

黄金科技丛书

金银矿产选集

第十八集

主编 杜希明

冶金工业部黄金情报网

国家黄金管理局长春黄金研究所

一九九二年九月

目 录

1. 超大型或大型金矿床的某些矿物学特征	邵洁涟 (1)
2. 华北陆台北缘带金矿类型及成矿条件	姚凤良 (5)
3. 气相色谱分析在研究金矿床中的应用	廖凤先、王卿铎 张振儒 (12)
4. 金矿石的工艺矿物学与工艺矿相学及选冶工艺学的研究*	林文通 (15)
5. 中国东部地洼区不同构造层中地洼期岩金矿成矿地质特征	马文念 (19)
6. 绿岩带内超大型矿床的成矿地质条件与中国绿岩型金矿对比	周作侠 (26)
7. 金矿工业指标综议	梁裕智 (33)
8. 向地壳深处要金矿	张甲忠 赵书玉 (37)
9. 浅论金和银矿床的地质考古学找矿	谢贵明 (43)
10. 阴极发光光谱在金矿床评价中的应用	陈梦熊 (46)
11. 黄铁矿的热电性在金矿勘查中的地质意义	真允庆 唐耀林 (50)
12. 化探金异常评价方法探讨	张世照 (57)
13. 综述含金剪切带内的构造环境对矿脉类型及分布的控制	戴立军 (60)
14. 硫化铜镍矿床中伴生金矿床的成因类型	陈 源 (63)
15. 长江中下游铁帽型金矿床中针铁矿的标型性研究	邵洁涟 李立平 (66)
16. 黄金医疗用途及其发展	郭贤才 (73)
17. 介绍一类特殊的成矿岩浆建造一个新的金矿成矿系列	刘家远 王蓉嵘 (80)
18. 中国北方金矿床铅同位素研究	贾叶飞 李 霞 (86)
19. 再论金的表生地球化学行为	王建国 洪 明 (92)
20. 黑龙江团结沟金矿的激发极化法	付万诚 (98)
21. 吉林夹皮沟剪切带中二阶段金矿化作用	孙胜龙 (102)
22. 一个被重新认识的金矿床	吴尚全 (112)
23. 吉林延边东部砂金连生体研究及研究方法	杨 翼 (120)
24. 辽宁凌源南部金控矿因素及找矿预测	苗昌德 (128)
25. 辽宁五龙金矿床地质特征及矿床成因	刘桂芝 (134)
26. 辽宁青峰山金矿区石英脉发光特征及成因预测	徐万臣 (142)
27. 内蒙额尔古纳右旗砂金地质特征及成因分析	余长岭 (140)
28. 内蒙砂金矿区区域成矿地质特征及富集规律	郭砚田 (150)
29. 内蒙赤峰官地银金矿特征及控矿因素分析	徐 发 (162)
30. 甘肃拾金坡金矿床金的赋存状态研究	唐 林 (168)

31. 河北冀东太古代变质岩区金矿源层研究·····	李纪良 (173)
32. 河北火石沟银矿床地质特征及赋存规律的探讨·····	胡献坪 (179)
33. 试论金与铁矿物的关系·····	罗天明 (185)
34. 山东胶东焦家金矿Ⅲ号脉群构造控矿特征及成矿模式·····	刘克义 (190)
35. 我国一个独特的大型砂金矿床·····	戴安周 (198)
36. 山东胶西北金矿的控矿因素及与成矿的关系·····	王炳成 (203)
37. 浅析秦巴地区超大型金矿的预测前景·····	栾世伟 唐世荣 (214)
38. 江西茅排金矿床自然金、黄铁矿的标型特征 ····· 徐海江 赖绍聪	刘晓东 (218)
39. 江西含金斑岩矿床地质特征形成条件及分布规律·····	符鹤琴 (230)
40. 安徽省金矿床中金的赋存状态及其标型特征·····	桑宝梁 陈跃志 (237)
41. 湖南湘西金矿围岩蚀变与矿化关系研究·····	郭定良 张振儒 (246)
42. 湖南金矿床的成矿特征与成因类型·····	罗献林 (254)
43. 湖北肖家铺金矿床地质特征及找矿方法浅析·····	卢明章 (264)
44. 广东河台金矿几种矿物的成因特征·····	祝廷学 (269)
45. 广东河台金矿黄铁矿找矿矿物学研究·····	周 平 (275)
46. 广西丹池矿带中银金矿物特征及其赋存状态和金属矿物的生物 结构····· 帅德权	徐新煌 (282)
47. 福建王母山金矿模式和成因探讨·····	连天萍 (298)
48. 广西桂东古里脑斑岩体地质特征及含矿性研究·····	刘鹏飞 (310)

超大型或大型金矿床的某些矿物学特征

邵洁澹

(中国地质大学)

众所周知,在储量上超过中型矿床的5—10倍以上的金矿床具有独特的形成地质条件和物理—化学条件,而找到这种大型或超大型金矿床可以带来重大的经济效益。

当前超大型矿床的寻找与理论探讨,已经引起国内外地质工作者的重视。对于超大型金矿床引出的理论探讨,国内著名学者已有不少文章,大致归纳有:

- 1.超大型金矿床在成矿作用上常常是多期次多种成矿作用叠加的产物;
- 2.在分布上具有明显的时空局限,此即著名科学家涂光炽提出的“点型”分布特点;
- 3.在成矿环境上具有封闭聚矿盆地及有利的构造环境(主要是韧或脆—韧剪切带及巨大断裂交切带);
- 4.具有充沛的矿源和活化热水介质的长期供给及充足的沉淀场所。

诚然,对超大型或大型金矿矿物学特征的研究将会对寻找、勘探和评价金矿床有重要意义。本文拟对此作某些探讨。

超大型或大型金矿床的矿物学特征大约有以下几方面:

- 1.矿床中常由数量较多的矿物种(含变种)及多成分的矿石组成:

例如八十年代发现的超大型金矿床之一——加拿大赫姆洛金矿床,已探明的矿石储量超过8500万吨,金品位为4—16g/t,平均为7.64g/t,总共含金约590吨。该矿的矿物种数达80种以上(见表1)。

