前　言

为了给找矿、科研第一线的广大金矿地质工作者提供找金方面的资料，以促进黄金地质找矿勘探工作的顺利进行，我们调研、编辑、出版了《金矿选编》。

《选编》汇集了目前国内外许多较高水平的金矿论文。选时结合当前金矿工作的实践，并注意到内容的普及性和实用性。对进一步研究和在我国寻找各种类型的金矿床有一定的参考价值。

《选编》分五集出版。

第一集　金矿概述　主要内容：金的命名和成因形态、金的地球化学性质和成矿作用、金的标型特征及金矿规范说明等。

第二集　砂金　主要内容：砂金矿床的成因类型、分布特征、找矿评价方法、勘查方向等。

第三集　金矿的找矿标志及勘查方法　主要内容：金矿床的找矿标志及找矿方向、黄金勘查的物化探方法、地球化学方法、放射性方法，以及取样及储量计算方法等。

第四集　金矿床　主要内容：金矿床成因理论、金矿床类型及特征、国内外典型金矿床实例等。

第五集　金的分析测试方法　主要内容：金的各种实验室分析测试方法及野外简易测试方法。

《选编》由核工业部地质局黄金办公室和北京第三研究所科技情报室联合编审，由高必娥负责编辑。由于水平所限，书中出现的错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

局黄金办公室
所科技情报室　1987.4

目　录

1.黄金资源状况和生产建设对资源的要求……（1）
2.对金矿规范若干问题的说明及探讨……（12）
3.金的命名系统综述……（30）
4.金的地球化学和成矿作用……（44）
5.自然金的成因形态学……（70）
6.岩浆热液中金的来源……（81）
7.金的标型特征初步研究……（91）
8.岩浆作用与金矿化……（102）
9.岩脉与金矿……（115）
10.试论金的成色及其地质意义……（124）
11.金矿的找矿问题……（140）
12.金矿勘查中值得注意的若干问题……（152）

黄金资源状况和生产建设对资源的要求

中国黄金总公司

一、概　述

黄金是人类最早开发和利用的贵金属，自古以来就被人们当作货币和装饰品，直到现在它仍然是国际上不贬值的货币，起着“自由外汇”和硬通货的作用。随着现代化科学技术的发展，黄金在国际和电子工业等方面得到了广泛的应用，其消耗量正日益增加。一个国家的黄金储备表示了国力所在，特别是当前国家正值改革之时，为稳定市场，回收货币，黄金正在起着特殊的作用。我国的黄金储备量公布数字为×××吨，从四化建设的需要和各方面的要求参照国外比较发达国家的情况看，黄金储备至少保持在××××吨左右，据国际货币基金的资料，1984年西方主要工业国的黄金储备为：

美国：8 220t　瑞士：2 603t　德国：2 925t　法国：2 559t　意大利：2 084t　荷兰：1 371t　比利时：1 069t

自70年代以来，西方市场黄金价格急剧上涨。1971年为40.81美元／盎司，到1980年猛增到800美元／盎司，近年来，一直在300—400美元／盎司，与此同时，世界黄金生产也得到了相应发展，到1984年仅资本主义国家的金产量就达到1149t，比1975年增长21.5%（表1）。

我国有着悠久的采金历史，已知的黄金产地遍及全国各个省、区，建国以来，黄金生产经历过几次大的马鞍形发展过程（表2），

1975年王震付总理受周总理委托抓黄金生产，在党中央、国务院的关怀下，国家对黄金实行了一整套“以金养金”的政策，比如：政策补贴，发展基金，专项贷款，外汇分成及各种奖励政策，使黄金生产建设得到了较快的发展，取得了较好的成果，产量持续增长，到1984年全国产量达×××万两，九年翻了1.5番，递增速度10.26%，目前全国共有日处理25吨以上大、中、小型骨干矿山123个，其中直属矿山26个，地方矿山29个，地、县大集体及乡镇企业68个，这些矿山以中小特别是小矿为主，大矿不多，最大的为850t／日，除此以外，还有许多正规生产的小矿山和季节性的小矿和个人采金点，未作统计，这些黄金矿山从分布看，主要集中在中国北、东部地区以山东、河南、黑龙江、辽宁、吉林、河北、湖南等省为主。从各项技术经济指标看，一些大矿象金厂峪、招远、张家口等比较好，而一些小矿稍差，脉金稍好，砂金稍差；另外从技术水平，装备水平，管理水平上看都不平衡，通过这几年的调整，情况正在好转，矿山潜力将会更好的发挥。

我国伴生黄金产量90%来自铜矿，10%来自铅锌矿，1975年以前伴生金产量约占总产量的1／3以上，1984年的伴生金产量，仅占全国总产量的15%（不包括进口原料产金），而伴生金的储量却占全国储量的46.3%，比例很不协调，伴生金回收工作发展缓慢的原因是，不少有色矿山金银地质资源不清，从找矿开始到提交报告，对金银含量和赋存情况的审定工作不认真，虽交了储量，仍无法设计和回收，矿山视回收金银为副产品处于自流状态；综合回收技术水平不高，装备落后，金回收率仅50—60%，而国外矿山可达80%以上，差距是很大的。

综上可以看出，我国的黄金生产取得了一定的成绩，但产量仍然很低，只占世界第七位，仅有资本主义国家总产量的2.7%，这种状况不仅与我国国民经济的发展不相适应，而且与我国的国际地位也不相称，最近，赵总理多次过问黄金并提出黄金一年多搞

表1　　资本主义国家黄金产量

国家	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
南非	758.6	713.4	713.4	699.9	706.4	705.4	675.1	675.6	664.3	679.7	683.3
加拿大	52.2	51.4	52.4	54.0	54.9	51.1	50.6	52.0	64.7	73.5	81.3
美国	35.1	32.4	32.2	32.0	31.1	29.8	30.2	42.9	45.0	60.9	71.5
巴布韦津	10.4	11.0	12.0	12.5	12.4	12.0	11.4	11.6	13.4	14.1	41.5
加纳	19.1	16.3	16.6	16.9	14.2	11.5	10.8	13.0	13.0	11.8	11.6
扎伊尔	4.4	3.6	4.0	3.0	1.0	3.3	3.0	3.2	4.2	6.0	10.0
巴西	13.8	12.5	13.6	15.9	22.0	25.0	35.0	35.0	34.8	58.7	55.1
哥伦比亚	8.2	10.8	10.3	9.2	9.0	10.0	17.0	17.7	15.9	17.9	21.3
智利	3.7	4.1	3.0	3.0	3.3	4.3	6.5	12.2	18.9	19.0	18.0
马来西亚	—	3.0	12.7	10.7	10.8	11.0	11.0	12.8	11.8	10.8	10.8
秘鲁	2.7	2.9	3.0	3.4	3.9	4.7	5.0	7.2	6.9	9.9	10.5
墨西哥	3.9	4.7	5.4	6.7	6.2	5.5	5.9	5.0	5.2	7.4	6.8
尼加拉瓜	2.3	2.2	1.9	2.0	2.0	1.1	1.9	1.9	1.6	1.7	1.5
印度	3.2	3.0	3.3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.2	2.2	2.0
菲律宾	17.3	16.1	16.3	19.4	20.2	19.1	22.0	24.9	31.0	33.3	34.1
日本	4.5	4.8	4.5	4.8	4.8	4.3	3.4	3.3	3.6	3.4	3.5
欧洲	11.6	11.0	11.4	13.2	12.5	10.0	11.8	11.9	12.4	14.1	15.0
澳大利亚	16.2	16.3	15.4	19.2	20.1	18.6	17.0	18.4	27.0	30.6	39.0
巴布亚新几内亚	20.5	17.9	20.5	22.3	23.4	19.7	14.3	17.2	17.8	18.4	18.3
其它	8.6	8.3	11.8	11.8	11.8	11.2	19.4	25.8	31.4	38.6	39.6
合计	996.3	945.3	963.7	962.3	971.9	959.3	954.4	976.2	1025.1	1112.0	1148.7

××吨行不行？国务院召开了常务会议专门讨论了增产黄金、白银问题，国家经委提出了到1990年要产金××吨的要求，据此我们编制了一个“七五”规划来具体落实这个任务，在编制中存在着两个关键问题，其中一个就是资源不足，下边对我国黄金资源的基本情况作了分析。

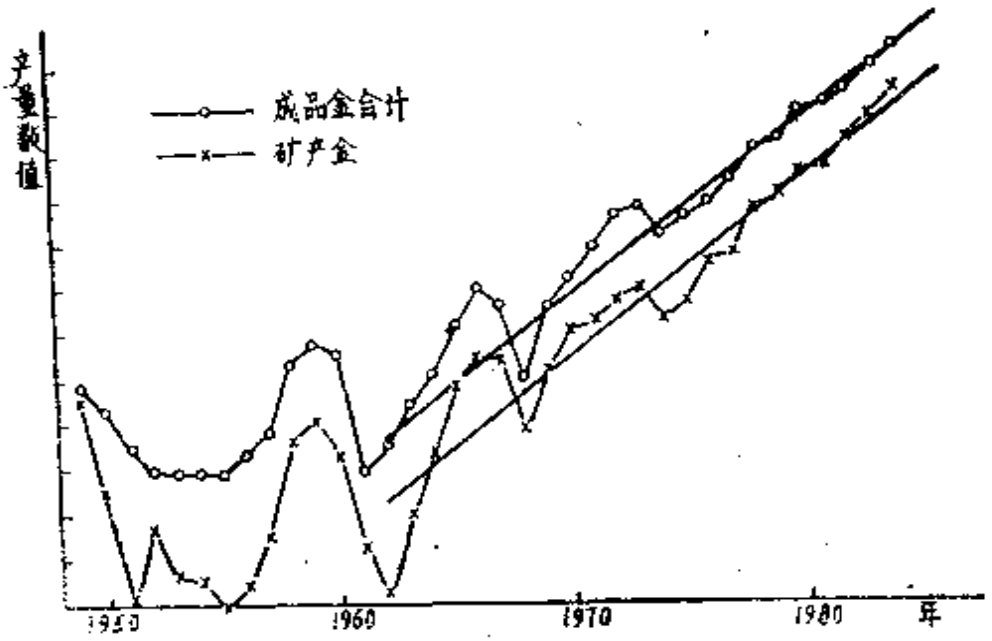


图1 我国黄金产量发展趋势示意图

二、我国黄金资源的基本情况

黄金之所以称为贵金属就是因为少，它在地壳中的丰度特别低，又很分散，要富集成矿很不容易，要富集到一般工业品位其富集系数为800—1000，要富集成大矿富矿要高达几千到一万，而铁的富集系数是7—12，铜为60—100，连银和铂的富集数都比金低，所以要形成金矿床需要经历长时期，多次多种的成矿作用和在相当有利的围岩和构造条件之下才行，另外，自然界中的金矿物虽然只有20多种，常见的也只二、三种，但除了部分砂矿和少量脉金矿山可以见明金外，其它多为微米到毫米级或更小，所以不易辨

认和发现，再加上金矿床的产状形态复杂，评价勘探中难度高，工作量大，由于这些特点，加上其它一些原因，愿意找金的队伍不多，故此探明金储量也就少，特别是可单独开采的脉金砂金量就更少了，据美国地质测量局的资料，现有世界总储量为59375t，我国储量占世界第五位（表2）

我国金矿分布广泛，全国除上海、天津两市暂未发现黄金资源外，其余的省、（区）和北京市均有黄金矿产资源。据统计全国近2000多个县旗生产金，但探明储量则较为集中，分布不均匀，脉金主要分布在山东、黑龙江、吉林、河南、河北、湖南等省，占脉金总储量的80%，砂金则主要在黑龙江、四川、陕西、内蒙、吉林等省，占砂金总储量的87%，脉金砂金总起来看，中国东部占72.5%，中部占24.2%，西部占3.3%。伴生金，主要集中在湖北、安徽、江西、甘肃、辽宁五省，占伴生金总储量81%。

金矿类型繁多，国外有的，我国也多已具备，但规模却以中小型居多，大型的少，超百吨的特大型矿床尚未发现，据统计大于10t的矿床数量仅占总数的7.7%，1—10t的矿床占总数的36.4%，而小于1吨的矿床却占55.9%。各种类型矿床比例差别也很大，象砂金，主要是第四系河谷型冲积砂金矿，约占总储量89%，脉金主要是石英脉型金矿床，破碎带蚀变岩型金矿床及变质热液矿床，三者约占总储量的94%，其它在世界上很有找矿前途的矿床类型在我国有的是小矿，有的还是矿点。

在平衡表上全国脉金砂金共257个矿山，这些矿山勘探报告占的比例不大，地质工作程度偏低。

从储量增长的情况看，1953—1957年新增储量××吨，平均每年新增××吨，1960—1963年保有储量下降×××吨，平均每年下降××吨，1964—1970年新增储量××××吨，平均每年增长×××吨，1971—1975年下降××吨，平均每年下降××、×吨

表2　世界黄金储量(t)

单位	储量	其它储量	合计储量	单位	储量	其它储量	合计储量
北美洲合计	5938	5312	11250	罗得西亚	469	312	781
美国	3438	4062	7500	南非共和国	18125	12500	30625
加拿大	1406	625	2031	其它	313	625	938
墨西哥	375	406	781	亚洲合计	1250	625	188
其它	562	219	781	日本	156	156	312
南美洲合计	781	313	1094	菲律宾	562	219	781
欧洲合计	8125	2188	10313	其它	531	250	781
苏联	7813	1719	9372	大洋洲合计	1563	781	2344
其它	312	469	781	澳大利亚	1094	625	1719
非洲合计	19063	14062	34375	其它	469	156	625
加纳	125	781	938	世界合计	37500	21875	59375

原注：由于取整数，所以总数不等各项之和

1976—1983年新增储量×××吨，平均每年增长××.×吨 从上可以看出，只要加强重视黄金地质工作，增长黄金储量是有可能的。

三、黄金资源利用情况

建国30多年来，我国黄金地质找矿勘探工作有了一定的发展，截止1983年末，全国上平衡表的黄金矿产地326处，保有储量×××吨，工业储量×××吨，占26.5%，其中砂金矿110个，保有储量×××吨，占总储量的11.5%，脉金矿147个，保有储量×××吨，占总储量42.2%，伴生金矿69个，保有储量×××吨，占总储量46.3%，这些储量，远不能适应黄金生产发展的需要，主要表现在：

1．已探明储量大部分已被利用，在脉金和砂金总储量×××吨中，已被生产基建矿山占用×××吨，占总储量91.7%，其中国营矿山占用×××吨，地方骨干矿山占×××吨，乡镇企业及个人占用××吨，基建矿山占用×××吨，“七五”规划已安排建设的储量为××吨，占总储量4.3%，尚有××吨储量因矿石品位低，矿体小而分散，矿石选冶未过关，建设条件太差和地质工作程度太低而暂不能利用。

2．一些生产矿山资源不足，由于黄金地质工作的特点和现状，造成了黄金矿山地质工作程度不高，储量级别低，C级和部分D级储量就作为设计依据，矿山建成后，势必造成矿山地质工作量较大，有色矿山大的多，储量升级，探边摸底以解决资源需要，给黄金矿山地质工作增加了新内容，自1980年以来黄金局加强了这方面的工作，每年用发展基金补助矿山进行地质探矿，四年来在国营矿山共补助1671万元，完成坑探13.47万m，钻探15.2万m，获得储量××.××吨，这仍然解决不了矿山资源危机的局

面。在统计的32个国营矿山中，岫岩、东南、古袍、六岭、隆囤资源枯竭，即将关门，尚有6个矿山资源危机，工业储量不足5年。这些矿山的能力××.×万两，如不加强工作，能力即将消失。在76个地方矿山和乡镇骨干矿山中，作过普查工作的39个，占51.3%，作过评价、详查工作的22个，占25%，正式提交勘探报告的有15个，占19.7%，这76个矿山在建设时期都打了坑道验证并每年都给一定探矿补助，现在仍有8个矿山资源枯竭，濒临停产，19个矿山的服务年限在5年以下，余34个矿山最多能采8年，矿山地质工作的问题急待解决。

3．“七五”规划的建设项目等米下锅，在“七五”规划要建设的139个大中型矿山中，已有地质勘探报告51个，占36.7%，正在勘探，即将提交报告的有54个，占38.8%，余34项都是刚开展地质工作的点，如果这些项目的资源不落实，“七五”规划将不能完成。

四、对黄金地质的要求

1．由于我们在建设方针上进行了改革，要大矿大开，小矿放开，由于大矿不多，今后以建中小型矿山为主，所以我们希望地质队能找大矿最好，但千万不要放弃小矿，只要是浅、富、易、近的矿山，都希望给予工作。

2．对于现有矿山周围，特别是资源危机的矿山周围，虽然地质工作难度大一些，但这些地区有成矿的地质条件，如能找到矿体，既可使国家减少新建矿山投资，还可以使矿山得以生存，何乐而不为呢？

3．通过十多年来的建设，我们已在黑龙江、山东、小秦岭等重点地区建成了初具规模的一些成龙配套的体系，希望能加强这些地区的地质工作，提交更多的储量以便更好地发挥生产基地的

作用。

4．开发大西北是党中央的号召，目前我国西部地区的储量有×××多吨，产量也很少。据调查，仅青海一个省个体采金人数5.8万人，甘肃、新疆、西藏亦如此，这说明那里有金可采，地质工作尚未跟上，为此有必要加强西部地区的地质工作，为开发大西北创造资源条件。

5．储量要求，按照“七五”规划的指标，1990年生产金××吨，五年累计生产×××吨，其中伴生金××吨，黄金矿产金×××吨，就目前生产一吨金需要消耗储量1.6—2吨计算，“七五”将消耗脉、砂金储量×××吨，接近现在保有储量的一半，黄金矿山现有能力，包括在建项目为×××万两，其中要靠新建矿山，初步计算“七五”规划中约需新增储量××××吨，至于2000年以前需要情况那更是显而易见的事。许多老矿能力消失，要接替，新建就需要储量，国家需要多生产黄金，就要生产，建设也需要储量，真正是越多越好。

五、建　议

地质工作目前遇到了一定的困难，我们想从工业方面介绍几个情况：

第一，金矿地质勘探费约占金产值的15%左右，石油、煤炭、钢铁等的资源勘察费约占1%以下，显而易见，如果黄金生产有偿使用资源，则或者大幅度提高金价，或者国家补贴，或者大幅度提高工业指标，关闭低利矿山而减产、除此之外，别无它途。

第二，如果一定有偿使用资源，由于黄金生产处在发展阶段，总产值不大，而地勘投资大，价格由国家控制，因此，有偿使用资源的费用额度应在保持企业获得平均工业利润的前提下，在超额利润中考虑。

第三，如果一定有偿使用资源，地质资源仅具有潜在价值，该价值不仅与储量数字有关，而且与近、富、浅、易程度有关，地质部门提交的矿产资源不能全部被工业部门利用，因此不应以基建贷款的方式有偿，而应以按产值的一定比率收回有偿值。此外，如果以基建贷款的方式有偿，也不利于大矿山的建设。

第四，有偿使用资源不应与给奖并行，正如顾客不能既花钱在商店买东西又向商店给奖一样，并且，无论有偿还是有奖，应是资源谁用谁给，用多少给多少，不用不给，落空要偿还本息。

第五，金矿是所有矿种中勘探程度最低的矿种，不但不应降低勘探程度，还应提高勘探程度。目前一些金矿储量较大的地区所以不能大规模地开采和选冶主要原因是工业储量的比率太低，缺少建设的前提。

第六，矿床工业指标是按矿床近、富、浅、易条件，采选冶工艺和金价情况定出的，不能脱离具体特点强调用下限指标。因为盈得平均工业利润是办企业的起码条件，不能办亏本企业。

以上几点说明，从工业利用观点看，金矿这个矿种在目前有偿使用特别是降低可靠性和效益性的有偿使用是不适宜的，甚至试点也不宜选金矿这个矿种，但少量给奖是可以的，根据所知道的情况我们认为，目前地质工作的困境虽表现为资金不足，其实质是地质工作管理不善造成的。例如，全国大多数地质队伍中，大约只有三分之一多一点的人在第一线，一个人在地质队工作30年，大约只有10多年在第一线工作，一年之中，真正干地质工作的时间，大约只有半年多一点，正式职工的福利费大约与工资相等或超过等等。因此，真正用到地质工作的费用占总地勘投资的比例是不大的，当然，这些问题也不是地质行业独有，我们的意思是，改革应在地质内部下功夫。其它行业已在效益上下功夫改革，地质行业也应在地勘费用上下功夫改革。如果不在这方面下功夫，只是向其它部门要钱，虽然暂时生效，后果将越来越不堪

设想，为此我们建议：

1.加强组织领导，请国家计委组织在不改变隶属关系的情况下，对现有黄金专业地质队伍实行统一领导，统一计划，统一布署，联合找矿。

2.实行储量承包，打破按人头给钱或靠“米”吃饭的地质投资管理办法，实行储量承包后，提交储量所需投资超过了国家给的黄金事业费，黄金总公司愿意弥补不足，若黄金事业费有余时要允许跨年使用。

3.认真推行地质设计、基建、生产三结合，做到有矿快探，探采结合，缩短矿山建设周期，加快地质工作速度。

4.有目的地请外国专家来协助，解决探矿方法上的问题，并引进国外先进技术和装备，加快找矿勘探步伐。

5.继续执行对提交可供建设储量的队伍奖励外汇额度，拟再增加少量资金奖励（具体办法另定）。

选自《全国金矿地质工作会议文集》（1986）

对金矿规范若干问题的说明及探讨

全国储委办公室

全国储委制定的“岩金地质勘探规范”和“砂金地质勘探规范”已颁发试行。

两个规范在编制过程中，都曾到过一些典型矿区调查研究。进行地勘与生产探采对比，基本上总结了我国黄金地质勘探的工作经验，体现了设计、生产部门对黄金地质勘探工作和研究工作的要求，规范编好后广泛征求了金矿地质队、设计、生产和地质勘探主管部门的意见。最后经地质、设计、生产等部门共同审定同意。由全国储委正式批准颁发试行。作为各级储委审查验收金矿地质勘探报告的技术标准。

目前，我国正在进行经济体制改革，在大力发展黄金事业的大好形势下，有必要就规范中若干重要问题制定的依据向大家作一介绍，与到会同志们共同研究，从而使我们今后在金矿地质勘探工作中，更好地贯彻执行规范的要求。

一、岩　金

经过正规地质勘探工作提交的地质勘探报告，从20多个岩金矿山生产的实践进行探采对比资料表明，除个别矿区外，一般金矿总的储量不减少，但矿块的矿体形态、位置变化较大，总的品位较勘探阶段有所下降。这一总的岩金探采对比结论启发我们对岩金地质勘探应采取哪些技术政策。现分别叙述如下：

（一）关于勘探手段问题

规范规定："由于岩金矿体的形态、品位变化都较其它有色金属矿体复杂，因此，在地质勘探中应尽量采用坑道。"

根据规范组的统计，我国若干重要金矿的品位变化系数Vc多大于100%以上，属很不均匀到极不均匀（表4）。而且从表中可见矿床属特大型，品位变化系数相对较高，说明不存在矿体越大品位越均匀的情况。1980年（80）冶黄生字第145号文《关于下达全国黄金生产矿山工业指标的函》中，为了延长矿山服务年限，冶金部黄金局要求正在生产的矿山按1—3—5g／t圈定矿体，规范组按此指标试算过若干矿区，结果工业指标降低，而品位变化系数都有所增高（表4）。说明金矿工业指标降低后，品位变化更为复杂。

分析矿山生产的品位普遍低于地勘品位的原因之一是由于开采贫化率造成，但从金矿地质条件复杂情况分析，也是由于地质勘探阶段勘探手段和工程间距使用不当造成。举例如下：

规范组调查辽宁五龙四道沟2号脉，原勘探采用50×50m钻探探求9t储量，但矿山生产探矿坑道打进之后，原圈定的大部分矿块无矿，而在原未圈出矿体处求出10t金矿，矿体空间位置变了，但总储量差别不大。

又如吉林四道岔8号脉，在长200m，延深270m的范围内，有6个钻孔连续见矿，矿山急于利用，投入一个竖井，拉开四层坑道，发现矿体长仅几米—20m，延深几米—50m，厚0.5m（与勘探对比差别很大）。金品位10.75—83.75g／t（与勘探对比差别不大）。但总储量变为原储量4t的7%。

又如湖南湘西钨、锑、金矿，勘探时打了277个钻孔仅4.4%的钻孔见矿，给予否定评价，以后采用坑道，证明矿体为沿走向很短50—350m，厚度薄0.2—3.0m（平均厚0.47m）、斜深为200—1200m的板条状矿体，按此矿体形态规律连接的矿体，生产证明

是符合实际的。从而又肯定了矿床的工业价值。

这些例子充分说明坑道手段对勘探金矿床所起的作用。

选用坑道的工程间距时，我们认真分析并采纳了河南小秦岭金铜岔9号脉的经验。该矿脉由石英脉和糜棱岩组成，长1680m斜深728m（其中主矿体长560m），矿脉厚0.04—4.92m，一般厚0.4—1.5m，平均厚0.74m，倾向南西，倾角22—32°，厚度变化系数71%，品位变化系数276%，在地质勘探时与长春黄金设计院结合较好，充分利用地形切割厉害的条件，创造性地选用勘探手段和勘探工程间距，采用地表槽探，工程间距20m，深部以坑探为主，钻探为辅的手段，用沿脉控制矿体施工二层坑道，中段垂高69m，斜距180—200m。在二层坑道之间以及深部以240×240m钻探控制，个别剖面钻孔加密到120m，采用坑、钻结合探求C级储量，使全区C级储量达73%，勘探投入坑道3223.6m，老窿清理4310m，钻孔30个，10716.3m。探明储量达十余t，该矿现已近开采完毕，除浅部老窿及无矿带控制不足产生储量减少外，其主体总的储量误差不大，我们认为这个矿的勘探经验是成功的，特别是利用地形采用中段69m斜距达180—200m打沿脉坑道，而在坑道之间又布置了钻探的坑钻结合方式具有创造精神。

岩金矿规范中规定探求Ⅰ类矿床C级坑道中段高可放稀到〔二〕—〔三〕个生产中段高度，这条规定来源于金铜岔矿床勘探的经验〔当矿体为陡倾斜时，一个生产中段高为30—40m；缓倾斜时，一个生产中段为沿倾斜40—60m〕。

由于以上资料的综合分析研究，规范规定岩金矿

第Ⅰ勘探类型应用坑勘探求B级储量，探求C级一般以钻探为主，以坑道作为检验手段。

第Ⅱ勘探类型探求C级储量一般以坑道为主，稳定的矿床毗邻坑道的一排钻孔可求C级储量。

当地形条件不利时，地表槽探加密控制可以代替一层坑道。

总之，坑道是岩金勘探的重要手段。选用坑道的位置，应尽可能考虑到今后的矿山生产时能够利用。

（二）B 级 储 量 问 题

黄金矿体形态与品位变化既然比其它有色矿床更为复杂，说明它比其它矿种探求B级储量的难度要大。根据这一具体情况规范规定对“特大型或大型矿床，属于第Ⅰ勘探类型可在C级储量基础上加密勘探，探求5%左右的B级储量”。这条规定是经过反复磋商才达成协议的。

属在大型或特大型矿床，即规模在20t以上，50t以上时需求B级；属于比较简单的第Ⅰ类型矿床，即不属于Ⅰ类的第Ⅱ、Ⅵ类型矿床，不求B级；由于金矿复杂，在C级储量的基础上加密勘探，加密之后不一定全都能达到B级条件，故仅探求5%左右的B级，不能多求；如果在C级基础上加密坑道求不到B级时，就要注意研究该矿床是否能列为第Ⅰ勘探类型，B级采用一个中段高度的沿脉或穿脉坑道探求，因限于地质队的设备和技术能力，打天井十分困难，有的单位提出要加天井的要求，未予采纳。

浙江遂昌银坑山金矿，储量接近20t，属第Ⅱ勘探类型矿床，勘探时采用1—2层（对有的矿体仅一层坑道）坑道结合钻探求C级储量，生产部门在讨论规范时表示：虽无B级储量也是放心的。因该矿属Ⅱ类，也不要求B级。

规范指出：“国外较著名的卡林型、霍姆斯塔克型、兰德型金矿床，在我国也有找矿线索。”因此，我国尚无勘探第Ⅰ类型矿床的经验，勘探第Ⅰ类型矿床采用的工程间距及B级储量比例等，在规范中暂缺。

规范规定“第Ⅰ勘探类型，探求C级储量一般以钻探为主，以坑道作为检验”探求少量的B级储量，对C级可起到检验作用。

（三）储 量 级 别 比 例

规范规定的计算各级储量的比例是在勘探深度300—400m范围内的B+C+D级储量的总数基础上计算，在勘探深度以下的D级储量，不参加储量比例计算。

规范要求“特大型或大型矿床，B+C级储量占勘探范围内B+C+D级储量的60%左右；中型矿床，C级储量占勘探范围内C+D级储量的50%左右”。其理由：

1.过去大于5t储量为大型，1—5t为中型，现在大于20t为大型，5—20t为中型，很有必要比原规定的比例适当提高其保证程度（1965年地质部〔65〕地一字1号文《关于金矿地质勘探工作几项暂行规定》中规定Ⅰ类矿床要求C级储量占30—50%，Ⅲ类C级占20—30%，Ⅵ类C级占15—20%）。

2.过去已勘探的重点矿区，按新的矿床规模标准划分特大、大、中型矿床时，其B+C级储量比例除个别矿区外一般均能达到现在规定的标准（表4）。

3.60年代矿山建设选厂规模最大为日处理250t，现在建设的选厂规模大多为日处理1000t，金的选矿工艺流程较为复杂。一般有重选—混汞—浮选—氰化等联合流程，其建设投资为相同规模的有色金属矿山的二倍左右。因此，要求C级储量要有一定比例才有保证。

