

根据矿物中包裹体的研究对玢岩铁矿的新认识

李秉伦 谢奕汉 王英兰

(中国科学院地质研究所)

近年对宁芜地区玢岩铁矿矿物中的包裹体,进行过大量的测温工作,取得一定成果。但各种类型铁矿的测温结果,基本相同,例如磁铁矿的形成温度,大都在310℃到450℃之间^[1]。这与矿床成因类型的划分有矛盾^[2],亦影响到玢岩铁矿模式的确立和对成矿作用的理解。作者等对该地区某些火山岩铁矿矿物中的包裹体所进行的再研究中,找到大量固体包裹体。在测温工作中,除肯定前人工作成果外,在某些矿床中发现了一组高温包裹体。在包裹体的气体成分研究中,发现气体成分与矿床产状有密切的关系,并影响矿物共生组合性质,从而对矿床的成因和演化,有了进一步的认识。现简述如下:

一、矿物中包裹体的形态、物相特征及其分布

辉石中的包裹体,在矿浆型矿床和岩浆后期高温气液交代型矿床中,主要是融熔包裹体,在其它类型矿床中,主要是气液包裹体。融熔包裹体呈辉石负晶形或椭圆形,大小不等,分布不均匀(照片1)。在显微镜下,包裹体的透明部分为无色或淡绿色玻璃,其中偶见磷灰石及磁铁矿;暗色部分约占总面积的1/3到2/3。其它类型的包裹体极少见。

石榴石中的包裹体,有固体包裹体和流体包裹体。在矿浆矿床中的固体包裹体,又可分为晶质包裹体和玻璃包裹体。其中玻璃包裹体是由无色玻璃和不规则气泡所组成的。在流体包裹体中偶见多相、气相和液相等包裹体。其中多相包裹体,有的是由衬里状的石榴石、六方柱状磷灰石、短柱状辉石、黄褐色的均质矿物、水溶液、液体CO₂和气泡等7个相所组成。有的是由石盐和钾盐晶体、液体和气泡所组成的高盐度包裹体。

磷灰石中的包裹体,种类繁多,包括:①由磁铁矿、辉石、石榴石组成的晶质包裹体。②带气泡的玻璃包裹体。在这类包裹体附近常有细小的气体包裹体和液体包裹体。③多相包裹体多呈负晶状,内部有磷灰石衬里(照片2),由石盐、磁铁矿、辉石(?)、液体和气体所组成。④气体包裹体呈细小的短柱,平行磷灰石C轴排列,密集分布。⑤液体包裹体,呈负晶状,沿愈合的裂隙分布,边部有磷灰石衬里。有意思的是,这种液体包裹体当破裂后,等到自然干涸时,在原来包裹体的洞穴中出现晶体矿物,它们是包裹体溶液中溶质结晶的。现已得到几种成分的包裹体:a)石盐和纤维状矿物(磷灰石?);b)碳酸盐矿物、磷灰石(?)和粒状矿物(照片4);c)石盐、碳酸盐矿物和粒状矿物。这些矿物相还有待进一步鉴定。

磁铁矿中的包裹体,在扫描电镜下观察,有玻璃包裹体、高盐度液体包裹体和气体(或稀溶液)包裹体。玻璃包裹体的边缘和内部有裂纹(照片3)。

在矿浆型矿床晶洞中的石英和方解石,前者以气体包裹体为主,后者以液体包裹体为主(照片5)。它们与热液矿床的包裹体最大区别是少而小,但形状常较规则。

在钾钠长石化闪长岩的斜长石中,有形状不规则的玻璃包裹体,其边部有黑色裂纹。

硬石膏和菱铁矿中的包裹体,多为负晶状液体包裹体,数量多而大,具有热液成因特点。

各种类型包裹体的分布:固体包裹体主要分布在矿浆型矿床(梅山、姑山)中,其次是岩浆后期气液交代矿床(如陶村)和伟晶脉状矿床(如太山)中。在矿浆型矿床最早形成的辉石中,只有固体包裹体,在稍后形成的石榴石、磷灰石和磁铁矿中,除固体包裹体外,还有多相、气相和液相包裹体。在矿浆矿床的晶洞中较早形成的石英内,多为气相包裹体,而较晚形成的方解石中则为液体包裹体,这表明此时成矿流体已从矿浆过渡为矿液,也就是矿浆矿床的成矿作用是从“乾”的矿浆开始,到矿液结束,与岩浆成岩作用相类似。

