

首届全国金银选矿学术会议

論 文 集

第一分册

(金银矿石工艺矿物学)

中国金属学会选矿学术委员会
中国选矿科技情报网 编
冶金部黄金情报网

1983.9

编 者 的 话

为适应金银选矿工艺研究迅速发展的形势要求而决定联合召开首届全国金银选矿和全国金银工艺矿物学学术交流会议以来，共收到论文百余篇。现将经论文审查小组审查后录取之论文按其论述内容分三册印出，供大会交流。其中，第一分册收录了有关金银矿石工艺矿物学研究方面的论文31篇；第二、三分册收录了金银矿石选矿工艺研究，多金属矿石中金银综合利用研究，以及金银生产方面的论文共68篇。

来稿内容涉及面很广，反映了我国金银生产和金银矿石工艺矿物学以及选矿研究蓬勃发展的现状。收入论文集的若干具有一定水平的论文和大量的实际资料，将为有关科技人员了解金银生产和科研现状，以及开展进一步的研究工作提供有益的参考，从而对我国金银矿产资源的开发与利用起良好的推动作用。

由于篇幅所限，要求对多数来稿进行压缩；来稿中凡质量不符合制版要求的图片只得删除，并对相应的文字作部分改动；无直接参考价值的文献也从略。从事缩编工作时，虽然我们力图做到不损害原作之基本文意，但因时间仓促，经验和水平有限，必有诸多不妥之处，希作者、读者见谅。

许多同志参加了这次会议的筹备工作和该会议论文集的编审和出版工作。山东黄金公司、山东烟台地区黄金局和山东冶金工业学院等单位对召开这次会议也给予大力支持。借此机会，对上述有关单位及个人表示深切的谢意！

编 者

目 录

一、综合论述

1. 中国内生金矿成因类型及其与粒度、嵌布特征的关系……戴瑞榕 刘成刚 (1)
2. 论金的某些地球化学特性、矿物类型和赋存状态……黄祖梁 (11)
3. 银的工艺矿物学及回收工艺的探讨……汪桂兰 赵明林 (17)
4. 湖北脉金矿石工艺类型初步划分……刘陶梅 (21)
5. 银矿石特性与选矿工艺的关系……张秀华 姜二龙 (24)

二、金的工艺矿物学研究

6. 金永膏天然系列……田培学 (27)
7. 贵州册亨县板其金矿物质组成及金的赋存状态研究……刁淑琴 (30)
8. 山东三山岛金矿床中金的赋存状态……李铁公 (34)
9. 铜录山矿氧化带金的工艺矿物学研究……罗菊元 (39)
10. 焦家金矿氧化带矿石金工艺特性的研究……王革 张施展等 (42)
11. 河南省申家瑶金矿金的工艺矿物学特征研究……徐泽仙 (45)
12. 辽宁省北票县迷力营子金矿金的赋存状态及选矿工艺的选择……王树华 (49)
13. 何山金矿原矿性质及影响金回收的主要因素考查……张 璞 (53)
14. 伴生金的矿物工艺特性讨论……范锦森 (57)
15. 五坳坡铋砷金矿矿石工艺性质及其金的富集途径……吴秀群 (63)
16. 吉林河沟含铀金矿选冶试验矿样物质成分研究……许宜乐等 (69)
17. 武钢大冶铁矿堆存尾矿中金的工艺矿物学研究……马志新 (73)

三、银的工艺矿物学研究

18. 广东梅县丙村铅锌矿中银的工艺矿物学……过玉珍 许志华 (77)
19. 广东省厚婆坳铅锌矿银的赋存状态研究……张继梅 (83)
20. 砂岩铜矿中的金、银赋存状态研究……陆建有 (87)
21. 西林铅锌矿矿石性质及银的赋存状态研究……张永和 (92)
22. 江西银山铅锌矿银的工艺矿物学初步研究……董振寰 (98)
23. 黑龙江省松江铜矿中银的赋存状态……黑龙江冶金研究所岩矿室 (102)
24. 山东招远银矿物质组分及工艺性质的初步研究……杜心君 (104)
25. 大岭口矿区I号矿体上部银的赋存状态及解离银的研究……谭荣森 余淑美 (107)

26. 银的硫化物和银锑硫盐类矿物的浮选试验研究……………温化儒 黄姒鹤等(108)

四、金的粒度特性及研究规范化的讨论

27. 金的粒度特征与选金工艺……………周国华 陈代忠(109)
28. 砂金粒度特征研究……………李铁公(116)
29. 金矿石工艺矿物学研究浅议……………许德清(122)
30. 自然金工艺特性若干研究方法浅析……………葛立生(125)
31. 关于金的工艺矿物学研究规范化的建议
附：金的工艺矿物学研究规范(草案)……………许志华(127)

一、综合论述

中国内生金矿成因类型 及其与粒度、嵌布特征的关系(摘要)*

戴瑞榕 刘成刚

(合肥工业大学地质系)

