矿床占有较大的比例(沈承珩等,1995)。我国这类矿床也有分布,以泥质-中酸性杂砂岩-硅铁建造、泥质(泥砂质)-硅铁建造、杂砂质-泥砂质-碳酸盐-硅铁建造等为主,储量远没有国外多,而且主要是贫铁矿。如,辽宁鞍山市的东、西鞍

山铁矿床,齐大山-眼前山铁矿床;安徽霍邱铁矿床(姚培慧,1993;刘兰笙,1996;沈其韩,1998;沈保丰等,2006)。以上矿床的时代均为新太古代,均经受了高绿片岩相至低角闪岩相的区域变质作用。山西吕梁山袁家村铁矿床,尖山和孤姑山铁矿床,时代属古元古代(田永清等^②,1986)。江西新余铁矿区的杨家桥铁矿床和良山铁矿床(亓润章等^③,1984),湖南祁东的铁矿床,它们都产于震旦纪地层中,时代为新元古代,曾经历了绿片岩相至低角闪岩相变质。

本类型中的锰矿床在我国尚未发现,但在南非的卡拉哈里、巴西的乌鲁库姆均见有与条带硅铁建造伴生的受变质沉积锰矿床,可达大型至超大型(沈承珩等,1995)。

3.1.2 受变质条带状硅铁质建造火山-沉积矿床

本类矿床相当于Gross(1965,1980)划分的阿尔果马型,与火山-沉积作用有关,主要为铁矿床,时代以太古宙为主,最早产于始太古代格陵兰的古老变质岩中,但规模不大。比较多见的是中、新太古代的硅铁建造中的铁矿床。在国外,有加拿大的安大略省太古宙的斯提普罗克铁矿床和米契皮克坦铁矿床(沈承珩等,1995)。我国所见的该类型铁矿少数属于古太古代,如河北迁安的杏山铁矿床(中型以上)以及黄白峪等零星矿点(沈其韩,1998;沈保丰等,2006)。产出较多的时代为中太古代,如河北迁安的水厂铁矿床、孟家沟铁矿床、马兰庄铁矿床等,北京市的密云沙厂铁矿等(姚培慧,1993)。新太古代的有河北滦县司家营-大贾庄铁矿床和遵化的石人沟铁矿等(张贻侠等,1986);辽宁鞍山-本溪的弓长岭铁矿、歪头山铁矿、南芬铁矿和北台铁矿等;山西五台山的山羊坪铁矿、赵村铁矿、柏枝岩铁矿等(李树勋等,1986);河南的许昌铁矿床和经山寺铁矿床等;山东的韩旺铁矿床、苍峰铁矿床和东坪铁矿床;吉林的板石沟铁矿床和老牛沟铁矿床等(姚培慧,1993;钱大都,1996;刘兰笙,1996;沈保丰等,2006)。本类型的铁矿床一般含矿层位较多,含矿硅铁建造进一步可划分出基性

① 程裕淇. 1955. 中国已知铁矿的成因与工业类型及今后的普查方向. 原载于“地质会议文献汇编”, 2006年重刊于《程裕淇文选》上卷, 642-670.

② 田永清, 袁国屏, 路九如等. 1986. 山西省岚县袁家村前寒武纪变质-沉积铁矿床的地质构造特征与形成条件研究. 山西省地质科学研究所.

③ 亓润章, 姚光炎, 张良等. 1984. 中国中南部前寒武纪含铁建造地质特征研究报告. 地质矿产部南京地质矿产研究所.

火山岩-硅铁质亚建造、沉积岩-基性-中酸性火山岩-硅铁质亚建造、沉积岩-中酸性火山岩-硅铁质亚建造等。

在条带状硅铁建造中, 有时有金矿床伴生。如, 美国有名的霍姆斯塔克金矿床, 产于硅铁建造的镁铁闪石中, 层位稳定(沈承珩等, 1995); 我国山西五台山柏枝岩铁矿床中也有金矿伴生(骆辉等, 2002); 据王和胜(1998)研究, 辽阳棉花堡子的硅铁建造中也有金矿床伴生; 黑龙江汤源县东风山条带状铁、金和锰矿床(刘静兰, 1987), 金矿多属小型。在吉林清原新太古代清原群(相当于鞍山群)含铁建造中有铜锌矿床伴生, 在山西五台山五台群金刚库组中有硫铁矿伴生。

3.1.3 受变质其它含矿建造沉积和火山-沉积矿床

其中受变质细碎屑岩(或炭质泥岩)-碳酸盐岩组合是最重要的含矿建造, 其次为泥质岩(钙质细碎屑岩)-火山凝灰质岩含矿建造。大部分含矿层位与碳酸盐岩密不可分。本类矿床矿种类别较多, 常见的金属矿床有铁、铜、铜锌、铅锌、锰、钒等矿床, 非金属矿床有硫铁矿、磷矿、菱镁矿和滑石矿等。代表性的铁矿有四川会理满银沟赤铁矿床, 吉林大栗子赤铁矿床, 甘肃永昌东大山铁矿床, 新疆哈密市白山泉铁矿床, 青海都兰县洪水河和清水河铁矿床, 甘肃张家川回族自治县陈家庙铁(铜)矿床, 西藏江达县加多岭铁矿床, 黑龙江双鸭山铁矿床等(姚培慧, 1993; 钱大都, 1996)。代表性铜矿床有云南东川落雪铜矿和汤丹铜矿(陈文明, 1999), 四川彭县铜矿和会理县拉拉厂铜矿, 内蒙古自治区乌拉特后旗渣尔泰群(中元古界)中的霍各气铜多金属矿床, 山西中条山古元古界蓖子沟铜矿床、胡家峪和桐木沟铜矿床(沈保丰等, 2006)。代表性铅锌矿床有甘肃成县厂坝泥盆纪铅锌矿床和毕家山铅锌矿床, 陕西炸水县银洞子银铅多金属矿床等。代表性的锰矿床主要有陕西西宁强县黎家营锰矿床和湖南宁乡县蒙甘山锰矿床(姚培慧, 1995)。代表性钒矿有广西罗城县怀群钒矿。代表性的硫铁矿有内蒙古自治区乌后旗中元古代渣尔泰群阿古鲁组中的东升庙和甲生盘硫铁矿, 辽宁清原鞍山群的大荒山硫铁矿, 辽宁本溪古元古