在岩浆后期气液交代矿床和伟晶脉早期形成的辉石和磷灰石中,也有较少的融熔包裹体,在它们的热液阶段以及接触交代(如白象山式)形成的矿物中,则主要为气液两相包裹体。包裹体的这种分布特征,表明与闪长(玢)岩侵入体有成因联系的这一系列成因类型不同的矿床,其成矿作用是由岩浆分异后期的残浆开始,并演化到热液的。由此证明了玢岩铁矿包括两个成因系列^①,即铁矿浆矿床和残浆气液矿床。它们各具特点,但都是从熔浆开始,并逐渐转变为气液成矿的。

二、包裹体测温

用均匀法和热爆法测温得知:1)几乎所有的火山岩铁矿都有一组以上的成矿温度(图1、2),表明具有多次成矿的特点;2)各种类型矿床的磁铁矿,除具有该成因特点的成矿温度外,都遭受了热液作用,使铁成矿或富化;3)融熔包裹体的大量发现及其温度的测定,证明矿浆和岩浆后期成矿作用是从融熔物开始的。

均匀法测温结果列于表1及表2,因为火山岩铁矿属于浅成或表成矿床,上覆压力较小,均匀化温度不做压力校正,近似的定为成矿温度的下限。

热爆法测温:热爆仪的温度用 α -石英和 β -石英的相变温度标定。包裹体热爆温度数据与磁铁矿和石英矿物对氧同位素平衡温度的对比表明:二者测温结果十分接近。因此我们认为热爆测温数据是可以信赖的。根据几百个热爆法测温数据,制成图3、4、5。

根据上述测温结果,本区火山岩铁矿的形成温度可归纳为:

1. 铁矿浆矿床系列:浅成矿浆型铁矿(如梅山)的形成温度为1075℃到120℃,其中磁铁矿的形成温度区间为840℃到450℃。而表成矿浆型铁矿(如姑山)赤铁矿的形成温度为1040℃到350℃之间,比浅成矿床的成矿温度高。这与喷出岩成岩温度高于深成岩相似。在矿浆型铁矿中普遍发育的赤铁矿化,发生在400℃到350℃,而形成菱铁矿和黄铁矿的热液温度为280℃到260℃之间。

^①吴利仁1978年资料

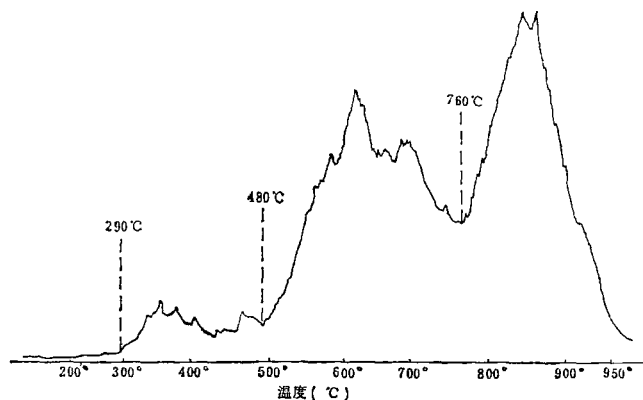


图1 梅山赤铁矿化磁铁矿热爆温度曲线
Fig. 1. Decrepitation temperatures of hematitized magnetite from Meishan.

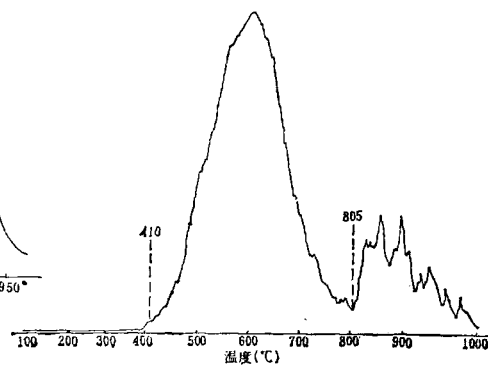


图2 陶村磁铁矿热爆温度曲线
Fig. 2. Decrepitation temperatures of magnetite from Taocun.

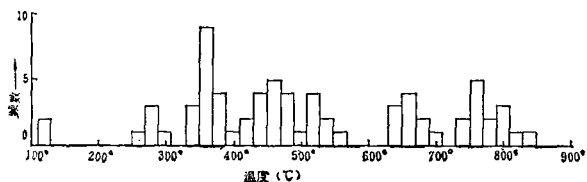


图3 梅山铁矿磁铁矿和赤铁矿等矿物的热爆温度频数图
Fig. 3. Frequency of decrepitation temperatures of magnetite, hematite, etc. from Meishan iron deposit.