赫姆洛金矿的矿石可分成四类:硅质矿石、绢云母质矿石、重晶石质矿石和黄铁矿质矿石。其中以硅质矿石含金性最好,含金量为10—15g/t,同时含0.1%辉钼矿;绢云母质矿石含金量一般为6g/t;重晶石质矿石与绢云母质矿石质含金量相同,重晶石含量20—50%,也含0.1%辉钼矿;黄铁矿质矿石中,与金关系密切的黄铁矿和辉钼矿。可见,该矿床中主要金属元素组合有金、钼、砷、锑、汞、钨及铀等多种元素。

又如南非变质砾岩型金矿床自1886年发现以来,已有一百年的开采历史,截至1985年已采黄金40214吨,产量占资本主义国家和发展中国家总量的73%,储量占63%。该矿也是多金属元素矿床,其中Au、U、Ag、Ir、Os及Cr、Zr、Ti都具有经济意义。矿床中矿物种数达77种以上(见表2)。

表 1

加拿大赫姆洛金床矿中的矿物*

自然元素	自然金、自然锑、自然砷、自然银
硫及其相似元素的化合物	黄铁矿、辉钼矿、闪锌矿、毒砂、辉锑矿、黝铜矿、砷黝铜矿、辉锑铅矿、辰砂、硫砷汞铜矿、雄黄、副雄黄、雌黄、黄铜矿、方锑金矿、磁黄铁矿、方铅矿、辉铁锑矿、车轮矿、块硫锑铅矿、硫锑铅矿、砷硫锑铅矿、特硫锑铅矿、辉砷镍矿、锑硫镍矿、辉锑镍矿、脆硫锑铅矿、硫锑铁矿、硫砷铅矿、褐硫砷铅矿、砷车轮矿、方黄铜矿、硫砷锑铈矿、砷硫铈汞矿、硫砷锑汞矿、斜硫锑铈矿、硫锑铈铜矿、硒铅矿、纤锌矿、碲汞矿、碲铅矿、碲金矿、砷锑矿、赫姆洛 1 号矿(?)
氧的化合物	石英、金红石、白云母、金云母、黑云母、含钒白云母、绢云母、砷钛钼石、微斜长石、含钡微斜长石、重晶石、榍石、磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿、铬铁矿、斜长石、硬石膏、钡砷钛钼石、褐帘石、钛锑钙石、电气石、符山石、锆石、含钒钙铝榴石、黝帘石、钙微斜长石、钠长石、角闪石、双晶石、辉沸石、白钨石、钨铁矿、磷灰石、方解石、绿泥石、独居石、烧绿石族
卤化物	萤石

① 本统计不太完全；② 在每一类别中排在前面的矿物较为常见。

表 2

南非维特瓦特斯兰德金铀砾岩型矿床中的矿物

自然元素	自然金、自然铂、铂铋矿、钨铋矿、铋铋矿、石墨、金刚石
硫的化合物	黄铁矿、砷铂矿、硫铜银矿、淡红银矿、硫铂矿、磁黄铁矿、毒砂、辉砷钴矿、方铅矿、闪锌矿、辉砷镍矿、斜方砷铁矿、白铁矿、黄铜矿、方黄铜矿、辉铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝、斑铜矿、砷黝铜矿、辉钼矿、辉铋矿、方钴矿、钴硫砷铁矿、硫钴矿、斜方砷钴矿、红砷镍矿、针镍矿、镍黄铁矿、方硫铁镍矿、四方硫铁镍矿
氧的化合物	沥青铀矿、碳铀钍矿、钍铀矿、铀钍矿、石英、锡石、铬铁矿、锆铁矿、刚玉、磁铁矿、赤铁矿、针铁矿、金红石、白钛石、黑金红石、钛铁矿、锐钛矿、板钛矿、白云母、绢云母、叶腊石、绿泥石、硬绿泥石、黑云母、高岭石、绿帘石、电气石、石榴子石、锆石、榍石、独居石、磷钇矿、方解石、白云石

又如澳大利亚的奥林匹克坝Cu-U-Au综合超大型矿床,据报道已取得不少于20亿吨矿石储量,平均含Cu1.6%, U_3O_8 0.06%,Au0.6g/t。也就是说,这个矿床已至少拥有3200万吨金属铜,120万吨铀和1200吨黄金。实际上奥林匹克坝矿床不仅仅只是Cu-U-Au综合矿床,它还含有大量的REE和Fe,且Ag、Co也可以综合回收。

我国大型金矿床胶东地区若干金矿床中的矿物,据不完全统计,其种数达60种左右(见表3)。浙江遂昌冶岭头金银矿床目前虽然未达超大型规模,但其矿物种数达77种以上(见表4)。该矿床金银矿石具有矿物成分复杂(有金银矿、银的硫化物及复杂硫酸盐类矿物,锰的硅酸盐及碳酸盐矿物和硫化物矿物,碲化物、冰长石、玉髓等)的特点。

表 3

胶东地区若干金矿床中的矿物

自然元素	自然金、自然银、银金矿、自然铜、石墨
硫的化合物	黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、白铁矿、斜方辉铋铅矿、银锑硫盐矿物、斑铜矿、辉铜矿、铜蓝、毒砂、辉钼矿、黝铜矿、辉碲铋矿
氧的化合物	石英、磁铁矿、赤铁矿、金红石、软锰矿、针铁矿、褐铁矿、硬锰矿、白云母、绢云母、黑云母、高岭石、伊利石、绿泥石、绿帘石、含铬绢云母、微斜长石、钾长石、更长石、石榴子石、锆石、榍石、褐帘石、钠长石、白钨矿、黑钨矿、钨铁矿、方解石、菱铁矿、镁菱铁矿、铁白云石、含铁方解石、菱镁矿、孔雀石、磷灰石、透石膏、重晶石、黄钾铁矾
卤化物	萤石

2. 矿区内产有多种矿石建造或不同时代的矿石建造。

例如美国内华达州卡林金矿是产量仅次于霍姆斯塔克金矿的第二大金矿。据报道,目前矿石已达5000~6000万吨,金的平均品位为0.33g/t,高的可达9.95g/t,它们已形成了包括科特兹、金地、金坑等20余个金矿床的内华达州金矿带。这个超大型金矿床产有含金石英脉建造金矿石、低温热液建造金矿石及金银矿石。