代辽河群里尔峪组中的云盘和金家硫铁矿(钱大都, 1996), 内蒙古羊蹄子山钛铁矿床(赵一鸣, 2006)。受变质磷矿床分布广, 主要产于新元古代地层中, 古元古代地层中也有少量产出。前者代表性矿床有江苏连云港锦屏磷灰石矿床, 安徽宿松磷矿床, 湖北大悟黄麦岭磷矿床, 后者如黑龙江麻山群中石场磷矿床。菱镁矿和滑石矿也是本类型中常见的矿种, 主要产于古元古界, 少数产于新元古界高镁的碳酸盐岩地层中。产于古元古代辽河群中的有营口青山怀和圣水寺菱镁矿, 海城菱镁矿。有的同一层位产有滑石矿床, 如本溪的滑石矿, 山东栖霞李博士滑石矿等(张秋生, 1984, 1988; 钱大都, 1996; 王永勤, 2001; 沈保丰等, 2006)。广西尤胜鸡爪滑石矿则产于新元古代丹州群合桐组的白云岩中。

3.1.4 受变质火成岩改造矿床

根据受变质原岩的性质不同, 可分为以下两个亚类。

1) 受变质基性火山岩-中基性岩有关矿床

矿床主要产于原岩为基性火山岩-中基性-超基性岩中, 经区域变质作用一定温压条件以及气、流体的影响, 岩体中的成矿组分经重组和重新积集而成的受变质矿床。如, 河南舞阳赵案庄受变质磷灰石-钛磁铁矿矿床(习惯上称为赵案庄式), 含矿岩系由条纹磁铁矿、磁铁蛇纹岩、金云母片岩、角闪岩、金云角闪更长片麻岩等组成, 原岩主体为蚀变超基性岩体(钱大都, 1996)。辽宁建平县簸箕山受变质磷矿床, 含矿原岩为变辉石闪长岩和变辉长岩, 顺层侵入于太古宇建平群小塔子沟组变粒岩中。河北丰宁招兵沟磷矿床, 含磷岩系属镁铁质岩石, 杨春亮等(2005)认为这两地的磷矿床产于太古宙绿岩建造内, 因而称为绿岩带型磷矿床。山西灵邱县平型关受变质磷灰石矿床, 赋存于变质基性岩浆岩中。湖北枣阳市大阜山金红石矿, 产于中新元古代变基性岩体-石榴角闪岩中。陕西商南青山新金庙金红石矿的含矿岩系为变基性火山岩-黑云角闪片岩(钱大都等, 1995, 湖北卷)。山西代县碾子沟金红石矿赋存于新太古代五台群石嘴亚群金刚库组变质基性火山岩-阳起透闪岩中(贾琇明, 2006)。河南西峡八庙子沟金红石矿产于中元古

代信阳群龟山组第三段的角闪岩中(徐少康等, 1997, 1998)。河南新县杨冲金红石矿产于古、中元古代苏家河群定远组中的榴闪(辉)岩体的下部。江苏连云港青龙山附近的金红石矿以及毛北大陆科学钻探主孔和附孔岩芯中所见的巨型金红石矿, 均产于高压-超高压变质的金红石榴辉岩中, 其原岩以辉长岩为主。

2) 受变质浅成酸性斑岩—中酸性岩—基性火山岩有关矿床

山西垣曲铜矿峪古斑岩型细脉浸染型铜矿, 是仅有的一个实例, 不同学者对其成因仍有争议。

3.1.5 受变质细碧角斑质火山喷发沉积矿床

浅变质的甘肃白银厂铜、银、铅锌等矿床即含铜黄铁矿型及有关矿床和云南大红山铁铜矿床(程裕淇, 1983)为该类型矿床的代表。

3.2 区域变质作用变成矿床

这类矿床是指矿源层(包括部分微矿源层)在不同温压条件下由区域变质作用的变质重结晶、聚合结晶作用、重组作用和变质热液交代作用形成的变质矿床。其主要特点是组成矿床的单一变质矿物或变质矿物组合与围岩的变质矿物组合属于同一变质相, 变质时代相同, 变质矿床常位于含矿建造内, 具有层控的特点, 如以变质热液为主形成的矿床, 往往受构造控制。

3.2.1 变质重结晶型

在有些泥质沉积建造中含有相当数量的有机质, 它可以是煤质的, 也可以是沥青质的, 或者是二者的混合物, 在区域变质作用下, 这些有机物发生变质重结晶, 最后导致结晶完好石墨的产生。一般在低级变质沸石相岩石中, 石墨是非晶质的, 或仅显示一种发育不全的石墨构造, 随着变质温度的升高, 它们的结晶度增加, 在绿帘角闪岩相和高角闪岩相条件下形成了有序化的石墨构造(都城秋穗, 1992)。

这一类型的代表性石墨矿床主要产于太古宙和古元古界, 少部分产于志留系。产于太古宙的有内蒙古自治区兴和县黄土窑石墨矿床和武川县庙沟石墨矿床, 山西大同市西蒙区六亩地和弘赐堡石墨矿床。产于古元古代地层中的有内蒙古自治区阿拉善右旗挡巴井石墨矿床和土默特右旗什报气石墨矿床, 黑龙江勃利县佛山岭和密山市马

来山石墨矿床等, 以及赋存于下志留统陀烈组呈残留体状包于中生代花岗岩中的海南省琼海市烟塘石墨矿床等(钱大都, 1996; 王永勤, 2001)。此外, 大理岩、板岩和石英岩等常见的建筑材料, 也都是由区域变质过程中重结晶而成的。

3.2.2 化学反应重组型

有的含矿建造由高铝的泥质沉积岩组成, 在低压区域变质作用阶段, 红柱石通常在角闪岩相的低温部分开始出现, 在中压区域变质作用进行时, 蓝晶石通常在低角闪岩相中蓝晶石等变度上开始出现, 随着温压的升高, 红柱石或蓝晶石会转变成夕线石, 在特定的温压条件下, 这些矿物可以出现两相或三相共存的现象。这些富铝变质矿物, 如其总体品位和数量达到工业开采要求即可成为矿床。它们的代表性矿床较多, 如河南西峡羊奶沟的红柱石矿, 辽宁凤城县老虎砬子红柱石矿床, 黑龙江鸡西市三道沟夕线石矿床, 河北阜平县阜平群团白口组和漫山组中的夕线石片岩、钛铁矿夕线石浅粒岩和刚玉、夕线石片麻岩, 其中含夕线石达28%~29%, 已构成夕线石矿床, 刚玉可作为伴生矿床。河南南阳隐山蓝晶石矿床, 江苏沐阳韩山蓝晶石矿床, 河北太行山团泊口蓝晶石矿床。据孟繁兴等(1988)研究, 吉林磐石县乱泥塘蓝晶矿床产于石榴蓝晶云母片岩中, 形成于角闪石相十字石-蓝晶石带, 属区域变质变成矿床。