一、中国内生金矿成因类型的 划分及其嵌布特征

金矿床的分类迄今国内外已有一百多种,因各自确定的分类原则不同而异。目前尚无公认的分类方案,但随着科学水平的发展将日趋完善。近年来,由于大量地质现象的发现及测试手段的发展、新的成矿理论的不不断提出,逐渐趋向于把成矿物质来源、成矿地质作用等作为分类的基本原则,以反映矿床形成的规律和特征。现将我国内生金矿床划分为三种物质来源即壳源、混源、幔源;七种类型即沉积变质金矿、沉积迭加热液金矿、热水溶滤金矿、变质热液金矿、混合岩化热液金矿、岩浆热液金矿,岩浆分异金矿及14个亚类。

通过对我国19个省不同成因类型的37个有代表性的金矿例的统计,基本上反映了各

类型金矿在矿石类型、矿物共生组合、金的赋存状态及嵌布特征、金矿的粒度和金的品位、成色等方面的特征。其中变质热液金矿产量第一,储量第二;混合岩化热液金矿是我国独特的金矿类型,储量第一,产量居第二。这二种是我国最重要的金矿类型,工业意义最大。其次为岩浆热液金矿床。

我国大部份金矿,尤其是规模较大的金矿的分布,主要和深大断裂带或板块结合部位有关。不同类型金矿其矿物共生组合分为二个系列,一是含金石英脉,另为含金硫化物。其嵌布关系可分为晶隙金,裂隙金及包裹金三种。金成色与粒度的关系随地区及矿床类型不同而异。变质热液金矿和混合岩化热液金矿中的金粒度较粗,成色也较高。此外在同一种成因类型的不同金矿中其粒度和成色可以不同。按粒度粗细可分为粗粒金、细粒金、显微金、次显微金四级。

金的地球化学性质决定了它的地壳丰度

* 原文约12000字,为保密计而由编者择要发表,且在引用原文中某些表格时,删去了矿床规模。若因缩编而走失原意,当由编者负责。

很低，需要经过漫长的地质年代，经历多种地质作用的迭加，在某些特定的层位、有利的构造条件下才能聚集成矿。金矿的形成是一个复杂的长期的不连续的矿化过程，既受内在的也受外在的因素的制约和影响，具有

明显的地区性，这就是金矿成矿的特点。

现将我们在实践和学习前人经验基础上按物质来源、成矿作用等划分的国内内生金矿床的成因类型及其相应的特征列表如下：

中国内生金矿床成因分类表

表 1

物质来源	成矿作用	矿床类型	矿床亚类	矿床实例
壳源	沉积—再造作用	沉积—变质金矿	1. 含铁硅质岩金矿床 2. 炭质火山碎屑岩金矿床	黑龙江：东风山 辽宁：四道沟，白云山
		沉积—热液金矿	3. 碳酸盐岩中硫化物金矿床	安徽：马山、新桥、铜官山
		热水溶—热液金矿	4. 碳酸盐岩中石英—方解石脉金矿床 5. 碳酸盐岩中浸染型金矿床	广西：叫曼 陕西：李家沟
	变质作用	变质热—液金矿	6. 区域变质（中深变质，中浅变质）热液金矿床 7. 接触变质热液金矿床 8. 动力变质作用金矿床	吉林：夹皮沟，湖南：沃溪 吉林：二道甸子 河北：金厂峪
		混合岩化—热液金矿	9. 含金石英脉型金矿床 10. 破碎带蚀变岩型金矿床	山东：玲珑 山东：焦家
		岩浆热—液金矿	11. 与中小浅成侵入体有关的金矿床 12. 与火山—次火山岩有关的斑岩型金矿床 13. 与火山、次火山岩组合有关的浅成银金矿床	河北：峪耳崖，湖北：鸡笼山 黑龙江：团结沟，江西：德兴 台湾：金瓜石，内蒙：白乃庙
混源	岩浆作用	14. 岩浆熔离—硫化物金矿床	青海：德尔尼	

沉积变质热液金矿床特征一览表

表 2

矿床亚类	矿床实例	矿石类型	矿物组合	金赋存状态	金品位 (g/T)	金银比值或金成色	金矿物粒度 (mm)
含铁硅质岩金矿床	黑龙江东风山	硫化物型	磁黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、毒砂、自然金。	含于毒砂晶体中；定向生长于铁闪石—石榴石间隙中；与磁黄铁矿连生；星散于石英集合体中。	4.13~15.79, 最高21.65。		0.01~0.02 最大0.15, 为细粒金
炭质火山碎屑岩金矿床	辽宁四道沟	硫化物型	黄铁矿占绝对优势, 磁黄铁矿和黄铜矿占3~5%, 毒砂、白钨矿很少; 石英、绢云母。	黄铁矿裂隙中; 石英晶体裂隙或石英—黄铁矿晶隙间 (91%自然金在黄铁矿中)。	100~300, 最高1100。	830 (780~881)	0.002~0.007 为微细粒金。
	辽宁白云	贫硫化物型	黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、自然金、自然银、赤铁矿、磁铁矿; 石英、正长石、方解石、高岭土。	自然金多呈不规则粒状、细脉状分布于黄铁矿中、边部及脉石中。	4~7, 个别高达: 10~30~110	692~905 平均768	1.42 × 0.005 (最大) 0.003 × 0.003 (最小)