图4 姑山铁矿赤铁矿、磁铁矿等矿物热爆温度频数图
Fig. 4. Frequency of decrepitation temperatures of hematite, magnetite, etc. from Gushan iron deposit.

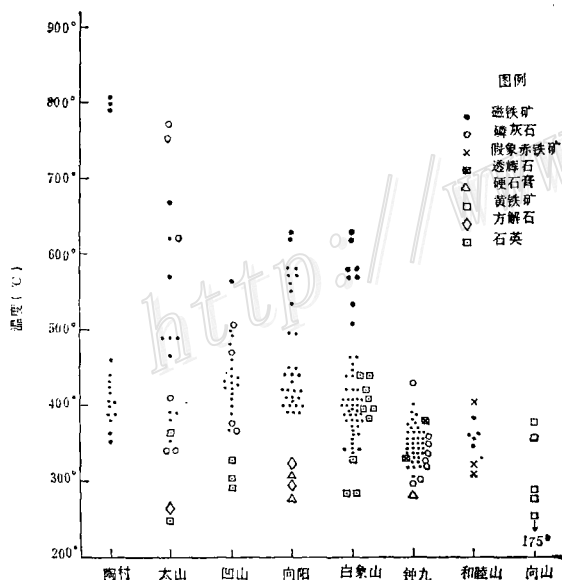
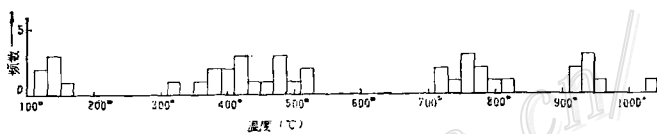


图5 某些岩浆后期—气液交代充填铁矿矿物中包裹体的热爆温度①

Fig. 5. Decrepitation temperatures of inclusions in minerals of some replacement and filling iron deposits of late magmatic-pneumato-hydrothermal stages.

① 钟九、和陆山、向山和凹山矿床的热爆温度系根据李荫清等1978年资料

梅山和姑山矿浆型铁矿物中固体包裹体及其均匀化温度

表 1

主矿物名称	产 状	常温下包裹体的特点	在加热过程中包裹体的变化	测温方法及均匀化温度
长 石	闪长岩	形状不规则。固体物质以透明玻璃为主,并有少量微晶矿物,在包裹体的边部有裂纹	加热到 600℃ 时,出现气泡,在 1116—1145℃ 气泡消失,降温时又出现一个以上的气泡。微晶矿物在 1187℃ 恒温 1 小时无变化	显微加热台法。 1116—1145℃
普通辉石	与磁铁矿、磷灰石(有时和钙铁榴石)共生,为矿浆型铁矿的主要矿石	形状为长方形,椭圆形及不规则状。由玻璃、磁铁矿、磷灰石及形状较规则或不规则的气泡所组成	升温至 800℃,出现圆形气泡,在 1050℃,恒温 8 小时有的包裹体均匀为黑色物质,有的包裹体呈两种颜色,一种为无色的,另一种为深色的,在深色部分有微细透明矿物,在 1075℃ 均匀化,在 1100℃ 时,标本部分熔化	淬火法 1025—1075℃
钙铁榴石	与磁铁矿、辉石、磷灰石共生,构成矿浆型铁矿的主要矿石	形状较规则,分晶质包裹体和玻璃包裹体两种。它们与气相和气液固多相包裹体共生	在 800℃ 时,玻璃包裹体中出现气泡,在 1050℃,恒温 8 小时均匀化	淬火法 1050℃
磷 灰 石	在矿浆型矿床中与磁铁矿和普通辉石共生	多呈负晶状或其它形状较规则的包裹体。有玻璃包裹体和晶质包裹,它们与大量的气体包裹体和气液包裹体及少量的气液固多相包裹体共生,在包裹体中常有较厚的磷灰石衬里	在 800℃ 恒温 2 小时,大部分包裹体已均匀化,但还有一部分包裹体仍有气泡	淬火法 800℃ 及 800℃ 以上