规范规定小型矿床，C级储量占勘探范围内C+D级储量的0—30%，由于小型矿床的规模未定下限，也由于小型矿床一般较复杂，C级储量可以少求甚至不求，但规范还规定“小型矿床中，比较稳定且规模接近中型时，其C级储量比例还可比30%提高一些”，工业部门要求普遍提高。小型矿床的比例，讨论时未能得到统一意见，但对小型矿床而又接近中型的4—5t储量又比较稳定的矿床，同意C级比例可比30%再提高一些。

对极复杂矿床，不论是大、中、小型，只要用Ⅵ勘探类型的网度控制，仍求不到C级储量时，可只求D级供工业部门边探边

采。规范有了这条规定，对复杂的难以求到C级储量的矿床，地质勘探工作也就有所遵循。

（四）勘探工程间距

由于金矿矿体形态和品位比相同规模（指的是矿体延展规模）的其它有色金属矿床复杂，控制各级储量的网度理应偏密一些。根据这种情况结合已勘探金矿床实例，与有关地勘部门和设计、生产部门共同协商制定而成为规范中的“勘探工程间距表”，在1983年山东烟台召开的“岩金矿地质勘探规范”审定会上得到通过，下面补充两点：

1.山东焦家特大型金矿床，主矿体、1号矿体，长960m，斜深一般500—670m，平均厚3.47m，属破碎带蚀变岩型矿床。会议一致同意把它列为金矿第Ⅰ勘探类型的代表，一致同意探求C级储量可以钻探为主，坑道检验，原勘探采用120×100m的钻探间距求C级，因为厚度变化系数116%，品位变化系数达175%，参照同规模钨、锡规范经验确定为现规范中80—100×80—100m探求C级储量。

2.第Ⅵ类型的网度，基本上是以矿山生产的最小中段高30—40m作基础制定的，规范制定过程中，有单位要求Ⅵ类C级要用20—25×20—25m的网度，经各方面商议，最后定为30—40×30—40m较合适，它可与开采最小块段一致起来，如用30—40的网度不能控制C级储量，则只求D级。

钨、锡规范中，凡属石英脉类型的矿体，无论延展规模再大，由于品位变化极其复杂，都把它们定为第Ⅰ类型或第Ⅵ类型，不列入Ⅰ、Ⅱ类，这一经验，可供黄金勘探的借鉴。

（五）工业指标

它是圈定矿体、计算储量、评价矿床经济价值的标准。过去经过正规地质勘探，由工业部门正式确定的岩金矿工业指标，一般边界品位为2—3g／t，最低工业品位4—5g／t，矿床平均品位6

表1　岩金规范中确定的勘探工程间距表

勘探类型	B级			C级		
	坑道		钻探	坑道		钻探
	段高	穿脉(m)	走向×倾斜(m)	段高	穿脉(m)	走向×倾斜(m)
Ⅰ				(二)-(三)	40-60	80-100×80-100
Ⅱ	-	30×40	40--50×40-50	(二)-(三)	30-40	40-60×40-60
Ⅳ				(一)	20-30	30-40×30-40
Ⅴ	以第Ⅳ勘探类型网度勘探后提交边探边采					

注：坑道段高(一)、(二)、(三)分别指相当于(一)、(二)、(三)个生产中段段高。

—8g／t。从1980年7月国家调整黄金价格以来，出现了省级主管工业部门确定某些矿区的正式工业指标边界品位为1—1.5g／t，最低工业品位3.5—4g／t，矿床平均品位5g／t。一些老生产矿山，按照冶金部黄金局(80)冶黄生字第145号文中确定的边界品位1g／t，最低工业品位3g／t，矿床平均品位5g／t重新计算储量。

在这次编制岩金规范中，充分考虑了以下各种因素：

据调查，由于黄金生产工艺技术的提高，生产管理的改进，近年来黄金国营矿山选矿尾矿平均为0.55g／t，先进企业可达0.4或小于0.4g／t。按一般原则确定边界品位为尾矿的两倍衡量，则边界品位降到0.8—1.1g／t在技术上是合理的。

据了解，当前黄金矿山少数先进企业入选品位（扣除采矿贫化率因素之后）达3g／t可以不赔不赚；而另有些后进矿山或边远地区矿山入选品位要达到每吨6—7克才能做到收支平衡。显然先进与后进的差距很大，我们不同意把企业管理不善造成的亏损全部转移到提高工业指标方面来解决；但另一方面也不能把一般

工业指标定在极少数先进企业的水平上。

在这里向大家推荐一个最简单的工业指标计算公式：

$$\text{矿床平均品位 (g/t)} = \frac{\text{处理每吨原矿石的采选冶总成本(元/t)}}{\text{赤金价格元/g}(1-\text{贫化率})\cdot\text{选矿回收率}\cdot\text{冶炼回收率}}$$

岩金规范中采用了三项品位指标，即边界品位、最低工业品位、矿床平均品位，原则上金矿床平均品位是企业经营平衡品位（不盈不亏）。由于金矿品位变化极其复杂，如将经营平衡品位应用于单工程或小块段，势必将矿体圈得很零乱，而金矿采用三项品位指标是针对金矿特点制定的，既保证经济合理，又照顾到矿体圈定的完整性。

最低工业品位应用在单工程内或应用在块段内的问题，这要视矿体具体地质条件而定。薄板状、脉状矿体应用于小块段平均品位上；厚大矿体或一个工程内见多层(非板、脉状)矿体，应用于单工程内分层平均品位上。

规范定稿时对一般工业指标是采取波动范围取得一致意见的，即按目前先进指标作下限，按老的工业指标（目前有些生产矿山仍然实用）作上限统一了意见。具体是

边界品位	1—2g／t
最低工业品位	3—5g／t
矿床平均品位	5—8g／t

上述一般工业指标是金矿床地质评价用的参考指标，每个详勘矿区计算储量所需的具体工业指标，需要工业部门根据各矿区的地质条件、地理条件在技术经济核算的基础上予以制定。

有一个概念需要明确统一认识。入选品位是地质品位经开采贫化后输送到选厂的品位，不能把两者混淆，两者中间还有一个贫化率参数要考虑〔据冶金部长春黄金设计院统计，1980—1982年32个国营脉金矿山矿石平均贫化率为24.75%，这个数字可供

参考）。

有的矿区降低工业指标以后，平均品位也相应降低。储量计算结果，矿石量增加一倍而金属量增加量很少，其结果对矿山生产很不利。因此，在一个矿区确定采用哪一种工业指标时，要选择2—3个方案试算比较后再定，要选取矿石量相对较少而获取金属较多，既要经济合理又能充分利用资源的方案。工业指标降低以后，品位变化系数增大，这一事实也应引起注意（表4）。

在制定规范过程中，有同志提出制定工业指标时，不能只考虑生产上的不赔不赚，还需考虑基建投资还本，主张在基建贷款还清之后，再降低工业指标。这个意见在当前经济体制改革时期是需要考虑的。

（六）特高品位

特高品位的确定及其处理办法对金矿储量影响很大，过去缺乏研究。生产部门分析生产品位普遍低于地质品位的原因之一，是由于对特高品位处理不当造成的，这个问题极其重要。例如某中型矿床优质品位处理的方案不同，会影响到几吨储量的增加或减少，影响到平均品位几克吨的波动。在这次大会上，还拿不出更多的调查研究资料，规范中也只在最后提到一句“如发现有高品位，应按照矿床地质规律，确定是否圈出富矿段或作特高品位处理“。这个问题有待今后专题研究。

（七）勘探深度

规范中原规定勘探深度300—400m一般是合适的，特别是一些大型矿床，要确定矿山规模，需要探明一定的深度，但值此大力发展我国黄金生产的形势下，遇有急需建设的矿区，我们同意大会筹备组的建议，可将勘探深度减少为200m以上，即可在200m以上的主矿体内，按照规范规定的各级储量比例探求各级储量。对200m以下的矿体，需用稀疏钻孔控制远景，以后可由地质勘探部门继续勘探，或者由矿山部门在矿山生产过程中继续进行勘

探。这种做法，实质上是为了满足急需，采取分期分段进行勘探。在基本保证矿山建设设计可靠的前提下，尽可能缩短地质勘探周期，加速矿山建设。

岩金规范中其它有关矿床研究程度和各项勘探工作质量的要求等，都是经过广泛调查研究、协商一致制定下来的，在此就不一一作介绍说明了。

二、砂　金

砂金地质勘探规范已经全国储委1985年批准试行，即将分发各部门。

由于砂金矿床形态简单，采用砂钻勘探速度快。各级储量比例与勘探工程间距基本上是总结以往经验归纳而成，争议不大。下面仅就几个特殊性的问题谈点情况。

（一）砂金的勘探手段

主要是砂钻，过去存在一个争论问题就是用浅井检查砂钻质量的数量及其作用问题，经这次规范组统计9个矿区257个检查浅井与砂钻品位对比研究，浅井大于钻孔品位的104个，浅井小于钻孔品位的153个，说明两者之间不存在系统误差。另方面，规范组选择5个矿区15个矿体中实采砂金量与砂钻所计算的储量进行对比，也不存在明显的系统误差。因此砂金规范不再要求打浅井检查砂钻。只是提出采取各种技术样品和选矿试验样品以及测定基岩块度需要打一定数量具有代表性的浅井。

（二）规范中针对砂矿的特点提出各级储量级别条件的要求

具体是①对矿体的形状、产状和空间位置；②对矿石的粒度组成（包括巨砾率）、基岩风化程度和底板纵向、横向坡度；③对冻结矿石与非冻结矿石的比例及其变化规律等方面分级别条件提出要求。这是与岩金矿床储量级别条件迥然不同的，这些条件

都是与砂矿的开采条件与选矿技术装备紧密相关的。

（三）特高品位

据9个大中型矿床砂金的品位变化系数统计，品位变化系数大于100%有7个，详见表5。说明砂金矿床形态虽较简单，而品位变化仍然极其复杂。针对砂金的特点，在规范附件中提出了一个参考性的“特高品位的确定与处理方法”。

1.首先，规范组经过若干砂金矿的试验，认为B·N·斯米尔诺夫的类比法较为恰当，即按矿体品位变化系数确定特高品位下限（表2）。

表 2

品位变化系数（%）	特高品位的下限为平均品位的倍数	组分均匀情况
<20	2	很均匀
20—40	4	均匀
40—100	8	不均匀
100—150	12	很不均匀
>150	15	极不均匀

2.对矿钻和浅井中品位高的单个样品，不算特高品位，也不必处理，因为它不是圈定矿体的基本单位。作为圈定矿体的基本单位是一个砂钻或一个浅井中由地表到矿体底板的全部混合砂的品位（包括含矿与不含矿的样品总平均值）。

3.确定为特高品位的钻孔品位或浅井品位，在分布上有规律，可能为独立富矿时，应加密工程单独圈定并计算储量（即不作高品位处理）。

4.对特高品位的处理办法未作硬性规定。

上述对特高品位确定的原则和处理办法对岩金矿也是有参考作用的。

（四）工 业 指 标

砂金矿工业指标是在与开采方法紧密结合、充分利用矿产资源、综合技术经济核算的基础上予以制定的。现将砂金一般工业指标列于表3。

1.表中全面开采，是指采金船开采从地表（矿体顶板）至矿体底板可视为开采对象的全部松散堆积物，称为混合砂。

砂金矿的混合砂矿体是以工程品位为计算储量的单位，以工程中含金量的总和与工程中所有样品（包括泥砂层与矿砂层）的体积总和作为计算工程品位的依据。

矿体底板即混合砂的下限可以与基岩一致，也可以在基岩以上的砂砾层中。

2.最小可采宽度与无矿地段剔除宽度是与采金船横向运动的最小采幅宽度相一致的。

3.矿体最低可采矿石量（万米^3），是为了在一定年限内收回建船费用。要求矿体必须具备满足采金船服务年限内的可采矿砂量。斗容50—100l的船服务年限为4—10年计算；150—300l的船服务年限为10—15年计算，南方年生产300天计算；北方因冻土年生产200天计算。

4.采金船开采，矿体底板坡度50l的船不应大于30‰。船型越大，底板坡度要求越小。300l的船要求坡度不大于12‰。

5.水枪开采适用于矿体底板坡度大，裂隙少，碎屑物易冲洗，采场断面高不大于20m的支谷砂金矿或具有充足水源的阶地砂金矿。

6.对不适用于全面开采条件的矿床，采用分别开采。它适合于开采泥砂层和矿砂层界限分明并适合剥离开采的矿床。剥离泥砂层之后，开采矿砂层。

7.地下开采适于开采矿砂层品位高、埋藏深、不适于露天开采的矿床。矿砂层采幅高度自基岩面向上1.3—1.5m。如矿砂层

表3　砂金矿一般工业要求

项目	露天开采						地下开采
	全面开采						
	采金船开采				水枪开采	分别开采	
	南方		北方				
	50—100l	150—300l	50—100l	150—300l			
混合砂边界品位（g/m³）	0.05—0.07	0.04—0.06	0.06—0.08	0.05—0.07	0.1	0.3—0.5	
混合砂（块段）最低工业品位（g/m³）	0.16—0.18	0.14—0.16	0.18—0.20	0.16—0.18	0.3	0.6—1.0	
最小可采宽度（m）	30—35	40—60	30—35	40—60	20		
无矿地段（夹石）剔除宽度（m）	30—35	40—60	30—35	40—60			
矿体最低可采矿石量（万m³）	150—450	900—2000	100—300	600—1400			
矿砂层边界品位（g/m³）							1
矿砂层最低工业品位（g／m³）							3
矿砂层采幅高度（m）							1.3—1.5

表4　我国岩金矿几个典型矿区数据统计表

矿床名称	矿脉号（体）	勘探类型	矿体形态	矿床规模	厚度变化系数%		平位变化系数%		C级以上储量占总储量百分比
					旧指标	新指标	旧指标	新指标	
山东焦家金矿	1	Ⅰ	脉状、透镜状	特大	115.5	125.88	174.57	213.84	64.61
〃	2	Ⅰ	〃	特大	107.84	120.23	163.13	205.31	
山东新城金矿	1	Ⅰ	斜卧状矿柱	特大	36.27	78.09	148	157.48	34.5
山东三山岛金矿	1.2	Ⅰ	脉状、似板状	特大	113.10	105.31	177.39	164.70	31.07
黑龙江团结沟	1	Ⅰ	脉状、透镜状、漏斗状	特大	148.48	176.84	189.60	195.56	82.34
河南金硐岔金矿	9	Ⅰ	脉状	中型	70.82	64.51	273.36	308.48	73.89
吉林三道沟金矿	2	Ⅰ	〃	中型	51.63	64.34	64.57	86.57	60.95
〃	5		〃	中型	52.69	53.57	79.72	94.34	
吉林三道岔金矿	1、2、3	Ⅰ	脉状、透镜状	大型	78.19	82.31	113.48	125.74	68.3
河南杨岩峪金矿	60	Ⅰ	脉状	大型	82.28	75.38	113.10	208.48	59.51
河北金厂峪金矿	Ⅰ—5	Ⅰ	不规则的脉状	大型	102.53	120.71	127.67	149.16	27.33
〃	Ⅰ—2		〃		97.87	[redacted]	80.66	104.18	
〃	Ⅳ—3		〃		69	[redacted]	2.58	97.54	

表5　　我国砂金矿几个典型矿区数据统计表

矿床名称	形态类形	矿体编号	规模	品位变化系数%	厚度变化系数	B级储量所[illegible]	B+C级储量所占	工程密度 B级	工程密度 C级
1.黑龙江呼玛县达拉罕砂金矿	河谷	Ⅶ—1	中	119.23	19.38	[illegible]	77.66	400×20—40	400—800×20—40
2.陕西安康恒口砂金矿	〃	Ⅰ	大	119	42	2.63	59.02	200×20	400×40
3.吉林珲春柳树河子砂金矿	〃	Ⅰ	中	120—145		24.64	94.5	200×20	400×40
4.黑龙江省爱辉县罕达气砂金矿	〃	Ⅰ	中	95.24	15	18.7	83.2	200×20	400×20-40
5.黑龙江省爱辉县罕达气砂金矿	〃	Ⅱ	小	59.83	11.63	28.7	67.7	200×20	400×20
6.黑龙江省呼玛县兴隆沟砂金矿	〃	Ⅰ—Ⅳ	中	188.18	17.85	0	33.1		〃
7.黑龙江省伊春小鱼河砂金矿	〃	Ⅰ	中	111.65	19.71	0	81.56		〃
8.黑龙江省伊春小鱼河砂金矿	〃	Ⅶ	小	71.56	37.75				

续表

矿床名称	形态类型	矿体编号	规模	品位变化系数%	厚度变化系数%	B级储量所占比例%	B+C级储量所占比例%	工程密度 B级	工程密度 C级
9.黑龙江桦南石头河子一七道沟砂金矿	〃	Ⅳ	中	82.85	17.96	0	100		400×40
10.黑龙江桦南石头河子一七道沟砂金矿	〃	X—1	中	134.9		22.65		200×20	400×20
11.黑龙江省桦南驼腰子砂金矿	阶地	Ⅰ	中	162		0	100		400×40
12.黑龙江省桦南驼腰子砂金矿	河谷	Ⅰ	小	60.2		0	0		400×40
13.黑龙江省桦南秋皮沟砂金矿	〃	M_1	小	128.4		0	81.3		400—1600×40
14.内蒙含金矿西菜园矿段砂金矿	残坡积及洪冲积	Ⅰ	〃	75.8					
15.内蒙含金矿西菜园矿段砂金矿	〃	Ⅰ	〃	216.2					100—200×50—25

续表

矿床名称	形态类型	矿体编号	规模	品位变化系数%	厚度变化系数%	B级储量所占比例%	B+C级储量所占比例%	工程密度 B级	工程密度 C级
16.内蒙含金矿西菜园矿段砂金矿	〃	Ⅲ	〃	92.37					100—200×50—25
17.内蒙含金矿西菜园矿段砂金矿	〃	Ⅳ	〃	128.6					〃
18.内蒙含金矿西菜园矿段砂金矿	〃	Ⅴ	〃	70.94					〃
19.内蒙含金矿西菜园矿段砂金矿	〃	Ⅵ	〃	249.65					〃
20.内蒙含金矿西菜园矿段砂金矿	〃	Ⅶ	〃	81.08					〃

小于采幅高度时，可用米克值衡量。

8.最低工业品位（g／m^3）计算公式及举例

$$a = \frac{C}{E(1-r)\cdot Q\cdot T\cdot \varepsilon}$$

式中：a—最低工业品位（g／m^3），C—采选成本（元／m^3），船采1.92元；E—赤金价格（元／克）500元／每两，折合每克16元；r—采矿贫化率(%)；船采5%；Q—选矿回收率(%)，船采85%；T—砂金成色（%）0.94；ε—冶炼回收率(%)98%。

$$a = \frac{1.92\ (元／m^3)}{16(1-0.05)\times 0.85\times 0.94\times 0.98} = 0.1613(g/m^3)$$

9.混合砂边界品位的制定是采用最佳方案法确定的，不是象岩金矿用尾矿的两倍确定。即当最低工业品位算出来以后，用几不同的边界品位试算，分别圈定矿体，计算储量、产量、产值、成本及利润，取其中总利润最大的为最佳方案。

我们认为砂金规范组经过广泛调查、精心核算、分别开采方法提出的一般工业指标是很切合实际的，但在1985年黄金又进一步调价，提价之后，赤金价格不是每克16元而是22元了，于同时采选成本也相应提高，故在应用时要结合各矿床本身的技术经济条件进行取舍。

砂金规范的其它内容不在此一一说明了。

选自《全国金矿地质工作会议文集》（1986）

金的命名系统综述

帅德和

（成都地质学院）

古今，人类对金的命名，以其观察条件、形态、粒度、产状、组合、成因等各方面资料为依据，给予了许多名称，其命名内容之丰富，没有任何矿种可与之相比。就有关资料，综述于后，以供参考。

一、《本草纲目》论述

李时珍在《本草纲目》中，对金作了深刻的总结。其中的多种命名概念，沿用至今。

《本草》论述，金又名“黄牙”仙方姓“太真”。并说：“五金黄为长，久埋不生衣，百炼不轻，从革不违”。表明金的化学性能稳定，不受氧化，比重大，具极好的延展性能。

《本草》中记述了古人采金情况：“掘地深丈余，至纷子石，石皆一头黑焦，石下有金，大者如指，小者犹麻豆，色如桑黄，咬时极软，即是真金”。又说：“丹砂金、雄黄金、雌黄金、硫黄金……皆假金也。”并描述了金的形态：“或若山石状者、若米豆粒者、此类皆未经火，并为生金。”又说：“毒金即生金。”表明金与破碎带碳质层位密切相关。今天一些层控型金矿常以碳质层为找矿标志，如河南桐柏金矿即是。还沿用了“生金”、“假金”的概念。未经火者谓之“生金”，若经炼过者，该是“熟金”了。

《本草》对金的分类和成色亦有论述："金有山金、沙金二种，其色七青、八黄、九紫、十赤，以赤为足色"。"山金"和"沙金"名称，沿用至今。而"七青、八黄、九紫、十赤"的论述，则是目测金的成色的原则。

《本草》中记述：金"和银者性柔，试后则色青；和铜者性硬，试后则有声"。这显然是鉴别金银矿和铜矿的较早论述，两矿物以其硬度不同而区别之。

对金的形态和粒度、产地，《本草》论述较多："云南出颗块金，在山石间采之"，"蔡州出瓜子金"。麸金，即在江沙中淘汰而得，其色浅黄，"皆是生金"。"麸金如麸片"。"黔南、遂府、吉洲水中并产麸金"，"沙金细如沙屑"。"马蹄金像马蹄，难得。橄榄金出荆洲、岭南。胯子金像带胯，出湖南北。瓜子金大如瓜子，麸金……出湖南等地。沙金……出蜀中。叶子金出云南"等。

《本草》中还记叙了生物取金趣事："五岭内、富州、窖州、澄州、涪县，江溪皆产金。居人多养鹅鸭取屎，以淘金片，且得一两或半两，有经曰不获一星者，其金夜明""夜明"者，疑鹅鸭内磨擦之结果。

《本草》又说："凡金替在冢墓间及为钗钏诿器者，陶隐居谓之辱金、不可合炼"。这是无科学依据的，使用过的金，其性能不变。

《本草》在论及金的医疗作用时，说："主治：镇精神、坚骨髓、通利五脏邪气，服之神仙。疗小儿惊伤五脏，风痫失志，镇心安魂魄。癫痫风热，上气咳嗽，伤寒肺损吐血，骨蒸劳极作竭，并以箔入丸散服。破冷气，除风"。可见，金有一定医疗作用，但"服之神仙"，显然无根据。

由以上资料，不难看出，《本草》中对金的论述，内容之全面、总结之精炼，在古文献中是空前的。现以《本草》资料，就其命名问题，系统化如表1。

表1　《本草纲目》对金的命名系统表

- 金
  - 1、以鉴别真伪命名
    - 真金（“咬时极软”）
    - 假金（疑为伴生金）
  - 2、以练否命名
    - 生金（未经火者）
    - 熟金（炼过者）
  - 3、以成因命名
    - 山金
    - 沙金
  - 4、以产品形状粒度命名
    - 沙金
    - 麸金
    - 瓜子金
    - 颗块金
    - 块金（当时未提狗头金）
    - 马蹄金
    - 橄榄金
    - 胯子金
    - 叶片金
  - 5、以使用后命名——— 辱金
  - 6、以伴生矿物命名
    - 丹砂金
    - 雄黄金
    - 雌黄金
    - 硫黄金
    - 黑铅矿
    - 等。

二、国内近代文献论述

在近代地质文献中，对金的命名，内容十分丰富，有以纯度和连生组合命名；以观察条件和产状命名；以形态和粒度命名；以成因命名等。分述如下：

（一）金以纯度和连生组合命名

1.毛金 指含杂质的生金。张志雄先生说："自然金中含有少量Ag或Cu者，称为毛金"。

2.纯金 指不含杂质的金。多为冶炼过的熟金。天然金纯者极少。

3.单体金 指不与其它金属矿物连生的金。尤其在分选后，由于金颗粒解离，常呈单体金。

4.连生金 指和金属矿物紧密连生的金，分选后亦不呈单体者，天然产出者，多呈连生金形式出现。

（二）金以观察条件和产状命名

1.可见金 （能见金）

（1）明金 指肉眼下可见之自然金。凡肉眼下可见之金，当以明金论述。然肉眼下可见之最小粒度，各家标准不一。故对明金最小粒度，有不同的划分（表2）

表2中可见，不完全统计，可见金最小粒度有0.2mm；＞76μm；＞0.05mm；＞0.01mm等几种不同分级，经常出现于文献中。但必须指出，0.01mm（1/100mm）的金粒，肉眼下观察，不借助于放大镜是不容易看出的。

（2）显微金 对反光显微镜下或重砂显微镜下，可能见到的金，属于显微金。显微金的最小粒度如表2所列：有0.5μm；0.2μm和1μm者。总的趋势是显微镜放大倍数不断增大，则镜下能见颗粒愈来愈小。

表2　金以粒度大小命名分级表

分类 / 粒度 / 用者作者	可见金		超显微金	备注
	明金	显微金	（次显微金）	
B·M.克列依捷尔	0.2mm	0.0005mm 0.5 μm	<0.5 μm	他称“次显微金”
B·V·泽列诺夫	>70 μm	70—1 μm	<1 μm	〃　〃
韩公亮等	>0.05mm	0.05—0.0002 mm	<0.0002mm	他们用“超显微”金名
郝敬翔等	d>0.01mm		不可见金 d<0.01 mm	他分二级
戴瑞容	>0.2m	0.2—0.0005 mm	<0.0005mm	次显微金电镜下可见。

在显微镜下观察鉴定金矿物，一般分为三级：

1）粗粒金：0.2—0.55mm（最好用显微粗粒金）；

2）细粒金：0.05—0.005mm（最好用显微细粒金）；

3）微粒金：0.005—0.0005mm（最好用显微微粒金）。

近年也有采用五级分法的：

1）巨粒金：>90μm（最好用显微巨粒金，以免混淆）；

2）粗粒金：90—70μm（最好用显微粗粒金）；

3）中粒金：70—40μm（最好用显微中粒金）；

4）细粒金：40—10μm（最好用显微细粒金）；

5）微粒金：10—2.3μm（最好用显微粒金）。

显微镜下所见之显微金，人们根据其产状之不同，又加以区别命名：

1）包体金：指显微镜所见，被包裹于母矿物晶体内部的金，称为包体金。母矿物常为硫化物中的黄铁矿、毒砂、磁黄铁

矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等，亦有氧化物中的石英等。一般认为，系同时晶出的证据之一。但亦有例外者。

2）晶隙金：又称间隙金、粒间金。指镜下所见，赋存于金属硫化物颗粒缝隙或晶粒间隙中的金。亦可赋存于脉石矿物晶粒之间者。被认为金明显晚于主矿物形成时间的可靠证据之一。

3）裂隙金：又称隙缝金。指镜下单独或与其他金属硫化物连生而充填于某种母矿物（多为金属硫化物）的晶体内部微型裂隙中的金，称为裂隙金。一般认为系形成晚于母矿物的可靠证据之一。如我国罗山金矿中金和黄铜矿呈细微网脉状充填于黄铁矿晶粒的微型裂隙中；平江金矿中金和黄铜矿充填于毒砂晶粒微型破碎带中；桐柏金矿金和方铅矿充填于黄铁矿晶粒的微型裂隙中。结构上与塑性硫化物压碎结构和塑性矿物对脆性矿物碎裂后进行的“愈合”结构明显相关。

4）薄膜金：赵信先生认为：“见于某些矿物晶体表面，特别是黄铁矿的晶面上或其集合体的界面上，需在高倍镜下才可能见到一点很薄的薄膜，叫它薄膜金。”

上述各种产状，均为显微镜可见者。

2.超显微金（次显微金）

它指一般反光显微镜见不到的金，但客观上又有所存在，以化学分析法和电子显微镜可证明其存在之金，属于超显微金或称次显微金。含“不易见金”的意义，又称为“暗金”。

超显微金的粒级也各说不一，有认为<0.5μm镜下见不到的；也有认为<0.2μm才见不到；还有认为1μm以下才见不到，看来与各家显微镜放大倍数相关。

（三）金以形态和粒度命名

1.砂金 状如砂粒之次生金，古今中外都沿用此名称。

2.粉金 状如粉末者。毋瑞身先生等认为粒度在0.1—0.05mm的金，属于粉金。

3.糠金　状如糠皮者。母瑞身先生等认为粒度在0.25—0.1mm者，

4.麸金　状如麸皮的金。母瑞身先生等认为粒度在2—0.25mm者。

5.片金　呈片状之金，即相似于麸金糠金者。

6.瓜子金　粒度大于麸金，状如瓜子者。母瑞身先生等认为粒度大于2mm者。

7.颗粒金　呈颗粒状的金。赵礼先生说：1965年考古人员在韶山灌区工地清理战国墓藏时发现的瓜子金，是从含金河沙中淘出的散粒金，没有经过加工或熔炼”，母瑞良先生等认为：颗粒粒度在2—10mm之间，这也和瓜子金粒度相似。可见颗粒金即瓜子金，或包括瓜子金。

8.块金和狗头金　王义文先生说：“块金，俗称狗头金”。张昆生先生在“论江西砂金矿中的红土成因”中，论及红土中出现的块金时说：“块金,俗称狗头金，重4.2g”。看来几克的金块，已具备了“狗头金”的资格。

胡受奚先生等给块金和狗头金以量的概念是“块金，大于10mm者”。“个别巨大者达几公斤以上，称为狗头金”。由上述资料可见，块金和狗头金的概念，人们认识仍不完全严格一致。