在区域变质作用一定温压条件下, 有些变质岩含较多的石榴子石, 其含量和规模已达到工业要求即成矿床, 如山西闻喜县上交的石榴子石矿床和和顺县关山峪石榴子石矿床等。

3.2.3 变质热液型

此种矿床主要由区域变质作用过程中产生的变质热液形成的。一般中-低温变质热液为含有大量的 OH^- 和卤族元素的热液, 具有较高的能量。一种是此种热液能溶解原来矿体中的 SiO_2 等非矿元素而使原来矿体加富, 另一种是溶解含矿层中的矿物质或有益元素迁移至一定有利部位重新沉积成矿。变质热液矿床一般具有较明显的共性:(1)变质热液矿床往往伴生不同强度的蚀变, 无论在矿体或围岩中都能见到绿泥石化、碳酸盐岩化、钠长石化、方柱石化、绢云母化等不同蚀变矿物

组合; (2) 蚀变矿物的形成时代和矿体的形成时代与区域变质作用的时代基本一致; (3) 矿体基本位于含矿建造内, 即可为层状、似层状, 亦可呈脉状或不规则状; (4) 变质矿物一般具有明显和不明显的变质结构。

变质热液矿床矿种很多, 主要有铁、铜、铅锌、金和部分非金属矿床, 但由于与岩浆期后热液和混合岩化热液有时不易区分, 各家对某些矿床成因常有争论。现以金矿为例, 据沈保丰等 (2006) 研究, 下面的金矿床可能属于变质热液型: 河北宣化小营盘金矿床, 河北迁西县金厂峪金矿床, 辽宁阜新市排山楼金矿床, 陕西潼关桐峪-太峪金矿床, 河南灵宝市文峪金矿床。辽宁浑南北南龙王庙金矿床, 据戴仕炳等 (1989) 的研究, 认为是属于韧性剪切控制的变质热液金矿床。吉林桦甸夹皮沟金矿床的二道沟、三道岔、板庙子以及夹皮沟金矿床, 据王英才 (1987) 和沈保丰 (2006) 的研究, 总体上都属于变质热液金矿床。辽宁青城子铅锌矿床, 据王和胜 (1998) 研究, 也属于本类。

3.3 局部变质作用变成矿床

3.3.1 接触交代夕卡岩矿床

这一类矿床产于中、浅成侵入岩与化学活泼性较强的围岩接触带的围岩内, 一般距接触带不超过400~500 m的范围内。侵入岩体岩性一般呈偏基性或偏碱性, 它与围岩的接触形态和原岩的构造特征对矿床的富集具有重要的控制意义。围岩岩石多为碳酸盐岩, 有时为钙质碎屑岩和火山沉积岩, 不纯的碳酸盐岩与硅质碎屑岩互层往往比极纯的碳酸盐岩更有利于成矿。矿床与接触交代产物钙质或镁质夕卡岩矿物组合或角岩化在空间上和成因上有紧密的联系 (赵一鸣等, 1990, 2004; 陈毓川, 1993, 1999)。

该类型形成的矿床种类繁多, 包括许多金属矿床和非金属矿床, 有的以一个矿种为主, 有的还有多种矿种伴生。金属矿床主要包括有铁铜、铜铁 (钴)、铜锌、铜 (钼)、铅锌、钼、铁 (锡)、钨、锡等矿种。非金属矿床有硅灰石、硫铁矿、石墨、石棉、石榴子石、透辉石以及宝玉石和水晶等。部分大理石矿、板岩矿亦属此类。

属本类型不同矿种的代表性矿床主要有: 湖

北大冶铁山铁矿 (部分含铜); 金山店铁矿和程潮铁矿, 山东金岭铁矿, 张家洼铁矿, 河北武安矿山村和符山铁矿床等; 广东连平县大顶含锡磁铁矿, 内蒙古自治区黄岗铁锡矿, 湖北大冶铜官山铜矿, 鸡冠嘴铜金矿床和大广山含钴铁矿, 安徽贵池市铜山铜矿, 辽宁锦西市杨家杖子钼矿, 河南栾川县钼矿, 广西桂阳县黄沙坪铅锌矿和保德县钦甲铜锡矿, 云南拉么锡锌铜矿和马关县都龙锡锌矿以及云龙县铁锡矿, 广西岭溪县佛子冲和罗定县锡矿床以及资源县白钨矿床, 湖南宜章县瑶江仙钨矿床和彬县新田岭白钨矿床, 黑龙江宾县弓棚子铜、锌、钨矿床等 (钱大都等, 1995, 1996; 裴荣富, 1995; 刘兰笙等, 1996)。

本类型中硅灰石矿床是非金属矿床中重要的矿种之一。主要的有吉林省磐石县长崴子硅灰石矿和梨树县大顶山硅灰石矿, 磐石县南错草的硅灰石矿床, 龙井市的细鳞河硅灰石矿床, 辽宁建平富山硅灰石矿, 浙江长兴县李家巷硅灰石矿, 广东连县朝天硅灰石矿床, 广西乐平县南源洞硅灰石矿床等。硫铁矿在本类型中也较常见, 特别在铁铜矿床中, 普遍有硫铁矿伴生。如河南灵宝银家沟硫铁矿 (与金、锌、银、铁伴生), 江西新余硫铁矿, 吉林永吉头道沟硫铁矿。代表性石棉矿床有北京市延庆石窑石棉矿。玉石矿床见于新疆于田县阿拉玛斯和田玉矿, 且末县塔特勒克苏和田玉矿, 辽宁岫岩县北瓦沟玉石矿 (岫岩玉) 等。北京市青石岭-四合堂透辉石矿。广东阳春县崩坑岭水晶矿 (钱大都, 1996; 王永勤, 2001)。