沉积岩浆热液金矿床特征一览表

表 3

矿床亚类	矿床实例	矿石类型	矿物组合	金赋存状态	金品位 (g/T)	金银比值或金成色	金矿物粒度 (mm)
沉积迭加热液	安徽马山	硫化物型	黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、毒砂、自然金、银金矿、含银自然金; 石英、方解石。	裂隙金、晶隙金占70%, 包裹金占29% (石英中包体金为7.9%, 难解离)。	8~10	944.6~ 838.8	0.05占71% 0.02~0.1 占29%。
	安徽新桥	硫化物型	黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、方铅矿、铁闪锌矿、银金矿、自然金; 石英、方解石、白云石。	晶隙金、裂隙金、包裹金。	平均0.72 最高35.2	859~ 593	最大0.065, 最小0.001, 0.015~0.001 占89.97%。
	安徽铜官山	硫化物型	黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿、自然金、银金矿; 石榴石、透辉石、方解石。	黄铜矿中1~10g/T, 平均3.95g/T, 80~90% 富集于铜精矿中	平均3.95	Au81.5% Ag18.5% 815	最小0.03, 最大0.24, 0.06~0.12占 81%。

热水溶滤金矿床特征一览表

表 4

矿床亚类	矿床类型	矿物组合	金赋存状态	金品位 (g/T)	金银比值或金成色	金矿物粒度 (mm)
碳酸盐岩浸染型金矿床	贫硫化物型	黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、自然金；石英、白云石。	绝大多数在黄铁矿中，并见有分布于石英及白云石、晶体及其裂隙中，呈裂隙金，晶隙金及包裹金产出。	10.92—52.09 个别达185。	500—900	0.01~0.02 占58.2%， 70.02占8.9%
方解石金矿床 碳酸盐岩石英	贫硫化物型	方解石为主，少量石英、萤石、粘土矿物，自然金。	多分布于方解石、石英等矿物中。		成色高	

变质热液型金矿床特征一览表

表 5

矿床亚类	矿床实例	矿床类型	矿物组合	金赋存状态	金品位 (g/T)	金银比值或金成色	金矿物粒度 (mm)
区域变质热液金矿床	中深变质热液金矿床	吉林夹皮沟	硫化物型 黄铜矿、黄铁矿、含金多金属硫化物、石英。	金以自然金为主，主要赋存在黄铁矿、黄铁矿裂隙中。	15—20 最高300	824 Au:Ag = 1:2.8	0.05—0.12 65% 0.005—0.030% 最大5
		河南文峪	贫硫化物型 黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、菱铁矿、碲金矿、银金矿、自然金；石英、白云石、方解石、重晶石。	多在黄铁矿裂隙、石英、菱铁矿粒隙间。少数在方铅矿、闪锌矿、黄铜矿中，局部在黑钨矿、白钨矿裂隙中。以裂隙金、晶隙金为主。	10.34	745—952	0.002—0.09 最大0.2， 表在0.02—0.08
		湖北茅坪	硫化物型 黄铁矿、黄铜矿、自然金、碲金矿、石英、长石、云母	包裹金、裂隙金、晶隙金、单体金、连生金。	4.78—12	Au: 37.07 Ag: 1.00 Te: 61.81	0.01—0.03 最大0.8—1
		辽宁五龙	贫硫化物型 黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂、自然金；石英、绿泥石、方解石、绢云母。	裂隙金、粒隙金为主。	5—10 最高100—200	945	0.007—0.5 多为0.02
		河南银洞坡	硫化物型 黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉银矿、碲金矿、自然金；石英、长石、绢云母。	以裂隙金、晶隙金为主，包裹金次之，金矿物主要与黄铁矿伴生。	2.1—20.13 最高84.14	691—386	0.01—0.075 最大0.81， 细粒金为主 可见金占57.54%

续表 5

矿床亚类	矿床实例	矿石类型	矿物组合	金赋存状态	金品位 (g/T)	金银比值或金成色	金矿物粒度 (mm)
区域变质热液金矿床	湖南溆溪	贫硫化物型	黄铁矿、毒砂、车轮矿、方铅矿、闪锌矿、自然金、石英、方解石、白云石、绿泥石、绢云母。	金-石英矿石 金-硫化物矿石	平均 3.17 最高 205	银很低, <1g/T	0.013—8, 大于 0.83 占 63.3%
	湖南沃溪	同上	自然金、辉铋矿、黑钨矿、白钨矿、黄铁矿、黄铜矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、石英、方解石、铁白云石、绢云母。	裂隙金、包裹金、晶隙金。次显微金赋存于黄铁矿、辉铋矿中,占 46.2%; 显微金主要赋存在黄铁矿、辉铋矿、白钨矿、闪锌矿及石英中,占 53.7%。	7.23	985.4— 987.2	0.01—0.1, 最大 1
	湖北银洞沟	同上	闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿、金银矿、银黝铜矿、石英、方解石。	银金矿包裹于黄铁矿中,黄铁矿晶粒间、石英晶粒间亦有赋存。	72	Au 80—20 Ag 20—80 800	0.03—0.06 最大 0.4—1 最小 0.001
	湖南黄金洞	同上	毒砂和黄铁矿为主,次为磁黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、车轮矿、白钨矿、闪锌矿、石英、绢云母、绿泥石、白云石。	板岩与石英脉接触之裂隙中、毒砂、黄铁矿、黄铜矿中、硫化物连生体中。	平均 5—9	963	0.005—2 一般 0.4 左右
	贵州黔东	同上	黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黝铜矿、辉铋矿、自然金、石英、方解石、白云母、绢云母、重晶石。	石英晶粒及裂隙中,石英晶洞内也有富集。	3—250		0.1—0.2 最大 1—3
	青海查尔尕	硫化物型	毒砂、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、银金矿、金银矿、自然金、石英。	金主要分布于毒砂中,其次为黄铁矿、方铅矿中。	1.3—25 最高 57		0.1—0.3 最大 1
	广西古袍	贫硫化物型	黄铁矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、石英、绢云母	金与黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿共生,与早期烟灰状石英共生,在与炭质围岩接触之边缘富集。	6.25—26 最高 29	800—850 Au/Ag = 1/0.65	平均 0.012 最大 0.15 最小 0.003