我国产狗头金的地区，以湖南益阳最著名，历史悠久，产出又多，历代产出情况见表3。

此外，我国产过狗头金的省区还较多，80年代最新资料见表4。

国外几块特型狗头金主要产于澳大利亚（表5）。

关于狗头金的成因，普遍认为属于次生来源的金，经“长大”而成。可能与在一定温压条件下，金的“归并”作用有关。

由上述资料可以认为：几克到几十公斤的块金，不论其产出

表3　益阳地区的狗头金一览

时　间	文献及发现者	详细地址	狗头金重
	《宋史、五行志》	益阳芦狄冲	9斤8两（4900g）
	《宋史、五行志》	益阳山溪	49斤（24500g）
1938年	《吝东野语》	益阳毛家塘	7斤（3500g）
1983年6月6日	陈秋园	金花湖公社大海塘大队	共3斤多，最大6.5两
1983年6月13日	陈作良等三人	益阳市郊区	4斤3两多（2160.8g）
1983年7月12日	曹锦云	益阳市郊区	3斤多(1511.49g)

（主要据赵礼资料）

表4　我国其它省区80年代以来的狗头金

时　间	发现者	产　地	重　量
1982年9月22日	岳书臣	黑龙江呼玛县兴隆公社后沟小水道	3325g
1983年5月23日	王伯禹	陕西南郑县武当桥大队	810g
1983年	张宪魁等	青海柴达木盆地东北牙沙图地区	3561g
1983年7月30日	马云香	山东栖霞县享口公社马家瑶大队	812.5g
1985年	农　民	四川省白玉县	4200g 235×135×30mm

（主要据王义文资料）

表5　国外几块大型块金一览

产地时间	产　地	重　量	备　注
1842年	南乌拉尔	36kg	
1858年	澳大利亚	59.67kg	命名："快乐的生客"
1869年	澳大利亚	68.08kg	命名："希望者"
1906年	澳大利亚	29.64kg	命名："海神"
1980年	澳大利亚	59kg	

环境如何，都可以称之为狗头金，以示其稀珍。

（四）金以成因命名

金按其成因，分为原生金和次生金，或称为内生金和表生金两大类。其中按其产出环境不同等，又有许多生动形象的命名。

1.原生金（内生金）　指由内生成矿作用，即各种热液作用所形成的金矿床，统称为原生金。1961年，北京地院《矿物学》称："原生金统称山金或脉金"。此外，尚有其它命名，分述如下：

（1）山金　指原生矿体中产生的金。

（2）脉金　即山金的别名。蒋良俊先生认为，山金"是原生矿，产于矿脉，也称脉金。脉石以石英为最普通，通常叫做含金石英脉"。

（3）线金　张守范先生在《矿物学》中，把金分为线金和沙金两种。可见线金即指原生金中的山金或脉金。看来线金命名不如山金、脉金那样被广大金矿工作者所接受，文献中少有被采用。

（4）共生金　朱奉三先生认为：是指与其它金属一起产出，具有独立工业意义的金矿，而不是综合利用的付产品。

（5）伴生金　指与其它金属伴生产出，金达不到工业品

位，以付产品回收者。

（6）残留金　赵信先生在《从矿物特征看玲珑金矿的成因》中说：金“以极细小的粒状、滴状为主，分散在混合花岗岩的各别地段或层位，为原岩的残留矿物。”即指胶东群变质岩系地层经混合岩化后所残留的金，也称为残留金。

2.次生金（表生金）

次生金包括砂金、沙金、冲积金、本山金、草皮金、铺山金、河底金、窝子金、过路金、愚人金等命名，各有不同含义。

（1）砂金　北京地院《矿物学》认为：“次生搬运沉积者，均称砂金。”

（2）沙金　张守范先生用“沙金”名称，见于其《矿物学》中所载。刘之远先生说：“含金的冲积或堆积的矿床，为沙金矿床。”显然老先生们爱用“沙金”相称，看来沿革于《本草》。“沙金”和“砂金”意义相同。

（3）冲积金　刘之远先生说：“冲积金平时成不等形的扁平片状，其原因有：一由于石英脉的原来生成环境，一因经过搬运距离的远近和流水的淘洗作用。”冲积金的扁平片状，和麸金相比，可能是二而一也。

（4）本山金　刘之远先生说：“自然金从石英脉和砂砾中采得外，又可从含金的硫化物演变而得，特别是黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、白铁矿等，即含有“本山金”之意。

朱奉三先生说：“如发生在含金硫化物矿床的氧化带，即可形成“铁帽”型风化壳金矿。本类系未经移动的砂金。古采金者曾称为“本山金”“或单皮金”，即风化后未经搬运的砂金。

（5）铺山金　按朱奉三先生分类，属于崩积—坡积砂金。他说：系残积金在重力作用下，沿山坡下降，搬运距离较近，分选极差，代表了残积砂与河源砂金的过渡地段产物，其上与残积砂金相连，并无明显界限，多靠近山脚或山坡产出，故亦称为

“铺山金”。

（6）河底金　朱奉三先生说：“产于河床下面或底部的堆积物中，故有人称河底金”。属于河谷－河床砂金。

（7）过路金（愚人金）　属于不固定型的河漫滩砂金。朱奉三先生说：“河水将大量微细金屑多以悬浮状态搬运至流水的静水地段，如沙洲、浅滩嘴内部等地，在河滩上部形成。一般埋藏较浅，开采方便。但往往仅限于在表部薄层中有经济意义，故在美国采金者中称之为“愚人金”本类砂金在洪水期又可被冲搬而向下游方向迁移，故又称为“过路金”或“活动性砂金”。

（8）窝子金　郑明华先生认为成因上属于岩溶砂金矿床。在碳酸盐溶洞或表面喀斯特中所形成的矿床。有时在一些溶洞中形成所谓“窝子金”，含金量极为可观。

朱奉三先生说：“在个别情况下，由洪水冲积形成的涡流中，可将粗粒金甚至块金聚集而沉积形成“黄金窝”。

母瑞身先生等认为：金在各类矿床中的含量分布都是很不均匀的，在火山热液矿床中尤为突出，常常在含金地质体（石英脉）内部，出现金矿物高度富集的“窝子”或“闹堂”。

由上述论述中可知，无论任何类型金矿床，不论其原生还是次生，只要金高度富集的部位，都属于“窝子金”或“闹堂金”的范畴。

综上所述，国内近代金矿文献中，将金的命名系统综合如表6。

三、苏B.M.克列依捷尔的论述

B·M·克列依捷尔在《论金－硫化物矿床氧化带中金的性状》一书中，论及“内生金和表生金的现代概念”时，他把内生金分为可见金和次显微状金两类。他按金在热液中析出先后，把内生

金又分为早期金和晚期金两种情况。表生金他认为即次生金，现分述如下。

（一）内生金

1．可见金

（1）肉眼下可见的，（大约到0.2mm）；

（2）显微镜下可见的（0.0005mm或0.5μm）。

2．次显微状金（应是小于0.5μm者）

他认为："次显微状金与硫化物共生，多半与黄铁矿共生。很少与石英共生"。并认为："金在黄铁矿中的形成可能是由于他们同时由热液中析出的结果。也可能是由于黄铁矿从硅酸凝胶中吸附胶态金所致"。他说："次显微状金在黄铁矿中以何种状态存在的问题，仍然不清楚。绝大多数研究者都认为金是呈金属状态而存在。金不能在于黄铁矿晶格中"。A·A·伊凡诺夫利用电子显微镜研究了天然的和合成的含金黄铁矿……得出如下结论："……黄铁矿中的金呈质点状机械混入物存在，这些质点大多数是有近似于等轴的形态，其大小由几微米到10^{-}cm。金呈电性中和的原子不能进入黄铁矿的晶格中……。"克列依捷尔还认为："次显微状金通常少量地存在于大多数矿床中，而在某些矿石中起着很大的作用。"个别矿床中，特别是在硫化物矿床中，有金呈次显微状态存在的例子。关于显现次显微金的问题，他说："普鲁诺格耶尔对智利的丘琼科和奇瓦托矿床的网脉状硫化物进行了研究，…矿石中含有8—12g/t的金。……在任何一个薄片中都没有发现金。加热黄铁矿晶体时，金就显示出来，在温度达600°的马弗炉中加热5—6次"。他还举了另一个例子，"Φ·戈弗曼所引用的哥伦比亚吝里贝矿床的黄铁矿矿石，……金的平均含量约150g/t的矿石薄片，在300—600°的温度下加热后，在黄铁矿和其他硫化物中就出现了最微细的金的包体。"

3.早期金　指热液期早期阶段沉淀的细分散的金。作者认

为："……某些数量的金沉淀于较早期阶段，紧密与黄铁矿共生，而有时与毒砂共生。它与较晚期沉淀的金不同，后者往往颗粒比较粗，…。"他说："在绝大多数的金－石英脉中都观察到有"早期"和"晚期"的金。早期金与硫化物有关，它们或者是细粒分散的可见金，或者是次显微金。

4.晚期金　指热液期晚期阶段沉淀的金。作者认为："晚期的金一般都是可见金，趋向于结束阶段，在时间上常常与黄铜矿、闪锌矿、方铅矿和辉锑矿的析出相结合"。"较晚期沉淀的金……往往颗粒比较粗……"，比早期金粗粒。"早期金在金矿储量平衡表中起的作用不大，而晚期金是主要的。"

二）表生金（次生金）

作者认为："……各类矿床氧化带中表生金的存在是经证实了"。"…多硫化物矿床中氧化带下部（淋滤亚带）富集金的事实也是肯定的。"但多数情况没有被研究查明。

氧化带中金富集的原因，他认为："关于在金－石英脉和网脉状矿床上存在的含金比原生矿石富的氧化带的概念是在历史上形成的。在氧化带中各种含金硫化物均已分解。此时，一部分化学组份都已迁移和分散，而金留在原地，间接地增高了在每吨矿石中的平均含量"。"此外，细粒分散的和次显微状的金，……均已转化变形，部分地被溶解，并以合并形态保留氧化带的铁矿石中"。作者认为溶解金的主要溶剂是$Fe_2(SO_4)_3$起主要作用。

关于区别表生金和原生金，作者说："…其主要意见认为氧化带的金比明显是内生（原生）的金的纯度大。不久前，马克依就提议根据这一点来区分非洲的次生金和原生金"。

根据以上资料，将B.M.克列依捷尔关于金的命名系统综述和总结如表7。

表7　　B.M.克列依捷尔对金的命名系统

- 金
  - 内生金
    - 按粒度命名
      - 可见金
        - 肉眼下0.2mm以上（相似于明金）
        - 显微镜下0.5微米以上者（相似于显微金）
      - 次显微金（超显微金）小于0.5米微者
    - 按形成先后命名
      - 早期金：主要以质点状机械混入物产于黄铁矿中，不进入晶格
      - 晚期金：热液较晚期阶段沉淀的金，主要成可见金。
  - 表生金：氧化带中由原生金衍化而成，以其纯度大于原生金而鉴别之。

选自《金银矿产选集》第六集（1986）

金的地球化学和成矿作用

王秀璋

（中国科学院地球化学研究所）

一、金在成矿作用中的主要地球化学性质

金是周期表上的Ib族元素，与Cu，Ag属于同族。它具大电离势，较高熔点，良好延展性及高导电导热性。常见价态有三种：即Au^0，Au^{1+}及Au^{3+}。其中零价金是最稳定的价态，为自然界中的最主要存在形态。当零价金被氧化后，可形成Au^{1+}及Au^{3+}，它是金的主要迁移形式（图1）。此外，Au^{2+}，Au^{4+}在表生络合物中也可以见到，但相当不稳定，自然界中偶而出现在富含有机质或富氯化物的天然水中。金的基本地球化学性质决定了金矿床的形成作用、时空分布和矿化特征。下面将金在成矿作用中的基本地球化学性质作一简要分析。

（一）金的后生成矿性

金是地壳中含量最低的元素之一，其丰度值仅4ppb，约相当于常见金属铁、铝、钾、钠、钙、镁的千万分之一，铜、铅、锌的千分之一。同时，它在各种岩浆岩中的含量均低，与地壳丰度值属于同一数量级，在3－7 ppb间，因此原始岩浆不易直接形成岩浆型金矿床，至今也未发现该类型金矿。在沉积过程中，

除砂矿外，大多是通过沉积后的再次富集作用才形成矿床的。因此金矿床的形成与后来的富集过程紧密相关，其浓集系数约一千倍。其成矿作用包括沉积、改造、变质、岩浆活动，其中热液起了重要作用。所以金矿床主要为后生成矿产物，且类型复杂繁多，岩浆岩、变质岩、沉积岩均可作为矿源岩为后来的矿床形成提供物质来源。

B.J.Bkinner (1979) 认为：含量在0.01－0.001%间的元素，如Cu，pb，Zn等，不需要预先富集就可以分散的岩石中被后生热液直接提出而成矿，而含量小于0.001%的元素，如Ag，Sn，Hg（包括Au），在溶液从岩石提取前还需要有富集过程。从金矿床的实际资料来看，多次富集对金矿形成是有利的，但并不是不可缺少的，有的矿床尤其是火山岩中的矿床，热水长期循环对流对金矿床的形成更为重要。

（二）金的稳定性及不稳定性

金具有稳定性及不稳定性的双重性质。金的稳定性易为人们直观感觉出来，如不易被氧化，不被水及单酸（HCl，H_2SO_4，HNO_3）溶解；含金溶液中的金离子能为各种金属及金属离子还原而析出；在表生状态下可呈自然金碎屑状态迁移形成砂矿等。这些都表现出了金的稳定性。它是由于金具高的电离势（$I_1 = 9.223eV$，$I_3 = 30eV$）、电负性(2.4) 及高熔点(1063°C)所决定的。

金还有另一面的性质，即不稳定性，它的不稳定性(即活动性)在一定条件下甚至比Cu，Pb，Zn还要大。其表现有：在热水中当有氧化剂存在时能形成Au—Cl，Au—S，Au—Te，Au—As，Au－Sb及Au—Te—S，Au—As—S，Au—Sb—S等的络合物进行运移；高温缺水时金也可从硫化物（黄铁矿、毒砂等）的晶格中移出形成归并的自然金粒分布在载体矿物粒间或裂隙内，这已为G. H.Burg (1930、1935)，I.Maslnitsky

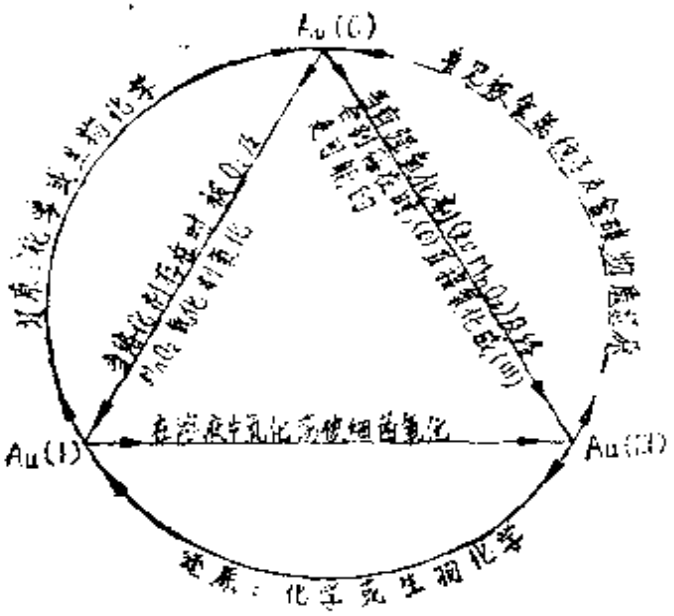


图1　自然界中金的主要价态变化关系

不活动态

自然界未见Au^{3+}的化合物。Au^{1+}络合物可吸附在含水Fe、Mn氧化物凝胶及不同类型有机物质上，后者如泥炭，腐泥，腐植质等

一价金

仅仅形成阴离子形态的Au^{1+}络合物$[Au(CN)_2]^-$ $[AuCl_2]_2$及$Au(S_2O_3)]$

活动态

主要呈无机质或有机质（腐植质）之可溶及（或）吸附形式的Au^{1+}络合物，也可呈吸附态在天然无机及有机质（腐植质）胶体上以及出现在石油中。

零价金

自然界中零价金产在自然金及银金矿内，也可能出现在碲化物及锑金矿中（$AuSb_2$）。形成胶体（溶胶）及细分散形式者为活动态，但更普遍呈不活动态。

不活动态

自然界中未见Au^{3+}的化合物。Au^{3+}络合物可吸附在含水Fe，Mn氧

化物凝胶及不同类型有机物质，后者如泥炭、腐泥、腐植质等

三价金

仅形成阴离子形态的Au^{3+}的络合物 $[Au(OH)_4]^-$、$[AuCl_4]^-$及$[AuCl_3OH]^-$

活动态

主要呈无机质或有机质（腐植质）之可溶及（或）吸附形式之Au^{3+}络合物，也可呈吸附态在天然无机或有机质（腐植质）胶体上以及出现在石油中。

(1944)，G.Kurauti (1941) 加热含金黄铁矿（无可见金）到600°C析出自然金（驱出S，同时黄铁矿变为磁黄铁矿）所证明；纵然在常温水中，除较多金呈胶体或吸附到有机或无机物的胶体及颗粒上外，部分金形成了可溶络合物。如海水中可溶金主要呈$[AuCl_2]^-$状态，pH= 4—9时金形成了$[Au(S_2O_3)_2]^{3-}$，当金溶于碱硫化物中时则形成$[AuS]^-$，pH= 5—8且含有机物(动植物)分出的$(CN)^-$,$(NS)^-$时，可溶金形成了$[Au(CN)_2]^-$，$[Au(CN)_4]^-$，$[Au(CN)_2Cl_2]^-$及$[Au(CNS)_4]^-$，当有氧化剂存在时金可溶于H_2SO_4(形成$[Au(SO_4)_2]^-$、H_3AsO_4(形成$[AuAsO_4]$或$[Au(As_2O_4)_2]^{3-}$，H_3PO_4，磷酸，HCl，$HCl+CuCl_2$溶液、$FeCl_3$，$Fe_2(SO_4)_3$以及碱的氢氧化物中，当有H_2S存在时则可溶于K、Na的碳酸盐溶液内，另外在表生产物中以及随离源区愈远金矿物的成色增高，金丝、树枝状及玛瑙结构的出现均证明金是化学溶液沉淀的产物。

金的稳定性与不稳定性两重性质中以不稳定性更具重要意义，稳定性中蕴藏着不稳定性，稳定性形成了部分碎屑砂矿，而不稳定性则是各种后生热液矿床及化学沉淀砂矿富集成矿的基础。

（三）亲铁性及亲硫（铜）性

金是强烈亲铁元素，又具明显亲硫性质。金的亲铁性表现在：地球中的金主要富集在地核中，地核（铁镍核心）含金为地壳（硅酸盐成分）的650倍，铁陨石含金为球粒陨石的5倍，为无球粒陨石的180倍，为玻陨石的200多倍。球粒陨石中金属相又为非金属（硅酸盐）相的100多倍（表1）。

表1　金在陨石及地球中的分配（ppb）

对　象	分析个数	含量范围	$\bar{X}$	G	文　献
球粒陨石（世界）	246	17.0—1600.0	222.5	199.8	Boyle RW (1979)
球粒陨石金属相（世界）	52	448.0—2900.0	1508.5	138.4b	
球粒陨石非金属相（世界）	47	0.4—91.0	19.9	12.5	
无球粒陨石（世界）	11	0.5—280	31.0	5.3	
铁石陨石（50%Fe）（世界）	7	40.0—2000.0	914.3	531.8	
铁陨石（世界）	291	55.0—8744.0	1205.0	959.7	
陨硫铁（硫化物相）（世界）	16	70.0—8000.0	928.7	412.8	
玻陨石（世界）	15	0.3—24.2	8.1	4.0	
地　核			2600.0		黎彤 (1976)
地　幔			5.5		
地　壳			4.0		
地　球			800		

$\bar{X}$—算术平均值；　　G—几何平均值。

岩浆岩中镁铁岩类含金比硅铝质岩高数倍，镁铁矿物也比硅铝矿高几到几十倍（表2），磁铁石英岩、铁白云石大理岩也含较高的金，有的甚至达到工业利用水平。上述资料反映了金的强烈亲铁性质。

金的亲硫性表现在金矿床中金主要与硫化物（黄铁矿、磁黄

铁矿、毒砂、方铅矿、黄铜矿、辉锑矿）相伴产出，在其粒间或裂隙内分布，硫化物含金量比硅酸盐矿物（包括镁铁硅酸盐矿物在内）高出几十到几百倍以上（表2），陨石中硫化物相也含很高的金（表1）。在常温溶液及热液中金易形成Au—S络合物进行运移，尤其是在热液条件下更是金的主要运移形式，在铁矿床中金的具体载体矿物仍主要是硫化物，这些都是金的亲硫性的具体体现。与周期表上属于同族（I_b）的银、铜相比，金的离子化位及电负性比铜、银高得多，故其亲硫性较弱，自然界中主要呈自然元素形态产出，很少见到金的硫化物，而铜、银的主要存在形式为硫化物。

因此金在地球中的原始赋存场所决定于金的亲铁性，而在后生富集成矿作用中又显示出亲硫性的重要作用。亲铁性中也隐藏着亲硫性。故镁铁岩石含金微高，更有利于作为金的矿源岩，而硫化物为金矿床中金的载体矿物或紧密伴生矿物，可作为金矿床成矿和找矿的重要标志。

（四）金的成矿专属性

金的成矿作用是否存在着专属性是目前研究较差、看法极不统一的一个问题。

从矿源层的岩石类型既包括有岩浆岩，也有沉积岩及变质岩，以及这些岩石的平均含金量除粗碎屑岩及含硫——有机质泥岩类外都非常相似且均在地壳丰度的同一级范围内（表2、表3）等情况来看，可以说金对矿源岩石无特殊的成矿专属性，但实际上仍存在着一定的富集趋势。如火山岩、火山沉积岩比其它岩石含金微高，基性岩又比酸性岩更有利于作为金的矿源来源，同时作为矿源层的火山岩及火山沉积岩的成分还有一定的演化趋势。如太古代以基性——超基性为主，元古代及古生代为中基性，而中、新生代主要为中酸性甚至偏碱性岩石。火山岩除作为金的直接矿源层外，有时尤其是古期者还可作为初始矿源层成为衍生矿源层中金的来

表2　岩浆岩及其造岩矿物中金的分配（ppb）

岩浆岩				造岩矿物		
超基性岩	4.5	辉　岩	6.6	石　英	0.8—2	1.7
辉长岩－玄武岩	7.0	辉长岩	4.8	长　石	0.3—2	3.3
		玄武岩	3.6	黑云母	2—7	4
		闪长岩	3.2	白云母		3.8
闪长岩－安山岩	5.0			角闪石	0.5—3	5.9
		花岗岩	1.7	辉　石	0.5—4	1.6
花岗岩－流纹岩	3.0	流纹岩	1.5	橄榄石	4—9	3.9
				磁铁矿	3—100	48.3
				黄铁矿等硫化物	500以上	440—5800
Boyle R.W.(1979)		Wedepchl K.H.(1974)			Boyle R.W.(1979)	Щербаков Ю.Г.(1967)

源，而后者才是矿床的直接提供者。需要指出的是，一般没有遭到后生淋金作用的矿源层应有较高的原始金含量，但是不少矿区区内外的原始岩石含金并不高，因此要从这类矿源层中淋出金形成矿床主要需通过长期循环热水的作用才能实现，所以矿源层的含金性并不一定是成矿的最重要问题，在一定条件下循环热水的长期作用更为主要。

形成金矿的溶液种类各式各样，就热液的成因类型而论，既有岩浆热液，又有变质热液，还有地表水、地下水（包括建造水）形成的热液，它们都可形成规模巨大的矿床。同时这些热液所含主要非成矿元素种类可是相似的，只其中元素比值，δD及δO^{18}

含量有较大差异。这些说明了只要有氧化剂存在，不论何种热液均可在一定条件下形成金矿。从这点来看，可以说成金溶液类型也没有专属性。但是溶液性质却随地球发育显示出了明显的演化趋势。如在地史早期（太古代、元古代），成矿热液是以变质成因热液为主，而在地质晚期岩浆热液、地表水及地下水加热形成的热液却占了主导地位。

表3　各类沉积岩及变质岩中金的分配（ppb）

岩石类型	分析个数	含量范围	$\overline{X}$	G
未固结海洋沉积物	299	0.3—2500.0	52.3	3.5
砾岩、砂岩、角砾岩	3474	0.2—430.0	57.0	26.3
页岩、粉砂岩	1356	0.1—800.0	8.0	3.9
含硫化物页岩、硬砂岩类	19	2.5—2100.0	132.0	14.3
凝灰岩类	97	0.5—112.0	6.9	2.3
灰岩、白云岩	440	0.2—88.9	7.0	3.4
蒸发岩（石膏类）	18	5.0—85.0	20.8	17.2
蒸发岩（钾、钠盐）	15	0.5—30.0	23.8	17.8
石英岩、硬化砂岩	289	0.2—1110.0	31.7	4.7
板岩、千枚岩、变泥岩	225	0.9—15.0	2.2	1.6
片麻岩、变粒岩类	1929	6.2—300.0	3.1	2.7
角闪岩、绿岩	425	0.1—100.00	7.1	4.1
片岩类	1969	0.1—3700.0	18.6	3.7
大理岩、结晶灰岩	40	0.2—100.0	13.2	3.6
橄辉岩	103	0.8—40.0	3.6	2.4

据R.W.Boyle（1979）

70年代以前，多数人把金矿的形成与花岗岩浆密切联系在一起，最为突出的反映在苏联C.Д.Шер 1972及1974年所著“金的成矿作用”二卷书中，他几乎把世界上所有与热液成因有关的金矿都与花岗岩浆作用联系起来了。近几年来的大量工作证明除部分金矿床为花岗岩浆热液形成外大部，分金矿床与花岗岩无成因

联系。有的地区花岗岩作为热源将地表水或地下水加热，后者又从矿源层中析出金而成矿；有的矿区花岗岩和成矿作用系同期同一构造活化作用产物，有的矿区花岗岩比成矿为晚，它可对原矿体进行加工改组，或分出部分组分迭加其上；而有的矿区二者之间甚至毫无关系。

（五）金是最古老也是最年轻的成矿元素

金的最早的成矿时代是太古代，其同位素年龄超过30亿年，如南部非洲产于太古代绿岩带中的金矿是其例。世界上最年轻的砂金矿分布很广；内生金矿强烈发育在环太平洋带内带的火山岩及其底盘沉积岩中，其年代为中生代、第三纪及第四纪；直到现代在新西兰热泉中还有与热水有关的金矿形成。

太古代金矿及中、新生代金矿是世界金矿最主要的二个成矿时期，据西澳矿业公司统计它们分别占世界金矿累计产量的47.7%*及44.6%。虽然金矿在各地质时期均有产出，但25—2.2亿年之间者产量很少，不超过7.7%，因此非常次要。对不同地区来说，由于所处大地构造位置不同，受各区的地质发育特点所限制，它不能完全反映全球的总规律性，或只反映出总规律性的某一个侧面。如南部非洲太古代—早元古代以后的矿床很不发育；又如我国迄今尚未见到太古代—早元古代的矿化，新生代的矿化发育也较弱，而中生代及晚古生代矿化却占据着更为重要的地位。

太古代时期金矿化异常发育的原因在于当时的薄硅铝质地壳上的广泛的富金基性－超基性裂隙型岩浆喷出（即绿岩带的最主要组成部分），它为形成后生金矿床提供了丰富的物质基础，加以太古代末期广泛出现的中低级变质作用使金在绿片岩相中大量富集成矿，因此成为世界金矿的一个极重要形成时期。中、新生代是全球性的另一个大的岩浆活动期，它沿环太平洋带及阿尔卑

---

*应包括早元古代

斯带有最广泛的发育，中、酸及偏碱性喷出岩浆给稍晚的金矿的形成提供了丰富的矿源，组成了大量与火山岩有关的大型金矿床。同时处于构造活化带中的古老矿源层内的金也被地层建造水活化或进入重熔岩浆中而富集成矿。因此，中、新生代及部分晚古生代的金矿床不但数量多、规模大，而且类型也相当复杂。由于形成条件不同，太古代金矿以变质热液型为主，晚期金矿以各种改造型及岩浆热液型更为重要，虽然所述两个时期的矿床类型不同但它们主要都与喷出岩浆活动提供的矿源有紧密关系。世界上处于太古代—中、新生代间的金矿虽兼具上述所有矿床类型，但它们之中沉积岩作为矿源层者却占有更大的比重。

以上所述金的基本地球化学性质决定了金的成矿作用特征。由于金集中在地核中，地壳及地幔岩石原始含金量低，因此只有通过后生富集作用才能形成矿床。多种类型岩石均可作为金的矿源岩，但火山岩及火山沉积岩，尤其是太古代的镁铁质及晚期的硅铝质更为有利。由于金具有较大的活动性，当有氧化剂存在时各种溶液均可使金淋出及富集，因此金矿床具有多种复杂的类型。亲硫性决定了金易于和硫构成络合物进行运移，金沉淀时也主要与硫化物伴生或以它作为载体而存在 。硫化物成为金矿床的成矿和找矿标志。

二、热水条件下金的活化、迁移及沉淀成矿

热水条件下金的活化、迁移及沉淀成矿是金的地球化学中的最重要的课题，其中对金的迁移作过较多的工作，有不少实验数据，而对其他问题，尤其是活化作用讨论很少，机理不清。本文认为有必要进行一些初步探索。

金的活化、迁移及沉淀是一系列物理化学条件的综合及相应变化的结果，这些因素包括溶液的成分、温度、压力、pH、Eh、同时还包括了一定的时间和空间。较长的时间及连结的通道网才能保证溶液的循环、对流，使金得以充分和高度富集，上述因素的配合促使分散金在一定的条件下被活化转移富集，又在另一物化环境中被沉淀成矿。