苏联西乌兹别克穆龙套金矿年产120~140吨黄金,储量可能超过4000吨。这个矿床含金建造有:金—石英建造,金—硫化物建造和金—石英—硫化物建造。

又如近年新发现的加拿大安大略省Dome金矿(金储量330吨)系由造山前火山—沉积建造中的后生层状金矿床亚类型和造山后深成火山建造中的含斑岩铜矿床及侵入体内的脉状金矿床等三种类型组成。

以上特征可进一步佐证某些超大型或大型矿床系多矿源、多期次、多成矿作用的结果。

表 4

浙江遂昌治岭头金银矿床中的矿物

自然元素	自然金、自然银、金银矿、石墨
硫及其相似元素的化合物	黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、辉银矿、螺状硫银矿、黄铜矿、白铁矿、磁黄铁矿、硫锰矿、辉钼矿、毒砂、辉铜矿、黝铜矿、银黝铜矿、辉碲铋矿、硒银矿、硒辉银矿、深红银矿、碲铋银矿、辉铜银矿、硫铜铁矿、硒硫铋铜银矿、硫铋铜银矿、黑硫银锡矿、辉铅铋银矿、硫碲铋铅矿、碲银矿、六方碲银矿、碲金银矿、碲铅矿、碲铋矿、硫碲铋铅矿
氧的化合物	石英、玉髓、赤铁矿、磁铁矿、金红石、锡石、刚玉、锐钛矿、镜铁矿、褐铁矿 铁铝榴石、锰铝榴石、石榴石、锆石、绿帘石、电气石、角闪石、白云母、黑云母、绢云母、绿泥石、高岭石、蔷薇辉石、斜长石、钠长石、更长石、正长石、微斜长石、冰长石、石膏、磷灰石、铅矾、白铅矿、白云石、方解石、锰方解石、黑钨矿、泡沸矿、孔雀石、重晶石
卤化物	萤石

3. 超大型或大型金矿床比中、小型金矿床在更为还原的条件下形成，常有多种自然元素矿物产出。

例如前述加拿大赫姆洛金矿床中的自然元素矿物有自然金、自然银、自然铋及自然砷；南非兰德金铀砾岩矿床中有自然金、自然铂、铂铋矿、铋铋矿、铋铋矿、金刚石及石墨；胶东地区若干金矿床中有自然金、自然银、银金矿、自然铜及石墨；浙江遂昌治岭头金银矿床中有自然金、自然银、银金矿、金银矿及石墨等。

4. 某些超大型或大型金矿床中产有较多的多型或变体矿物。

众所周知，类质同象的代换，只能引起晶格常数的不大变化，而晶体结构并不破坏。但如遇物理—化学条件的多次变化，就有可能引起同质多象转变成新的矿物，也可能是同种矿物多型的产生。这些现象在超大型或大型金矿床中常有出现。

例如前述兰德金铀砾岩金矿床中，出现石墨（C，六方或三方晶系）—金刚石（C，等轴晶系），金红石（ TiO_2 ，四方晶系）—锐钛矿（ TiO_2 ，四方晶系）—板钛矿（ TiO_2 ，斜方晶系），白铁矿（ FeS_2 ，斜方晶系）—黄铁矿（ FeS_2 ，等轴晶系）等同质多象变体矿物；又如赫姆洛金矿床中出现的纤锌矿（ ZnS ，三方或六方晶）—闪锌矿（ ZnS ，等轴晶系），雄黄（ As_4S_4 ，单斜晶系）——副雄黄（ AsS ，单斜晶系）；浙江遂昌治岭头金银矿床中出现的黄铁矿（ FeS_2 ，等轴晶系）——白铁矿（ FeS_2 ，斜方晶系），辉银矿（ Ag_2S ，等轴晶系）—螺状硫银矿（ Ag_2S ，单斜晶系），碲银矿（ Ag_3Te ，单斜晶系）——碲金银矿（ Ag_3AuTe_2 ，等轴晶系）——六方碲银矿

华北陆台北缘带金矿类型及成矿条件

姚凤良

(长春地质学院)

我国原生金矿床主要产于华北陆台,华北陆台金矿又大多分布于陆台边缘,构成了我国金矿主要呈环华北陆台产生的格局。就地理位置而言,除陆台中部的太行、五台有部分金矿产出外,金矿集中产于南、东、北三边地带。陆台南部边缘,金矿化集中产于陕豫交界的小秦岭地区,构成一独立的大型金矿化集中区域;陆台东部边缘,金矿化集中产于胶东半岛,为我国目前最重要的巨型金矿化集中区域;陆台北缘,包括辽、吉、冀、蒙四省区,东起吉林桦甸、西至内蒙包头,南自燕山南坡,北抵辽源—赤峰一线,在长达千余公里,面积约30万 km^2 范围内,断续分布金矿化及金矿床,是我国目前出露范围最大的金矿化带。

一、北缘带金矿化的主要特征

华北陆台南、东、北三边金矿带特征各异,但就矿化类型和控矿条件而言,南边的小秦岭和东边的胶东金矿带较为相似,北边的北缘金矿带与小秦岭、胶东相比具有独特特征,就目前所知,它们主要是:

1.北缘带范围达30万 km^2 ,远大于小秦岭及胶东两矿化集中区。带内金矿化虽然分布广泛,但不连续,矿床规模以中、小型居多,大型矿床少而分散,但其储量在矿带内占主导地位,目前已知的总储量远不及胶东和小秦岭两矿化集中区。

2.北缘带范围内地质条件复杂,东、中、西等不同区段的地质环境和演化历史不尽一致。成矿时代漫长,以太古代和中生代为主。成矿条件因地而异,金矿化的围岩类型十

($\text{Ag}_{1-x}\text{Te}_3$, 六方晶系),金红石(TiO_2 , 四方晶系)——锐钛矿(TiO_2 , 四方晶系)等同质多象变体。此外又如澳大利亚卡尔古里大型金矿床中产有碲金矿(AuTe , 单斜晶系)——板碲金银矿[($\text{Ag}, \text{Au})\text{Te}$, 斜方晶系];美国金田大型金矿床中产有碲金银矿(Ag_2AuTe_2 , 等轴晶系)和碲银矿(Ag_2Te , 单斜晶系)。