续表 5

矿床亚类	矿床实例	矿石类型	矿物组合	金赋存状态	金品位 (g/T)	金银比值 或金成色	金矿物粒度 (mm)
接触变质(交代) 热液金矿床	吉林三道沟子	贫硫化物型	毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、白铁矿、磁铁矿。	32.8%—方铅矿 32.5%—毒砂 19.5%—闪锌矿 3.2%—磁黄铁矿	4—25 最高 331.7	844	0.1— 0.001 占 91%
动力变质作用 金矿床	河北金厂峪	同上	黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、自然金、银金矿、金银矿、石英、钠长石、白云石、方解石。	自然金 58% 在黄铁矿中, 35% 在石英中。	20—30 最高 154.33	911	0.005— 0.025 最大 0.15

混合岩化热液金矿床特征一览表

表 6

矿床亚类	矿床实例	矿石类型	矿物组合	金赋存状态	金品位 (g/T)	金银比值 或金成色	金矿物粒度 (mm)
含金石英脉型矿床	山东玲珑	贫硫化物型	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、银金矿、自然金、石英、绢云母。	晶隙金—黄铁矿中最多、裂隙金、包裹金。	9.27— 37.20	454.4— 950.7 Au:Ag = 1:2	0.0075 0.03 明金少见
	浙江遂昌	同上	黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、磁黄铁矿、碲银矿、含金磁铁矿、银金矿、石英、蔷薇辉石、菱锰矿。	黄铁矿中含金最多, 黄铜矿、闪锌矿、石英中次之。	8.46— 46.17	545— 629	0.003— 0.117 少量 0.2
破碎带蚀变 岩型矿床	山东焦家	同上	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、斜方辉铅铋矿、石英、绢云母。	包裹金、晶隙金、裂隙金。其中晶隙金占 65.77%。	10—13 最高 52.59		0.015— 0.03 最大 0.34

岩浆热液金矿床一览表

表 7

矿床亚类	矿床实例	矿石类型	矿物组合	金赋存状态	金品位 (g/T)	金银比值或金成色	金矿物粒度 (mm)
与中小侵入体有关的金矿床	河北峪耳崖	贫硫化物型	黄铁矿、黄铜矿、碲金矿、自然金、闪锌矿、磁黄铁矿、石英、方解石。	主要在黄铁矿晶面、晶隙中，与碲化物共生。	一般为 7，最高 50		0.07—0.4 最大 1—3
	江西德兴	同上	黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、自然金、碲金矿、银金矿、砷黝铜矿、绢云母、石英、方解石。	包裹金、晶隙金、裂隙金。	0.702—0.245	639—927，多为 850 左右	0.005—1 大于 0.045 占 75%
	湖南水口山	同上	黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、自然金、银金矿、石英、方解石。	石英裂隙、粒隙，黄铁矿裂隙，闪锌矿粒隙中。	4	914	0.001—0.08，多在 0.02—0.08
	湖北鸡笼山	同上	方铅矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、硅酸盐矿物、锰方解石、雄黄、雌黄。	在硫化物及脉石中，以晶隙金、裂隙金及包裹金存在。	6.2	667—950	0.1—0.3，<0.01 占 90%
与火山岩、次火山岩有关的金矿床	河南祁雨沟	贫硫化物型	黄铁矿、斑铜矿、黝铜矿、方铅矿、自然金、银金矿、石英、方解石、长石、绿帘石、绿泥石、阳起石。	硫化物粒隙间。	24.89—213.5		0.01—3 多数为 0.02—0.15 最大 3.8
	黑龙江团结沟	同上	白铁矿 (占 95%)、黄铁矿、辉钼矿、黄铜矿、方铅矿、自然金、石英、冰长石、白云石、方解石、玉髓状石英。	主要在玉髓状石英中，占 2/3；黄铁矿、白铁矿中占 1/3。	2—10 最高 323	642—828	0.037—0.01 占 43.3% <0.01 占 10.9%
	新疆齐依求 II 号	同上	黄铁矿、毒砂、辉钼矿、自然金、石英、钠长石、方解石、绢云母。	裂隙金、包裹金、晶隙金。	1—4 个别达 148.64		一般 0.3—0.1 最大 2 最小 0.01