溶液成分对金的活化、迁移及沉淀的影响长期以来没有引起人们的足够重视，这主要是由于过去缺乏一定的手段去确知溶液的成分以及它所造成的影响。随着矿物气液包裹体成分工作的广泛开展及大量资料的积累，目前对成矿溶液的成分和物化参数已有一定的了解，它对深入讨论金的活化、迁移和沉淀问题奠定了坚实的基础。从迄今所获大量矿物气液包裹体资料可以看出，组成金的成矿热水系统的主要成分除H_2O外，还含有大量HCO_3（代表各种C—H—O的化合物）、SO_4（代表各种S—O的化合物）、Cl、K、Na、Ca、Mg、Si等，这些组分对金的活化、迁移及沉淀均显示出了不等的但都是比较重要的作用。

（一）金的活化

自然界的金主要呈零价存在，要使金迁移富集其首要步骤是使它变为Au^{1+}或Au^{3+}，此即氧化过程，或叫金的活化。金被氧化除要求有合适的温度、压力、pH、Eh条件外，尚需有强氧化剂及络合剂。氧化剂使金变成离子，络合剂将氧化形成的金离子结合成稳定的络离子进行迁移。从成矿溶液的成分来推断，O_2,C^{4+},S_2^{2-},Fe^{3+},Cl_2等都可作为氧化剂,Cl^-,S^{2-}，Te^{1+}，Te^{2+}，$〔HS〕^{1-}$，Te—S，As—S，Sb—S等为络合剂。由于络合剂是金的迁移形式，打算在下一节中进行讨论，此地仅涉及可能的主要氧化剂。

1.碳的化合物

在金矿体的矿物气液包裹体中碳的化合物是其中的最主要成

分之一。种类多，含量高。除构成HCO_3，CO_2，CO，CH_4，C_2H_6，C_3H_8形式外，有时还可形成液态CO_2。在矿体组成上，碳酸盐也是主要矿物，常在晚期出现钙镁碳酸盐阶段，有的矿床中早期还形成了铁质碳酸盐矿物(铁白云石、菱铁矿)。另外石墨、非晶质碳、含碳物质还普遍见于金矿床内。有的研究者甚至认为金的高低与矿石中CO_2含量呈正相关关系。考虑到碳是变价元素（有C^0，C^{2+}，C^{4+}）。因此碳的化合物对金的活化可能起了一定的作用。

当含金岩石中的碳酸盐矿物遭受高温分解时，(101325Pa，无水条件下纯菱镁矿的分解温度为540°C，方解石为900°C)，在分解的一瞬间将出现氧（$[CO_3]^{2-}\rightarrow CO_2+O^{2-}$)构成强氧化环境，使金氧化。高温时若无CO存在，$CO_2$也将按$2CO_2\rightarrow 2CO+O_2$反应式形成极微量的CO，此时不但分出了氧，也使$C^{4+}+2e\rightarrow C^{2+}$，构成强氧化环境使金活化。由于原始溶液中可能存在有CO，它的出现将大大降低CO_2的氧化能力，加以CO_2分解成的CO也很微量，因此CO_2的实际氧化作用可能还是很有限的。实验资料说明（表4）CO_2气流中、500°C以下金是不溶的，600°C以上只有极少量溶解也证明了此点。C.A.Salotti等(1971)提出碳酸盐与氢作用可形成甲烷或丁烷，甲烷热解后产生碳并伴随着碳的还原作用，造成金的活化环境，其反应式为：$CH_4\rightarrow C+2H_2$或$C^{4+}+4e\rightarrow C^0$

2.硫的化合物

矿石矿物的气液包裹体中硫也是重要的组成成分，其种类有SO_2，H_2S等。矿石中硫化物也是常见矿物，其主要种属为黄铁矿，次为毒砂及铜、铅、锌、锑等的硫化物。硫为变价元素，有S^{2-}，S_2^{2-}，S^0，S^{4+}，S^{6+}，且向右方氧化力增强。黄铁矿在各种岩石中分布很广，当含金岩石中的黄铁矿进行分解形成$[HS]^{1-}$时，S_2^{2-}将还原成S^{2-}使金氧化。

表4 Au在CO_2气流中的溶解度（%）

(Мойсеенко В.Г., Молахов В.В.1979)

温度	溶解度	温度	溶解度	温度	溶解度	温度	溶解度	温度	溶解度
100°C	0	400°C	0	550°C	0.5	700°C	5.6	850°C	6.4
200°C	0	450°C	0.1	600°C	2.1	750°C	6.2	900°C	6.5
300°C	0	500°C	0	650°C	3.9	800°C	6.0		

3.高价变价金属

含铁矿物是各种岩石中广泛存在的矿物，当含Fe^{3+}的岩石遭受偏酸性溶液作用，Fe^{3+}将按$Fe^{3+}+e\rightarrow Fe^{2+}$进行还原使金氧化。与此相似，当其他变价元素被还原时，如$Mn^{4+}+2e\rightarrow Mn^{2+}$，$Cu^{2+}+e\rightarrow Cu^{1+}$也可造成金被活化的环境，使金变成正价离子。

4.Cl_2的作用

矿体中一般虽未见到含氯矿物，但矿物气液包裹体成分说明Cl是成矿溶液中的重要组分之一。高温中若Cl呈Cl_2^0存在，当$Cl_2^0+2e\rightarrow 2Cl^-$时，将造成氧化环境使金氧化。实验资料（表5）说明：Cl_2气流对金有大的溶解度，在300—400° C时达到最大值，将近二分之一的金被溶。

表5 Cl_2气流对金的溶解度（%）

(Мойсенко В.Г., Молахов В.В.1979)

温　度	溶解度	温　度	溶解度	温　度	溶解度
100°C	10.4	300°C	44.3	500°C	27.1
150°C	14.4	350°C	45.0	550°C	21.7
200°C	17.3	400°C	38.4	600°C	20.0
250°C	24.4	450°C	32.5	650°C	20.3

（二）金的迁移

金被溶化后需与络合剂形成稳定的络合物才能进行迁移。大

量实验工作表明运移金的最主要形式在酸性溶液中可能为Au—Cl络合物（$[AuCl_2]^-$，$[AuCl_4]^-$，在中、碱性溶液中为Au—S络合物（$[Au_2(HS)_2S]^{2-}$，$[Au(HS)_2]^-$，$[AuS]^-$）。在部分矿床中Au—T_e，Au—T_e—S，Au—Sb—S，Au—As—S络合物可能起了重要作用。$[AuO_2]^-$及胶体金在一定条件下也能成为金的运移形式。金的迁移除必需具备上述的稳定形式外，通道及动力也是必不可少的，裂隙发育及压力梯度促使金自高压区向低压方向迁移。

1.Au—Cl络合物

金在氯化物溶液中的溶解度随温度而增高。R.W.Henley（1973）的实验证明，300° C时金的溶解度为10ppm，500° C时增到500（1 kb）—1000ppm（2 kb）。根据N.V.Vilor及N. A. Kajmin（1973）对Au—SiO_2—H_2O—NaCl—HCl—LaOH系200—400° C的研究认为金的络合物为$[AuCl_2]^-$，它支持了H.C.Helgeson及R.W.Garrels（1968）高温高压下金的氧化态是低价态的观点。同时G. R. Kolonin及T.P. Aksenova（1971）的实验说明当温度从21° C增至90°C时，$[AuCl_4]^{3-}$的水解也大大增强。因此高温下Au—Cl络合物可能以$[AuCl_2]^-$形式存在更为主要。

Au—Cl络合物是在酸性溶液中形成的（pH<5）。虽然一般成矿溶液为各种复杂成分的含盐体系组成，pH近于中性，但动态中的溶液是不均匀的。因此不同部位的pH也有变化。此点已为И.Г.Ганеев（1974）的实验所证明，他在高压釜中用中性NaCl作实验，当NaCl分解时（$NaCl+H_2O \rightleftharpoons NaOH+HCl$），高压釜下部富NaOH显碱性，上部富HCl微偏酸性（表6）。前者与SiO_2反应（$NaOH+SiO_2+2H_2O \rightleftharpoons Na[Si(OH)_3]$），后者与金结合，分别形成硅金的络合物使两者共同迁移。但由于自然界很难形成pH<5的酸性溶液，因此Au—Cl络合物的产生

量仍是有限的。

表6 NaCl溶液的pH在高压釜不同部位的变化

(Ганеев И.Г.1974)

溶液浓度	高压釜下部		高压釜上部	
	温　度	pH	温　度	pH
0.5M	300°C	6.05	250°C	5.84
0.1M	350°C	9.44	350°C	7.41
0.1M	400°C	8.04	350°C	6.82
0.1M	400°C	9.24	300°C	6.75

2.Au—S络合物

金在高温时易溶于浓碱硫化物溶液中。B. G. Weissberg (1970) 实验在含0.25—0.9分子Na_2S／1 kg的碱性溶液中，150—290°C时金的溶解度为1—6ppm，主要呈〔AuS〕$^-$状态；在含0.2—0.3分子NaHS/1 kg的中性溶液中，150—250° C时溶解度为100—200ppm，金为〔HS〕$^-$的络合物。T .M . Seward (1973) 测定了金在含水硫化物溶液中的溶解度 (pH=4—9.5、160—300°C、1 kb，用FeS_2—FeS作氧化还原缓冲剂)，发现pH为中性时溶解度最大，且不同pH时Au—S络合物具不同形态。〔$Au_2(HS)_2S$〕$^{2-}$以在碱性溶液中占优势，近中性时呈〔$Au(HS)_2$〕$^-$状态，酸性时为〔Au (HS)〕形式（图2）。其中以前两者更为稳定，后者尚未完全肯定。

Au—S络合物在300—350° C以下温度条件下形成。因为H_2S (气体) 在大于400° C时要分解为H_2及S_2两种气体，不参与化学反应。在400°C以下它才能在水溶液中离解形成〔HS〕$^-$络离子 ($H_2S \rightleftharpoons H^+ +$〔HS〕$^-$)，〔HS〕$^-$又可进一步离解成$H^+ + S^{2-}$。由于后一反应的K值（电离常数）比前一反应小得多

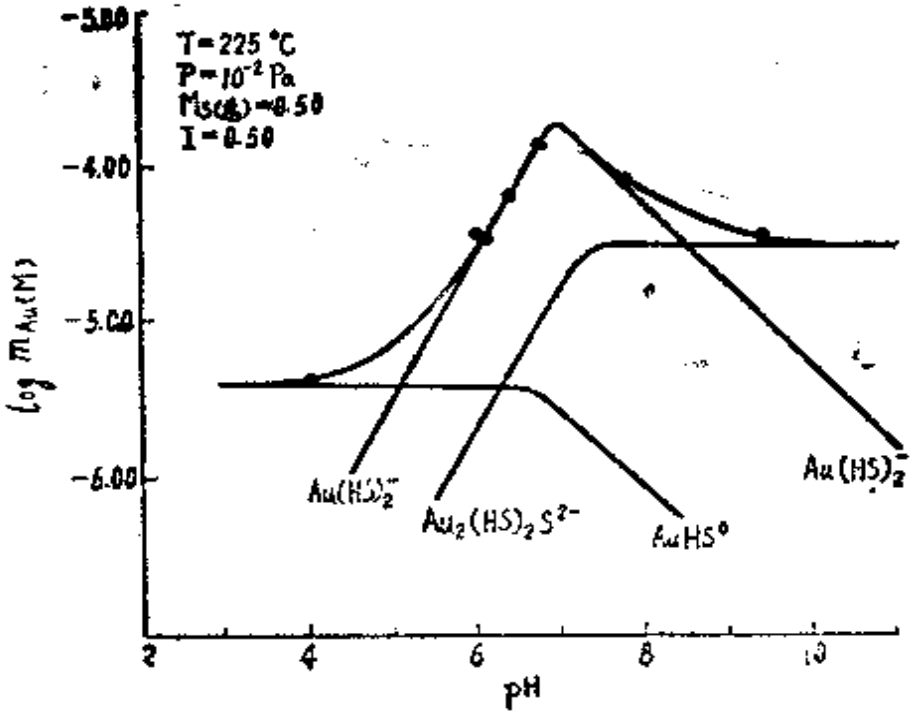


图2 Au—S 络合物的计算溶解度曲线与实验测定溶解度等温线（T = 225° C, P = 10^{-2}Pa（帕）比较（Seward T.M.1973）

（$K_2 = \frac{[H^+]\ [S^{2-}]}{[HS^-]} = 1.2\times10^{-15}$；$K_1 = \frac{[H^+]\ [HS^-]}{[H_2S]}$ $= 8.4\times10^{-8}$），因此溶液中S^{2-}的浓度很小，S主要呈〔HS〕⁻存在。故Au—S络合物以形成Au—〔HS〕⁻之络合物为主。同时从$K_1 = \frac{[H^+]\ [HS^-]}{[H_2S]}$可见〔HS〕⁻的浓度与〔$H^+$〕呈反比，即碱性溶液中〔HS〕⁻络离子最易形成。考虑到H_2S的溶解度随压力增大的情况，因此压力大时有利于金的溶解和迁移。

一些资料说明金能溶于碱碳酸盐溶液中，这是由于碱碳酸盐与H_2S作用形成了碱硫化物及碱－氢－硫络合物，它们有利于金的溶解，形成Au—S络合物进行运移。

$$K_2CO_3 + H_2S = K_2S + H_2O + CO_2$$

$$KHCO_3 + H_2S = KHS + H_2O + CO_2$$

同时碱碳酸盐构成的碱性环境（表7）对金的溶解也极为有利。

表7 Na_2CO_3溶液的pH值（Ганеев И.Г.1974）

溶液条件	高压釜下部		高压釜上部	
	温　度	pH	温　度	pH
浓度：1M	350°C	10.7	325°C	10.5
压力：	350°C	10.8	300°C	10.48
500kg/cm²	350°C	11.8	250°C	10.40
	350°C	11.94	150°C	10.58
	350°C	13.2	100°C	10.2

3.〔AuO_2〕⁻，〔Au（OH）$_2$〕⁻及胶体金

N.V.Vilor及T.A.Shkarupa(1971) 在Au—SiO_2—H_2O系，100—400°C、压力直到1kb条件下进行了实验，其结果指出，当温度＞200° C时Au，SiO_2的溶解度随温、压加大而增加，Au呈〔AuO_2〕⁻及胶体状态，它被溶解SiO_2及聚合态硅化合物所稳定迁移。

B.Г.Мойсенко及B.B.Молахов (1979) 的实验证明金能溶于NaOH，KOH溶液中（表8），其状态不清，笔者分析可能金溶于NaOH,KOH中形成了〔Au（OH）$_2$〕$^{1-}$或〔Au（OH）$_3$〕后者为两性化合物，在碱性溶液中可呈〔AuO_2〕⁻存在。

N.V.Vilor及V.N.Sarapulova (1971) 在高温高压下对沉淀在石英及瓷器上的薄膜金进行了溶解度实验，得出100°C时金之溶解度为6.6ppb，300°C时为67.5ppb、350°C时为34—35ppb，其中之金可能呈细分散状态（胶体）存在。此结果说明在变质过程中胶体金也可能起了一定作用。

4.其它形式

表8 金在NaOH及KOH溶液中的溶解度 (g/l)

(Моисенко В.Г.,Молахов В.В.)

实验条件	实验样品含金量(%)	溶解度 NaOH溶液	溶解度 KOH溶液	实验样品含金量(%)	溶解度 NaOH溶液	溶解度 KOH溶液
温度 200°C	100	1.37×10^{-3}	0.95×10^{-3}	50.36	0.98×10^{-3}	0.61×10^{-3}
压力 20atm	89.96	1.31×10^{-3}	0.61×10^{-3}	40.30	1.05×10^{-3}	0.75×10^{-3}
	75.17	0.95×10^{-3}	0.56×10^{-3}	30.12	1.15×10^{-3}	0.78×10^{-3}
	60.32	0.97×10^{-3}	0.58×10^{-3}	10.12	1.4×10^{-3}	0.96×10^{-3}

Au—Te络合物（$[Au(Te_2)]^-$，$[Au_2(Te_2)]^0$ $[Au(Te_2)_2]^{3-}$），Au—Te—S，Au—Sb—S，Au—As—S络合物（$[AuTeS_3]^-$，$[Au(AsS_2)]^0$，$[Au(Sb_2S_4)]^-$，$Au(AsS_3)^{2-}$ $[Au(SbS_3)]^{2-}$）在某些富Te，Sb，As矿床中可能是一种主要的迁移形式。其中的络合剂大多是在碱性溶液中形成的，如As_2S_3或Sb_2S_3与Na_2S反应，H_2S或AsH_3或SbH_3在碳酸盐溶液中作用，Te溶于Na_2S_2或Na_2S_3中均能形成上述As、Sb、Te与S的络合剂。

关于上述各种迁移形式之间的关系：K.Hattori 1975年提出，1 MNaCl溶液中，当pH=7、250°C、$fO_2=10^{-40}$ atm时，金的含量比在10^2克分子／l总硫量的溶液中低几个数量级，因此金运移过程中Au—S络合物起主导作用。Н.Н.Баранова及Б.Н.Рыженко (1981) 对Au—Cl—S—Na—H_2O系用热力学方法进行计算得出，氧化环境中形成$[AuCl_2]^-$及微量各种Au—HS络合物（酸性）—$[Au(OH)_2]^-$（碱性）；在还原环境含大量硫化物条件下，各种Au—HS络合物起了主导

作用，同时还伴有Au°，它尤以在中碱性溶液中溶解度最高。若ΣCs≤10^{-3}克离子／l时，Au—S络合物不能形成，此时Au°将是主要存在状态。因此影响金的迁移形式的因素包括温度、pH、Eh、ΣS等。

（三）金的沉淀和富集

金的沉淀包括各种金的络合物被破坏、离子金被还原成元素金的过程。引起沉淀的因素主要是温度、压力、pH、Eh的变化和相互综合作用的结果。

1.温度

金的沉淀是在降低温度的条件下发生的，据Н.Н.Баранова及Б.Н.Рыженко（1981），当温度由500°C降到200°C时，含金溶液中金含量将由10^{-3}克离子／l变为10^{-7}克离子／l。成矿溶液的初始温度变化很大，最高可超过500°C，低者仅200—300°C矿物的形成温度虽也随不同矿床而有高低之分，但它们多集中在一个较窄的区段内。如金及相伴硫化物的沉淀温度主要在300—150°C间，较早的石英形成高于300°C，较晚的碳酸盐可低于150°C。

2.压力

金的沉淀也是在压力降低的情况下发生的。原始溶液的初始压力变化很大，如变质热液可达几千大气压以上。近地表矿床仅几百大气压。成矿压力的变化区间相对较小，一般不超过一千大气压，高者达2000，低者不足100，压力的降低是由于溶液向浅处运行而发生的，单纯降低压力不能使金沉出。Au—Cl系中若有H_2S存在时，压力降低将有利于Au—S络合物的形成。因此压力降低配合其他因素才能引起络合物的破坏将金沉出。

3.pH

溶液pH的变化是引起金沉淀的重要因素。由于迁移状态的不同，原始溶液的pH也有较大差别。如Au—Cl络合物溶液呈

酸性，Au—S络合物多显中、碱性。因此在前一溶液中pH增高才能引起金的沉淀，而后一溶液中pH降低又是沉淀的必要条件。引起pH变化的因素包括外来物质进入溶液及溶液中的组分被排出等等因素。如碳酸盐围岩与溶液作用以及碱性水进入溶液将使溶液增加碱度，溶液中K，Na等组分结晶及溶液与酸性水相遇都将提高酸度。

显Au—S络合物运移的溶液在沉淀早期呈碱性，当长石析出后，溶液显中偏酸性，此时石英沉出（矿物气液包裹体成分测定石英沉淀的pH为4.8—7.4），继后溶液继续向中性演化，进入金及硫化物沉淀的环境（包裹体测定及硫同位素的fO_2—pH图解得出此阶段溶液的pH为6.19—7.51），以后溶液变为碱性，为碳酸盐矿物沉淀的条件。

4.Eh

溶液上升到浅处，氧和酸性水的进入可提高其氧化电位，形成含Fe^{3+}的矿物。但总系统仍处在一个还原环境中。矿物气液包裹体测出金沉淀时的Eh = −0.8—−0.45ev，此时还原剂Fe^{2+}、S^{2-}等将把Au^{3+}、Au^{1+}还原成自然金而沉出。其氧化还原反应式可写为：

$$[Au^{1+}Cl_2]^- + 2[Fe(HS^{2-})_3]^- \rightleftharpoons 2FeS_2^{2-}\downarrow + Au^\circ + 2HCl + 2H_2S$$

$$[Au^{3+}Cl_4]^- + 2[Fe(HS^{2-})_3]^- \rightleftharpoons 2FeS_2^{2-}\downarrow + [Au^{1+}(HS^{2-})_2]^- + 4HCl$$

$$\left.\begin{array}{l} \\ \end{array}\right| + FeCl_2$$

$$\rightleftharpoons FeS_2^{2-}\downarrow + Au^\circ\downarrow + 2HCl$$

$$Au^{1+} + Fe^{2+} \rightleftharpoons Au^\circ + Fe^{3+}$$

从这些反应式中可以看出，当Fe、S被氧化时（Fe也可来自围岩）（$Fe^{2+}\rightarrow Fe^{3+}$，$S^{2-}\rightarrow S_2^{2-}$），金就被还原成自然金（$Au^{3+}\rightarrow Au^{1+}\rightarrow Au^\circ$）这就是经常见到的Au—$Fe_2$紧密相伴以及两

者常发育在矿脉旁或脉壁的围岩绿泥石化带中的原因。

另外，由于$E_{\circ}Au^{3+}/Au^{1}$，$<E_{\circ}Au^{1+}/Au^{\circ}$，歧化反应也可$Au^{1+}\rightarrow Au^{3+}+2Au^{0}$，即一个$Au^{1+}$夺取另二个$Au^{1+}$之电子导致后者呈零价沉出。

析出后的金是否形成工业堆积主要取决于金的浓度。原始溶液中金的浓度不一定高，要使溶液达到高浓度除矿源层富金外，更主要条件是有一个裂隙网，保证溶液的长期对流循环，使溶液能从含金岩石中反复提取出金。否则形成的溶液将是贫金溶液。

三、金的成矿作用

金的成矿作用主要包括沉积作用、改造作用、区域变质作用及岩浆作用。其中沉积作用又可分为常温水沉积及海底热液沉积作用，区域变质作用包括受变质及变质热液两类，岩浆作用仅见岩浆热液，改造作用包括沉积后的改造及变质后的改造二种。这些成矿作用有的已为人们所熟知，本文仅对几个不太为国内研究者所注意以及与国内流行的观点不同的成矿作用作简单讨论。

（一）改造成矿作用

改造成矿作用是涂光炽70年代提出来的，他把改造定义为：矿床或矿化地层沉积（包括成岩）后处于另一次或多次地质作用中不到绿片岩相变质程度的温、压范围（300—400°C）、不均—围岩和脆性形变中的各种改变所形成的矿床，并叫沉积—改造矿床。以后他又分出变质岩中由更晚作用形成的改造矿床。叫变质后或混合岩化后的改造矿床。因此改造矿床就是沉积矿源层（或矿化地层）或变质岩矿源层（或矿化地层）遭受后期加热地表水或地下热水（非岩浆水）作用所形成的矿床。

1.沉积岩及千枚岩、板岩中的改造矿床

沉积岩中的改造矿床分布很广，它是在沉积的基础上经过后期构造热液改造富集作用所形成的矿床，兼具同生及后生矿床的双重特征，长期以来有同生及后生成因之争，直到不久前才基本统一了认识。

对产于板岩及千枚岩中的矿床过去一般视为变质矿床。根据C.J.Allegre及G.Michard (1974) 对变质作用条件所作下述三条规定：①变质作用中发生的矿物反应实际上完全消除了早先存在的共生组合；②它们产生的新共生组合反映了变质作用的平衡条件；③最后这些共生组合在变质后的幕中未被破坏。故板岩及千枚岩中的矿床不应属变质矿床，因为它们之中还有大量沉积阶段的矿物残留，组成岩石中的新生矿物也远不能反映平衡条件。这类矿床国外也普遍不列入区域变质矿床范畴，最近苏联称此型矿床为前绿片岩相低温矿床，属于后生作用产物（epigenetic，国内有人译为外力变质作用），交代作用起主导作用，不能列入Eskola的区域变质低温矿床（Белевчев Я.Н.1981）。这种类型的金矿床具有重要价值，如国外产于太古界—早元古界中的金铀砾岩及我国湘西一带的部分金矿床均属此类。

2.中深变质岩中的改造矿床

中深变质岩（角闪岩相、麻粒岩相）中金矿主要见于我国北方（如夹皮沟、小秦岭等地），其次在苏、美、朝的太平洋沿岸也有发现。矿体所在构造位置为古地台的晚期构造岩浆活化带，成矿时代为古、中生代。对于这类矿床一部分人认为系岩浆热液矿床，另一部分人将它列入变质热液成因，与国外太古代绿岩带金矿床相当。根据最近的大量工作，硫及铅同位素以及微量元素证明成矿物质来自变质岩，包裹体成分资料说明成矿溶液亦来自变质岩，矿体与晚期岩浆岩的脉岩系相互穿插以及矿体的放射性同位素年龄资料证明成矿时期较晚，与构造岩浆活化时期相同（主要为海西期及燕山期）。铅同位素模式年龄属中、晚元古代，

比围岩年代新得多，但大大老于成矿时代，它反映了成矿时铅是由似侧分泌作用分出形成的。它与国外太古代绿岩中的金矿床在地质环境、围岩变质程度、矿物类型、地球化学及同位素特点各方面均不一样，与矿区的晚期岩浆活动虽属同期产物，但无组分联系。因此它不是岩浆热液矿床，也不是变质热液矿床，而是变质及混合岩化后的更晚期形成的改造矿床。在成矿溶液产生时期，变质岩遭受的变化属于交代作用，不符合上述变质作用的定义，关于这类矿床成因的讨论及各种数据详情请见作者等的专文（中国科学B辑1983,5）。

3.火山岩中的改造矿床

火山岩中的金矿床，尤其是中、新生代火山岩及附近围岩中的金矿床在环太平洋带及喀尔巴阡山中分布很广。过去不少人视为火山热液矿床，甚至划入岩浆热液矿床。R.W.Boyle（1979）提出火山岩不是主要金源提供者，它只起加热作用，成矿溶液来自天水。

关于成矿物质来源比较复杂，有的矿床可能以火山岩的围岩为主要来源，如墨西哥的Guanajuafo矿床既产在第三纪渐新世火山岩及火山岩沉积岩中，又产在白垩纪的沉积岩及熔岩内，矿石的δs^{34}值（－3.4—－19.5‰）与第三纪火山岩不同（－6.5—＋5.7‰，而与白垩纪的页岩相似（－12.8‰）；铅模式年龄为负值；页岩又富含金（0.15ppm，这些资料说明成矿物质来自白垩纪的沉积岩（W.H.Gross、1975）。Boyle（1979）认为喷出岩一般贫金，而沉积岩、凝灰岩富金，如加拿大地盾火山岩含金仅0.007ppm，而相伴沉积岩为0.1ppm，因此他提出形成第三纪金矿床的金来自与火山岩相伴的沉积岩、凝灰岩，甚至更老的基底地层。但考虑到不少矿床主要或全部产在火山岩中，因此不能排除火山岩也是一种重要的金的矿源岩。

这类矿床为天水加热形成的热液成矿已为大量矿物气液包裹

体成分、δD及δO^{18}资料所证明。美洲西部、日、菲等国对矿体所作氢氧同位素资料说明成矿溶液属于加热天水、盐度较低（或中等）菲律宾碧瑶矿床包裹体中还有CH_4、C_2H_6存在，它是天水从土壤中淋出的有机质（E.J.Sawkins等1979），苏联有的矿床中O_2量接近空气中的氧值，Ar以轻同位素占优势，也说明了溶液来自天水（M.M.Константин等1979）。

矿床的形成普遍晚于火山活动，在熔岩固结及岩墙侵入之后，甚至还晚于更晚的花岗岩体，它与火山活动年代有时相近，有时相差甚大。如碧瑶矿床所在火山岩属中新世，而成矿为上一更新世，日本黑矿及相伴火山岩为中新世中期形成，而附近的金银矿脉属上新世（K.Hattori及H.Sakai，1979）。

因此这类矿床为火山凝结后天水向下循环被火山深部热体加热后从含金岩石（包括火山岩）中淋出金而成矿故应叫火山改造矿床。

（二）区域变质成矿作用

金在高温下是一个非常活泼的元素，其迁移能力按Boyle（1979）与Si,S,As,Sb相似，介于Hg,Zn之间（表9）、按照涂光炽的分类Sb,Hg属于活泼元素，只能形成沉积改造矿床，不能形成沉积矿床及沉积变质矿床，pb,Zn属于比较活泼的元素，可形成沉积、沉积改造及沉积变质矿床（直到麻粒岩相均可成矿）。而金之活动性介于其间，因此既可形成沉积及沉积改造矿床，也可在一定条件下形成沉积变质矿床。金在变质作用中成矿只发生在绿片岩相条件下，个别偶产在绿帘石角闪岩相中。因为绿片岩相的温度区间（400 °C以下）正适合于金的沉淀，而角闪岩相以上的温度范围将促进金的迁移，且随变质程度的增高迁移量加大，不能形成金矿床。因此金在太古代绿片岩中广泛产出（如南部非洲、西澳、加拿大等地盾上所见），而在太古代角闪岩、麻粒岩及混合岩中无变质矿床发现（如波罗的海地盾、乌克