3.3.2 局部接触热变质变成矿床

本亚类由基性—中酸性岩浆岩与围岩硅质碳酸盐岩、含煤岩系以及富钾的泥质岩接触, 产生热变质, 使围岩中的组分迁移、重组或重结晶, 而形成特定的矿床, 主要以非金属矿床为主。比较常见的有硅灰石、石墨、红柱石、夕线石、透辉石等。代表性矿床如湖南常宁县水底下硅灰石矿床, 云南腾冲白云岩硅灰石矿, 江西新余上高月光山和曹坊庙的硅灰石矿。不少石墨矿的形成与含煤岩系和花岗质岩体侵入形成的热变质有关。代表性矿床如广东佛冈桐溪石墨矿, 湖南鲁塘-桂阳县荷叶石墨矿, 由无烟煤→石墨化无烟煤→石墨的渐变过渡十分清楚。西藏左贡县青谷

石墨矿,四川南江县坪河石墨矿,浙江德清透辉石矿床,粤西郁南大王山夕线石矿床(伴生红柱石矿),甘肃漳县马路里红柱石矿,北京市周口店一条龙和车厂红柱石矿(钱大都,1996;王永勤,2001),新疆南天山库尔勒苏克塔格能厄肯红柱石矿。

3.3.3 局部动力变质变成矿床

据俞龙起^①(1982)报道,吉林柳树沟石英岩型蓝晶石矿床是这类矿床的一个实例。矿床主要产于局部构造强烈的活动带上,成矿热源部分为动力变质本身的侧压力转化而来,成矿原岩是酸性火山岩,含矿岩石分带明显,从核部(即压力最强处)向外,可分为蓝晶石带、白云母带、糜棱岩带和糜棱岩化岩石带,矿体受构造控制明显,蓝晶石矿体主要集中分布在压扭构造挤压带的核部,矿体常是雁形排列。含蓝晶石的岩石主要是蓝晶石白云母石英片岩、条带状蓝晶石石英岩和块状蓝晶石石英岩。其特征的反应式为(1)正长石→白云母+石英+流体;(2)白云母→蓝晶石+石英+流体。部分绿岩带金矿受韧性剪切带的控制,矿源于绿岩,亦可归入此类。

3.4 受变质沉积—火山沉积矿床叠加变质热液改造矿床

原为变质沉积—火山沉积的矿床,又叠加热液改造的矿床,往往使原有矿石变富,这涉及到不少富铁矿、铜矿、铅锌矿以及硼矿的形成和富集。如辽宁辽阳市弓长岭二矿区和鞍山市樱桃园条带状富铁矿的形成,除少数原生矿物外,极大部分富铁矿(磁铁矿)与绿泥石、白云母、电气石、阳起石、镁铁闪石、石榴子石等蚀变矿物伴生,并有蚀变分带现象。大多数学者均认为由原贫铁矿经热液改造加富而成,但对热液的性质争议较大。如关广岳(1961)认为是变质热液,程裕淇(1957)、鞍山铁矿公司^②(1975)和董申保(1999)则认为是混合岩化热液。海南省昌江县石碌铁矿床,大多数学者认为是受变质火山沉积矿床又经变质热液加富而形成的富铁矿床(钱大都,1996,海南卷)。四川冕宁县泸沽铁矿床是受变质沉积铁矿又经变质热液加富而形成的富铁

矿床。新疆哈密市天湖铁矿和富蕴县蒙库铁矿床也是受变质矿床又经热液加富而成。甘肃张家川回族自治县陈庙庙铁、铜矿是受变质海相火山沉积矿床又经变质热液加富而成,董申保(1999)认为系由混合岩化热液改造而成。辽宁宽甸县二人沟、栾家、五道岭、大石桥、后仙峪等大型硼矿床,都产于元古界辽河群大石桥组变质岩系中,大多数学者认为该类矿床属受变质火山—沉积矿床又经变质热液加富而成。程裕淇等(1983)和董申保(1999)认为是混合岩化热液加富而成。辽宁海城和山东莱芜的滑石矿及辽宁的大型菱镁矿,章少华(1995)和陈从喜等(2003)认为是受富硅和富镁变质热液加富而成。属本类型的矿床还有辽宁凤城青城子铅锌矿床,广西信直锡坪铜、钼、锌矿床,甘肃肃北蒙古自治县掉石沟大东沟铅锌矿床等。据程裕淇等(1983)介绍,奥地利费别塔尔白钨矿矿床也属本类型。

3.5 区域混合岩化作用变成矿床

区域混合岩化作用是区域变质作用发展演化到一定阶段的特定产物(程裕淇,1987;贺同兴,1987)。区域变质作用是一个热动力事件,是在区域热流不断升高的基础上,先使活动带的原岩建造中的岩层发生变质重结晶而形成变质岩,随着热流的进一步升高(700~900℃),原岩的低熔组分发生重熔和变质分异形成富钾或钠的硅酸盐(含水气)熔体或直接来自深部的碱质流体(岩汁)作用于原来岩石,使原岩重新调整、交代、改造转化为成分不均匀、形态多样、介于正常变质岩和岩浆岩之间的一类岩石(贺同兴,1987),即从各种混合岩到混合花岗岩,这种总的转化作用过程即称为混合岩化作用或超变质作用。

由混合岩化作用过程中重熔产生的钾或钠质硅酸盐熔体或直接由深部上升的碱质—硅酸盐熔体作用于含矿岩系的矿源层时可交代改组原有矿源层,使之在原地重组加富或者溶解其中的有用元素或成矿物质,经过迁移、富集而沉积于异地,在有利构造部位而成新的矿床。根据混合岩化形成的流体(伴生水气)的成矿特点,可将其划分为混合岩化再生交代型和混合岩化晚期热液型两个亚类。

① 国家材料工业局地质研究所,编.1991.我国中、东部地区铝质耐火材料(蓝晶石族)矿床地质条件及找矿方向研究报告(打印本)。

② 鞍山地质勘探公司.1976.鞍山式富铁矿的地质特征及其成因探讨.铁铜矿产专辑第三集:1-18.地质科学研究所地质矿产研究所编。

3.5.1 混合岩化再生交代型

通过混合岩化形成的钾、钠硅酸盐熔（流）体交代原有矿源层使之就地改造加富或挟带含矿物质的流体在异地成矿，前者较少见，但混合岩化流体携带溶解原有矿源层的有用元素或成矿物质经迁移至构造有利部位，因温度下降而重结晶沉积而形成各种含矿的伟晶岩脉或团块，其伴生的白云母及含锂、钽铌、铍等稀有元素矿物则较常见，如达工业品位即形成矿床。如内蒙古自治区分布于集宁岩群中的古元古代白云母伟晶岩矿床，有的还有含稀有元素的矿物。