续表 7

矿床亚类	矿床实例	矿石类型	矿物组合	金赋存状态	金品位 (g/T)	金银比值或金成色	金矿物粒度 (mm)
岩浆热液金矿床	安徽东溪	含金磁铁矿、低硫化物磁铁矿、磁铁矿、赤铁矿、自然金、石英、长石、方解石、黑云母。	线形晶洞发育的石英脉、浑油状石英脉含金品位高。	5—10 最高412.2	500—800	0.01—0.05 占79.2%； >0.05， 占14.5%； <0.01 占6.3%。	
	台湾金瓜石	贫硫化物型	黄铁矿、黄铜矿、硫砷铜矿、自然金、辉银矿、石英、重晶石。	赋存在重晶石及硫化物中。	1.3—3.1 高达10	900± Au:Ag = 1:1.5	肉眼可见
	辽宁奈林沟	同上	黄铁矿、黄铜矿、自然金、银金矿、辉银矿。	具梳状晶洞、乳白色石英脉中金富集，有的呈团分布（离子金）。	0.1—0.3 居多，75% <1，离子金品位高达6至数百。	0.002—0.1 最大1—20	
	内蒙白乃庙	同上	黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、辉铜矿、自然金。	主要与黄铜矿、黄铁矿连生。	3.25—108	0.1—0.03 最大1	
含金岩浆熔离	青海德尔尼	同	黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、石英、方解石。	主要分布于黄铜矿、黄铁矿中，前者含金最多。	6.21(黄铁矿)，14.29(黄铜矿) 一般0.43—1.25	0.1—0.05	

二、几点认识

1. 不同的内生金矿床成因类型，不能完全反映金的富集情况。金的地球化学性质决定了它在内生成矿中的性状，起决定性作用的是地球物理化学条件。就是说矿床成因相同或相似时，金的富集情况可以差别很大，矿化不均匀。据初步统计的我国主要内生金矿32例也反映了这一情况。金的富集是一个复杂的、长期的、不连续的矿化过程，既受内在的矿化贫富程度的控制，也受区域地

质、地区地球化学、地质环境、地质发展史等多种因素的影响。

2. 资料表明，金在碱性或中性介质中迁移和析出时， SiO_2 起着重要作用，当溶液中钠钾组分减少时，自然金便和石英同时从热液中析出。

我国主要内生金矿不同成因类型矿床的矿物共生组合有两个系列，一是金与硫化物关系密切，尤其是与黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿等金属硫化物紧密共生。另一是与石英，特别是玉髓状、

乳白、烟灰色细粒石英紧密共生。其散布关系主要有三种：(1)自然金类矿物以微细脉充填于上述矿物的颗粒间呈晶隙金产出。(2)在上述矿物的颗粒中，以包裹金形式出现。(3)分布于上述矿物颗粒的裂隙中，为裂隙金。

以上三种散布关系，一般矿床中均能见到，与成因类型关系不明显，仅在不同的矿床中或同一矿床的不同地段。以其中某种散布形式为主。

3. 自然金类矿物的成色，在很大程度上反映了矿床形成的地质条件、形成的深度、溶液的浓度、成分及温度等特点，经统计我国变质热液型金矿床中，自然金类矿物的成色偏高，最高可达952—986，多在800—900之间。其次是混合岩化热液金矿床，最高可达900—950。其它类型的金矿则因所处的地质条件不同而异。

4. 自然金类矿物的粒度常与成色有关，某些资料说明，成色在750—920时，晶格参数最小，粒度最大，成色在860—920之间的自然金最常见。我国变质热液型金矿成色为824—977时能见到3—5毫米的金粒，如吉林夹皮沟、头道川等金矿。虽属同种成因类型的河南银洞坡及文峪金矿，其成色变化范围较大，自然金类矿物的粒径变化范围也较大(本次所统计的成色系平均值，不是单个金粒的成色)。

5. 关于自然金类矿物的粒度，各家划分的标准不一致。据B·M·克列依捷夫， >0.2 毫米为肉眼可见金； $>0.5\mu$ 为显微金可见金， $<0.5\mu$ 为次显微金；据B·H·泽列诺夫，粗粒金 >0.07 毫米，细粒金 $0.001—0.07$ 毫米，次显微金 <0.001 毫米；还有一种划分范围，粗粒金 >0.074 毫米，细粒金 $0.07—0.001$ 毫米，细分散金 <0.001 毫米。

根据对我国各主要类型金矿中自然金类矿物粒度的初步统计，一般粒度皆偏细，同时参照实际工作中的习惯用法，试划分出以下粒度级别：

明金 (肉眼可见)	显微金 (光学显微镜可见)	次显微金 (电镜可见)
>0.2 毫米	粗粒金 $0.2—0.05$ 毫米 细粒金 $0.05—0.005$ 毫米 微粒金 $0.005—0.0005$ 毫米	<0.0005 毫米