兰地盾），只在遭到后期活化的深变质岩及混合岩中才有晚期改造矿床形成（如我国华北地台）。

表 9　元素的迁移能力（Boyle R. W. 1979）

脉石元素	Si>B>K>Na>Ca=Mn>Mg>Co>Fe=Ni>Al
气态化合物	CO_2=S=Se>As>Sb>Te
贱金属	Hg>Zn>Cd>Cu>Pb>Mo=Bi=Sn=W
贵金属	Ag>Au>Pt

B .A .Буряк（1977，1981）基于苏联贝加尔金矿的实际分布及地化特点提出了变质作用中金矿床的形成及分带图解（图

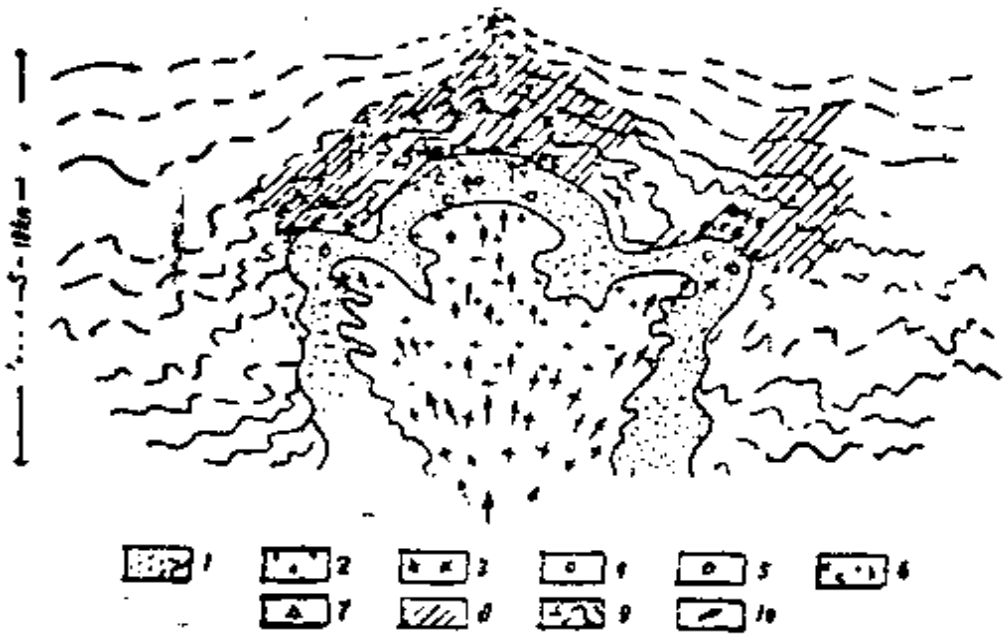


图3 变质作用分带与金矿床的分布（Буряк В.А. 1981）

1—结晶片岩（绿帘角闪岩相及更高温度变质相）；2—变成型侵晶岩和混合岩；3—再生交代型黑云母花岗岩及片麻花岗岩；4—高温不含金石英脉；5—少硫化物建造含金石英脉（伴细脉浸染型硫化物矿化含金带）；6—多金属矿化及含金多金属少硫化物建造含金石英脉（a. 金高于银；b. 银稍高于金）；7—少硫化物建造含金石英脉（银高于金3—4倍）；8—含矿变质热液型交代岩发育晕圈；9—绿片岩相区；10—变质矿化流体运移方向

3），此图解很好的解释了变质作用中金的成矿作用，且与金的地球化学性质及金的变质矿床只在绿片岩相中形成的全球规律性是完全一致的。

从上所述，只有产于绿片岩相中的矿床才有可能属于变质热液矿床；产于千枚岩、板岩中的矿床应划为沉积－改造矿床；而中深变质岩及混合岩中的矿床主要应属于变质后或混合岩化后的改造矿床。

选自《金银矿产选集》第四集（1985）

自然金的成因形态学

陈　光　远

（武汉地质学院北京研究生部）

自然金的晶体形态决定于自然金的内部晶体结构与形成自然金的外在介质条件。

一、内在条件

自然金属等轴晶系六八面体对称型，对称要素组合为$3L^4 4L^3 6L^2 9PC$，空间群$Fm3m$ (O_h^5)，$a_0 = 4.078$ Å (Barrett，1953)，$Z = 4$。

金、银、铜在周期表上同属Ib亚族（铜族），原子构型均属铜型离子，故性质相似。它们的原子同为立方紧密堆积（ABCABC……），配位数12，成立方面心格子，紧密堆积层平行{111}。由于金、银、铜晶体结构型相同，故晶体形态也相似。

从图1可见在立方面心晶格中，{111}网面密度最大，故在自然金晶体中{111}单形为最常见。

在乌克兰已知自然金晶体单形的分布如下（据Kvasnitsa等，1981）。

1.外喀尔巴阡　{111}、{100}、{110}、{311}、{210}（图2，T_1—T_{10}）。

2.顿巴斯　{111}、{110}、{100}、{250}（图3。D_1—D_{13}）。

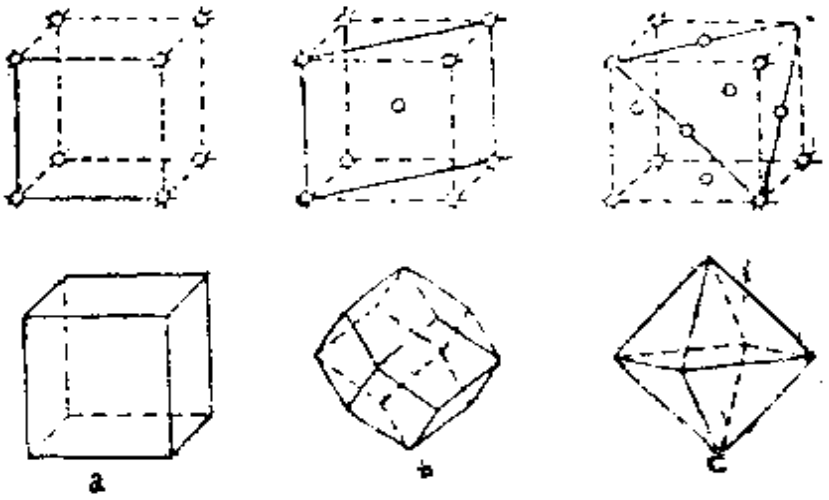


图1　原始(a)、体心(b)、面心(c)立方晶格与相应晶形

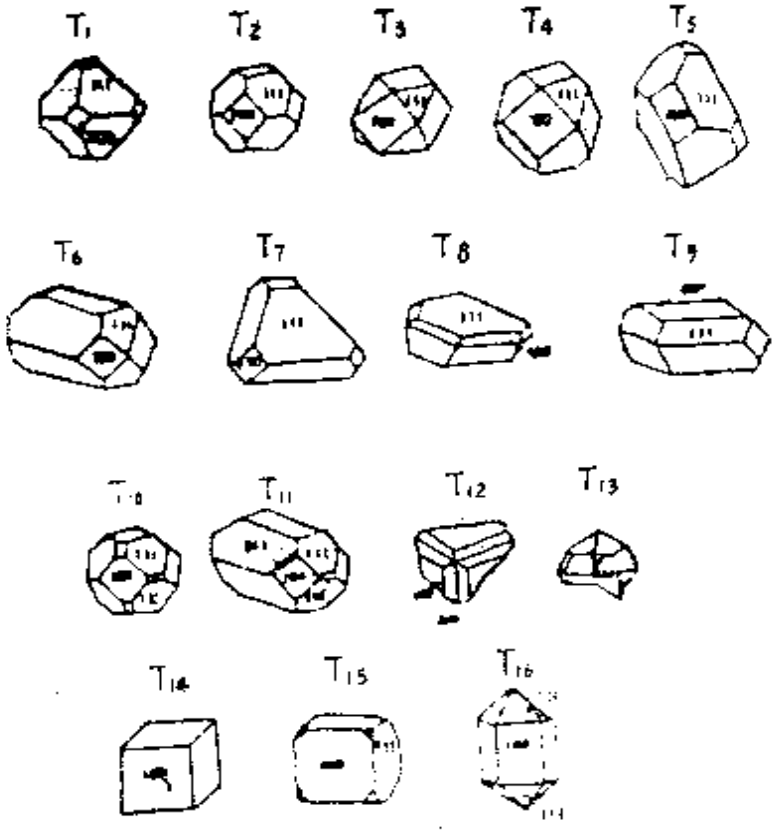


图2　外喀尔巴阡自然金晶体形态（T_1—T_{16}）
（据Kvasnitsa等）

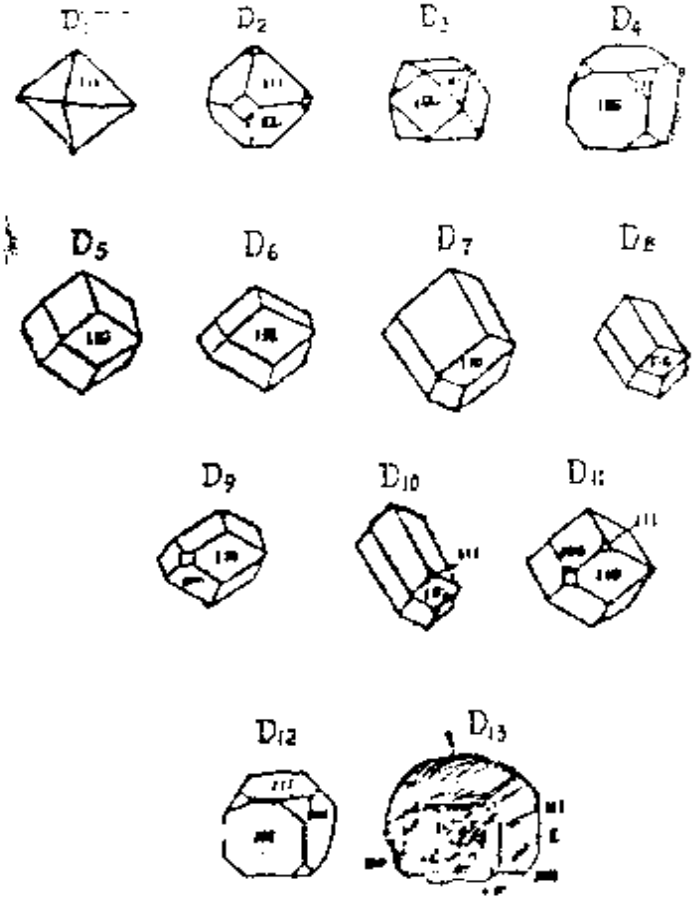


图3　顿巴斯自然金晶体形态（D_1—D_{13}）
（据Kvasnitsa等）

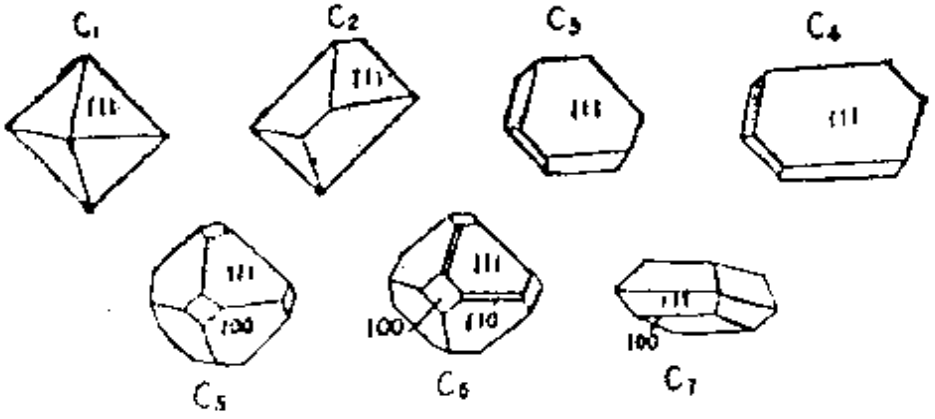


图4　喀尔巴阡自然金晶体形态（C_1—C_7）
（据Kvasnitsa等）

3.喀尔巴阡 {111}、{100}、{110}（图4，C_1—C_7）。

4.乌克兰地盾南部 {111}（图5，U_1—U_3）。

从上可见，在自然金单形中，{111}网面密度最大，发育最为普遍。其次为{100}，再次为{110}。{311}、{210}、{250}网面密度最稀，故较少出现。上述情况与Schneer(1971)根据Goldschmidt (1981) 的资料所总结出的规律一致。

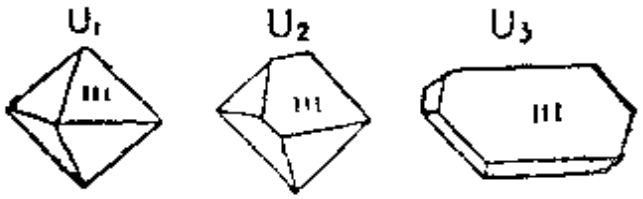


图5 乌克兰地盾南部自然金晶体形态（U_1-U_3）
（据Kvasnitsa等，1981）

在我国黑龙江团结沟斑岩金矿中（据吴尚全，1982），可见{111}、{100}单形。

在我国广西上林洪积自然金晶体中可见{111}、{100}、{110}（据钟世新，1982）。上述国内自然金单形发育情况也与国外一致。

当自然金晶体平行立方面心晶格一组面网生长时，便发育只有一种单形的晶体，如在团结沟与乌克兰的{111}，上林与顿巴斯的{110}，外喀尔巴阡的{100}，{311}。当平行两组以上的面网在生长时，便形成各种聚形，如喀尔巴阡（C_5）、顿巴斯（D_2）与外喀尔巴阡（T_1）的{111}+{100}的聚形，团结沟与外喀尔巴阡（T_{1a}）的{100}+{111}聚形。前者以{111}为主，后者以{100}为主。两种单形的发育强度可互为消长。

当自然金晶体平行立方面心晶格面网等向生长时，便形成等粒状三向延长的理想形晶体，如上述乌克兰U_1，C_1，D_1的

{111}，D_5的{110}，T_{14}的{100}以及团结沟和上林的{111}等。如不等向生长，便形成歪形，如上述乌克兰U_2，C_2上林的歪{111}，D_6的歪{110}，上林拉长的{100}及乌克兰的D_6、T_3、T_4、T_5、等的歪形聚形。

不等向的强烈发展，可形成一向延长的柱状，如在乌克兰D_8及D_{10}中是沿L^3延长的{110}，T_6，T_{11}是沿L^2延长的聚形。它们是在自然金的立方面心晶格中，沿体对角线和面对角线的结点行列强烈发育的结果。团结沟的丝状自然金与上林的棒状自然金，也是沿立方晶格一个结点行列强烈发育的结果，而玲珑的方网格状自然金则是沿两个互相直交的结点行列强烈发育的结果。

不等向生长也可形成板状或片状晶体。如在乌克兰U_3，C_3，C_4，T_7，T_8中是平行(111)及$(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$成板状，在C_7、T_9中是平行(001)及$(00\bar{1})$成板状，在D_7中是平行(101)及$(\bar{1}0\bar{1})$成板状。它们是各自分别平行{111}，{100}，{110}中的一组面网强烈发育的结果。团结沟、玲珑、上林与乌拉尔的片状自然金晶体也是平行一组面网强烈发育的结果。

自然金和自然银、自然铜等的树枝状晶体和似树枝状晶体，也是沿立方面心晶格的结点行列强烈发育的产物。它们可在三度空间中展布，如沿三个互相垂直的L^4方向成立体型；或在二度空间中展布，平行于某一个晶面或面网成平面型。后者一般又可分为以下几种情况：

（1）平行{111}的一个晶面成平面晶。枝干分别沿{111}与{100}晶面的交棱（L^2）延长，相交成60°。

（2）平行{100}一组晶面成平面晶。枝干又分为几种情况：

1）沿两个L^4延长，相交成90°。

2）沿两个L^2延长，相交成90°。

3）分别沿L^4及L^2延长，相交成45°。

（3）平行{110}的一组晶面成平面晶。枝干沿{110}一个晶面分别与{110}另一个晶面及与{100}一组晶面的交棱延长，相交成55°(54° 44′8″)。

自然金的树枝状体与似树枝状体都是骸晶，后者是由Петровская (1973)提出与前者加以区分的，前者具有良好的晶面与晶形，后者则不具备。它们多数为平行连生集合体，少数为双晶集合体，乌克兰的自然金树枝状体发育{111}、{100}、{311}的良好单形，团结沟、小金沟、上林的自然金树枝状体则不具备良好晶面与晶形。它们都为平面型，枝干交角在前者为45°，55°，90°，是平行{100}及{110}展布的，后者以90°为主，少数成45°，是平行{100}展布的。

究竟发育树枝体或似树枝体等骸晶或完整晶体，究竟发育什么单形、聚形、理想形或歪形，都与外在的介质条件有关。

二、外在条件（陈光远，1982）

1·浓度 介质中金的浓度是决定是否形成工业金矿体，在金矿体中自然金成什么晶形，具有什么成色的主要因素。当金浓度高时，质点供应丰富，便成{111}，伴随浓度降低，依次出现{100}、{110}，以及{311}、{210}等单形。当金的浓度处于过渡状态时，便出现它们之间的聚形，如{111}+{100}、{111}+{100}+{110}等。故自然金的单形和聚形可用做判断金矿床品位及矿化深度分带的标志，以团结沟为例，{111}：{100}+{111}：{100}平面型似树枝状体的相应棱长（mm）=0.09：0.009：0.0003=300：30：1，可见伴随金矿床深度与金浓度的变化，自然金的形态也有变化。

2.温度 伴随温度升高，金的溶解度也升高，故高温有利金

的溶解，低温有利金的沉淀，为此在正岩浆期及伟晶期不形成金矿床，在热液期与表生期易发生金的沉淀富集，而在热液期又以中低温热液阶段更有利，矿化也更普遍。天水参加，有助于降低岩浆热液温度，有利于形成超浅成金矿床。低温还有利于形成胶体溶液，故在超浅成及表生矿床中变胶体金特别发育。

3.压力 静压力加大，可防止溶剂挥发，有利于形成理想形自形晶；反之，溶剂大量挥发，使真溶液向胶体溶液转化，易于形成树枝状及似树枝状集合体及其他形态的胶体沉淀金，如在超浅成矿床及表生矿床中。在构造应力作用下，可形成歪形晶，包括一向延长的柱状晶体及二向延长的板状晶体，在弓长岭二矿区的古断裂带，便可见分别沿L^3与L^4延长的石榴石柱状晶体与垂直L^3的磁铁矿板状晶体与乌克兰断裂带的自然金柱状(D_8)及板状晶体（D_7，U_8，C_3，C_4）形态完全相同。

4.酸碱度 金在碱性及酸性溶液中溶解，在中性溶液中沉淀。岩浆晚期碱质集中，岩浆溶液早期也偏碱性，均有利于金的溶解搬运，如遇富碳质或硫化物或碳酸盐的围岩，向中酸性转化，即可沉淀金。岩浆溶液本身的H_2S在晚期集中，可使碱性溶液向中酸性转化，也可沉淀金，而富H_2S的酸性溶液再遇上碱性或钙碱性围岩，又可中和使金沉淀，故金可与石英、硫化物及白钨矿、萤石、重晶石、碳酸盐等一同沉淀，形成自形至半自形金粒。

天水溶液偏酸性，当与碱性岩浆溶液相遇时，可使它急遽中和，自然金来不及形成良好晶形，常成他形至半自形。

原已偏酸性的天水，在氧化带因遇硫化物氧化产生的硫酸根，大大加强了酸性，更有利于金的溶解搬运，下渗时遇碱性或钙碱性围岩，便可导致次生金的富集沉淀。此时因溶剂易于急遽挥发，形成胶体溶液，故金多成他形变胶体。

坡积、洪积、冲积物中的腐植质也是使地表水或地下水增加酸度与金的溶解度的另一根源。当酸碱度变化时，也可沉淀金的

自形至他形晶，包括萌芽状态的似树枝状晶，如在小金沟所见。

5.氧化还原电位 金在氧化条件下成离子或络离子溶解搬运，在还原条件下成自然金沉淀，故又与黑钨矿、晶质铀矿或沥青铀矿及硫、砷化物或硫盐共生。岩浆溶液与地表水及其混合溶液中氧化还原电位的交互变化，便可导致金的溶解与沉淀。岩浆溶液中的H_2，H_2S，CH_4，CO，煤层、碳质岩层中的碳质与硫化物、土壤中的腐植质与沼泽水中的有机物，均可起还原作用，使金沉淀。

6.时间 温度、压力、酸碱度、氧化还原电位与浓度缓慢的变化，可使自然金形成良好的自形，急遽的变化使真溶液向胶体溶液转化，便形成不规则他形的胶体金。

在一个矿带中，成矿时代早晚不同，晶形也有明显的变化，如在乌克兰。

表1

地　区	成矿围岩时代	单　　形
外喀尔巴阡	晚第三纪	{111}、{100}、{110}、{311}、{210}
顿　巴　斯	上古生代	{111}、{100}、{110}、{250}
喀尔巴阡	里菲—下古生代	{111}、{100}、{110}
乌克兰地盾南部	前寒武纪	{111}

可见伴随成矿时代从早到晚，自然金的晶体形态也从简单变为复杂，早期为{111}，成单形晶，晶面符号简单，网面密度及网面间距均较大。晚期除{111}外，并出现{100}、{110}、{311}、{210}、{250}，晶面符号趋向复杂，网面密度与网面间距变小，且常出现聚形晶。从早到晚矿物组合不同，金的成色也逐渐降低。

成矿时代相同，但成矿阶段或生成顺序早晚不同，自然金晶形也会有差异。如在顿巴斯，早形成的大晶粒便成良好的单形与聚形，晚形成的晶粒便成丝状、滴状、片状或块状。在外喀尔巴阡，早形成的大晶粒也成良好聚形，晚形成的小晶粒便成树枝状与似树枝状骸晶。在喀尔巴阡早阶段的成自形板状，晚阶段的成浑圆形。在团结沟，早形成的成{111}、晚形成的成{100}+{111}，更晚形成的成团粒状、树枝状、似树枝状、片状、丝状。

在同一矿床中，成矿阶段早晚不同，自然金的晶体形态也有差异。如在团结沟，早期石英脉晶洞中的自然金成{111}或{100}+{111}的良好自形晶，晶粒也较大。在晚阶段的玉髓晶洞中，自然金便成树枝状晶，晶粒便很小。

7.空间 对自然金晶体形态影响有以下几个方面：

（1）自由空间 在有自由空间时便可形成良好自形晶体，如在团结沟石英脉晶洞中的{111}及{100}+{111}晶体。如无自由空间，便成他形，如充填玲珑石英脉的石英微裂隙中的自然金，其形态取决于微裂隙的形态。

（2）介质对称 介质对称程度高，所形成的自然金外形对称也高，否则便会降低它的外形对称。显然乌克兰歪形晶体的出现，并不受成矿时代的限制，而是受介质的空间对称条件限制。如乌克兰地盾、喀尔巴阡、外喀尔巴阡的自然金板状晶体便产于不同时代的断裂剪切带中。同样，弓长岭铁矿二矿区的磁铁矿板状晶体也产于元古代的古断裂剪切带中。磁铁矿与自然金同属立方面心格子，故在剪切作用下也可形成$\perp L^3$的板状晶体。在它们的成矿过程中，什么时代发生断裂剪切作用与上述不对称的介质空间，什么时代便可出现上述板状晶体。

表2一向延长的柱状晶体与二向延长的板状晶体均产出于构造应力的作用带，而与一向及二向延长的裂隙有关。

表2

地区	板状晶体			柱状晶体	
	$\perp L^3$	$\perp L^4$	$\perp L^2$	$//L^3$	$//L^2$
外喀尔巴阡	T_7、T_8	T_8	—	—	T_8、T_{11}、T_{16}
顿巴斯	—	—	D_7	D_8、D_{16}	—
喀尔巴阡	C_3、C_4	C_7	—	—	—
乌克兰地盾南部	U_3	—	—	—	—

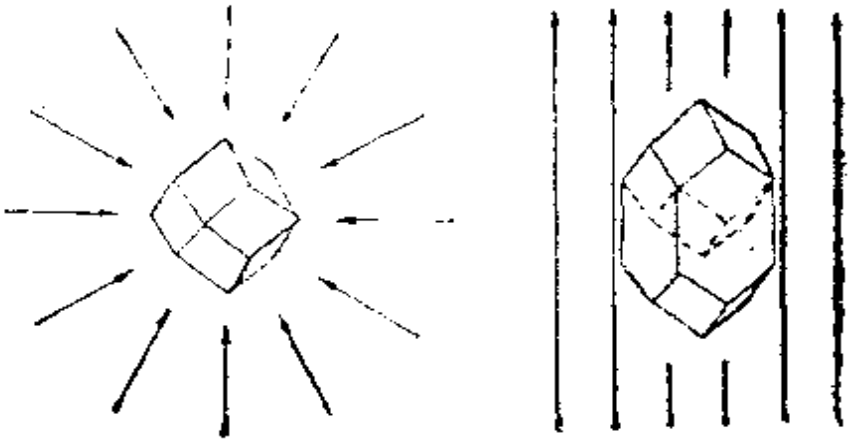


图6　菱形十二面体晶体在不同对称的介质中生长的晶形
(据I I.Shafranovski)

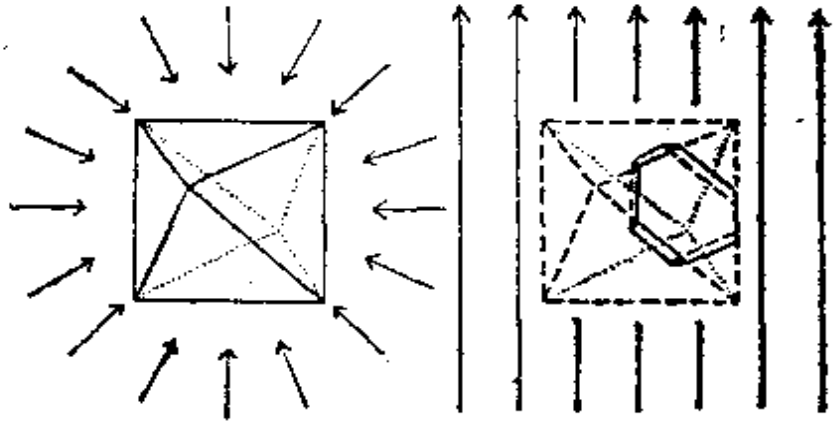


图7　八面体晶体在不同对称的介质中生长的晶形

图6、7显示菱形十二面体及八面体晶体在不同的对称介质中生长的晶形。当介质对称为球体时，质点等向迭加，即

成{110}、{111}的理想形。当介质对称不成球体时，质点非等向迭加，即成一向延长的柱状或二向延长的板状。在弓长岭铁矿二矿区古断裂带的剪切带，石榴石有沿L^3与L^4延长的柱状晶体（陈光远等，1981），磁铁矿也有⊥L^3的板状晶体（陈光远等，1982），与乌克兰柱状和板状的自然金晶体形态(Kvasnitsa等，1981)一致，离开断裂带的剪切带，石榴石与磁铁矿晶体便由歪形向理想形转化（陈光远等，1981，1982），也与乌克兰的自然金（Kvasnitsa等，1981）相似。

(3)空间部位　自然金的形态还与它产出的空间部位有关。乌克兰地盾南部的金矿脉产于元古代斑状花岗岩中，喀尔巴阡金矿脉产于里菲至下古生代变质岩中，产出部位均较深，自然金晶形便较好。顿巴斯金矿脉产于上古生界下石炭系沉积岩的背斜轴部，部位已较浅，故除良好晶体或较大晶粒内，已开始出现丝状、滴状、片状及块状晶体。外喀尔巴阡金矿脉形成于晚第三纪火山岩中，部位最浅，故出现树枝状与似树枝状自然金骸晶。可见产出部位深浅不同，导致溶质浓度与溶液性质不同，自然金的形态也有显著的差异，显示一定的分带性。

在同一矿床中也显示类似的分带性，例如在团结沟金矿床，既出现{111}与{100}+{111}的自形晶，也出现树枝状与似树枝状自然金。

三、成因意义

对自然金的成因形态学进行系统研究，有助于判断探讨有关金矿的以下问题。

1.成矿时代；2.成矿部位；3.成矿构造；4.成矿机理；5.矿床评价；6.找矿勘探方向。

选自《全国金矿矿床矿物成因矿物学》（1984）

岩浆热液中金的来源

刘　平

（武汉地质学院矿床教研室）

一般认为，岩浆热液中的金当然是来自岩浆的，是岩浆冷凝结晶过程中由水等挥发分直接从岩浆中带出来的。但是，大量事实表明，情况远不是如此简单。岩浆热液中的金确有可能是直接来自岩浆的，但在很多情况下，金并不直接来自岩浆。本文所强调的正是这一点。下面就分别讨论岩浆热液中金的三种主要的可能来源。

一、金来源于岩浆

按照岩浆侵入的深度和使金从岩浆中进入热液的主要岩浆作用类型又可再分为两种情况：

1.地下深处的岩浆分异作用使金从岩浆中进入热液

金在岩浆分异过程中具有弱活动性，表现在：

(1)金含量在超基性、基性岩中最高，随着岩石基性程度的降低，酸性成分的增加，金含量逐渐降低，花岗质岩石中金含量最低（表1）。

(2)一个构造单元内不同期的侵入体，甚至是一个侵入岩体不同阶段的产物，其金含量一般是早期早阶段的产物比晚期晚阶段的高。例如，苏联库拉明山海西期侵入岩建造的形成时代从C_{1-2}—T_1。从整体上来看，从早期到晚期，侵入岩成分向偏酸