气液包裹体的特征和均匀化温度

表 2

主 矿 物 名 称	产 状	特 征	均匀化温度或均匀化温度范围
磷 灰 石	矿浆型铁矿的块状矿石,与磁铁矿和普通辉石共生	气液固多相包裹体	795℃
		与固体包裹体共生的针状气体包裹体	755℃
		较大的气液包裹体,有时含有磁铁矿	232—365℃
	伟晶矿脉	细小柱状气体包裹体,大量密集分布	520—525℃
		呈愈合脉状分布的自形液体包裹体	200—275℃ 和 330—385℃
石 英	矿浆型铁矿中的晶洞及磁铁矿石英脉,常与碳酸盐矿物共生	主要为气体包裹体及少量的液体包裹体	均匀化温度区间为 170°—350℃ 以 287—350℃ 最多
硬 石 膏	与透辉石、金云母、磁铁矿等矿物共生,分布在白象山式铁矿中	包裹体呈长方形或立方体形,有液体包裹体,气体包裹体及多相包裹体	有三组均匀化温度 200—250℃ 325—395℃ 710—760℃
菱铁矿,铁白云石等碳酸盐矿物	交代辉石、石榴石为热液成因矿物	为液体包裹体,呈菱形、方形、椭圆形及不规则形	140—155℃ 和 200—275℃

2. 残浆气液矿床系列: 岩浆后期气液交代矿床(如陶村)的开始形成温度低于1116℃, 其中透辉石和磷灰石中有玻璃包裹体, 矿石中有800℃左右形成的磁铁矿, 应属于岩浆后期形成的。而在460℃到360℃大量形成磁铁矿, 则为气液阶段形成的。

伟晶脉状铁矿(如太山)的形成温度为770℃到250℃, 其中磁铁矿的形成温度为670—355℃。

接触交代矿床(如白象山、向阳)磁铁矿的形成温度, 在接触交代作用阶段约为630℃到500℃, 而热液作用阶段则为460℃到330℃, 磁铁矿主要在热液阶段形成。

根据李荫清等的研究, 钟九和和睦山铁矿的磁铁矿, 主要的形成温度为380℃到320℃, 应属热液矿床。它们分布在闪长(玢)岩岩体的外接触带的沉积岩层中。总之, 以闪长(玢)岩为中心而分布的残浆气液系列矿床, 形成温度随远离岩体而降低, 具有明显的温度分带现象。

三、包裹体的气体成分

根据一百多个样品的包裹体的气体成分分析, 已知其主要成分为 H_2O 、 CO_2 、 CO 、 CH_4 和 H_2 , 未检出 N_2 和 O_2 , 但含硫气体未分析。

包裹体气体成分中的还原性气体(H_2 、 CO 、 CH_4)克分子总数和 CO_2 克分子数之比, 定义为还原参数。该参数越大, 环境的还原性越强, 反之越弱。姑山铁矿的铁矿物为赤铁矿, 它与石英(有时有磷灰石)共生。赤铁矿包裹体的气体成分为 H_2O 和 CO_2 , 还原参数为零, 属于氧化环境中的表成矿床。梅山铁矿为浅成矿床, 铁矿物为磁铁矿, 它与含 Fe^{3+} 的钙铁榴石及含 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的普通辉石共生, 包裹体的气体成分除 H_2O 、 CO_2 外, 还有少量的 H_2 、 CO 和 CH_4 , 还原参数为0.056, 属于弱还原环境中的浅成矿床。向阳铁矿形成深度较大, 铁矿物为磁铁矿, 它与阳起石、金云母等矿物共生。磁铁矿包裹体的气体成分, 除 H_2O 和 CO_2 外, 含有较多的 H_2 、 CO 和 CH_4 , 还原参数为0.113, 比前者还原性为强。

还原参数的变化, 反映出成矿流体的氧逸度的变化。当还原参数高时, 变价元素如铁不能形成高氧化态矿物(如赤铁矿)。还原参数低时, 变价元素如铁, 不易形成低氧化态矿物(如磁铁矿)。

四、结 论

根据上述研究, 得到如下初步结论:

1. 玻璃包裹体及其均匀化温度测定, 以及在磁铁矿和赤铁矿的热爆温度中发现有一组高温包裹体, 证明矿浆和岩浆后期成矿作用在本区某些火山岩铁矿中确实存在。

2. 各种包裹体在依次晶出的矿物中的分布情况, 表明宁芜地区玢岩铁矿可分为两个成因系列: 其一是从硅酸盐熔体中熔离出来的铁矿浆矿床; 其二是岩浆分异演化后期的残浆气液发展形成的铁矿。它们各具特点, 但都是从熔体开始成矿, 逐步转变为气液成矿的。