3.5.2 混合岩化晚期热液型

混合岩化晚期往往集中较多混合岩化热液，可能对原有金属矿床（铁、铜、铅锌、金）和部

分非金属矿床（如硼矿床）进行改造而形成富矿。在前面4节中提到的辽宁弓长岭二矿区和櫻桃园的富铁矿，程裕淇（1957）、鞍山钢铁公司^①（1976）和董申保（1999）都认为系由混合岩化热液改造而成，当然目前尚有争议。甘肃陈家庙铁矿床中的铜矿床，董申保（1999）认为属混合岩化热液型。辽宁宽甸大石桥、营口等地大型硼矿床，程裕淇（1983）和董申保（1999）认为硼矿床经过混合岩化中期镁、铁交代作用和硼的集中以及混合岩化晚期的热液作用而成。据熊先孝等（1996）研究，江苏海州锦屏磷矿床也曾受到混合岩化作用而加富。据杨春亮等（1998）报导，在河北滦平县太古界片麻岩中发现有混合岩化热液交代滑石矿床。

表2 变质矿床成因分类及矿床实例
Table 2 Genetic classification of metamorphic ore deposits and their examples

变质矿床成因分类	亚 类	主要地质、矿床特征	成矿时代	形成矿种和矿床实例
受变质矿床	受变质硅铁建造沉积矿床	泥质—中酸性杂砂岩—硅铁建造，泥质（泥砂质）—硅铁建造，杂砂岩—泥质—碳酸盐—硅铁建造等为主	古元古代为主，新太古代次之，少量新元古代	铁（为主）锰、金矿为主。典型的铁矿床如加拿大拉布拉多铁矿区，俄罗斯克里沃罗格铁矿区，巴西米纳斯—克拉斯铁矿，中国辽宁东西鞍山铁矿，山西吕梁山袁家村铁矿，江西新余铁矿等
	受变质硅铁建造火山—沉积矿床	基性火山岩—硅铁建造，沉积岩—基性—中酸性火山岩硅铁建造，沉积岩—中酸性火山岩—硅铁质亚铁建造为主	中太古代—新太古代为主，少量古元古代	铁（为主）金、锰少见。如加拿大安大略省斯提普罗克铁矿床，我国河北迁安杏山、水厂等铁矿，北京密云沙厂铁矿，河北滦县司家营—大贾庄铁矿，辽宁鞍山—本溪的弓长岭铁矿、歪头山铁矿、南芬铁矿等
	受变质其它建造沉积或火山—沉积矿床	细碎屑岩（或泥质岩）—碳酸盐岩建造为主，泥质岩—（钙质细碎屑岩）—火山凝灰质建造次之	元古宙为主，泥盆纪次之	铁、铜、铅锌、锰、钒、硫铁矿、磷矿、菱铁矿、滑石矿等。如吉林大栗子赤铁矿床，甘肃永昌东大山铁矿，云南东川落雪和汤丹铜矿，甘肃成县厂坝铅锌矿和毕家山铁锌矿床，湖南宁乡蒙甘山锰矿等
	受变质火成岩改造矿床	与基性火山岩—中基性岩以及酸性斑岩—中酸性—基性火山岩有关矿床	新太古代，中、新元古代	铁、磷、金、红石矿。如河南舞阳赵案庄铁矿，辽宁建平磷矿，河北丰宁招兵沟磷矿，河北枣阳市大阜山金红石矿床，江苏连云港青龙山金红石矿床等
	受变质细碧角斑质火山喷发沉积矿床	海相细碧角斑质火山岩	元古宙至下古生代	铜、银、铅锌矿。如甘肃白银厂铜矿和云南大红山铁铜矿床
区域变质矿床	变质重结晶型	含有相当数量有机质的泥质沉积建造，在受绿帘角闪岩—高角闪岩相变质条件下成矿	以太古宙—古元古代为主，少数为志留系	石墨为主。如内蒙古自治区兴和县黄土窑石墨矿床，山西大同市六亩地和弘赐堡石墨矿床，黑龙江勃利县佛山岭和密山市马来山石墨矿床等
	变质化学反应重组型	高铝的泥质沉积建造，在特定的温压条件下形成富铝矿物	新太古代、元古代和显生宙的不同时代	红柱石、夕线石、刚玉、蓝晶石等。如河南西峡羊奶沟红柱石矿床，黑龙江鸡西市三道沟夕线石矿，河南南阳隐山蓝晶石矿床等
	变质热液型	由区域变质峰期变质后形成的变质热液	太古宙—元古宙及其它时代	主要有铁铜、铅锌、金和部分非金属矿床。如河北宣化小营盘铁矿，辽宁阜新排山楼金矿等
局部变质矿床	接触交代夕卡岩矿床	矿床产于中、浅成侵入岩与化学活动性较强的围岩接触带中，矿床与镁质或钙质夕卡岩有紧密联系	以印支—燕山期为主，其它时代次之	铁、铜、铜锌、铜（钼）、钼、铁（钼）、锡、铅锌、钨等，以及硅质岩、硫铁矿、石墨、石棉、石榴子石、透辉石、宝玉石等。如湖北大冶铁矿，湖北大冶铜官山铜矿、鸡冠嘴铜金矿，山东金岭铁矿，河南栾川钼矿，广西桂阳县黄沙坪铅锌矿，湖南宜章县瑶江仙钨矿等
	局部接触热变质矿床	由基性—中酸性岩浆岩与围岩硅质碳酸盐岩、含煤岩系以及富钾的泥质岩接触，因热变质而成矿	形成于不同时代	硅灰石、石墨、红柱石、夕线石、透辉石、石棉等矿床。如湖南常宁水底下硅灰石矿床，广东佛冈桐溪石棉矿，粤西郁南大王山夕线石矿床（伴生有红柱石），新疆库勒苏克塔格能厄肯红柱石矿
	动力变质变成矿床	强烈的逆推覆构造或韧性剪切变形作用	形成于不同时代	蓝晶石矿、金矿。如吉林柳树沟石英蓝晶石矿，吉林华甸夹皮沟金矿
受变质沉积—火山沉积变质热液叠加改造矿床	热液来自区域变质稍后阶段	原受变质矿床又受到热液叠加改造	太古宙—古元古代	富铁矿、硼矿、铅锌矿、部分滑石矿和菱铁矿。如辽宁弓长岭富铁矿，四川冕宁泸沽富铁矿、海南石碌铁矿，辽宁海城和山东莱芜滑石矿和辽宁部分菱铁矿
	韧性剪切作用控矿叠加后期热液	原受变质矿床又受到热液叠加改造	古元古代以及其它时代	以金矿为主。如辽宁浑南北南龙王庙金矿，部分太古宙绿帘带金矿
区域混合岩化作用变成矿床	再生交代型	混合岩化形成的钾、钠硅酸盐熔（流）体改造原有矿源层	以太古宙—元古宙为主	锂、钽、铌、铍等稀有元素矿床，白云母矿。如内蒙古自治区分布于集宁岩群中的白云母伟晶岩矿床等
	晚期热液型	混合岩化晚期热液对原有矿床改造而加富	同上	铜、铁、硼等矿床。如辽宁宽甸县部分硼矿床，甘肃张家川回族自治县陈家庙铜矿，河北滦平县混合岩化热液交代滑石矿床