性变化，金含量也逐渐地降低：从早期(C_{1-2})含金0.0067g/t，到晚期（$P-T_1$）含金0.0016g/t。并且，在早期（C_{1-2}）的，分异良好的中深相中，从早期侵入相到晚期侵入相，金的含量也逐渐降低：从辉长岩含金0.0082g/t，降到花岗岩含金0.0009g/t；再如，苏联南维尔霍扬斯克复向斜淡色花岗岩建造中的耶拉格昌岩体，其早阶段的花岗岩含金0.0049g/t，晚阶段的细粒花岗岩含金只有0.003g/t；同一建造中的库帖普岩体中的早阶段花岗岩含金0.0062g/t，而晚阶段细粒花岗岩含金只有0.0019g/t。

(3)含金较高、分异较好的岩浆还可形成岩浆型金矿床。如南非Lowveld矿床据Fostcr研究就是属于原始岩浆型的。

金趋向于在基性、超基性岩中含量较高，而在酸性岩中含量较低，造成金含量的这种变化的原因是多方面的：可以是金的亲铁性（虽然不很明显），或橄榄石、辉石等岛状、链状硅酸盐矿物对金的可溶性，也可以是金的重力沉淀所致（虽然这种情况少见）因为可以用实验再造出硅酸盐熔体中金的沉淀模式，当然也可以是金在岩浆分异过程中被挥发分带出了岩浆房。金在岩浆分异过程中被挥发分带出岩浆房的依据主要有：

(1)由岩浆结晶残余熔体所形成的脉岩比与之同源、时代相近的侵入岩含金高，反映金可以聚集在残余熔体中，而这种熔体主要由活动性组分（包括挥发分）组成。

(2)在分异良好的侵入岩体中，淬火带（一般认为代表了岩浆的原始成分）中的金含量比其它岩相带高。如苏联诺利斯克地区的塔尔纳赫侵入体中，淬火带金的平均含量是侵入体所有其它层的平均含量的若干倍。可见，金可在原始岩浆分异的某个阶段带出岩浆房。

(3)侵入岩的矿物研究表明，分异体中的矿物比未分异体中的同种矿物含Au低。未分异的暗色岩侵入体中的斜长石金的平均含量（0.0096g/t）.是分异的暗色侵入体的斜长石金的平均含

表1 火成岩石金的平均含量

岩石类型	分析样数	所有分析结果的平均值（ppb）
深成岩		
酸性岩		
花岗岩	310	1.7
花岗闪长岩	380	3.0
细晶岩（包括花岗岩的岩墙和岩脉及云英岩）	23	4.2
中性岩		
闪长岩、石英闪长岩、二长岩、石英二长岩、英云闪长岩	261	3.2
铁镁质岩石		
辉长岩（包括辉长闪长岩）	580	4.8
超铁镁质岩石		
主要为纯橄岩和橄榄岩	149	6.6
火山岩及浅成岩		
酸性岩类		
主要为流纹岩（包括流纹英安岩、英安岩、霏细岩、安粗岩和黑曜岩）	188	1.5
铁镁质和中性岩类		
主要为玄武岩、安山玄武岩、安山岩（51）、粗面安山岩和粗面岩（2）	696	3.6

量（0.003g/t）的3.2倍。西伯利亚地台暗色岩侵入体的辉石研究结果表明，金含量在未分异侵入体的辉石中比在分异侵入体的辉石中高2—4倍。另据研究，分异的暗色岩侵入体的钛磁铁矿金平均含量只有未分异的暗色岩侵入体钛磁铁矿的二分之一。

(4)大量的研究结果表明，含矿侵入岩的造岩矿物和副矿物的含金性与不含矿的侵入岩的同种矿物的含金性相比，具有不稳

定的特点，说明金有局部富集。同时，金在侵入体顶部，内接触带及外接触交代带富集，表明金在残余熔体和溶液中富集，并在适当的时机被带出岩浆房。

(5)实验表明，在岩浆分异过程中，金在含挥发分的液相中积聚。在温度为750°—850°C条件下，金在液体和硅酸盐熔融体之间的分配系数为50左右，也就是，金在液体中的浓度是硅酸盐熔融体中的50倍左右。温度及氯含量升高有利于液相中金浓度的增高。金在含挥发分的液相中富集还反映在金在富硫化物层中富集。如，苏联库列依杂岩体岩床分异物中，富硫化物的斑杂辉长－粗玄岩的金含量比其它层的高5—6倍。再如苏联南维尔霍扬斯克复向斜淡色花岗岩建造中，含硫化物花岗岩的金含量（0.0306—0.096g/t）比花岗岩的金含量（0.0049—0.0032g／t）高5—31倍。金在岩浆型铜、镍硫化物矿床中富集也说明金在富挥发分的液相中聚积这一点。值得指出的是：金等贵金属在深部熔离的铜、镍硫化物矿床中含量低，只有在晚期熔离及残余熔离的铜镍硫化物矿床中含量才较高，而后者以明显的热液蚀变与前者相区别，反映了金与挥发分的关系。虽然一般都认为金在铁镁矿物中略呈积聚之势，但这些矿物的增加并不一定导致岩浆岩中金浓度的升高；同时，岩浆熔离形成的铬铁矿床、矾钛磁铁矿床中金含量较低；此外，最近在自然界发现了金银的硫化物硫金银矿（Ag_3AuS_2）。这些都反映了金与硫（及其它挥发分）的关系比金与铁的关系亲密得多。

由上述可见，金在超基性岩、基性岩中含量较高，它们含挥发分较少，因而金较少带出是它们含金较高的一个原因。

2.地表和近地表的火山作用及超浅成侵入作用使金从岩浆中进入岩浆热液（火山热液）

火山作用和超浅成侵入作用中，由于岩浆上升到地下浅处，压力剧降，挥发分就会携带着成矿元素（包括金）从岩浆源中逸

出，形成含矿热液；或者前锋岩浆因挥发分逸出而冷凝形成顶壳，细粒致密的顶壳下部也可以富集含矿流体。这种含矿流体可以在岩浆冷凝晚期发生自变质成矿，也可以在挥发分压力超过外压时发生爆破或由于其它原因（如构造活动等）在顶壳产生裂隙时迁移出岩浆房，形成含矿岩浆热液（火山热液）。火山岩金含量低于同化学成分的侵入岩金含量（表1）表明金能在火山作用过程中从岩浆中被带出来。

二、金来源于同源岩浆岩（自变质作用造成金的浸出）

岩浆结晶的晚期，岩浆房中的岩浆残液对已结晶（但可能尚未完全固结）的同源岩石进行交代。交代的结果是使早先形成的矿物组合发生改变，从而使存在于早世代矿物中的金在交代的过程中活化进入热液，这种热液在适当的情况下就可成矿。金在自变质过程中被活化迁移的主要证据有：

1.据研究，中性岩和酸性岩中的角闪石的金平均含量分别为7.1、7.5mg/t，黑云母的金含量分别为17.73，11.0mg/t，而中性岩和酸性岩中的长石类金的平均含量分别约为5.3mg/t，石英类的金含量分别约为4，2.5mg/t。可见，中，酸性岩中伴随着长石化可使岩石中的部分金转入溶液被带出。

2.据研究，辉长—辉绿岩、闪长玢岩、煌斑岩等的早期自交代作用（钾长石化和钠长石化）常伴随有金的再分配，并从交代带中携带出部分金（可达30%）。

3.据研究，在岩石的自变质过程中，各种矿物的含金性都有不同程度的下降。例如：同一建造的碱性自交代岩和交代花岗岩的石英金含量比未蚀变的花岗岩中的石英金含量低1/3—1/2；自变交代作用形成的钠长石和正长石比原生结晶的钠长石和正长石

金含量减少1/5～1/2；自交代改造的花岗岩类和辉长岩类的闪石类矿物的金含量比原含量降低1/3～1/2；自交代蚀变花岗岩类的黑云母的平均金含量降低到原含量的2/3～1/6；侵入岩的辉石发生自变质时，蚀变的辉石亚种中，金的平均金含量减少2/3～1/2；在花岗岩类的碱性自交代过程中，约有1/3～9/10的金从磁铁矿中带出，等等。但是，当这些矿物出现在离自交代带不远的含矿蚀变代中时其金含量比未蚀变岩石的同种矿物的金含量又要高一些，一般高1—2倍，各种矿物的含金性的这种变化反映金从自交代蚀变带带出，然后在含矿蚀变带沉淀从而富集成矿。由此可见，在岩石的自变质过程中，可有相当部分的金被带出（经计算可有20—25%的金被带出），产生金的再分配并使金局部富集而成矿。

4.金从自变质带中被带出在成矿蚀变带中富集的现象很清楚地反映在有关金矿床的地球化学异常的特征上。花岗岩侵入体的面型钠化形成的金矿床的地球化学异常特征就很说明问题。在面型交代带中，有Ba，Hg，Sb，Cu，Pb，Zn，Bi，As，Ag（这些元素都是金的指示元素）的宽广的负地球化学异常及狭窄的正地球化学异常。负异常区就是不含矿的经受自变质的钠长石化花岗岩，往往长1—2km，宽数百米，而正异常则直接出现在钠长岩的矿体附近，其规模偶尔超过矿体3—7倍。可见，Au就是从负异常区由钠长石化使之活化而迁移到某些有利部位（正异常带）而成矿的。

上面提到，碱金属交代既可使金从岩石中被淋滤进入热液，又可使金自溶液中沉淀出来形成成矿带。如何区分这两种碱金属交代带呢？最显著的标志就是前者是面型蚀变，其使金从大范围的岩石（同源岩浆岩）中淋滤出来，而后者是线型蚀变，其使金在小范围内沉淀富集，从而成矿。

这种由自变质作用导致金的重新分配而使金富集所形成的矿

床在苏联比较常见，而在我国还很少有报道。在金成矿省，应注意寻找这种与浅成、超浅成中酸性岩浆侵入有关的金矿床。

三、金来自围岩

岩浆热液自岩浆房流出时可以淋滤接触带附近的岩石中的金，形成含矿热液。这样，既使原始岩浆含金性差或分异差，使得岩浆热液自岩浆房中流出时含金极微或不含金，也同样可以形成含金的岩浆热液。这种成矿热液主要来自岩浆而成矿元素金主要来自围岩（沉积岩、变质岩、不同源不同期岩浆岩）所形成的热液金矿床在金矿床中很可能占有很大的比例，但还未引起足够的重视。

在苏联乌拉尔地区，金矿化在空间上和深断裂及沿断裂带侵入的阿尔卑斯型超基性岩有极为密切的关系，同时又与花岗岩类在时间上、空间上有密切关系。但是，花岗岩类岩浆岩与金矿化在时空上的密切关系仅仅在“含矿”花岗岩类出现在深断裂带并且被超基性岩“封闭”的区域才反映出来。经过研究认为，花岗岩类岩浆仅提供了成矿热液，而成矿元素金是由成功热液自超基性岩中淋滤出来的。

在美国，著名的霍姆斯塔克金矿床的形成也可能与这种岩浆热液（火山热液）有关。金产于前寒武系的霍姆斯塔克建造的褶皱顶部，同时又与流纹岩及斑岩侵入体有关。而这种流纹岩切穿了黑山地区的中生代盖层，故应属中一新生代产物。经过研究，得出的总的结论是：大部分的金与硫化物一起形成于霍姆斯塔克建造褶皱之后，并且是在第三纪岩浆活动期间。

在南非，据研究，前寒武纪金矿的最终形成与晚期的高挥发分交代花岗岩侵入到绿岩带，改造早先形成的岩石和低品级的金

矿有关。但研究者未论及是如何改造的。

在我国，这种金来自围岩的岩浆热液金矿床也可能占有极为重要的地位，许多大、中型的金矿床都可能属于这种类型。在这里，我们只讨论辽宁白云金矿床。

该矿床主要产于早元古代辽河群大石桥组二段下部，明显地受层位控制。矿体赋存于破碎带内的钾化—硅化交代蚀变带中。该钾化－硅化交代蚀变岩带受褪色蚀变带控制，而褪色蚀变带又严格地受破碎带所控制。由金含量较高的黑云母片岩（含金0.05ppm）等正常矿源层岩石到褪色蚀变岩带（含金0.03ppm），金含量有所降低（降低了40%），而向含金交代蚀变带（含金0.54ppm），则金含量明显增高（增高了近10倍）。矿床中褪色蚀变带愈厚，交代蚀变岩也愈厚，矿体较大。这些都反映了金主要来自蚀变带围岩。

同时，金矿化与岩浆活动有密切的关系。矿区附近虽未见较大的岩体，但矿区内岩脉广泛发育。石英斑岩和闪长玢岩脉与金矿化蚀变岩（带）有密切的空间关系，常出现在蚀变岩（带）的顶盘或底盘。从K—Ar年龄来看，矿区的大石桥组黑云母片岩全岩样为907Ma，黑云片岩中的伟晶岩之白云母样为1284Ma，而矿体的钾长石样却为303—160Ma，与区域花岗岩黑云母样340—210Ma及矿区内的闪长玢岩、石英斑岩的全岩样330—220Ma相近。从硫同位素分析结果来看，矿石硫的δS^{34}变化区间为+1.6－8.5‰，平均为3.7‰。它明显地不同于矿体围岩的硫（δS^{34}平均为+14.6‰，），矿体围岩中伟晶岩的硫（δS^{34}为+11.4‰），而与矿区附近印支期新岭花岗岩（δS^{34}为3.4‰），矿区内闪长玢岩（δS^{34}为5.75‰）比较接近。矿石富轻硫，可能是岩浆热液在迁移过程中的分馏以及从围岩中淬取时活动性较强的轻硫较多地进入成矿溶液所致。

从矿物的包裹体特征来看，该矿床的石英中的包裹体以盐度

中等（7.96—9.92%）密度中等（约0.8g／cm^3）、CO_2/H_2O克分子比值较小（0.015—0.053）、均一温度较高（早期多数＞350°C），有沸腾包体群的存在等特征而与岩浆热液矿床中的石英之包裹体特征相类似；而该矿床的石英中的包裹体含有CH_4气体，又反映了成矿溶液中有地层（围岩）物质的加入。

由上述可见，白云金矿床的形成可能是与岩浆有关的气液从含金较高的围岩中淬取出金然后在破碎带交代而成。

另外，从某些特征来看，我国山东玲珑金矿、河南小秦岭金矿、浙江治岭头金矿、辽宁的另外某些金矿（如长皋金矿）也可能由这种方式形成，但还需进一步深入研究。

在这种成矿物质来源于围岩的岩浆热液金矿床中，有一类特殊的矿床。这类矿床的形成作用介于岩浆作用和花岗岩化作用之间。形成这类矿床的热液来自岩浆，而成矿物质金则来自岩体边部经受花岗岩化的岩石，亦即含矿热液是在岩体边部围岩的花岗岩化的过程中形成的。关于这类矿床另有专文讨论。我们认为此类矿床仍应属岩浆热液矿床。

总的来看，对于这种成矿物质来源于围岩的岩浆热液矿床的形成有以下几点值得注意：

1.与成矿有关的岩体本身可以含金也可以不含金。例如，与长皋金矿的形成有关的岩体本身就不含金。

2.与成矿有关的多是酸性（中酸性）岩类。这主要是由于（中）酸性岩浆含有大量的挥发分。这些挥发分不仅能将岩浆中的部分金带出来从而使酸性岩的金含量低于基性、超基性岩，而且还能从围岩中淋滤出大量的金，形成含金热液。

3.在与成矿有关的岩体附近（一般在其上部）应有含金较高的岩层（或岩体）。这些岩层或岩体的岩性对含矿溶液的形成影响不大，主要的影响因素还是其含金性。含金高的岩浆岩（如苏联乌拉尔地区的超基性岩）沉积岩或浅变质岩（如长皋金矿），

深变质岩（如玲珑金矿、治岭头金矿）等均可为含矿热液提供成矿物质。

4.金-银矿床往往离与之有关的岩浆岩体较远，加之其成矿物质主要来源于围岩且矿体又一般产在变质岩中，因而常常会将这类金-银矿床误认为是由区域变质作用形成的。其实，考虑到金-银矿床一般为中低温热液矿床，金-银在矿床分带系统中位于外带，离与之有关的岩体较远（也只有因为如此，岩浆热液才能在长距离的运移中富集金），再依据矿区内成矿前后的岩脉大量发育，我们不难得出结论。我们都承认岩脉是深部岩浆上升冷凝而成，而我们却为什么不肯承认与岩脉的形成时代相同或相近，并且在空间上与岩脉分布有密切关系的金矿体是由与岩浆有关的热液形成的呢？一个地区岩脉大量发育这一现象本身就表明本地区有较多薄弱地带，这些薄弱地带自然也能成为含矿热液运移和成矿物质沉淀聚集的场所。当然，我们还要注意岩脉形成时代与矿体形成时代的关系。如果在矿体形成之前或（和）与之同时有岩脉产出，则表明矿体形成之前或（和）形成时有对成矿有利的薄弱带。成矿热液可沿此薄弱带运移较长距离，这时要在矿区内寻找与矿化有关的岩体就比较困难。反之，若在矿体形成之前或（和）与之同时，没有岩脉产出，而矿又系岩浆热液形成，那么这种矿体离与之有关的岩体一般不会太远。一般只在岩体附近比较封闭，岩体附近的温度梯度大（如超浅成，火山活动的情形）及岩体与其围岩的成分相差较大的情况下，矿体离与之有关的岩体才不会太远。总之，我们不能仅仅依据矿区内没有见到岩体（其实，没见到并不等于不存在），而应根据矿床。

选自《五台山地质》第一期（1986）

金的标型特征初步研究

杨思学

（中南矿冶学院）

在不同地质条件和物理—化学条件下形成的金，具有不同成色、形态及物理性质等标型特征。研究这些标型特征有助于我们推测矿床形成的物理—化学条件，了解矿床的成因，并为找矿勘探服务。因此，研究金的标型特征具有理论和实际的双重意义。在此仅讨论金的成色、形态和物理性质三方面的特征，不妥之处请批评指正。

一、金的化学成分标型特征

金的化学成分用成色（$=\frac{Au}{Au+Ag+(其它组分)}1000$）来表示。首先，矿床类型不同，金成色不同，如表1。这是由于不同类型的矿床具有不同的地质及物理—化学条件，故具不同的成色；而同类矿床具相似的金成色。如沉积变质型金矿床成色较高，一般在900以上。这可能是原始沉积岩系中有大量的卤化物、硫酸盐及水分等，在变质作用中，分散在沉积岩中的金可形成稳定的络离子：$[AuCl]^-$，$[AuCl_4]^-$，$[AuCl_3(OH)]^-$，$[AuS_2]^-$，$[AuS_3]^{3-}$及$[Au(S_2O_3)_2]^{3-}$等。这些络离子的溶液沿裂隙等活动时，因物理—化学条件的变化而发生分解，析出自然金。如环境为碱性时：

$[AuCl_4]+3OH^- \longrightarrow Au(OH)_3 \xrightarrow{\text{脱水}} Au_2O_3+H_2O$；

$Au_2O_3 \xrightarrow{150^\circ C} Au\downarrow+O_2\uparrow$；若环境为酸性时：$2[Au(S_2O_3)_2]^{3-}+4H^+ \longrightarrow 2Au\downarrow$。而银的络离子较稳定不易沉淀析出。故金成色较高。如黑龙江东风山沉积变质型金矿床的成色为900(平均)。金的成色和变质、重结晶作用的程度有关。如某中深成金矿床，受强烈变质和重结晶作用的金，其成色为940—960；中等变质和重结晶时，成色为900—920；弱变质作用中的金成色为850；而未受变质者，成色为790。又如在变质型金矿床的绿帘石—角闪石相中，金的成色为850—915；黑云母-绿泥石相中为750—870；白云母-绿泥石相中为720—740；沸石相中更低640—720。

表1 不同类型矿床自然金的成色比较表

矿床类型	成色
卡林型矿床	950以上
南非兰德型矿床	915—995
前寒武纪沉积变质型金矿床	900以上
碱性岩中石英脉型金矿床	800—930
高温热液（矽卡岩）型金矿床及伴生金	800—900
中温热液型金矿床	700—900
低 〃	680—760
斑岩型金矿床及伴生金	840—900
近地表火山岩中的金矿床	657—750
砂金矿床	892—995

热液型金矿床中金成色变化较大（680—900）。特点是随温度的升高，成色升高。其原因之一是随温度升高，Au—Ag固溶体中银含量变低，故成色变高，如图1。如在苏联阿木尔河流

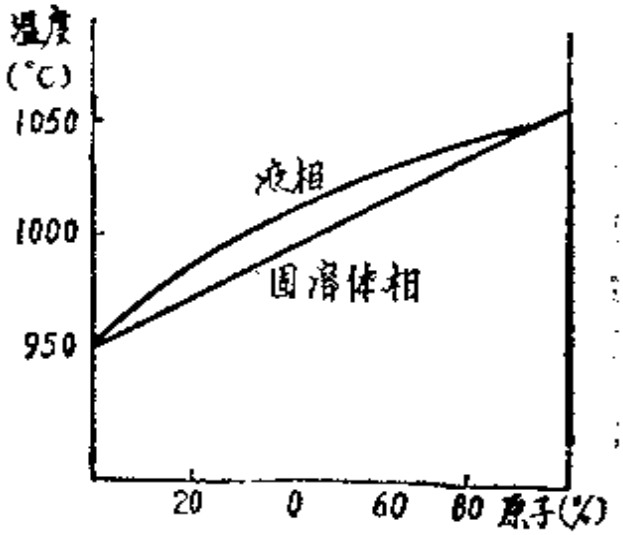


图1 Au—Ag相图

域某热变质金矿床中，离接触带1米处，金成色800.1—804.1，200米处为680—710。另一解释是：金矿化早期，温度较高，成矿介质呈酸性，溶液中$〔AgCl_4〕^-$等络离子较$〔AuCl_4〕^-$、$〔AuCl_2〕^-$等为稳定，银的浓度较低，故沉积下来的金，成色较高。而随温度降低，pH升高，溶液中金的浓度相对降低，$〔AgCl_4〕^-$等络离子不稳定增大而分解，大量沉积，使金的成色降低，如表2。从同一矿床的不同矿化阶段也可看出同样的结论。如何耀宋对我国吉林延边地区金矿的研究表明：早期矿化阶段较晚期阶段成色为高（表3）。

表2 美国某些金矿床中金的成色

矿床类型	样品数	分析数	金成色
怀俄明狄安娜矿山（高温）	1	6	926
蒙大拿州（高温热液交代型）	3	16	977
科罗拉多州小Jonny矿（中偏高温）	1	5	891
科罗拉多州Dixie矿（表生富集中温）	1	18	808
科罗拉多州Peak矿区（低温）	3	10	756
内华达环山区（低温）	5	15	786

表3　不同矿化阶段自然金的成色

矿化阶段	成色	Ag%
脉状辉钼矿－白钨矿－自然金－石英阶段	930	3.5
细脉浸染状磁黄铁矿－黄铁矿－黄铜矿－石英阶段	860	9.5
脉状黄铁矿·磁黄铁矿·毒砂·自然铋·黄铜矿－金－石英阶段	846	12.5

矿物组合不同，金的成色各异。一般多硫化物型，金成色最高；低硫化物型次之；贫硫化物型低这是因为银易于进入硫化物晶格，代换其中的阳离子使多硫化物型金成色较高（表4）。

其次，金的成色和矿床形成条件有关。

表4　里提尔－索克尔矿床不同矿体金的成色

矿物组合	世代	金的成色		
		中央矿体	西南第二矿体	贝斯特鲁什矿体
Ⅰ	Ⅰ	762	781	811
Ⅱ	Ⅱ	524	700	—
Ⅳ	Ⅱ	849	968	—
矿物类型		少硫化物型	多硫化物型	
深度变化		浅——————→深		

金的成色和矿床形成深度的规律性较明显。据苏联远东地区91个内生矿床统计：51个中—深成金矿床的平均成色为886.7；40个浅成金矿床平均成色为647.3。此外世界上十个中—深成金矿床平均成色为864.3；八个浅成者为641.2。总之，矿床形成地愈深，金的成色就愈高；愈浅时，成色愈低。如苏联北东部金矿

床，其自然金的纯度从上到下逐渐变纯（表5）。又如苏联里捷尔—索克尔金矿床随深度的增加成色也在增大（表4）。这可能是由于随深度增大，而压力增加，使银不利于类质同象代换金，致使成色升高。

表5 苏联北东部金矿床中不同深度金的成分

矿物 \ 深度 含量		上部	中部	下部
自然金	Au	82.83	88.14	88.75
	Ag	16.42	11.21	11.10

金的成色和成矿时代的关系是：金矿床形成愈老，其成色愈高；愈新，则愈低（表6）其原因是在金形成以后，经各种地质作用使其不断脱银净化的结果。

表6 不同时代的矿床与成色的关系

矿床类型	成色	时代
苏联南远东阿尔卑斯型	850—950	前寒武
南非兰德型	880—950	前寒武
苏联南远东高温热液型	700—900	中生代
苏联南远东中温热液型	700—900	中生代
鄂东矽卡岩型铁铜矿床伴生金	750—950	中生代
苏联南远东低温热液型	680—760	中新生代
近地表火山岩中银金矿床	657—750	第三纪

成矿溶液的性质与金成色的关系表现在：随溶液温度的升高，Eh值降低，pH值升高，金成色有升高的趋势。如B.T.莫伊辛科对基洛夫斯科矿床中各成矿阶段的石英中的气—液包体的测定结果（表7）就是这种情况。表8也有这种趋势。

表7　基洛夫斯科矿床成矿阶段石英中气液包体的测定结果

元　素	电气石—磁铁矿阶段	辉铋矿阶段	方铅—闪锌矿阶段
pH	7.21	6.91	6.35
Eh	—0.764	—0.654	—0.549
金成色	977.2	936.3	889.2

除了影响金成色的主要因素—银的含量有关之外，金中的包体和杂质成分对金成色也有影响。包体的成分一般为：Na^+，K^+，Cl^-，SO_4^{2-}，CO_3^{2-}，H_2O等组分。金的成色和包体中$Na^+/Na^+ + K^+$的比值及Cl离子浓度总是成正相关关系的。如团结沟斑岩型金矿床的$Na^+/Na^+ + K^+ = 78$，Cl含量也高（45.7%），金成色为937，这一因素可能对该矿床的金成色起着重要作用。苏联土库尔斯克等几个矿床中金的气—液包体成分和成色的关系也可大致说明这一点（表8）。再如V.G.Moiseenko和I.I.Fatyanov（1972）研究热液金矿床中金的成色与总碱量（$Na^+ + K^+$）中Na量及溶液中Cl含量具正相关关系（图2）。算得成色和$Na^+/(Na^+ + K^+)$及$Cl^-/(Cl^- + HCO_3^- + SO_4^-)$的相关系数分别为0.95，0.75。金中，铅、锌、锰、汞、砷、锑、铋等（其含量一般小于1%）元素，虽几乎都是呈机械混入物，也影响金的成色。金中杂质元素的含量还随深度的变深而降低（表9）。据Lantsev等（1971）研究了不同条件和深度的40个内生矿床120个金样品中的微量元素含量，也得出从深到浅金中的微量元素含量有增加的趋势。

由此可见，金成色是由许多因素决定的。其中起主要作用的

是成矿物质的成分及成矿地质环境，而物理—化学条件等较为次要（并非是绝对的）。在某些特殊的条件下，其主次关系可互相转化。

表8 苏联几个矿床中自然金中的气液包体成分与金成色的关系

元 素	土库尔斯克矿床	哈尔兴斯基矿床	基洛夫斯克矿床
pH	7.6	7.7	8
Eh	−0.623	−0.635	−0.66
$\frac{Na}{Na+K}$	62.37	73.95	74.45
金成色	729.3	973.9	917.3

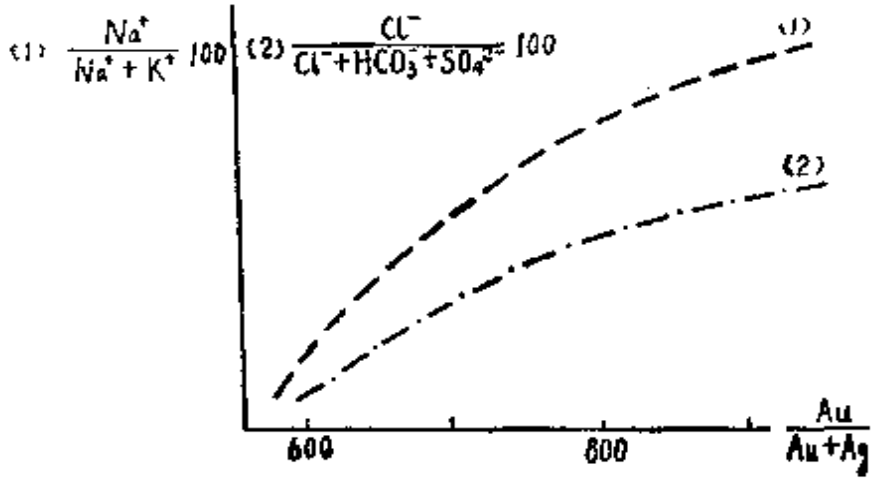


图2 金的成色与溶液含Na^+和Cl^-量的关系

二、金的形态及粒度的标型特征

金的结晶习性为八面体晶形，而立方体和菱形十二面体较少，其它晶形少见。实际上，金的晶形是复杂的。但金的形态和其形成深度及时代等因素有关。其中随形成深度的增加金的晶形有简单化的趋向。一般深成的金以八面体为主，立方体可见，其

表9 不同深度处金中杂质元素的含量

深度	金中的杂质元素			
	Zn	Pb	Sb	其它元素
浅深金矿床	200—1000 200—600	20—1000 20—600	20—1000 60—400	常含Se，Mn可见Sn
中深金矿床	630—400 200—300	20—400 320—30	10—200 30—100	含Hg较多，不含Sn
深成金矿床	——	20—60 20	——	含Fe、Cu、As、Bi约100，不含Sn