最后,作者还认为,金矿床中某些重要矿物(如载金矿物,主要脉石矿物)的某些矿物学参数(如晶胞参数、热电性参数、热发光参数、光密度参数、形态系数等)在矿物中沿不同方向变化缓慢,有可能是大型或超大型金矿床的矿物学标志之一。

参考文献 略

分多样,但在每一具体矿化地段或矿床范围内又较单一。金矿化大多受断裂构造控制,控矿构造类型繁多,既有韧性剪切带,又有脆性断裂构造,还有两者复合的断裂组合,与火山机构有关的构造系统、层间断裂构造等也控制了某些矿床类型的成矿。

3.北缘带内金的成矿作用类型复杂多样,除岩浆侵入作用和变质热液作用形成了区内的主要金矿床外,火山作用及其后期的次火山侵入作用都产生有相应的热液金矿化,某些含金矿源层在地下热液作用下也形成了工业矿床,它们的数量虽然不多,但也有形成大矿者。

4.北缘带内金矿化大多成集中区产出,带内金矿化集中区数量多,但单个集中区的范围小而分散。不同集中区的成矿环境和作用过程各有特点,带内已知的主要金矿化集中区计有:丹东、新金、岫岩、新甸、营口—盖县、辽北、桦甸、通化、阜新——义县、朝阳对面沟、赤峰、冀东北、冀西北、乌拉山等。北缘带内金矿化集中区数量之多,金矿化类型之多样以及成矿条件之复杂是其它地区所不可比拟的。

二、北缘带的地质环境

北缘带在构造上包括辽东隆起,燕辽沉降带和内蒙地轴的一部分,它们分别为华北陆台上的三个构造亚单元,三者的地质特征和发展历史有明显差异,与其有关的金的成矿作用也有一定区别。

太古宙在北缘带东段的辽东隆起(包括吉林东南),广泛出露鞍山群,在辽西为小塔子沟组和大营组,主要为变质基性火山岩,含有大量灰色片麻岩,但缺乏超镁铁质岩类。在辽北地区局部出现变质中酸性火山岩,其间含块状硫化物,相当于绿岩带中段岩序。太古宙在辽东隆起呈东西向分布,反映了基底构造轮廓。北缘带中段的冀北地区太古宙为桑干群,在冀东称之为迁西群和单塔子群,以变质基性火山岩和基性层状侵入体为主,还有变粒岩及磁铁矿层。近期研究认为其间含有众多的灰色片麻岩。北缘带西段内蒙范围内,桑干群为变质粘土、半粘土及碳酸盐岩,主要为砂线石榴片麻岩、石英变粒岩、大理岩并夹磁铁石英岩。太古宙在此多数呈东西向分布。由上可见,北缘带的太古宙多为东西向构造带,但西段至东段火山及沉积物质有一定差异,东段以基性火山沉积和中酸性火山沉积相伴产出为特点,中段以基性火山沉积为主,西段则多为火山沉积夹正常沉积。就北缘带整体而言,太古宙属绿岩带的中上部层序,且分布零星,与世界典型绿岩带有重要差别。

下元古界在北缘带出露不均匀,主要分布在东段的辽东及吉林地区。辽东的下元古界统称辽河群,北部辽河群为冒地槽堆积,南部辽河群具优地槽性质。下部为千枚岩、二云片岩、变粒岩,中部为大理岩,其间含菱镁矿,上部为千枚岩、片岩。吉林南部为集安群、老岭群,可大致与辽东对比,中段和西段元古宙分布零星,冀东下元古宙为朱杖子群,下部是变质中基性火山岩,中上部为变粒岩和磁铁石英岩。内蒙下元古宙称二道洼群,由角闪斜长麻岩、磁铁石英岩、大理岩等组成。可见,北缘带东段的下元古宙与中西段有较大差异,而与胶东下元古宙粉子山群可以类比,显示下元古宙起胶、辽

似为一体的特点。

北缘带构造的分段差异性尤为明显。东西构造在全区均有影响，但在西段的内蒙地区尤为明显，褶皱、断裂的主体方向大多为东西向。中段赤峰、冀北地区的开原—赤峰、承德—北票二条东西向大断裂影响了全区段的构造系统，但北东向断裂在此已有明显的反映，如锦州—凌源、北票—建昌、建平—努鲁尔虎、赤峰—喀喇沁等北东向断裂不仅控制着辽西、赤峰一带的火山盆地，而且还控制了中生代岩浆岩的分布。北东向断裂与东西构造交切部位成为区内岩浆岩出露和矿化分布的有利地段。东段的東西向断裂构造并不十分清晰，北东向断裂在此广泛发育，位于郑庐断裂北延部分以东的辽阳—营口、岫岩—本溪、庄河—桓仁以及鸭绿江等北东向大断裂基本控制了全区的断裂系统，并控制了区内岩浆岩以及某种程度上控制了区内金矿化的分布，从这一点看金矿区域分布，辽东与胶东的联系似乎远超过与北缘带其它地段的联系。

北缘带的岩浆活动十分频繁，除太古宙岩浆活动发育外，主要是地台后期强烈活化引起的构造岩浆活动。西段由于受北侧海西地槽影响，海西期花岗岩较为发育。中段冀北—赤峰一线以东至东段辽东、吉南地区，中生代花岗岩占主导地位，岩体多产于东西构造和北东断裂交汇处，延展受北东向断裂控制，在岩体及其岩株体的内外接触带形成了区内分布广泛的金矿化。

多种事实表明，北缘带的西、中、东三段地质环境各有特点，即西段是以太古宙为主体的东西构造带，中段是受东西构造影响，但北东构造发育的构造岩浆带，东段则为以北东构造为主体的构造岩浆带。这些地质构造环境上的差异，决定了北缘带范围内金矿化类型众多，各区段金矿化各具独特的特点。

三、北缘带金矿床类型

北缘带由于地质构造环境复杂，不同区段的地质演化历史各异，形成的金矿类型繁多，成为我国金矿类型最为复杂多样的金矿化带，对区内14个金矿化集中区内主要金矿床研究及有关资料的总结，除砂矿外，区内已知的金矿类型计有岩浆热液型、变质热液型、地下水热液改造型、火山热液型、次火山热液型、叠生热液型等金矿床，及若干伴生金矿。