结 束 语

金矿床的形成受多种因素制约，有一定的规律性。自然金类矿物的粒度、成色及与其它伴生矿物的散布关系，也是随不同成因类型、不同产出条件而异。我们在进行野外地质工作的基础上，收集了大量有关资料，进行了综合分析研究，但由于条件及水平所限，整理汇总是不全面的，文中所举矿例仅是我国已知内生金矿床的一部分，有的金矿床也很典型，但由于缺少详细资料而未列入。

工作中得到安徽省地质局、安徽冶金地质勘探公司研究所、铜陵有色金属研究设计院等单位的大力支持与帮助，在此一并致谢。

参 考 文 献

1. 辽宁省冶金地质勘探公司107队，1979，辽宁省金矿类型成矿规律及找矿方向，中国东北部金矿主要类型及找矿方向第二集。
2. 河南省冶金地质勘探公司科研室，1976，河南省金矿一般地质特征与找矿方向，中国东北部金矿主要类型及找矿方向第二集。
3. 东北地质科学研究所，1976年，奈林沟低温热液金(银)矿床特征，金矿地质(一)，地质出版社。
4. 黑龙江省冶金地质勘探公司704队，1979年，团结沟斑岩型金矿床地质特征，中国东北部金矿主要类型及找矿方向第三集。
5. 内蒙古冶金地质五队，1979年，内蒙古自治区金矿成矿规律和找矿方向，中国东北部金矿主要类型及找矿方向，第二集。
6. 山东省地质局第六地质队，1982年，

山东焦家式金矿床控矿条件与地质特征, 内部资料。

7. 浙江省丽水地质大队, 1982年, 浙江省遂昌金矿地质特征简介, 内部资料。

8. 广西冶金地质勘探公司, 1977年, 广西金矿成矿特点和找矿方向, 内部资料。

9. 朱奉三, 1982年, 金的地球化学, 金矿成矿作用和成因类型划分的讨论, 冶金部地质技术干部进修学校。

10. 吴尚全, 1983, 我国金矿床主要类型及找矿方向, 金矿参考资料汇编, 第四集。

11. 张甲忠, 1981, 中国内生金矿成因类型划分讨论, 金矿参考资料汇编第六集。

12. 段瑞炎编译, 1980(1), 内生矿床中自然金的研究, 东北地质科技情报。

13. 冯子道, 1976年, 金瓜石热液型金矿床, 金矿地质(一)。

14. 许志华, 1980, 鸡笼山含金角砾岩中金的赋存状态及其对提金工艺的影响, 内部资料。

15. 田耀亭、姚显富, 1980, 青海金矿地质概况, 东北地质, 第一期。

16. 朱秉诚, 1979, 黑龙江省金矿类型成矿规律和找矿方向, 中国东北部金矿主要类型及找矿方向第二集。

17. 张振儒、李健炎等, 1977, 湖南桃源沃漆金、锑、钨矿床金的赋存状态。

18. 白万久, 1979, 丹东四道沟金矿地质特征和成因探讨, 中国东北部金矿主要类型及找矿方向第三集。

19. 张宝仁, 1979, 金厂峪金矿复脉型金矿床, 中国东北部金矿主要类型及找矿方向第三集。

20. 苑清扬, 1979, 吉林省永吉县头道川变质热液型金矿床地质特征, 中国东北部金矿主要类型及找矿方向第三集。

21. 孔庆存, 1979, 玲珑金矿田地质特征, 中国东北部金矿主要类型及找矿方向, 第三集。

22. 徐泽仙, 1980, 河南省桐柏银洞坡金矿含金矿石特征对提金工艺的影响, 内部资料。

23. 陈长湖、郑子丽、宁仁祖, 1980, 江西德兴铜厂斑岩铜矿伴生金的赋存状态研究, 内部资料。

24. 陈安平、李正勤, 1980年, 水口山黄铁矿体中自然金的分配规律和镶嵌特征及其对选矿工艺的影响, 内部资料。

25. 周真, 1981, 铜陵马山金矿床矿石物质组分及金的赋存状态的初步研究, 内部资料。

26. 丁怀民, 1980年, 广东省廉江金矿中金的某些工艺矿物学性质, 内部资料。

27. 周作祯、王山林, 1980年1月, 东漆(安徽)火山岩型脉状金矿简要地质特征及其找矿意义, 安徽地质科技。

28. 金隆玉、阎守民, 1982, 山东招远、掖县金矿区金银矿物及其嵌布状态, 内部资料。

29. 戴瑞榕、刘成刚, 1982, 安徽新桥铜硫铁矿床显微金及次显微金的赋存状态及工艺性质, 内部资料。

30. 刘陶梅, 1982年7月, 湖北省秭归茅坪金矿难选金矿石物质组成及其性质的研究, 内部资料。

31. 王璧珍、宋婉仪, 1982, 银洞沟矿区金银矿石工艺矿相学研究, 内部资料。

32. 李葆勋, 1982, 新疆托里县齐依求II号金矿地质特征及控矿因素, 内部资料。

33. 赵玉福、杨宗恩, 1982, 辽宁省白云金矿地质特征, 内部资料。

34. 王林方、吴宝库, 1982, 李家沟金矿基本地质特征及其成矿控制因素的初步认识, 内部资料。

35. 李书润, 1982, 夹皮沟金矿, 内部资料。

36. 周自成, 1982, 新疆托里金矿田地质特征及成因探讨, 内部资料。

论金的某些地球化学特性、矿物类型 和赋存状态

黄祖梁

(地矿部勘探技术研究所)