它晶形发育微弱或缺乏；中深成的除八面体、立方体外，还有菱形十二面体及其聚形；浅成的除{110}，{100}外，还有{311}，{223}和其它更复杂的形态；近地表条件下形成的金，形态最复杂，除了少见的晶形{311}，{210}等之外，片状，条带状及树枝状晶体较为发育，还有复杂的双晶。如苏联乌克兰南部，自喀尔巴阡，顿巴斯古深成和中深成矿染向外喀尔巴阡拗陷区的新浅成矿染渐变时，金晶体从简单八面体、菱形十二面体向立方体、六八面体及其聚形、双晶及少见的晶形变化（插图参见陈光远：自然金的成因形态学——编者注）又如我国团结沟斑岩金矿床中，金晶体多以稍拉长的椭圆状、树枝状、片状及瘤状等，而八面、立方体等则很少见到。金晶体的这种随深度而变化的性质，是由于从深到浅杂质银，非均一性介质，局部聚集的SiO_2凝胶，压力差及溶液沸腾的影响增大，金的拉长作用，片状等不规则化作用增大的结果。

而金晶体和形成时代的关系是：从新到老，银含量减少，晶形从菱形十二面体，立方八面体变向简单八面体。可见，金的其它形态有变为最稳定形态的八面体的趋向。这是由于金的八面体晶面面网密度最大，其表面能最小而最稳定的缘故。由表10知，

八面体的显微硬度最大，说明八面体面内结合力最大，而对外结合力最小，即表面能最小，故最稳定。所以，时代愈老，形态愈趋向于八面体晶形。

表10　金的不同晶面上的维克硬度值

晶　面	维克硬度（kg/mm²）		
	VHN25	VHN50	VHN100
〔001〕	61—81	60—83	57—69
〔111〕	63—88	66—81	66—94
〔110〕	46—54	44—53	41—25

在金晶体表面，特别在｛110｝及｛111｝面上，常见有阶梯状浮凸。其高度在中、深成条件下为0.1mm，在近地表条件下仅为0.01mm到0.1μm或更小。其形成机理是自然金在生长的过程中由于受到外力作用，使沿｛111｝和｛110｝晶面滑移而产生堆砌层错所致。

金的粒度也与矿床深度和形成温度有关。在深成，高温条件下形成的金，一般粒度较粗，圆滑，而在浅成，低温条件下，金粒细小而不规则，呈树枝状，锯齿状等。如卡林型矿床（美国卡林，我国陕西，湖南石峡卡林）总是以90%以上为次显微金，还有胶体金，明金极少。而各种中温热液矿床（陕西李家沟，日本大江等），一般为细粒金，浑圆状及不规则状。这显然是在深成，高温时，热容量较大，热量不易散失使金晶体有比较充分的结晶时间而粒度较大，即使在同一矿床的同一水平面上，金的粒度也随从早期高—中温到晚期中—低温而变细。如在高加索某一近地表矿床中的同一水平面上，金粒度从早期石英-蔷薇辉石-菱锰矿到晚期的金-辉银矿-硫锑铜银矿组合而变细。

三、金的物理性质标型特征

对于内部构造已确定的金，其物理性质是由其化学成分决定。由表11、12、13得知，金的成色越低，金的密度也越低（因银原子量较金小），硬度和反射率越高。根据固熔强化理论：熔质原子的突出作用是提高物质的硬度。

金的反射色随所含杂质的不同而异。若金中含银较多时，反射色变浅，为黄白色；若含铜较多时，反射色变深，为红黄色。这是由于金中杂质的显色不同而引起的。

表11　金成色同密度、维克硬度的关系

金的成色	密度 $(g/cm)^3$	VHN (kg/mm^2)
950—850	19.1—18.5	60—80
850—700	18.2—14.6	70—87
700—450	13.3—12 1	85—105

表12　金的成色与兰、绿光下反射率的关系

成色	化学成分重量百分比		R470nm	R546nm
	Au	Ag	%	%
1000	100	0	36.4	71.6
900	90	10	43.5	77.9
850	80	15	50.9	—
800	80	20	56.0	83.1
700	70	30	66.8	86.2
600	60	40	75.1	88.0

表13　不同矿床类型的金成色和维克硬度表

矿床类型	成色	维克硬度值VHN(20和50)的〔平均值〕(kg/mm²)
热液石英脉	730	61.4—150.0　〔92.0〕
砂矿床	892—902	71.0— 97.0　〔84.0〕
	886—950	56.0—103.0　〔69.3〕
	988—970	37.0—78.0　〔55.2〕
含金砾岩	915—995	46.6—69.9　〔59.4〕
		77.8—88.8　〔80.0〕

四、结　论

1.影响金成色的因素较多。其中，矿床类型是主要的。前寒武纪的各种沉积—变质型矿床及卡林型矿床，金的成色较高；近地表火山岩型金成色较低，各种热液型金矿床，成色变化较大。此外，矿床形成的物理—化学条件也影响金的成色。矿床形成愈深，温度愈高，成矿溶液的pH值愈高，Eh值愈低，$Na^+/Na^+ + K^+$比值愈大，金的成色愈高；同时，后生变化愈大，成色也愈高。反之，则愈低。

2.自然金的晶形随深度的变浅，形成时代的变新而变复杂。同时，金的粒度随深度的变深，温度的升高而变粗，变规则，圆滑。

3.金的物理性质是由化学组分决定的。金中含银量的增多，其密度降低，而硬度变大，反射率增强。

选自《全国金矿矿床矿物成因矿物学》（1984）

岩浆作用与金矿化

袁心强

（武汉地质学院）

金矿床在空间（时间）上与岩浆岩伴生或共生的关系，无论是国内或是国外都有许多报道。据H. B. 彼特罗夫斯卡娅统计，苏联约有70%的金矿床（田）内发育有岩浆岩。我国许多著名的金矿（田），例如吉林夹皮沟、河南小秦岭、黑龙江团结沟、山东招远、浙江治岭头等金矿床（田）也都见有与金矿化有时空联系的岩浆岩产出，因此考察在岩浆作用中金的性状有重大意义。

一、岩浆结晶分异作用中金的行为

据不同资料，岩浆岩中金的丰度比较低（1.5—6.6ppb），其中酸性岩最低，超基性岩最高（表1）。但这只是总的趋势，对某一特定的地区，也会出现酸性岩的金丰度高于基性岩甚至超基性岩的情况。总起来说，这种金随岩石的基性程度增强而丰度增大的规律，有可能和岩浆的结晶分异作用有关。有二个方面的论据。

其一，对于同源的岩浆岩来说，金在岩浆结晶分异作用中有分异的现象。例如，刘英俊（1982）对广西大宁中酸性岩作了研究，发现从早期的黑云母闪长岩到晚期的花岗细晶岩，金含量从9.0ppb下降为1.3ppb，而且在同一岩体不同的岩相中金的分布也有不同，对于典型的岩浆花岗岩来说，边缘相常比中心相含金

高，由此得出金没有残留于硅酸盐熔体中的趋势。

表1 火成岩的金丰度

岩石 \ 金丰度	Au(ppb) (1)	Au(ppb) (2)	岩石	样数	金丰度(ppb)
超基性岩	6	5	花岗岩	310	1.7
基性岩（玄武岩）	4	4	花岗闪长岩	380	3.0
正长岩	n	—	闪长—石英闪长岩	261	3.2
富钙花岗岩	4	—	闪长—辉长岩	580	4.8
贫钙花岗岩	4	—	纯橄榄岩	149	6.6
花岗岩	—	4.5	流纹岩	108	1.5
			安山岩、粗面岩、玄武岩	696	3.6

(1) 据Turekian和Wedepohl (1961)

(2) 据Виноградов (1962)

对金在岩浆结晶分异中的行为，Б. В. 加里林科等(1982)也作了专门的研究，他们对科拉半岛上同源岩浆形成的高铝玄武岩、苦橄岩和霞石正长岩测定了金的含量，这三种岩石金的丰度各为1.8、2.7、1.6ppb，无明显的富集与贫化的趋势。而且金和造岩元素之向缺乏统计相关性。研究者把这些特征归于金在岩浆分异过程中活动性小，而且以原子状态分散于岩石之中。但，在霞石正长岩中，金的含量与钛铁矿数量之间有正相关关系，一方面说明，金可能以离子状态存在于钛铁矿中，另一方面也表明，金有富集于含铁（镁）矿物中的倾向。

然而，对于不同物化环境下结晶的岩浆，其中的金也有不同的行为。N. L. 谢琳 (1980) 研究了堪察加山脉中部浅成中酸性岩后指出：金在浅成中酸性岩浆结晶过程中的行为有两重性，一方面在早期结晶的铁镁质矿物中富集；另一方面，在晚期的残浆中还保有原始岩浆的金浓度，金可以在岩浆末期阶段晶出的钾长石中富集。这种特点，除了岩浆的成分（铁镁组分少）有关之

外，还可能和浅成环境下，岩浆中挥发组分的作用有密切的联系。

以上所列举的事实都说明：在岩浆结晶分异过程中，金的活动性较小，但是仍然有分异的表现。

其二，从造岩矿物的含金性，也可看出岩浆的结晶分异，会引起金有微弱的分异。例如，A．T．希特鲁诺夫（1980）研究花岗岩中各种造岩矿物的含金量，得出金的含量按石英→长石→角闪石→黑云母→辉石→副矿物的方向增大。根据这一资料，得出金在岩浆—矿物之间粗略的分配系数（见表2）。不同的研究者得出的结果大体一样。例如，刘英俊（1982）得出广西大宁花岗岩主要造岩矿物的含量为斜长石2.6（ppb），钾长石2.6（ppb），石英3.7(ppb)，角闪石4.4(ppb)，黑云母6.1（ppb）

表2 中酸性岩浆—矿物间金的分配系数

分配系数 矿物 / 岩石	石英	长石	黑云母	角闪石	辉石	钛铁矿	磁铁矿	榍石
石英-花岗闪长岩	0.39	0.64	1.15	0.67	5.97	4.73	4.00	3.25
花岗岩	.58	0.59	2.56	0.81	—	5.45	4.71	

据A.T.希特鲁诺夫、M.JI.梅黑采尔资料计算。

综上所述，岩浆结晶分异过程中，金在铁镁质矿物中聚集是一稳定的倾向，但是金的聚集倾向还受岩浆结晶分异物化环境的影响，在一定的物化条件下，金具有两重性，一方面聚集到早期结晶的铁镁质矿物中，另一方面在残浆中还可保有较高的金浓度，因此时而可使较酸性岩含金高于较基性的岩石。由于金在暗色矿物中聚集是金的两重性更为稳定的倾向，因此存在岩石金丰度随岩石基性度增强而增大的总趋势。

二、岩浆中金的富集作用

虽然，岩浆结晶分异对金有一定的富集作用，这一作用的结果使残浆中金的丰度下降，至少不引起残浆中金丰度的上升。而且早期晶出的造岩矿物中金的含量仍然很低，与工业指标相差悬殊，故结晶分异对金的工业富集没有决定性的影响。金的工业富集，一般认为有两种作用，其一是岩浆中硫化物熔体的熔离作用，另一是岩浆中富集挥发份流体相的熔离作用。

已有的矿床学理论证实“熔离的硫化物相”对金有富集作用。在岩浆型铜镍矿床中，金及铂族元素常是十分重要的伴生组分，在个别情况下，铜镍硫化物矿床中出现含金较高的块段，并能达到形成金矿床的工业要求。但是，绝大多数的金矿，并不是岩浆型矿床，也不是与基性或超基性岩有关的热液矿床。而多和中酸性岩有关。其中最重要的原因，就是中酸性岩往往比基性岩更富含挥发份。

据A.Ф.克罗别依尼科夫（1980）研究，同一地区或同一岩浆源不同期次的侵入相中副矿物的含金量基本上与不同的岩相无关。但个别花岗岩类侵入体晚期分异体（煌斑岩，伟晶岩）和交代岩中的副矿物含金量较高，而且自交代变质的侵入岩副矿物中金的平均含量较高。说明金主要聚集于岩浆的流体相中。

实验研究表明，在750—850°C的条件下，流体相与岩浆共存的体系中，金富集于流体相，其富集系数约为50左右。而且，温度升高和氯浓度增大，还有利于流体相中金的浓度增大。另一方面，当岩浆中富含氯时，在较高的温度下，岩浆中的水就达到饱和而溶离出富氯的流体相。而且，氯的存在对硅酸盐的结晶作用影响不大，从而可使金富集到早期形成的流体相中。这种富含

金的流体相的形成，是成矿最本质的因素。

三、含金中酸性岩的地质地球化学特征

岩浆流体相的分离可能导致金的工业富集。这种含有金成矿可能的岩浆所形成的岩石具有怎样的特征，是金矿研究者所关注的问题，而且，经常提出的问题是，是否存在成矿专属性的岩浆？以及含矿的火成岩具有怎样的标志？

（一）中酸性火成岩的含矿性与岩石的金的丰度

对含金花岗岩中金的丰度的研究，往往有不同的结论。有些研究者认为，含矿岩体的金含量高，但也有的研究者着重指出，应用岩石金的丰度大小来建立岩石和矿床之间的联系是不可靠的，甚至是不可能的。其原因是，含金量高的岩浆岩或火山岩很少，普遍的情况是含金量很低的。A.T. 希特鲁诺夫等(1980)研究了含矿花岗岩与不含矿花岗岩的金的丰度，发现不同花岗岩金的平均丰度（1.1—9.0ppb）没有区别，因而金从固结后的岩石中带出是不可能的。金的来源，只能假定含矿的花岗岩岩浆有较高的金丰度，同时有较高的挥发组分，尤其是有较多的氯，使得在岩浆分异过程中，富余的金进入了流体相。由此他认为，很难从岩石的含金量来估计它的成矿能力，只有结合了岩石中的挥发组分及其含量之后，才有可能给予评价。

金和挥发份的关系，在苏联上谢列姆日地区已被查明。该区火成岩的金含量与岩石的气体总含量之间具有相关关系（表3），闪长岩小侵入体、次火山岩侵入体及凝灰岩在含有岩金矿化的同时含大量的气体和水。

虽然，金在火成岩中的平均含量似无特征性，但是，岩浆晚期阶段的小侵入体，岩墙，岩脉等岩石的含金性，具有一定的特

征。А.Ф.克罗别依尼科夫(1980)研究了苏联不同成分岩脉中金的含量，认为在金矿化区产出的岩脉，其含金量比不含金区成分相当的岩脉的金含量高2到6倍，但也存在有例外的情况。含金高的岩脉，金含量也往往有大的变化系数，特别是经青盘岩化和黄铁细晶岩化的岩脉，其金的平均含量可达26—66.0(ppb)，而变化系数为150—400%。金矿化的这种特征，也表现在副矿物的含量上。尽管含矿，或不含矿的花岗岩副矿物中金的平均含量无明显区别，但是在含矿的花岗岩类岩石中副矿物的金，其分布是不均匀的，变化系数为80—150%，而大多数无矿花岗岩类侵入体中的副矿物（磁铁矿、榍石、锆石）金分布的变化系数大，一般小于80%。并且，萨彦－阿尔泰褶皱区的花岗岩类岩石中的磁铁矿和钛磁铁矿按金的平均含量，可分成两类：一类为含矿岩体磁铁矿，其含金量可分为两组，一组为3.6—9ppb，另一组为18.7—25.9ppb，变化系数为80—150%；而另一类为不含矿岩体的磁铁矿，含金为7.2—14.6ppb，变化系数为50—80%。借助于含矿花岗岩石的这些特征，可以评价岩体的成矿能力。

尽管以上强调了岩石中的金丰度不一定能显示出岩体的含矿性，但仍有许多资料表明，与金矿化的有关的岩浆岩具有较高的金含量。表4统计了国内部分金矿的资料，说明含矿岩浆晚期的产物含金甚高，同时也和金矿化的关系更为密切。许多矿区出现的岩脉、岩墙在时空上和含金石英脉密切伴生或共生。但是，含矿的规模大的岩基，常不显示有金含量上的异常。

（二）含金花岗岩类岩石的地球化学特征

含金花岗岩类岩石多是属于碱性系列。苏联远东44个金矿区(矿化点)有43个见有花岗闪长岩分布，32个矿区为钠质系列的岩石。有些研究者认为，钠质火成岩往往与单一的金矿化有关，而钾质的火成岩多出现金－银矿化。在岩石中，金的丰度与Na/K比值成正相关关系，虽然金的丰度与岩石的酸度及碱度成反相关

表3 上谢列姆日地区火成岩的挥发份与金、银含量

岩相	岩石	N_2	H_2	CH_4	CO	CO_2	气体总量H_2O	Au	Ag
		%					当量/千克	ppb	
喷发岩	安山岩	8.1	2.54	1.5	8.7	79.16	20.08 98.4	1.3	10.0
次火山岩	卡拉乌拉尔花岗岩	2.15	17.95	0.59	20.23	59.08	40.93 240.57	2.3	74.0
次深成岩	小闪长岩侵入体	4.18	8.13	1.12	10.31	76.26	82.40 70.42	22.2	53.2
	石英闪长岩	—	12.18	0.39	4.63	82.8	79.23 275.0	20.8	56.8
中深成岩	布留斯花岗岩	8.68	17.67	2.25	14.46	56.94	31.12 230.4	2.7	26.7
深成岩	英格戈林花岗岩	4.87	20.14	1.46	10.8	62.71	28.33 234.3	1.65	15.0
	斯托依赛花岗岩	6.82	15.56	8.92	5.39	63.29	18.07 108.1	1.4	12.0

表 4 某些金矿区发育的火成岩的金含量

矿区	岩石	金含量 ppb
小秦岭	成矿前辉绿玢岩脉	37.8
	成矿前花岗伟晶岩	25.2
	成矿后花岗细晶岩脉	8
	小河黑云花岗细晶岩脉	8
	文峪黑云花岗岩体	6
山东玲珑西山	成矿前煌斑岩脉	150
	成矿前黑云闪长岩脉	100
	成矿期黑云闪长岩脉	120
	成矿期拉辉煌斑岩脉	150
	成矿后辉绿玢岩脉	200
	成矿后斜闪煌斑岩	200
浙江中苍	浅变质安山岩	13
	变角砾凝灰岩	16
	碎裂安山岩	29
河北下营坊	花岗斑岩	8
	自碎角砾流纹岩	6
广西六岭	云母化花岗斑岩脉	200—500
广西桃花	闪长岩类岩墙	100—800
吉林夹皮沟本区	酸性岩脉	40
	中性岩脉	17
八家子	酸性岩脉	32
	中性岩脉	18
二道沟	酸性岩脉	60
	中性岩脉	8
小东沟	酸性岩脉	18
	中性岩脉	32
四道岔	酸性岩脉	7
	中性岩脉	5
浙江治岭头	成矿前花岗岩脉	9.5
	蚀变花岗岩脉	2.5
	成矿后的钠长斑岩脉	75
	成矿后花岗斑岩脉	12.3
	成矿后霏细岩脉	18.2
	成矿后闪长玢岩脉	5
广西张公岭	黑云母闪长岩	9.0
	斑状花岗闪长岩	3.7
	黑云母花岗岩	1.7
黑龙江平顶山	矿化花岗岩脉	4250
	矿化闪长玢岩脉	2030
广东金鼓	蚀变中基性岩脉	150
	多罗山花岗岩	200
湖南大坊	花岗闪长斑岩	170

关系。

H.B. 斯米尔诺夫研究了上谢列姆日地区的各种火成岩的化学组成，发现岩石中的金与挥发组分Cl，P_2O_5，CO_2；Fe组元素(Fe，Ni，Co，Cr)及Cu具正相关关系，而与SiO_2，K_2O具反相关关系。而且，矿化区的岩石都以含碱性元素高，气体和水富为特征，挥发分组成亦以Cl>F为特征，Cl往往比F大2倍。金与挥发组分的密切关系已经由实验研究弄清了其内在的物理化学意义，而金与铁族元素的相关性，可能反映了金的来源。

含金中酸性岩类的成因可能是多样的。据报道，位于板块边缘带上的苏联远东鄂霍次克－楚克特火山带，其中产出的安山岩与流纹岩中地幔组元素（Ni，V，Co，Mg）之间具有密切的关系，金与这组元素都存在相关性。而位于大陆板块内部的火山岩及侵入岩，该组元素间的相关性消失，亲石元素之间的相关性加强，金与银、锡、铅的关系加强。看来岩石在成因上的差异，不仅影响岩石微量元素的地球化学特性，也影响了金的活动性和亲和性。一般认为，板块边缘及靠近边缘的内带火山岩带侵入岩是在不同深度下形成的岩浆造成，而这些与金矿化有关的岩浆都含有地幔的物质成分。

尽管国内对含矿火成岩地球化学研究不普遍，但亦见有零星的文献报道了有关的结果。吉林海沟金矿区中发育的各种脉岩具有下列特征：①成矿前的闪长玢岩与含金石英脉在空间上密切伴生；②成矿前的闪长玢岩与成矿后的微晶闪长岩、安山玢岩、正长闪长斑岩等岩脉组成相近，均含有自然金、黄铜矿、黄铁矿、榍石、磁铁矿、磷灰石、锆石、锐钛矿等副矿物；③这些副矿物的微量元素组成与含金石英脉中重矿物的微量元素组成一致。这些特征说明，含金石英脉与岩脉具有地球化学亲缘性。另有人对山东玲珑西山矿床中产出的基性脉岩研究后认为：脉岩与含金石

英脉中的元素组合相似，其中Ni，Ti，V，Co组合都占有一定的比重，在脉岩中该组元素的贡献更大一些，由此，该组元素指示了脉岩与含金石英脉具有地球化学亲缘性，同时还指示了它们具有深源的性质。

B.A.斯诺宾等（1981）研究了含矿与不含矿花岗岩类岩石放射性元素的地球化学，他们发现，含矿花岗岩类有较低的铀（小于4ppm）、钍（小于12ppm）、钾（2—3%）含量和低的Th／U比值(小于2.5)，但是热液蚀变了的和自变质了的岩石，一般说有较高的铀含量和最低的TU／U比值。含矿的别列左夫岩墙群不同期次的岩墙从早到晚，有铀富集的倾向，说明这些岩墙是同源的，且铀有富集于残浆中的趋势。又据N.G.古卓娃等（1979）对产于矽卡岩，下古生代火山岩和中上石炭纪火山－沉积岩系的含金矿脉，围岩、不含金矿脉的放射性元素的研究，含

表 5　　岩矿石放射性元素含量

岩(矿)　　石	样数	U(g/t)	Th(g/t)	K(%)	Th/U
金含量(＞3ppm)达到工业要求的矿脉	59	1.3	3.2	1.3	2.5
含金量(＜3ppm)未达到工业要求的矿脉	22	2.7	8.8	2.5	3.8
具工业矿化的近矿交代岩	63	3.6	12.2	4.3	3.4
非工业矿化的交代岩	16	3.9	9.4	3.5	2.4
青　磐　岩	34	3.8	13.0	3.6	3.4
围岩(中酸性火山岩)	58	2.8	10.9	3.4	3.9

据N.G.古卓娃等(1979)。

金矿脉也具有低的铀、钍、钾和Th／U比值的特征（表5），并且，据此可区别含金与不含金的矿脉。含矿的中酸性火山岩，亦有铀、钍含量较低的特征。一般认为，低的铀、钍及Th／U比

值是地幔物质所具有的，但是含矿火成岩放射性元素低是否亦反映了物质来源，还难以作出结论。不仅对放射性元素，对其它元素的地球化学特征，还有必要作进一步的研究。

（三）含矿火成岩的地质特征

所谓的地质特征指火成岩与金矿床的时空关系及火成岩的大地构造位置。含矿火成岩的大地构造位置受地壳构造活动带控制，在时代上多与燕山期岩浆一构造活动有关。苏联远东黑龙江流域含金火成岩从西向东，岩石的钾含量逐渐上升，而相伴出现的矿化，则出现由金矿化转向金银矿化的现象，显示了矿化与岩浆形成条件的一致性，这种一致性也表明了板块边缘及俯冲带是含金火成岩产出的构造、环境。在地台或地槽内部，控制穹窿构造的深大断裂，也是含矿岩浆形成的构造环境，例如吉林的靖宇—和龙台拱，浙江的陈蔡隆起。据刘长安（1981）分析，古华北板块北缘为火山岛弧带的构造环境，与金矿有关的火成岩主要产于大陆边缘的优地槽中。

在金矿区，与金在成因上有联系的岩浆岩，首先表现在它与金矿的空间关系上，这种关系常有二种：其一，金矿体和较大的侵入体或喷出岩有直接的空间关系；其二，金矿体与较大的侵入体无直接关系，而只有间接的关系，并表现为分布在离岩体一定的范围内，并且和岩浆后期分异物——岩脉有密切的时空关系。例如，小秦岭金矿区，含金石英脉主要分布在离文峪二长花岗岩体2—7km的范围内，矿区多有辉绿岩脉，闪长玢岩脉，正(斜)长斑岩脉等成矿前的岩脉产出。而含金石英脉的控矿裂隙继承了控制辉绿岩脉的裂隙，在空间上形成含金石英脉与辉绿岩脉密切伴生的现象。含矿石英脉被更晚期的云煌岩脉穿切，根据岩脉的K-Ar年龄及其与石英脉的穿插关系，含金石英的形成在166—144Ma之间，与区内出露的二长花岗岩年龄相当。尽管，小秦岭金矿中含金石英脉方铅矿的铅同位素模式年龄为5亿年左右，铅

组成为古老异常铅，而小秦岭地区燕山期岩浆岩长石铅组成亦为古老异常铅，模式年龄亦在5亿年左右，这就表明含金石英脉的铅来源与燕山期花岗岩的铅来源可能是一致的。

再如，广西产于寒武系水口群中的古袍金矿，矿区内亦见有更长花岗斑岩，呈岩枝状产出，含金石英脉穿插了更长花岗斑岩。以往有人认为广西产于水口群浅变质岩的金矿为变质热液矿床。据最近报道，古袍更长花岗斑岩的风化壳中发现了金矿，含金铁锰质表土和高岭土层含金1.6—1.86g／t，含金构造蚀变带含金3.49g／t，并且在斑岩中也发现了金的矿化。

因此，含矿岩浆岩或喷出岩与金矿体在时空上的联系，正是它们存在成因联系的表现。

四、火成岩含矿性的评价

综上所述可归为：

1．位于构造有利环境（板块边缘、穹窿的边部）的碱性系列、尤其是钠质的中酸性岩对金矿成矿有利；

2．岩浆后期的分异体（即岩脉）发育的地段，既是成矿构造的有利地带，又是岩浆分异各期物质的聚集场所，也是金矿成矿的有利地段；

3．岩脉与较大的侵入体比较更富含金，因而可能出现金的高含量异常，对含金高，离散大，并且有热液蚀变的岩脉出现，则是金矿化的标志之一；

4．含矿的花岗岩类岩石，其副矿物的含金性要比无矿的可能略高，且分离度大这是一明显的特征，图1为有关的研究成果。

5．岩石富含挥发份者，且氯大于氟，又有较好的含金性，则有利于金成矿；

6．岩石中铁组元素之间关系密切，铀、钍元素含量低，

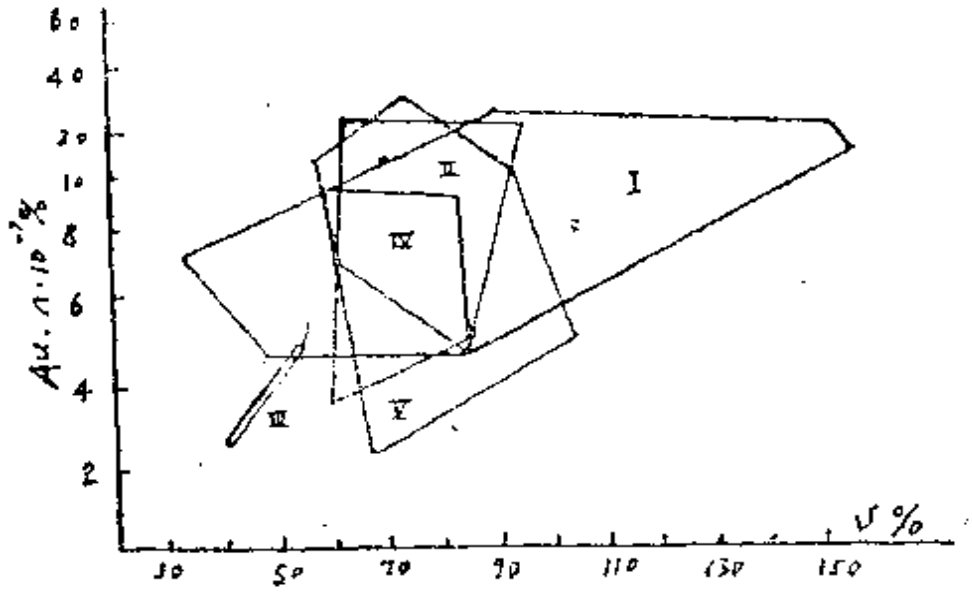


图1

据А.Ф.克罗别依尼科夫（1980）

Ⅰ—萨彦-阿尔泰褶皱区下古生代含矿侵入体磁铁矿、钛铁矿、锆石、榍石、闪长岩、二长岩、斜长花岗岩$\overline{X}$和U参数场；

Ⅱ—无矿侵入体副矿物（磁铁矿、钛铁矿、锆石榍石）$\overline{X}$和U参数场；

Ⅲ—库兹涅茨克阿尔泰辉长－正长岩杂岩钛磁铁矿$\overline{X}$和U参数场；

Ⅳ—西伯利亚地台金伯利岩超基性岩（纯橄榄岩、异剥橄榄岩、橄榄岩、二辉橄榄岩、榴辉岩包体）镁钛矿，铬铁矿$\overline{X}$和U参数场；

Ⅴ—含矿侵入体副矿物（磁铁矿、钛铁矿）$\overline{X}$和U参数场；

Th/U比值低者，也可能是有利于金矿成矿的标志。

以上所综合的资料，可能不够全面，也不够正确，所提的几点，仅供参考。不当之处尚望批评指正。文中引用了许多单位和作者的资料，在此一并致谢。

选自《金银矿产选集》第一集（1984）

岩 脉 与 金 矿

王化一

（沈阳黄金专科学校）

岩脉分布很广，在成因上也是多种多样的，岩脉的形成与侵入作用、喷出作用、岩浆期后作用、变质作用和外生作用有密切联系。岩脉在生成条件上，要比侵入体和喷出岩更有多样性，因此，任何一种岩脉分类都应反映出它的形成作用的多样性。