1. 岩浆热液型金矿床 这类金矿床主要分布在北缘带的中段和东段，地理上位于赤峰、冀北、辽东、吉南等地。从数量上看，这类矿床在北缘带内居首位，但其规模以中、小型为主，大型规模为数不多。带内岩浆热液金矿床多与中生代构造岩浆活动有关，辽东地区成矿岩体多数为印支期产物，赤峰、冀北地区则大多为燕山中期形成。成分为花岗岩类，岩体多为中深源地壳物质重熔而成。金矿化多数产于岩体上盘的外接触带，岩体的分枝体、倾伏端及其一侧的岩株体对成矿尤为有利。空间上矿化与同源岩体相距在3—5 km以内，少数产于岩浆岩体内，容矿围岩类型多样，已知有片麻状花岗岩，灰色片麻岩，紫苏花岗岩，变质的基性、中性火山岩，变质碎屑岩类和泥岩类，其中最普遍的为变基性火山岩（斜长角闪片麻岩、斜长角闪岩类）。

近矿围岩常有明显的蚀变，蚀变有成矿前、成矿期和成矿后三种时限类型，成分硅以

化、绢英岩化为最典型。矿床严格受断裂构造控制，多数为控岩构造的次级断裂裂隙系统，部分矿体受叠加于早期韧性剪切带之上的脆性断裂裂隙控制。容矿断裂多数为边界清晰的压扭性断裂组，部分为边界不清楚的碎裂带，个别矿床与围岩的层间断裂有关。

矿体以脉状为主，多数为多阶段形成的含金硫化物石英脉，少数为少石英的含硫化物脉或网脉状矿化带。矿床常伴生有多种类型脉岩，且与成矿有密切的时、空关系。矿床微量元素、稀土元素特征与成矿的同源岩体有明显的相似性。矿石中铅大多具深源特点，成矿热液有一定数量的地下水热液参与。区内丹东、岫岩、盖县、桦甸、赤峰、冀西北等金矿化集中区以及冀东北金矿化集中区的一部分均为岩浆热液型金矿。典型的矿床有五龙、夹皮沟、红花沟、安家营子、下大铺子、峪耳崖、东坪等金矿床。

2. 变质热液型金矿床 变质热液金矿床的形成机理虽然还不十分清楚，但已有资料表明大致有三种成矿过程：一为硅铁建造中浸染状含金黄铁矿在区域变质及形变过程中再聚集成矿，金矿化与褶皱构造及断裂构造有关；二为高金丰度的镁铁质岩系在与区域变质有关的热液淋滤作用下，发生退色蚀变的同时形成含金变质热液，其后运移至扩容裂隙中充填成矿；三为高金丰度岩系在韧性剪切变形过程中受变生热液作用，使组分活化迁移或塑流，金及硫化物在韧性剪切带岩石的片理化面上聚集成矿。

区内的变质热液矿床都与韧性剪切带有关，已知的这类工业矿床均产于北缘带的中段和西段，个别产于东段者规模小且品位低，尚无工业意义。这类金矿床的规模取决于韧性剪切带的类型及矿源岩的范围和金丰度。深层次的韧性剪切带不如中浅层次的韧性剪切带有利于矿化富集。成矿的源岩多为斜长角闪质岩石，这类变基性火山岩的金丰度通常在7ppb以上，金矿化主要聚集于剪切带的糜棱片岩带中，矿化呈微细脉状含金硫化物，这类硫化物微脉分布于片岩的片理间，具有明显的定向拉长现象，其产状与糜棱片岩助调一致。矿体与围岩成渐变过渡关系。矿体及其两侧剖面上的金量测定显示驼峰式的鞍状曲线，表明金质来自矿体邻近围岩，但当矿质来自矿体下方围岩时这种关系图式就不明显。这类矿床的成矿时代大多为晚太古代。区内已知的这类变质热液矿床有内蒙十八顷塔、辽西排山楼、辽北南龙王庙等金矿以及冀东金厂峪金矿中的部分矿化。

3. 火山热液型金矿床 火山热液矿床按构造标志可进一步分为：火山管道相矿化、破火山口矿化、环火山口放射状、环状裂隙矿化、火山盆地边缘裂隙矿化和火山盆地内裂隙系统矿化等。区内所产多为后一种矿化，主要产于北缘带中段辽西中生代火山盆地内，红石砬子金矿便是区内近年来发现的典型矿例，其特征具一定代表性。

红石砬子金矿受与区域深断裂有关的近南北向断裂带控制，相邻的南北向断裂带还控制了火山盆地中次火山岩的分布，显示出南北向断裂带对盆地内整个火山作用及后期热液活动均有重要影响。控矿断裂带长约五公里，其中侵入有流纹斑岩和花山斑岩岩墙，断裂带内富含角砾，成分有火山岩及二种斑岩岩墙角砾。断裂带内角砾分布不均匀，呈断续延展的透镜体，角砾具定向性，可拼接镶嵌，反映了它遭受隐爆和液压成因作用。金矿化为含金硅化网脉充填于角砾间而成。伴生矿物有黄铁矿、赤铁矿、磁石、蛋白石、白云石等。具有浅成低温的成矿特征。矿床内除金矿物外，还富含银，银矿物种类繁多，还伴生有铅、锌矿化，金、银、铅锌具明显的垂向分带。矿床系形成于区域火山作用晚期，是高压的含矿气水热液于封闭的断裂裂隙中猛烈上升充填的产物，地球化

学研究证实了金矿化与区域火山岩及次火山岩墙的同源联系,故属火山热液矿床。

4.次火山热液型金矿床 次火山热液矿化通常分布于斑岩体内,惯称斑岩型矿床,区内所见次火山热液金矿化的范围更为广泛,除斑岩体内有金矿化外,主要工业金矿化产于斑岩体的外接触带。区内这类金矿产于北缘带中段的辽西火山盆地边缘,矿化分布于次火山岩的侵入围岩、斜长角闪片麻岩、斜长角闪岩、安山岩和斑状花岗岩等不同岩性的围岩中,矿体受环绕斑岩体产出的放射状断裂系统控制,构成放射状矿脉群。金矿化具多阶段成矿特点。矿床地球化学研究表明斑岩体与相邻火山岩系的微量元素、稀土元素等具相关性,属于火山作用后期的次火山岩相产物,产于辽宁、内蒙二省区交界处的对面沟花岗岩体及环绕岩体分布的由金厂沟梁、二道沟、郝杖子三个矿区构成的矿田是这一矿化类型代表,此外,冀东北等地也有类似的矿化产出。