① 鞍山地质勘探公司. 1976. 鞍山式富铁矿的地质特征及其成因探讨. 铁铜矿产专辑第三集: 1—18. 地质科学研究所地质矿产研究所编.

根据以上研究结果,将本文中的分类方案的主要部分简列于表2,便于读者对比和查阅。

4 几点说明

本文初步提出变质矿床成因的分类方案,目的是抛砖引玉、促使和加强这方面的研究,使之日臻完善。文中对不同变质矿体所举实例,有的可能不够确切。混合岩化成因矿床的实例,不少也存在争议。随着今后研究的不断深入,实际资料积累比较充分后,问题将会逐步得到解决。文中存在的不妥之处,敬请读者讨论并共同商榷。

致谢:张寿广、耿元生和周喜文等同志对本文提出了许多宝贵意见,宋会侠在文字处理方面做了大量工作,在此谨表感谢!

谨以此文庆贺董申保先生诞辰九十周年和从事地质工作七十周年,并祝董老健康长寿,阖家欢乐。

参考文献 [References]:

- Belevtsev Ya N, et al. 1974. Fundamentals of the theory of metamorphic ore formation. *Geological Journal*, 44: 42–80.
- 陈从喜, 蒋少涌, 蔡克勤, 等. 2003. 辽宁早元古代富镁质碳酸盐岩建造菱镁矿和滑石矿床成矿条件. *矿床地质*, 22 (2): 166–176.
- [Chen Congxi, Jiang Shaoyong and Cai Keqin, et al. 2003. Metallogenic condition of magnesite and talc deposits in early Proterozoic Mg-rich carbonate formation, eastern Liaoning Province. *Mineral Deposits*, 22 (2): 166–176. (in Chinese with English abstract)]
- 陈文明. 1999. 中国东川式沉积型铜矿成矿模式. 第30届国际地质大会论文集第9卷, 北京: 地质出版社, 150–155.
- [Chen Wenming. 1999. Sedimentary Copper ore deposit model of Dongchuan type. Contribution of the 30th International Geological Symposium, vol. 9. Beijing: Geological Publishing House. (in Chinese)]
- 陈毓川, 主编. 1999. 中国主要成矿区带矿产资源远景评价. 北京: 地质出版社, 536.
- [Chen Yuchuan, (chief editor). 1999. Mineral Resources Assessment of Major Metallogenic Provinces in China. Beijing: Geological Publishing House, 536. (in Chinese with English abstract)]
- 陈毓川, 朱裕生, 等. 1993. 中国矿床成矿模式. 北京: 地质出版社, 367.
- [Chen Yuchuan, Zhu Yusheng, et al. 1993. Mineral Deposit Models of China. Beijing: Geological Publishing House, 367. (in Chinese)]
- 程裕淇. 1957. 中国东北部辽宁山东等省前震旦纪鞍山式条带状铁矿中富矿的成因问题. *地质学报*, 37 (2): 153–180.
- [Cheng Yuqi. 1957. Problems on the genesis of the high-grade ore in the pre-Sinian (Precambrian) banded iron ore deposits of the Anshan-type in Liaoning and Shandong Provinces. *Acta Geologica Sinica*, 37 (2): 153–180. (in Chinese with English abstract)]
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 等. 1983. 再论矿床的成矿系列问题. 中国

地质科学院院报, 第6期: 1–64.