本文综合论述金的地球化学特性、矿物类型和赋存状态,并对我国各类型金矿床、含金矿床中金的矿物和赋存状态进行了概括。

一、金的地球化学特性

金原子序数为79,属IB族,原子量为197.2,天然稳定同位素只有一个,人工放射性同位素共8个,其质量分别为191、192、193、194、195、196、197、198。熔点为1063℃,沸点2970℃,布氏硬度20公斤/毫米²,比重15.6—18.3。展性和延性比任何金属都好,可轧成仅 $1 \cdot 10^{-6}$ 毫米的薄片。

金在高温下也不与氧、氢、氮和碳化合,只溶于王水和碱性氰化物中。金具有很高的导电性,它与许多金属组成合金,其熔点比纯金要低,但硬度比金要高。

金在地壳中的平均含量比其它一些金属元素低得多,含量只有0.01—0.06克/吨,克拉克值据不同资料变动于 $4-5 \cdot 10^{-7}$ 之间。

И.Г.马加克扬曾认为:“金与中酸性花岗岩类密切相关,偶尔也与碱性、基性和超基性岩石有关”。最近几年根据A.П.维诺格拉多夫等人的研究统计认为:含金最高是石陨石(球粒陨石)、超基性岩,其次是基性岩。

火成岩中含金,从富含硅、铝成分的花岗岩岩石开始,到以富含铁、镁成分的辉绿岩、辉长岩以至超基性岩石逐渐增高,而喷

出的火山岩,(如石英玢岩、粗面岩)又比在地壳较深处形成的岩石如闪长岩、花岗岩要高。(表1)

岩石中金的平均含量 表1

岩石名称	分析样品数目	金平均含量 (克/吨)
花岗岩	33	0.0032
闪长岩	14	0.0035
花岗闪长岩	8	0.004
正长岩	8	0.0044
石英斑岩,粗面岩	14	0.0054
辉绿岩,玢岩	29	0.0065
辉长岩	33	0.0087
超基性岩	27	0.0097

国外有人为了解岩石中微量金在各种矿物中的分布情况,曾对主要造岩矿物和副矿物进行了金的分析。在所研究的各矿物中,以磁铁矿及富含镁、铁的硅酸盐矿物辉石、杆榄石含金量最高。通过一些金矿矿山地质研究和开采表明,有人认为许多金矿的形成,很可能正是与富含铁、镁质的基性与超基性岩有关。

上述资料表明,金在自然界中分布是何等广泛,但又是多么的分散。尽管经过各种地质作用富集了金,形成具有工业价值的金或含金矿床,但金的含量仍然是很低的。

在周期表中,金为镧系收缩元素,其特征是随原子序数的增加而原子半径增加很小,故其外层电子受核电荷的吸引力较强,电子云结构紧密,电离势较大。一方面不易失

去外层电子成正离子，另一方面又因负电性为中等，也不易接受电子成阴离子，所以化学性质相当稳定，与其它元素的亲合力很微弱。因此在自然界中金的离子化合物很少，而多呈金属、自然元素状态存在。

金与银的原子半径相同 (1.44 Å)，晶格常数又相近 (Au 是 4.070 Å, Ag 是 4.078 Å)，化学性质也相似，所以天然的 Au-Ag 固溶体，即原子类质同象广泛分布。在金的独立矿物中，Au 与 Ag 系列矿物占首要地位。温度较高时，一价或三价金的阳离子可进入碲阴离子堆中，形成碲化金类矿物，如碲金矿等。

金的亲硫性表现在它常与硫化物如黄铁矿、毒砂密切共生。金的亲硫性远比 Cu、Pb、Zn、Fe、Co、Ni 等差，岩浆中硫几乎要同这些亲硫的元素化合生成硫化物，因此不可能有多余的硫去与金化合，所以尽管许多富硫的金属矿床中含有许多金属硫化物，却几乎见不到金的硫化物。

金的亲铁性表现在陨铁中含金可达 5-10 克/吨，这比地壳各种岩石平均含量高出一千倍以上。由于地球中心是一个铁镍核心，所以完全可以推断在地球演化过程中，几乎全部 (约占 99%) 的金都进入了地核，这就是地壳物质中含金相当贫乏的基本原因。金的亲铁性还表现在可以与亲铁的铂族元素结合，形成金属互化物。在基性与超基性岩石或与之有关的矿床中，金与铂族元素的互化物具有独自发育、独自存在的特点。

金的亲铜性，表现在占据着亲铜和亲铁元素之间的边缘位置，并和 Cu、Ag 都属于 I 副族。有时与亲铁 (Pt、Os、Ir、Ph、Pd) 元素共生或者呈金属互化物。也明显地与亲铜元素 (Cu、Ag) 共生，或者呈金属互化物。但由于金的原子结构最复杂，根据各种元素在地壳中的分布规律，元素的平均含量具有随原子核内部结构的复杂程度加大而减少的趋势。因而金在地壳中的平均含量只相