5.地下水热液渗透交代型金矿床 这类金矿的成因在国内外均有不少争论,主要为地下热卤水渗透交代和低温热液交代之争,后者意味着为岩浆或火山热液范畴,区内这类矿化有类似争议。已知的这类矿床分布于北缘带东端通化、临江一带,金矿化位于元古宙老岭群珍珠门组大理岩和花山组片岩之间,矿化沿两组不同岩性的层间断裂带分布,层间断裂带内角砾岩发育,大理岩角砾多为强烈硅化并被硅质胶结,金即含于硅化角砾岩带中。矿体呈层状或透镜状,连续性较差,矿石组合简单,硫化物含量不多。由于这类金矿化含于一定层位,且分布面较广,在辽宁境内也有显示,故引起了广泛的注意,已知的金矿床有通化南岔、南大坡金等矿。

6.叠生热液型金矿床 叠生矿床是一个含义广泛的名称,“叠生”包括不同时代矿化的叠生、不同成矿作用的叠生以及二者兼而有之三种情况。区内叠生热液型金矿属于后种情况,即早前寒武富金镁铁质岩石在前寒武纪韧性剪切带的作用下,金得到初步富集或形成部分矿化,并于显生宙脆性断裂叠加的基础上岩浆热液再次矿化,形成工业矿体。从矿化作用的强度来看,前期韧性剪切带矿化的富集程度不高,规模也有限,主要矿化大多是后期岩浆热液作用的结果。矿床宏观上受韧性剪切带控制,但主要控矿断裂并不与剪切带完全协调一致,而是常有一定交角。主体矿脉为石英脉型,分枝矿脉发育,这类矿床的地质地球化学特征及成矿年龄等均较复杂,但总体而言,岩浆热液成矿特征要强于变质热液特征,区内已知的这类金矿有冀东北的金厂峪金矿床,内蒙乌拉山金矿床等。

四、北缘带主要金矿类型的成矿条件

北缘带金矿类型众多,就矿床数量而言,岩浆热液矿床占多数,按储量而论,岩浆热液和变质热液成因二者列前位,火山和次火山热液成因的金矿在北缘带内已知的数量还不多,地下水热液成因和叠生热液成因二种类型的成因认识分歧较大。现就北缘带内数量和意义均占重要地位的岩浆热液型金矿和变质热液型金矿的成矿条件分析于下:

1.岩浆热液金矿的成矿条件

(1)区域地质构造环境 已知岩浆热液金矿床大多产于北缘带的隆起区上,少数产于与隆起区相邻的凹陷带边缘,前者如辽东台隆上的营口—宽甸隆起和铁岭、靖宇隆

起,其上产有五龙、猫岭,下大铺,夹皮沟等一系列大、中、小型金矿床,后者如产于燕山褶皱带北侧边缘的冀东北部分金矿。

北缘带岩浆热液金矿床与深断裂或大断裂有密切的空间关系。已知金矿床(点)的分布与深大断裂的展布方向相吻合、空间距离相近,通常在30 km以内。北缘带西、中、东段控制金矿的深、大断裂不尽一致,西段以东西向的大断裂控制矿化分布,中段则是东西深断裂控制矿带展布,北东大断裂及其有关断裂系统控制了矿床乃至矿体的产出。东段的金矿主要受北东向大断裂控制,东西构造带对矿化的控制很不明显,它只是在一定程度上影响与矿床相关的同源岩体的空间分布格局。

(2) 容矿围岩类型 岩浆热液金矿的容矿围岩类型十分多样,除花岗岩类外,各类变质岩似乎都可成为矿体的直接围岩,无论层位、时代、岩性并无严格专属关系。但就北缘带而言,统计表明,正常沉积岩作为容矿围岩者为数不多,变质岩类中作为金矿容矿围岩的以太古宙斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩为主,在辽西—赤峰地区这类岩石约占金矿容矿围岩总数的80%。研究表明,这类岩石的原岩为基性火山岩和基性层状侵入体,目前测定的这类岩石的金丰度均接近或低于3.5 ppb,金矿之所以以此为主要容矿围岩的原因尚不清楚,但没有迹象表明它在成矿时提供了矿质,因为不少矿区就有包括变基性岩在内的多种容矿围岩类型。反之,一旦成矿区域内缺乏这类岩石,当其它成矿条件有利时,钙质、硅质、泥质岩石均可成为容矿围岩,辽南的白云、四道沟、猫岭等金矿便是例证。

(3) 同源岩浆岩 近代研究认为含矿热液并不是岩浆侵位后随其冷凝而聚集、析出而成,北缘带众多岩浆热液金矿的矿化和岩浆侵位均有一定时差证实了这一点。当今认为含矿岩浆在深部源地就有两种分异形式:其一是含矿岩浆在源地不断分离并多期多阶段侵位,形成复式岩体,成矿组分在岩浆分异分离的晚期阶段聚集,并于晚期侵入岩之后沿断裂充填、交代成矿;其二是含矿岩浆于深部源地分异成岩浆和热液两部分,在岩浆侵位后期,热液沿断裂上升并在岩体内外接触带充填交代成矿。由此可见,与成矿有关的岩浆岩称之为“同源岩”较“母岩”更为适宜(刘连登1984)。