3. 本区各种成因类型的火山岩铁矿, 大多受到后来的热液作用, 使原来矿床遭到改造而富化。这已由铁矿物热爆温度的分布频数得到证明。

4. 以闪长(玢)岩岩体为中心而分布的各种成因矿床,成矿温度随着远离岩体而降低,具有明显的温度分带现象。

5. 从包裹体气体成分和矿物共生特点的研究中得到如下启示:在成矿作用中矿物的形成和演化,不仅决定于成矿熔体或溶液的成分,而成矿流体中的气体成分也起决定性的作用。成矿作用是在不同温压条件下的成矿流体中的熔体或溶液与气体相互作用中发生和发展的。

参 考 文 献

- [1] 李荫清、魏家秀、周兴汉、马秀娟 1978 某玢岩铁矿床中气液包裹体特征和成矿温度 地质学报 第52卷 第1期
[2] 宁芜研究项目编写小组 1977 宁芜玢岩铁矿 地质出版社

NEW UNDERSTANDING OF PORPHYRITE TYPE IRON ORE DEPOSITS ACQUIRED THROUGH INCLUSION STUDIES

Li Binglun, Xie Yiham and Wang Yinglan

(*Institute of Geology, Academia Sinica*)

Abstract

A reinvestigation on inclusions in minerals of volcanic iron ore deposits from Nanjing-Wuhu region indicates convincingly the presence of ore-magma and deuteric mineralization during the formation of some of these deposits.

The main minerals in the hypogene ore-magma deposits are determined to have crystallized in the sequence of pyroxene, garnet, apatite, magnetite, quartz and calcite. Of these minerals, different ones contain diverse inclusions: in pyroxene, there occur mainly melt inclusions; in garnet, apatite and magnetite, gas-liquid-solid polyphase and gas-liquid biphasic inclusions are found together with melt ones; quartz in miarolitic cavity contains primarily gas inclusions; and calcite has in it chiefly liquid inclusions. All this demonstrates that ore-forming processes of ore-magma deposits started from "dry" ore magma and then gradually converted into ore fluids.

Of numerous iron deposits spatially related to diorite or porphyrite, the deuteric pneumato-hydrothermal metasomatic iron deposits occurring within the intrusion have in their early pyroxene and apatite melt, polyphase and biphasic inclusions, while the contact-metasomatic and hydrothermal deposits contain predominantly biphasic inclusions, which suggests that the ore-forming processes of these diverse deposits associated with diorite or porphyrite must have also

started with the residual magma, then evolved into the hydrothermal stage. These facts bear out the claim that porphyrite iron deposits includes two genetic series, the iron ore magmatic deposits and residual magmatic deposits.

The ore-forming temperatures of volcanic iron deposits have been measured and summarized thus,