当于 Ag 的 1/21、Cu 的 1/1800。

综上所述，尽管金在地壳中极为分散，金的性质又极不活泼，但由于金具有的亲硫、亲铁、亲铜性和高的熔点，因此处于极分散的金元素，在适宜的物理、化学和地质环境下，通过一定的成矿方式，也能相对富集而达到具有经济价值的金矿床或含金矿床。

二、金的矿物

金的地球化学性质已经表明金的矿物种类比较简单。具有工业意义的金矿物也较单一。主要是自然金，常含有银。并与银构成固溶体系列。当含银量达 10—15% 时称为金银矿 (Ag, Au)，随着银含量增加可称为金银矿 (Au, Ag) 等。此外还含有少量的 Cu、Bi、Pt、Pd、Rh、Ir 等元素。当这些元素含量高时，就相应构成它的亚种，称之为金属互化物。金的碲化物甚少，主要是碲金矿。金的硒化物、铋化物也几乎很少。到目前为止，仅发现一种金和银的硫化物—硫金银矿 (Ag₃AuS₂)，一种金和银的硒化物—硒金银矿 (Ag₃AuSe₂)，尚未发现单一金的硫化物和硒化物，也未发现金的氧化物 (表 2)。

金的矿物

表 2

矿物名称	化学式	化学成分 (%)	
		Au	Ag
自然金	Au	90—70	10—30
银金矿	Ag·Au	50—70	30—40
金银矿	Au·Ag	20—80	72—80
铜金矿	Cu·Au	64—70	10—15
含铋碲、银铜金矿	Au·Cu·Ag		
铂铜金矿	Au·Cu·Pt		
金铜矿	AuCu ₃		
铂金矿	Au·Pt		
铂银金矿	Au·Ag·Pt		
铂金钯矿	Pd·Au·Pt		

续表 2

矿物名称	化学式	化学成分(%)		
		Au	Ag	
钯金矿	Pd·Au	85—75	0—4	
铱金矿	Au·Rh			
铱金矿	Au·Ir			
钯铜金矿	(Cu·Pd) ₃ Au ₂			
钯银金矿(及含钯银金矿)	Au·Ag·Pd			
金铱碲矿	AuIrOs			19.3
等轴金铱碲矿	Ir ₂ OsAu			
碲金矿	AuTe ₂			
斜方碲金矿	AuTe ₂			
碲金银矿	AuAgTe ₄			6—11
针碲金银矿	AuAgTe ₄			
叶碲金矿	Au(Pd·SbFe) ₃ (S·Te) ₁₁			
铋碲金矿	Au ₂ Te ₃			
铋金矿	(Au·Bi)			
金汞黄	Au ₂ Hg ₃			
γ-水金矿	(Au·Ag)Hg			
黑铋金矿	Au ₂ Bi			
碲金银矿	Ag ₃ AuS ₂			
硒金银矿	Ag ₃ AuSe ₂			
针碲金矿	(AuAg)Te ₂			

三、金的赋存状态

对于金的赋存状态的理解,目前尚不统一,可归纳如下:

1. 认为金的赋存状态实质上是矿物种类问题。从矿物化学角度出发,分为自然金类和碲化物两种形式。

2. 认为金的赋存状态实质上是金粒依布特性问题。据此分为包体金、晶隙金、裂隙金或者夹杂金。

3. 从金粒解离特性出发,分为独立的自然金、包裹金和固溶体金。

4. 根据金的粒度分为明金、显微金和次显微金。

从金的地球化学特征和矿物种类分析表明金的赋存形式是简单的。无论是裂隙金、晶隙金、包体金、显微金或者次显微金以及金的载体矿物中的金,都是呈金属状态的自然金或者金银互化物以及金的碲化物形式存在。

我国主要金矿或含金矿石中金的赋存状态毫不例外都是以自然金和金银互化物存在,不论其地区和成因如何(表3)。这是金的赋存状态的重要特征。

我国主要金矿及含金矿石中金的赋存状态简表

表 3

矿床实例	矿床类型	主要矿物组成	金矿物	金的赋存状态或金矿物产状
山东招远金矿 玲珑矿区	充填型和合金石英脉	黄铁矿 16% 石英 50% 绢云母 20%	自然金, 银金矿	自然金或银金矿呈包裹体被黄铁矿包裹为主约占82%,沿裂隙纹占13.59%
同上	充填及交代型和合金石英脉及蚀变岩型	主要是黄铁矿、石英、绢云母、次要为黄铜矿磁黄铁矿等。	银金矿、自然金	主要为银金矿和自然金,富集在合金石英脉黄铁矿粒中,金赋存于各矿物裂隙中,其中以黄铁矿裂隙成布金最多
同上	交代型和蚀变型(中温热液、裂隙充填交代型)	同上	同上	金主要以银金矿和自然金形式产出赋存于各种矿物裂隙中
山东招远金矿 灵山矿区	含金石英网脉—蚀变花岗岩型	黄铁矿90%以上石英、绢云母、钾长石、斜长石、绿帘石。	银金矿、自然金	金与黄铁矿密切共生