成矿同源岩的产出部位严格受断裂构造控制。岩体大多与深断裂相伴,北缘带东段和中段,岩体大多分布于东西和北东二组大断裂交汇处,岩体大小各异,多数呈长轴状产出,长轴展布以北东向为主,表明了北东构造的主导作用。长轴向大岩体前端常有分枝状小岩株产出,其间常有金矿化产出,五龙、热水、猫岭等金矿均产于此种环境。金矿成矿同源岩体有二种产状:一为独立的中小侵入体,成分以花岗岩和花岗闪长岩为主;一为由多种岩相、多期侵位的花岗岩系。同源岩体的时代有印支和燕山二个时期,印支期以花岗闪长岩类为主,燕山期分早、中、晚三期:早期为具片麻构造的二云母花岗岩,常为金矿的容矿围岩;燕山中期与金矿有关的侵入体有两种产状:独立的中小侵入体和多期侵位的花岗岩系,其年龄为140—180 Ma,金矿化大多分布于其外接触带的围岩中;燕山晚期花岗岩为粗粒黑云母花岗岩,为成矿后岩体,年龄为100~120 Ma。印支期和燕山中期同源岩体均伴有大量脉岩,与金矿化有密切的时空关系。已知的岩浆热液矿化,空间上位于同源岩体外接触带6 km以内。

(4) 控矿构造 区内岩浆热液金矿均受断裂构造控制,故大多成脉状产出,个别

矿床赋存于一定层位，这是含金热液于层间断裂中充填交代的结果。金矿化集中区大多与深、大断裂带相邻，相距在30km以内，这类断裂有东西、北东二组，前者时代老，演化时间长，主要有开原—赤峰，承德—北票，崇礼—赤城、青龙—喜峰口—马兰峪、浑河等断裂，北东组主要发育于中生代，与成矿有关者计有鸭绿江、岫岩—庄河，盖县—金州，凌源—北票，老哈河、喀喇沁等断裂。于润林等指出冀东地区北东向金矿带有马蹄峪—栗树湾子，金厂峪—白庙子，马圈子—响水沟、苗杖子—半壁山、安子岭—砂金沟等，它们均与断裂构造有关。应当指出的北缘带东端的早些金矿化集中区受北西构造影响，夹皮沟集中区即为此例。

金矿床的容矿断裂多数为上述断裂的次级断裂，或为其派生之低序次断裂系统。或与主断裂平行，或与之斜交。容矿断裂以压扭性者居多，部分矿体产于更次级的断裂系统中，有的研究者认为大型的断裂可能是导矿断裂。容矿断裂的形态、产状、交汇、分叉等对矿化的富集有明显关系，这在众多的论著中已有阐明，不再赘述。

2. 变质热液金矿床的成矿条件

区内变质热液金矿主要受韧性剪切带控制，变质热液是韧性变形过程中的产物。金矿变质建造是提供矿质的源岩。

(1) 含矿变质建造 变质热液金矿床的成矿物质主要来自围岩。围岩中的金通过变质热液发生塑流化作用使之得到迁移和聚集成矿。因此，含矿变质建造类型及其金丰度是这类金矿形成的重要条件。

变质岩中测得的含金量实际上有三种情况：一为原始含金量，二是经变质作用影响，原岩流失一部分金后的残余含金量，三是经变质热液或其它流体叠化后的叠加含金量，这三者只有在详细的野外地质及室内研究后才能加以区别。因此，岩石金丰度值的测定不是一个简单的取样、分析问题，而是一项综合地质研究工作。

应当明确，岩石金丰度与岩石可能提供的矿质金二者的概念是不同的。就成矿而言，重要的是金在岩石中赋存状态，而不仅仅是金的丰度。金在岩石中的赋存状态大体有三种情况：一是呈独立的金矿物存在；二是含于硫化物中；三是以多种形式含于硅酸盐矿物中。独立金矿物属于游离金，活动性最强，最易于被热液摄取或塑流时聚集。硫化物中的包含金活动性能虽不及独立金矿物，但也易于释放，有利于成矿。硅酸盐中的金活动能力弱，难于进入热液，在变质成矿中不起重要作用。

北缘带与变质热液金矿有关的建造类型主要有变质中基性火山岩建造、变质超镁铁质岩建造，变质中酸性火山岩建造，变质富铅锌碎屑岩建造等。含金变质建造在鞍山群三道沟组和红透山组、建平群小塔子沟组和大营子组，迁西群上川组和王厂组，桑干群的涧沟河组岩系中较为常见。变质热液金矿的容矿岩石类型主要有斜长角闪片麻岩、斜长角闪岩、黑云母变粒岩等。

由于岩石的含金性对变质热液成矿有重要意义，故各家对这些岩类进行了大量金丰度的测验，但所获数据差异甚大，有的高于地壳平均丰度10倍有余、有的低于地壳平均丰度，笔者测得数据三道沟组平均为2.4ppb，其中斜长角闪岩为4.75ppb，金厂峪地区为3.23ppb。对世界绿岩带含金性测定数值各家也有差别，古德文(Goodwin 1984)等测得超镁铁质岩石含金量仅为1.75和1.47ppb。可见，变质岩金丰度工作需要深入准确

气相色谱分析在研究金矿床中的应用

廖凤先 王卿铎 张振儒

(中南工业大学地质系)

(一) 利用气相色谱分析石英中包裹体成分, 可区别含金石英脉和不含金的石英脉, 从而为评价石英脉型金矿床提供了信息。据我国八个石英脉型金矿床中石英包裹体气相色谱分析资料表明, 含金石英的包裹体数目较多, 常是多相(气相、液相及固相), 在包裹体成分上, CO_2 含量较高, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 的摩尔比值较大 (>0.05), 常含 CH_4 、 H_2 而无 O_2 (表1), 贫金石英中, CO_2 含量较低, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 摩尔比值较小 (<0.05)。苏联 H.B. 别特洛夫斯基 (1971年) 在列斯基金矿床中, 发现自然金表面有大小 $0.1\sim0.5\text{mm}$ 的生长小丘, 加温 $100^\circ\text{C}\sim200^\circ\text{C}$ 时, 体积增大 1—2 倍, 当继续加温时便放出气体, 经实验证明自然金表面的生长小丘均为气、液包裹体, 利用气相摄谱仪进行成分分析, CO_2 占 $64.4\sim90\%$, H_2 占 $4.75\sim21.1\%$, Na 占 $6.75\sim16.2\%$, 上述数据表明, 自然金矿物中包裹体含有较多的 CO_2 , 因此, 包裹体中 CO_2 含量与成矿溶液中金的含量呈明显的正相关关系, 由此石英中包裹体 CO_2 成分的含量可作为评价金矿床的地球化学指示剂, 这一特点与我国许多金矿床研究结果 (CO_2 的含量较高), 相一致。R. Kerrich 和 W. S. Kyfi (1981年) 认为其机理是形成金矿化的热液是以碳酸相一致。