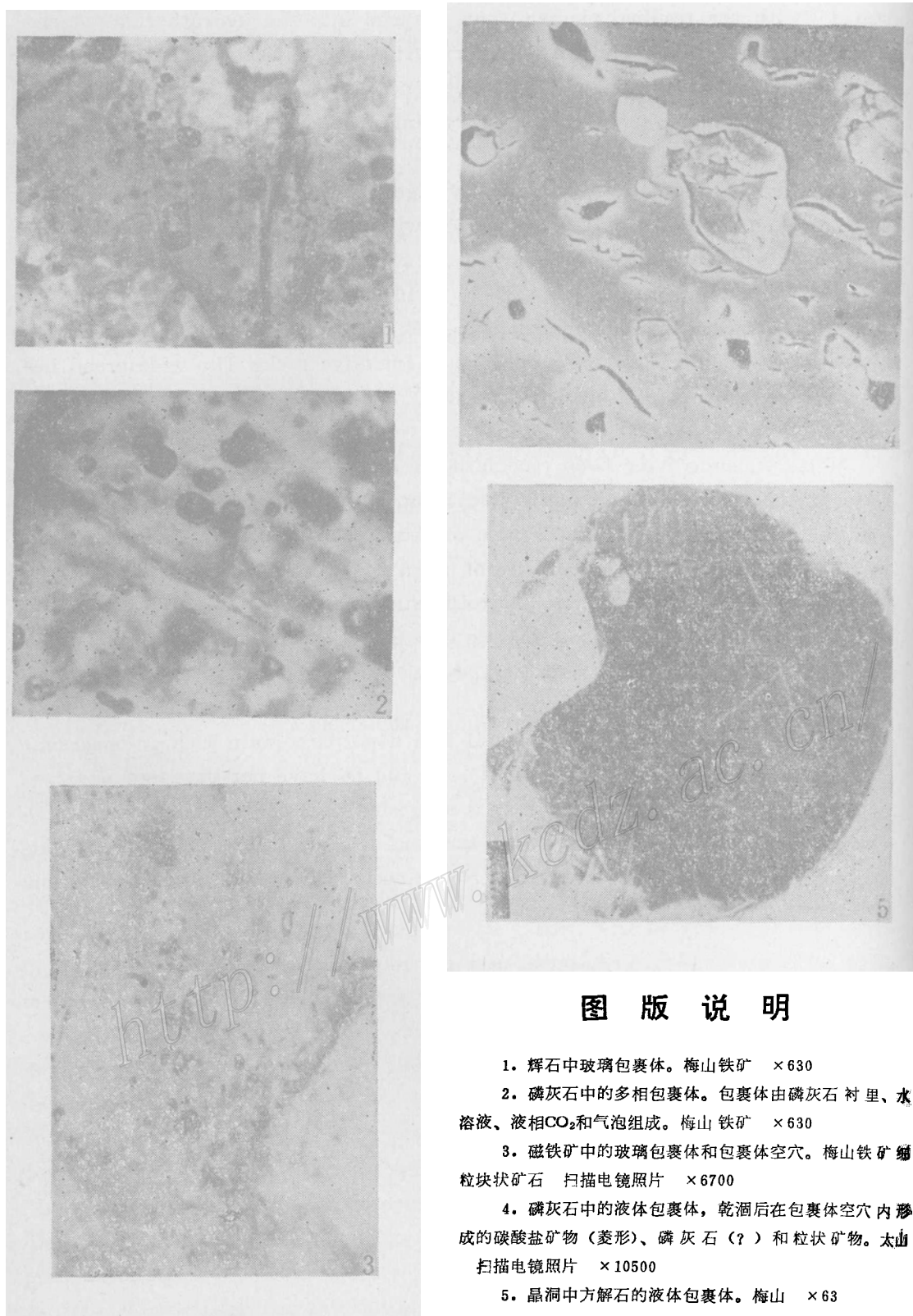
Ore-forming temperatures of the hypogene ore-magma iron deposits (Meishan) were in the range of 120°C to 1075°C with magnetite formed between 450°C and 840°C, while hematite from the supergene ore-magma iron deposits (Gushan) has formation temperatures from 350°C to 1040°C, higher than those of hypogene deposits. Such a phenomenon can well compare with the high formation temperatures of extrusive rocks relative to intrusive rocks. The widespread hematitization took place from 350°C to 400°C while siderite and pyrite occurred from 260°C to 280°C.

Melt inclusions have been recognized in early apatite and diopside of deuteric pneumato-hydrothermal metasomatic deposits (Taochun). Impregnated magnetite has decrepitation temperature of about 800°C, indicating a deuteric genesis, whereas significant quantities of magnetite were deposited from 360°C to 460°C, assigned to the pneumato-hydrothermal stage.

Magnetite in contact metasomatic deposits (Baixiangshan and Xiangyang) was formed approximately from 500°C to 630°C during the hydrothermal stage, the main stage of its deposition.

Inclusions in minerals from several iron deposits contain such gaseous components as H_2O , CO_2 , CO , CH_4 and H_2 . N_2 and O_2 have not yet been observed and sulphuric gases not analysed. It is suggested that $CO_2 + CH_4 + H_2$ (Mol)/ CO_2 (Mol) be defined as reduction parameters, and a discussion is made concerning the relationship of these parameters to ore occurrence and mineral association.

<http://www.kci.go.kr>



图版说明

1. 辉石中玻璃包裹体。梅山铁矿 $\times 630$
2. 磷灰石中的多相包裹体。包裹体由磷灰石衬里、水溶液、液相 CO_2 和气泡组成。梅山铁矿 $\times 630$
3. 磁铁矿中的玻璃包裹体和包裹体空穴。梅山铁矿 细粒块状矿石 扫描电镜照片 $\times 6700$
4. 磷灰石中的液体包裹体，乾涸后在包裹体空穴内形成的碳酸盐矿物（菱形）、磷灰石（？）和粒状矿物。太山 扫描电镜照片 $\times 10500$
5. 晶洞中方解石的液体包裹体。梅山 $\times 63$