- [Cheng Yuqi, Chen Yuchuan and Zhao Yiming, et al. 1983. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 6: 1–64. (in Chinese with English abstract)]
- 程裕淇. 1987. 有关混合岩和混合岩化作用的一些问题——对半个世纪以来某些基本认识的回顾. 中国地质科学院院报, 6: 5–19.
- [Cheng Yuqi. 1987. On migmatites and migmatization—Half a century's recollection of certain related problems. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 6: 5–19. (in Chinese with English abstract)]
- 戴仕炳, 刘连登. 1989. 浑北太古宙南龙王庙金矿床的成矿物质来源. *辽宁地质*, 3: 218–228.
- [Dai Shibing and Liu Liandeng. 1989. Origin of the forming materials of Southern Longwangmiao Archean greenstone gold deposit in northern Hunhe River, Liaoning Province, China. *Liaoning Geology*, 3: 218–228. (in Chinese with English abstract)]
- 董申保. 1999. 中国变质作用概述. 董申保文集. 北京: 北京大学出版社, 226–245.
- [Dong Shenbao. 1999. An introduction to metamorphic deposits of China. Collected Works of Dong Shenbao. Beijing: Peking University Press, 226–245. (in Chinese)]
- 关广岳. 1961. 论变质作用在鞍山式铁矿床富矿形成上的意义. *地质学报*, 41 (1): 65–76.
- [Guan Guangyue. 1961. On the role of metamorphism in the process of forming rich iron ores of Ammancken type. *Acta Geologica Sinica*, 41 (1) 65–70. (in Chinese with Russian abstract)]
- Gross G A. 1965. Geology of iron deposits in Canada I: General geology and evaluation of iron deposits. *Geologica Survey of Canada, Econ. Geol. Rep.* 22.
- Gross G A. 1980. A classification of iron formations based on depositional environment. *Canadian Mineralogist*, V 18: 215–222.
- 贺同兴. 1987. 混合岩化作用的地质成因分类. 中国地质科学院院报, 16: 95–98.
- [He Tongxing. 1987. Geological classification of migmatization. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 16: 95–98. (in Chinese with English abstract)]
- 贾琇明, 李胜容, 岳来群. 2006. 山西代县碾子沟金红石矿床地质. *地质与勘探*, 42 (6): 42–46.
- [Jia Xiuming, Li Shengrong and Yue Laiqun. 2006. Geological features and economic significance of rutile deposits in Nianzigou, Shanxi. *Geology and Prospecting*, 16 (4): 241–250. (in Chinese with English abstract)]
- 李树勋, 等. 1986. 五台山地区沉积变质铁矿地质. 吉林: 吉林科学技术出版社, 299.
- [Li Shuxun et al. 1986. Geology of Sedimentary Iron Deposits, in Wutaishan Region. Jilin: Jilin Science and Technology Press, Changchun, 1–299. (in Chinese)]
- 刘静兰. 1987. 前寒武纪条带状铁建造中的金矿床——以东风山金矿床为例. *地质学报*, 61 (1): 58–71.
- Liu Jinglan. 1987. Gold deposit in precambrian banded iron bearing formations—A case study of the Dongfengshan gold deposit in Heilongjiang Province. *Acta Geologica Sinica*, 6 (1): 58–71. (in Chinese with English abstract)
- 刘兰笙, 主编. 1996. 中国黑色、有色金属矿产图集. 北京: 地质出版社, 188.
- [Liu Lansheng (chief editor). 1996. Atlas of Ferrous and Nonferrous Metal

- Resources of China. Beijing: Geological Publishing House, 188. (in Chinese)]
- 骆辉, 余克忍, 陈志宏, 等. 2002. 五台地区条带状铁建造金矿地质及成矿预测. 北京: 地质出版社, 147.
- [Luo Hui, Yu Keren and Chen Zhihong, et al. 2002. The Gold Geology and Metallogenic Prognosis of BIF-Hosted Gold Deposits in Wutaishan Area. Beijing: Geological Publishing House, 147. (in Chinese with English summary)]
- 孟繁星, 侯树桓. 1988. 乱泥塘蓝晶石地质特征和成因. 地质与勘探, 24 (3): 19–23.
- [Meng Fanxing and Hou Shuhuan. 1988. Geological features and genesis of the Luannitang kyanites deposits. *Geology and Prospecting*, 24 (3): 19–23. (in Chinese with English abstract)]
- Mockhejee A. (孙大中译). 1979. 矿石和变质作用: 时间和成因的关系. 层控矿床和层状矿床, 4: 203–215.
- [Mockhejee A. 1976. Ore and Metamorphism: Temporal and Genetic Relationship. Handbook of Stratabound and Statiform Ore Deposits. Sun D Z translated, 4: 203–215]
- 都城秋穗 (周同生译). 1972. 变质作用与变质带. 北京: 地质出版社, 492.
- [Miyashiro A. 1972. Metamorphism and Metamorphic Belts. George Allen and Unwin Ltd. London. Zhou Tongsheng translated. (in Chinese)]
- 裴荣富, 主编. 1995. 中国矿床模式. 北京: 地质出版社, 357.
- [Pei Rongfu (chief editor). 1995. Mineral Deposit Models of China. Beijing: Geological Publishing House, 357. (in Chinese)]
- 钱大都, 主编. 1996. 中国矿床发现史(1–29卷). 北京: 地质出版社.
- [Qian Dadu (chief editor). 1996. The Discovery History of Mineral Deposits of China (1–29 volumes). Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)]
- 沈保丰, 翟安民, 陈文明, 等. 2006. 中国前寒武纪成矿作用. 北京: 地质出版社, 1–362.
- [Shen Baofeng, Zhai Anmin and Chen Wenming, et al. 2006. The Precambrian Mineralization of China. Beijing: Geological Publishing House, 1–362. (in Chinese with English summary)]
- 沈承珩, 王守伦, 陈森煌, 等. 1995. 世界黑色金属矿产资源. 北京: 地质出版社, 486.
- [Shen Chengheng, Wang Shoulun, Chen Senhuang, et al. 1995. Ferrous Metals Resources of World. Beijing: Geological Publishing House, 486. (in Chinese)]
- 沈其韩. 1998. 华北地台早前寒武纪条带状铁英岩地质特征和形成的地质背景. 见: 程裕淇主编. 华北地台早前寒武纪地质研究论文集. 北京: 地质出版社, 1–30.
- [Shen Qihan. 1998. Geological characteristics and forming environment of Early Precambrian banded iron formation in north China platform. // Cheng Yuqi (chief editor): Research Contributions of Early Precambrian Geology of North China Platform. Beijing: Geological Publishing House, 1–30. (in Chinese)]
- 斯米尔诺夫 B. M. (矿床地质学翻译组译). 1982. 矿床地质学.
- [Smirnov V M. 1976. Geology of Mineral Deposits. (4th edition) Moscow: Nedra. (in Russian)]
- 王和胜. 1998. 辽宁早前寒武纪金、铜、铅、锌(银)矿床变质成矿系列研究. 前寒武纪研究进展, 21 (3): 10–19.
- [Wang Hesheng. 1998. Study of early Precambrian Au, Cu, Pb, Zn (Ag) ore deposits from metamorphic metallogenic series in Liaoning. *Progress in Precambrian Research*, 21 (3): 10–19. (in Chinese with English abstract)]
- 王英才. 1987. 夹皮沟矿区金矿床的分布规律与成矿模式. 地质与勘探, 7: 8–13.
- [Wang Yingcai. 1987. Distribution regularities and mineralization models of gold deposits in the Jiapigou mining district. *Geology and Prospecting*, 7: 8–13. (in Chinese with English abstract)]
- 王永勤, 主编. 2001. 中国固体燃料非金属矿床图集. 北京: 地质出版社, 1–263.
- [Wang Yongqin (chief editor). 2001. Atlas of Solid Fuel and Nonmetal Resources of China. Beijing: Geological Publishing House, 1–263. (in Chinese)]
- 熊先孝, 姚超美. 1996. 海州式磷矿床地质特征及其成矿模式. 矿床地质, 15 (2): 177–187.
- [Xiong Xianxiao and Yao Chaomei. 1996. Geological feature and metallogenic model of Haizhou type phosphorite deposit. *Mineral Deposits*, 15 (2): 177–187. (in Chinese with English abstract)]
- 徐少康, 苏茵, 周希贤, 等. 1997. 八庙–青山金红石矿床金红石特征及成因. 河南地质, 15 (4): 252–259.
- [Xu Shaokang, Su Yin and Zhou Xixian, et al. 1997. Characteristics and genesis of rutile of the Bamiao–Qingshan rutile deposits. *Henan Geology*, 15 (4): 252–259. (in Chinese with English abstract)]
- 徐少康, 李博昀, 周希贤, 等. 1998. 东秦岭东段金红石矿床成因类型、地球化学特征及分布规律. 河南地质, 16 (4): 241–250.
- [Xu Shaokang, Li boyun and Zhou Xixian, et al. 1998. Genetic types, geological property and distribution regularities of rutile deposits in the East Qinling of China. *Henan Geology*, 16 (4): 241–250. (in Chinese with English abstract)]
- 杨春亮, 沈保丰, 官晓华. 2005. 我国前寒武纪非金属矿产的分布及其特征. 地质调查与研究, 28 (4): 257–264.
- [Yang Chunliang, Shen Baofeng and Guan Xiaohua. 2005. Characteristics and distributions of the Precambrian Nonmetal deposits in China. *Geological Survey and Research*, 28 (4): 257–264. (in Chinese with English abstract)]
- 姚培慧, 主编. 1993. 中国铁矿志. 北京: 冶金工业出版社, 1–662.
- [Yao Peihui (chief editor). 1993. Iron Ore Deposits of China. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1–662. (in Chinese)]
- 姚培慧, 主编. 1995. 中国锰矿志. 北京: 冶金工业出版社, 1–541.
- [Yao Peihui (chief editor). 1995. Records of Chinese Manganese Ore Deposits. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1–541. (in Chinese)]
- 张秋生, 等. 1984. 中国早前寒武纪地质及成矿作用. 吉林: 吉林人民出版社, 1–536.
- [Zhang Qiusheng, et al. 1984. Geology and Metallogeny of the Early Precambrian in China. Jilin: Jilin People's Press, 1–536. (in Chinese)]
- 张秋生, 等. 1988. 辽东半岛早期地壳与矿床. 北京: 地质出版社, 574.
- [Zhang Qiusheng, et al. 1988. Early Crust and Mineral Deposits of Liaodong Peninsula, China. Beijing: Geological Publishing House, 574. (in Chinese)]
- 章少华. 1995. 镁质碳酸盐建造区域变质及其非金属矿成矿系列. 矿床地质, 14 (1): 90–98.
- [Zhang Shaohua. 1995. Regional metamorphism of magnesium carbonate formation of China and its nonmetallic minerogenic series. *Mineral Deposits*, 14 (1): 90–98. (in Chinese with English abstract)]
- 张贻侠, 叶廷松, 阎鸿铨, 等. 1986. 冀东太古代地质及变质铁矿. 中华人们共和国地质矿床部地质专报–区域地质第6号, 北京: 地质出版社, 179.
- [Zhang Yixia, Ye Tingsong and Yan Hongquan, et al. 1986. The Archaean Geology and Banded Iron Formation of Jidong, Hebei Province. Geological Monograph Series 1. No. 6. Beijing: Geological