研究, 特别要考虑金在岩石中的赋存状态, 这是今后研究矿源的一个重要内容。

(2) 韧性剪切带的特征 韧性剪切带是地壳深处韧性变形或塑流作用造成的线形应变体。由于它通常是剪切应力作用的产物, 故称之为韧性剪切带。岩石的糜棱岩化, 糜棱叶理, 剪切片理是其重要特征。韧性剪切带内按应变的强度可分成若干个带, 自中心向外应变强度递减, 以中心强变形处及糜棱片理化发育处对成矿最为有利, 就韧性剪切带发生的深度而言, 深层次韧性剪切带往往发生变形重结晶, 而导致岩石片理化的消失从而影响矿质的聚集。浅层次的韧性剪切带往往转化为脆性断裂而成较开放的系统, 也不利于成矿。对成矿最有的是中深层次的韧性剪切带, 形成深度为 $5\sim10\text{km}$, 这一深度层次的韧性剪切带糜棱岩的叶理和片理发育, 重结晶不明显, 又处于相对封闭条件, 金最易于在此聚集成矿。

韧性剪切带对金矿的控制还表现在它常为后期的脆性断裂构造和热液矿化叠加。这种成矿本质上已属后期热液成矿, 且大多为岩浆热液矿化, 北缘带中生代构造岩浆热液叠加于太古宙韧性变形带上的例子甚多, 应注意与变质热液成矿区分开。

基和重碳酸根为配位体形成金的络合物迁移, 由于压力降低, CO_2 气体从成矿热液中逸出, 与围岩中二价阳离子 (Ca 、 Mg 、 Fe 等) 反应, 形成碳酸盐, 在还原条件下而引起金的沉淀富集, 形成金矿床。

表 1 我国各金矿床与非金矿床中石英包裹体气相成分色谱分析结果表

矿区名称	气相成分色谱分析结果 (微克/克)						备 注
	H_2	O_2	CH_4	CO_2	H_2O	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$	
湖南水口山康家湾金矿床	0.415	无	0.670	77.030	898	0.086	含金石英
湖南桃源沃溪湘西金矿床	0.527	无	0.485	723.289	3193	0.2265	含金石英
浙江遂昌冶岭头金矿床	0.884	无	1.991	401.679	2843	0.1410	含金石英
浙江璜山金矿床	0.212	无	痕	66.316	498	0.1330	含金石英
广东清远金矿床	0.697	无	5.527	143.294	478	0.2942	含金石英
新疆吉木乃金矿床	0.411	无	0.492	111.195	1651	0.067	含金石英
河南灵宝秦岭金矿床	0.122	无	0.531	789.528	992	0.796	含金石英
海南五下金矿床	0.23	无	9.029	511.519	871	0.587	含金石英
祁东清水塘Pb、Zn矿床	0.258	0.209	0.357	22.172	2602	0.009	不含金石英

(二) 利用包裹体气相色谱成分分析, 可解决金矿床的成因, 如美国著名的霍姆斯塔克金矿床, 产于前寒武纪火山岩变质地层中, 附近有第三纪地层及侵入岩分布, 该金矿床以含金石英脉为主, 呈脉状、透镜状产出, 矿物组成简单, 有石英、毒砂、黄铁矿、磁铁矿、自然金、绿泥石、方解石等, 金的平均品位为 9 克/吨, 关于金矿床成因是变质作用还是与第三纪的侵入岩岩浆热液有关, 长期争论不休, 但通过金矿床中矿物包裹体成分气相色谱分析研究, 认为该金矿床的形成与前寒武纪变质作用有关, 属变质热液成因的金矿床。因前寒武纪地层中石英包裹体气相成分与金矿床中石英包裹体气相成分特征相似, 即 CO_2 含量高, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 的摩尔比值较大, 含有 CH_4 , 相反与第三纪侵入岩及地层中石英包裹体成分特点有明显差别, 无 CH_4 , $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 的摩尔比值较小 (为 0.02~0.03), 故前者结论较为合理。

(三) 利用包裹体成分分析, 可确定金矿床的矿源层。涂光炽教授认为矿石包裹体成分与矿源层包裹体成分是否具一致性以及矿石包裹体成分特征能否反映矿源层的不同成因类型是研究包裹体成分判别矿源层的依据。我国著名的夹皮沟金矿床其围岩为鞍山群三道沟组, 其包裹体成分与含金石英脉包裹体成分相近, 尤其是 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 的摩尔比值、离子总浓度值和氧同位素 ($\delta\text{D}\%$) 更为近似 (详见表 3), 故确定三道沟组为含金石英脉矿床的矿源层。

表 2

美国霍姆斯塔克金矿床中包裹体气相成分分析表

时 代	矿 物	样品数	CH ₄	CO ₂ /H ₂ O	δD	δ ¹³ C
前寒武纪	石英	7	有	0.1~1.8	-5.5~+1120	1.3~8.4
	毒砂	2	有	0.1~1.3	-64~+84.9	—
第三纪	石英	2	无	0.02~0.03	-65~+75.2	-9.1
	白云石	1	无	/	-63.8	—
	方解石	1	无	/	-63.4	/

据李本超(1981年)资料简化。

表 3 吉林省夹皮沟金矿床含金石英脉矿石与三道沟组地层的包体成分分析对比表

地 质 体		鞍山群三道沟组	含金石英脉
水 量 (mg)		4.0	8.8
气 体 成 分	CO ₂ (mg)	0.33	0.77
	H ₂ S (mg)	有	有
	CO ₂ /H ₂ O (mol)	3.5	3.5
盐 度	K	4.0	6.3
	Na	15.0	20.8
	Ca	88.7	48.9
	Mg	7.5	5.9
	Cl	45.0	19.9
	SO ₄ ²⁻	57.5	68.2
	F	12.5	0.3
	HCO ₃ ⁻	90.0	99.5
总 浓 度		32	27
比 值	K/Na	0.26	0.30
	SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻	1.3	3.4
	HCO ₃ ⁻ /Cl ⁻	2	5
氢同位素 δD‰		-92.4	-86.06

据徐光炯等资料(1984)