Publishing House, 179. (in Chinese with English summary)]
赵一鸣, 等. 1990. 中国夕卡岩矿床. 北京: 地质出版社, 354.
[Zhao Yiming, et al. 1990. Skarn Deposits of China. Beijing: Geological Publishing House, 354. (in Chinese with English abstract)]
赵一鸣, 吴良士, 等. 2004. 中国主要金属矿床成矿规律. 北京: 地质出版社, 411.
[Zhao Yiming and Wu Liangshi, et al. 2004. Metallogeny of Major Metallic Ore Deposits in China. Beijing: Geological Publishing

House, 411. (in Chinese)]
赵一鸣, 李大新, 陈文明, 等. 2006. 内蒙古羊蹄子山沉积变质型钛铁矿——一个新的钛铁矿矿床类型的发现. 矿床地质, 25 (2): 113–122.
[Zhao Yiming, Li Daxin and Chen Wenming, et al. 2006. Yangtizishan metamorphosed sedimentary titanium deposit: Discovery of new genetic type of titanium deposit. *Mineral Deposits*, 25 (2): 113–122. (in Chinese with English abstract)]

Discussion on Genetic Classification of Metamorphic Ore Deposits

SHEN Qi-han

(*Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*)

Abstract: This paper discusses the definition of the metamorphic ore deposits. On the basis of the preceding study, a new genetic classification scheme is tentatively put forward, in which 5 types and 13 subtypes are discriminated, and representative ore deposits examples are given for each type and subtype. The new classification is shown as follows. (1) Metamorphosed ore deposits, which are subdivided into five subtypes: the metamorphosed banded iron formation (BIF) sedimentary subtype, the metamorphosed BIF volcano-sedimentary subtype, the other metamorphosed sedimentary-volcano-sedimentary formation subtype, the metamorphosed igneous alteration ore deposits subtype and the metamorphosed spilite-keratophyric volcano-eruptive sedimentary ore deposits subtype; (2) Metamorphic ore deposits of regional metamorphism. Three subtypes are included: the metamorphic recrystallization subtype, the components recombination by metamorphic chemical reactions subtype and the metamorphic hydrothermal ore deposits subtype; (3) Metamorphic ore deposits of local metamorphism. Three subtypes are determined: the skarn ore deposits of contact-metasomatism subtype, the local thermal contact-metamorphic subtype and the local dynamo-metamorphic subtype; (4) Metamorphosed sedimentary-volcano-sedimentary ore deposits superimposed and transformed by metamorphic hydrothermal solutions; (5) Ore deposits by migmatism. Two subtypes are included: the migmatitic-metasomatic subtype and the later stage migmatitic-hydrothermal subtype.

Key words: metamorphosed ore deposits; metamorphic ore deposits; migmatitic ore deposits; local metamorphism; regional metamorphism