岩脉呈现的特点，在不同区域，不同地质发展过程中随时间而变化，其生成条件在时间、空间上的表现形式是不一样的，据现有资料可分如下三大类：

一、岩浆岩脉（内生岩脉）

此种岩脉是岩浆熔体充填裂隙之后凝固而形成的，他又可分为三类：

（一）岩浆缘岩脉

该岩脉是与侵入作用同时产生的岩脉，集中在大侵入体的外接触带部分，具分支现象，这类岩脉又可分为二种类型：

1．附庸贯入体型 此类型的岩脉多出现在未经侵蚀的大侵入体穹窿的顶部。（与岩基或岩株往往很难区别）也常产生于更老的侵入杂岩中，这一点可与其它类型岩脉区别开来。

2．岩枝型岩脉 是指大岩体中所分出来的岩枝型岩脉。岩枝型岩脉与大岩体常呈直接过渡关系，它们的成分相同，只在结构上有差别，这种岩枝型岩脉在规模上一般比其它岩脉小。

上述岩浆缘岩脉，因其产在大岩体的边缘部分，它经常遭到

岩浆期后蚀变，呈云英岩化。如果是中酸性岩脉与碳酸盐岩石接触产生双交代作用，形成矽卡岩矿床。据许多文献记载，在岩枝凸凹部位矿化富集，常成为主要矿体。

（二）岩浆内岩脉

该岩脉是一种侵入体内的岩脉，其成分和产状都是很复杂的，常出现花岗伟晶岩、辉绿伟晶岩、细晶岩及其它岩浆岩，都属于岩浆内岩脉。它们常产生在侵入体内的较晚阶段，细晶岩脉不仅产于较大的断裂构造中也产于较小的断裂中。按其生成时序可分为二类：

1．同生侵入岩脉 是产于侵入体内的岩脉，与侵入体有着密切同源关系。岩脉与大侵入体的生成顺序具有同时性。当大侵入体顶部冷却后，有部分熔浆沿着侵入体中的裂隙贯入，也有部分岩浆从深处分离出来沿着尚未凝结部位侵入形成岩脉，岩石结构多数具有细晶结构和斑状结构。

2．侵入期后岩脉 同各侵入期岩体有密切联系，它是各个侵入期大岩体分异的产物。侵入期后岩脉与母岩侵入体有成因联系，在地球化学和岩石化学特征上都有继承性。这一类岩脉有细晶岩、伟晶岩、辉绿伟晶岩等。这些岩脉往往富含挥发组份，因此常产生自变质作用，如在同围岩相接触的部位，常产生外接触变质现象。侵入期后岩脉在生成时间上多半比同生侵入岩脉晚。

（三）深生岩浆岩脉

该岩脉是与埋藏很深的岩浆源有关的独立岩体，深生岩浆岩脉与地壳深部的岩体有密切关系。深生岩浆岩脉，按成因类型可分三类：

1．深成岩脉 常与小侵入体一样，一般产在褶皱区形成的最终阶段，或在地槽中出现。

2．次喷出岩脉 是喷出岩盖的根部。这种岩脉在地台区特别发育，在地槽区末期也可见到。根据有关资料，从世界范围上

看，玄武岩可能占多数，沿裂隙喷溢总量占90－95%以上，还有其它的变种一粗面岩、安山岩的喷溢，例如芬兰南部奥长环斑花岗岩是从裂隙喷溢出的大岩流结晶出来的。

3．次侵入岩脉 是侵入体的根部，特别是岩盘的根部。这样的岩脉有许多类同者，需认真查明它的形态及地质特征。

二、交代岩脉

交代岩脉具交代成因，产在地槽区，为岩浆作用和岩浆期后作用不同发展阶段的岩脉。或产在地台古老杂岩发育地区，侵蚀较深地带是在晚期形成的。可分为两个成因类型：

1．岩浆交代岩脉 为页岩或相当页岩成分岩石产生花岗岩化产物，常分布在岩体的外接触带。在地台区古老杂岩发育地区或侵蚀较深地区也有出现。从时间来看，岩浆交代岩脉属于岩浆期。据一些文献介绍，花岗岩化－为碱性交代的产物。也有人认为对某些地层进行选择性熔化的结果。

2．岩浆期后交代岩脉 为岩浆期后的产物，是母岩通过交代作用和重结晶作用而形成的。交代作用生成的细晶岩脉及伟晶岩脉都属于这一类。

三、沉积岩脉（外生岩脉）

这一类岩脉分布很少，但是形成的时代较长，从前寒武纪到更新世的岩层中均有发现，沉积岩脉是由已破坏的物质充填裂隙而生成的。多数切割层状岩层，沉积岩脉可分为二个成因类型：

1．贯入岩脉 是在压力作用下，碎屑物质从底部沿裂隙向上层贯入的结果，据X．T．库格列尔的资料：已证实在泥岩和粉砂岩岩脉中含有孔虫类化石，经分析判断认为泥岩和粉砂岩岩

脉的物质是来自1500米深处的岩层中，贯入的因素有：上覆岩层的压力，地震的冲击，褶皱作用，气体压力等等。

2．碎屑岩脉 碎屑物质是从上面充填于张开的裂隙或裂缝中的岩脉。其特征由于裂隙两壁一般未经破坏，岩脉多呈锯齿状，B．E．季勃罗夫曾发现在微晶花岗岩中有沉积岩脉，它产于斜切微晶花岗岩张力裂隙中（图1），裂隙的形状不平整，成锯齿状。上宽34—40cm，向下逐渐变窄近4cm，充填的碎屑物质成分很杂，没有分选，其成分有伟晶岩、石英斑岩及石英、长石和变形白云母等，还有少量黑云母片麻岩的砾石。

沉积岩脉分布很少，但含有大量富集的矿产，据A．П．捷莫林的报道，泥质砂岩脉，产于石炭纪灰岩与下古生代结晶片岩的陡倾斜接触带中，在岩脉中含有大量砂金。矿山名称叫“斜立含金层。”

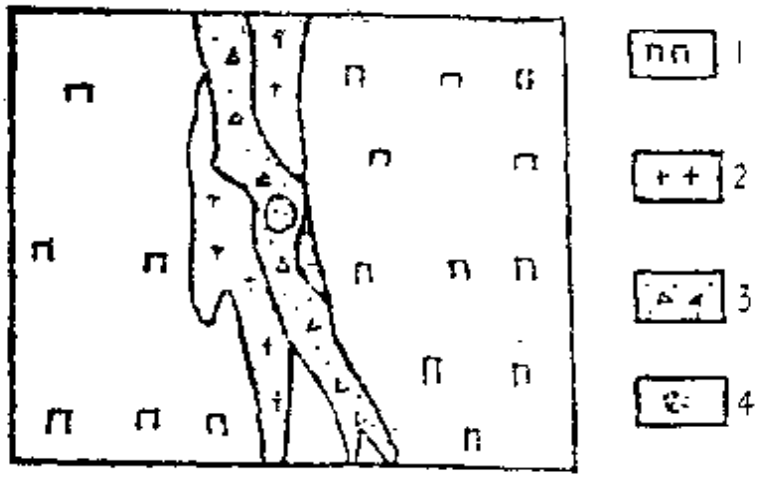


图1 微晶花岗岩中的碎屑岩脉（据B.E.季勃罗夫的资料）

1—含白云母伟晶岩；2—微晶花岗岩；3—碎屑岩脉；4—滚圆的片麻岩砾石和白云母片

这个岩脉含金是沉积形成的，规模虽小，但是它给我们指出找矿的信息，岩脉分类如下表：

从表中可以看出，按岩脉成因和地质特征进行岩脉分类是多样的，复杂的。

岩　脉　分　类　表

类别	亚　类	成因类型	附　注
内生岩脉	岩浆缘岩岩脉	附庸贯入体	岩脉的成分大致同母岩体一致，但结构不同
		岩枝型岩脉	
	岩浆内岩脉	同生侵入岩脉	为岩体（多半为岩基）未凝结部分的挤出物
		侵入期后岩脉	岩浆源中分异作用的产物（伟晶岩和细晶岩）
	深生岩浆岩脉	深成岩脉	小侵入体
		次喷出岩脉	喷出体的根部
		次侵入岩脉	侵入体（岩盘）的根部。
交代岩脉	置换岩脉	岩浆交代岩脉	顶板岩石中花岗岩化的结果
		岩浆期后交代岩脉	岩浆期后溶液置换的结果（伟晶岩、细晶岩等）
外生岩脉	沉积岩脉	贯入岩脉	在压力的作用下，自下而来的沉积岩物质充填裂隙而成
		碎屑岩脉	自下而来的火山岩物质或沉积岩物质充填裂隙而成

成矿前岩脉与金矿分布的意义

成矿前岩脉，在金矿床中分布很广，在世界多数矿区几乎都能见到，成矿前岩脉对金属矿床的形成，控制矿化，都具有很重大的意义。在热液矿床，矽卡岩矿床形成中，成矿前岩脉可预测岩浆期后溶液来源和成矿深度，成矿前岩脉的形成，常常是沿着早期形成的构造断裂侵入，被岩浆期后的矿脉所切割。在切割处岩脉产生强烈的蚀变现象，也有成矿前的岩脉与矿脉接近处，虽然没有直接切割的现象，但经常可以见到浸染状矿化的现象，在苏联别廖佐夫矿区，已勘探的184条含金岩脉中，有52％是斜长

正长斑岩岩脉，34%是斜长花岗斑岩岩脉，12%是花岗斑岩岩脉和2%的闪长岩脉。而含金石英脉都切割了这些岩脉，显然矿脉是晚于岩脉的，在别廖佐夫矿田中，还有一种类型的矿脉，含有黄铁矿，黄铜矿含金石英脉，切割了18条不同类型的岩脉，而且还使岩脉产生了位移，因此可以看出，该矿区的金矿化和硫化物是属于岩脉后期的产物。

在辽宁五龙金矿矿区内，细粒闪长岩脉为成矿前的岩脉，在矿区内几个剖面中都可见到，含金石英脉穿入或切割细粒闪长岩的实例（图2）。

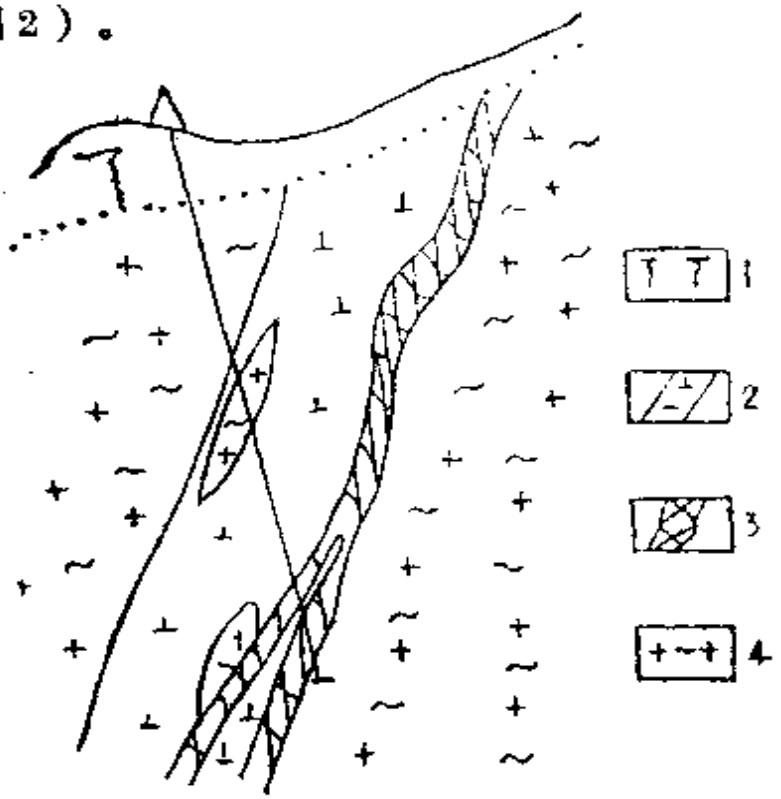


图2　辽宁省五龙金矿成矿前细粒闪长岩脉

1—沉积岩；2—细粒闪长岩；3—含金石英脉；4—黑云母花岗片麻岩

有许多矿区，在成矿前的岩脉与围岩接触部位，由于有一定的构造空间，含金石英脉沿着接触部位贯入形成脉状矿体，也有的岩脉与围岩之间产生断裂破碎带，对形成金矿体创造有利条件，含金矿液沿破碎带贯入形成较大的矿体，这一点对找矿具有指导意义的。特别是对于寻找盲矿体更有参考价值和指导意义。

成矿前的岩脉主要标志

金矿区内一般都有各种各样的岩脉，分布很广，形态多样。但是成矿前的岩脉与成矿后的岩脉有时很难区别，往往分辨不清，对成矿时代、产状、规模、控矿因素一时搞不清楚，对找矿勘探有很大影响。如果加强研究它的规律性，对矿区找矿和矿区外围找矿不仅有科学依据，而且还有现实指导意义。笔者初步认为应注意研究以下几点：

1．成矿前的岩脉常沿着矿区内主要构造断裂侵入，具有一定的方向性，在岩脉发育地区有时成群出现，组成岩脉群；

2．成矿前的岩脉和成矿后的岩脉都有出现时，在相当复杂情况下，尽力去调查岩脉的世代关系，查找它们的互相穿插情况加以确定；

3．利用同位素方法，测定其各种岩脉的不同年龄，加以区别它们的先后关系；

4．成矿前的岩脉，如果被矿脉切割，显然就可以确定了。如果是两岩脉相互穿插，分辨不清两者先后关系时，要尽力去调查成矿前的岩脉在相互穿插的部位有否蚀变现象（图3）。

5．查明岩脉的先后次序，可用岩组方法查明之，在岩脉切割矿体的部位采定向标本切片，用费氏台研究石英重新结晶的特征，这时的石英失去了原来定向排列特点。

许多成矿前的岩脉是客观存在的，在表现形式上有直接的穿插关系，也有间接的关系，而这种岩脉和矿液都来自地壳下岩浆源。

成矿后岩脉与成矿期后金矿的关系

在许多文献中，曾多次提到成矿后岩脉的实际意义。研究它利于指导找矿和勘探。成矿后的岩脉具有不同成分，各式各样，但都是岩浆期后作用的结果，成矿后的岩脉分布，一般不难识别，如果见到有的岩脉穿插成矿前的岩脉，也穿插矿体，那么不

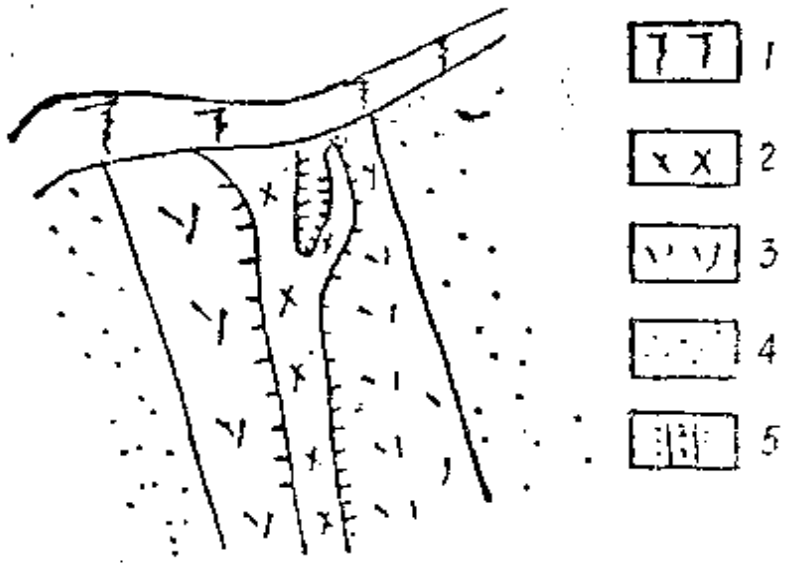


图3　捷克斯洛伐克，普日布腊姆（根据A.A.马达夫资料改绘）

1—浮土；2—成矿后期的辉绿岩；3—成矿前的辉绿岩；4—石英砂岩5—蚀变带

难看出，岩脉一定是成矿后的。如有岩脉与矿脉的分布是平行脉，看不见相互穿插的关系，这时就要深入细致的调查，主要是研究岩脉与围岩的关系。如果岩脉本身没有任何蚀变现象，也可能是成矿后的产物，还可采集同位素标本测定年龄证实。

例如辽宁省凤城县白云金矿区岩脉分布有二长斑岩、石英斑岩、石英闪长玢岩、煌斑岩和辉长岩脉等。

二长斑岩　斑晶为正长石、斜长石、角闪石，基质为细粒正长石、斜长石、角闪石和石英。分布在矿区的南部和北部，全岩钾氩法测定年龄值为150Ma。

石英斑岩　斑晶为石英和斜长石，基质由微晶和隐晶质的长石和石英组成。在矿区断续出露在含金硅钾蚀变带附近的上下盘，有碳酸盐蚀变现象，全岩钾－氩同位素年龄值23—114Ma。

蚀变闪长玢岩　斑晶为斜长石、角闪石，基质由斜长石、角闪石、石英等矿物组成。受绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化。全岩钾－氩法同位素年龄值24—483Ma。

煌斑岩　斑晶为透辉石、黑云母、角闪石，基质为透辉石、

黑云母、斜长石组成。被含金硅钾蚀变带切穿，为成矿前的岩脉。成矿后的煌斑岩带受到绢云母化、矽化、绿泥石化和碳酸盐化等蚀变作用。

辉长岩 呈脉状南北走向贯穿全区，全岩钾氩法同位素年龄值817Ma。

上述五种岩脉，除后期煌斑岩是成矿后的产物外，余者都是成矿前或成矿期的产物，综合同位素年龄及相互穿插关系，初步认定辉长岩脉是晋宁期形成的，燕山期先后依次形成了成矿前的蚀变闪长岩、煌斑岩、二长斑岩及石英斑岩，最后形成煌斑岩。

从上述论述中可以看出，岩脉的时代划分与矿床的关系，对解决岩石学和矿床学的成因问题有重大的意义。所以作者再一次提出，建立正确的成矿理论指导找矿。这样必须在生产和勘探过程中积累资料，运用岩脉资料，正确解决矿床与各侵入体的成因联系，研究成矿作用与岩浆作用的多阶段性。

选自《金银矿产选集》第二集(1985)

试论金的成色及其地质意义

李铁公

（冶金工业部长春黄金研究所）

金的成色是自然金的重要标型特征，是金的工艺矿物学研究的重要内容之一。深入查明金的成色特性，对不同地区、不同类型金矿之成因和其赋存规律的研究以及进而指导黄金地质勘探都具有重要的实际意义。

一、自然金成色及其化学成分

金的成色是金的纯度和品级的标志。黄金制品的纯度可用如下三种方法表示：

百分率：在每一百份中金所占的份额；

成　色：在每一千份中金所占的份额；

开：在每二十四份中金所占的份额。

自然金中Au＋Ag－99%（重量），所以金成色的增加必然导致银的减少，Au和Ag之间的相关系数为0.996。

金中其他杂质元素的含量常常为千分之几，总量不超过0.5%，很少达到1%。最常见的有硅、镁、钙、铝、铁、铜、汞，较少见的有铅、钛、锰，极少见的有锡、铂、铬、钡、锑、砷，同时铜、汞、镍、锰能进入金的晶格，同金形成固溶体（表2）。

表1　金纯度三种表示方法表

黄金(%)	欧制		开制	
	含金(千分)	金器标号	含金(开)	金器标号(K)
100	1000	999	24	24
91.70	917	917	22	22
75.00	750	750	18	18
58.50	585	585	14	14
41.60	416	416	10	10

表2　自然金的化学成份表（%）

成份	Au	Ag	Fe_2O_3	Al_2O_3	Cu	Hg	Sn	Se	Te	Bi	S	不溶残渣
1	77.76	19.09	0.70	0.42	0.34		0.03	0.03	0.01	0.003	0.36	1.10
2	89.69	9.12	0.18	0.17								0.50
3	82.22	16.61	0.11		0.03	0.35						0.31
4	74.48	25.16	0.18		0.06							0.39

不同反射色金粒化学成份不同（表3）。

表3　浙江何山金矿不同反射色金粒化学成份表

反射色		金黄色	金黄色	金黄略带褐红	金黄略带褐红	金黄略带银白	金黄略带银白
成份(%)	Au	94.00	91.50	90.50	92.50	94.50	90.50
	Ag				<1	<5	5
	Fe	<2	<2	5	<5	<1	

砂金的化学组成往往具有区域性的特点。资料表明，秘鲁砂金含铁不含铜而与南美其他地区相区别；苏联顿巴斯盆地以含铜较高为其特征；中国砂金一般含铁和铜，但也表现区域性的特点（表4）。

表4　　河南嵩县离都川砂金化学成份表

分析点位	电子探针分析结果（%）			
	Au	Ag	Fe	Cu
中心	91.57	8.27	0.77	0.08
次边	91.50	8.37	0.10	0.02
边	90.14	9.83	0.01	0.01

用现代测试手段研究金的化学成份及其赋存特性，可以推测和分析金的形成物理－化学条件和地质环境，进而解决矿床成因问题。

二、金的成色与成矿时代、矿床成因、矿化深度的关系

（一）根据金的成色可以推断成矿时代

成矿时代愈老，金的成色愈高；成矿时代愈新，金的成色愈低。因此，金的成色是判断成矿时代的标志之一（表5）。

（二）金的成色研究可为分析矿床成因提供资料

不同时代之金矿床类型中，金的成色也不同。时代愈老，后期变质作用愈强，重结晶作用亦愈明显。在变质作用过程中，因银具较高的挥发性而易被排除，因此金的成色较高。金矿床的成矿时代愈新，受后期变质作用较少，故重结晶作用不明显，金的成色就低（表6）。

表5　金的成色与成矿时代的关系表

金成色（‰）	含银量平均（%）	成矿时代（Ma）
717—949	11.60	1700—2000
632—949	20.65	245—330
657—750	30.36	10—15

表6　不同时代金矿床类型金成色一览表

成矿时代及矿床类型	金成色（‰）
前寒武纪金锑钨矿床	985.80
前寒武纪金铀砾岩矿床	915—995
前寒武纪沉积变质铁一金矿床	900.00
中生代含金石英脉矿床	850—870
近地表第三纪火山岩中的银金矿床	675—750

我国变质热液型金矿床中，金的成色偏高，高达952－986‰，多在800－900‰之间，其次是混合岩化热液型金矿床，最高可达900－950‰。

（三）金的成色可指示矿床形成深度和剥蚀深度

一般金矿床形成深度越深，金的成色越高，矿床形成深度浅则金的成色低。据世界10个中—深金矿床的统计资料，金的平均成色为864.3‰，而8个浅成金矿床金的平均成色为641.2‰。我国山东招远金矿床上部玲珑式金成色为748.26‰，下部焦家式金的成色为775.66‰（表7）。

表7　国外金矿床中金成色一览表

地区	中—深矿床	成色区间值(‰)	代表成色(‰)	地区	近地表矿床	成色区间值(‰)	代表成色(‰)
澳大利亚	巴拉尔特	960—980	980	哥伦比亚	的的黑比	750—800	770
	宾梯果	940—980	940	科罗拉多	金布一别尔德		740
南非	威特瓦特斯兰德	850—920	890	马达加斯加	艾达瓦哈拉	650—765	720
	洛威尔德	940—970	960	缅甸	秋克拉扎特		850
巴西	莫鲁一威里	790—810	790	特兰西瓦尼亚	威尔斯玛达克	500—605	540
	德拉尔	889—920	905		伯克	600—700	640
不列颠哥伦比亚	罗斯兰德		870	新西兰	科罗曼德尔	750—800	770
	布里日里威尔		870				
蒙塔那	开布美尔因		950	阿根廷	戈维里安	650—750	670
委内瑞拉	艾利卡拉斯		910	尼加拉爪			720
乔治亚	伯特尔布尔努	700—910	850	蒙塔那	莫里斯威尔		750
弗吉尼亚	皮德蒙特	850—900	890		杰故里	506—536	520
智利	阿塔卡玛		870	加里福尼亚	伯都		675
	瓜那浦		944		兰德斯别尔格	730—780	750

续表

地区	中—深矿床	成色区间值(‰)	代表成色(‰)	地区	近地表矿床	成色区间值(‰)	代表成色(‰)
新墨西哥	依利沙白		790	内华达	科梅吨		500
科罗拉多	布雷费奇日	750—900	890		海式奇尔		500
	吉普利克	730—870	850		哥尔德费尔德	900—990	950
蒙塔那	费尔斯堡	815—866	850	内华达	梅克哈亭	527—717	640
	艾利克霍里	850—900	890		多波拉赫	500—650	540
	狄龙	830—865	840		东亚尔布里日		580
加里福尼亚	哥拉塞—瓦里	730—950	860	日本	近口里		650
					西玛依		600
	阿列戈睹	790—869	840	苏门答腊	门卡尼	500—600	535
俄勒冈	新斯科亚	930—981	955	洪都拉斯		550—570	560
阿拉斯加	费尔斑克斯	780—906	815	新西兰	铁姆斯	625—750	670
					加兰加海克	645—850	720
	兰伯特	915—941	923	斐济	苏卡兹	910—900	950
新几内亚	莫罗帕	850—930	870	新几内亚	莫罗布	500—620	560
				昆士兰	克罗依吨	445—635	540

三、金的成色与矿床形成温度、矿化期、变质程度的关系

（一）金的成色可为研究矿床形成温度提供资料

金的成色与金矿床形成温度密切相关，一般形成温度越高，金的成色就高（表8、9）。

金的成色与温度呈直线正相关关系。由于温度的降低，化合物的溶解度下降，离子化程度的增加影响到热液成份pH值、Eh值的改变，因此必然导致金的成色的改变。

表8　金成色与矿床形成关系表

矿床形成温度	金成色区间值（‰）
高中温	830—940
中温	780—860
低温	480—680

表9　吉林延边地区金矿床中金的成色特征表

矿床	五凤、刺猬沟金矿床	杜荒岭—九三沟金多金属矿床	小西南岔金铜矿床
金成色（‰）	五星山：500—520	杜荒岭：600—711	803—842
金银比值（Au/Ag）	1/0.3—1.0	杜荒岭：1/0.86—3.03 九三沟：1/0.75—1.40	南山：1/3.28—5.04 北山：1/1.09
形成温度	低温	低中温	中高温

（二）金的成色反映出不同矿化期特征

不同矿化期反映了矿床形成温度、物理化学条件及热液组分

特性，因而金的成色特征也有区别。

不同矿化期金析出于相近的温度条件，但pH值、Eh值差别较大。Eh值越高，金的成色越高，pH值越高，自溶液中析出的金成色越低。

黑龙江上游早期电气石含金磁铁矿建造中金成色最高可达977.20‰，而晚期方铅矿－闪锌矿建造中金的成色较低，为889.23‰(表10，11)。

表10　黑龙江上游不同矿化期不同建造中金的成色特征表

矿石建造	电气石—含金磁铁矿	金—辉铋矿	金—方铅矿—闪锌矿	平均
矿化期	早　期	中　期	晚　期	
金成色(‰)	977.20	938.80	889.23	935.10

表11　不同建造中金的平均成色表

建造类型	近地表金银矿床	贫硫化物	少硫化物	中等硫化物
平均成色 (‰)	662.80	771.70	818.40	905.00

苏联远东地区交代石英脉型金矿床金的成色为893.1‰；

澳大利亚格林－威尔斯矿床第一期成矿金成色为900‰，第二期成矿金成色为800‰；

但在新几内亚、堪察加、哈萨克斯坦等地却相反，在早期、中期和晚期矿化期中金的成色分别为860.1‰，954‰和954.4‰；

上谢列姆日矿床中，下部石英脉中比上部的金成色高，为903.1‰。

P.Ⅱ.巴达洛娃等人在研究阿乐玛雷克矿床时指出，在中等

硫化物矿床与少硫化物石英脉矿床的过渡带上金的成色高。

A.C.巴若夫也发现哈萨克斯坦的少硫化物矿床中金的成色沿倾向有增高的趋势。

(三)金的成色特征是变质深度的标志之一

我国变质热液型金矿床中，金的成色常常偏高，最高可达986‰，一般多在800－900‰之间，金的成色一般随变质深度增大而升高(表12)。

表12　金的成色与变质深度关系表

变质深度	金成色区间值（‰）
一般遭受深变质矿床	940—960
一般遭受中度变质矿床	900—920
一般遭受弱变质矿床	850
一般最晚矿化阶段矿床	790

四、金的成色与金矿物的粒度、密度、搬运距离的关系

(一)自然金系列矿物的粒度常与成色有关

金成色在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床成色为824－977‰。时能见到3－5 mm的金粒，如吉林夹皮沟、头道川等金矿。黑龙江上游金矿床中，自然金金粒最大者成色为936.3‰，出现于中期的辉铋矿矿石建造中，金粒最小成色最低者出现于贫硫化物建造中。

苏联北部砂金矿床中，金成色在860－870‰的自然金粒度最大。

通常粗粒金成色较高，但并不是说细粒金就不可能出现高的成色。

（二）金的成色与密度成正比关系

砂金的密度（比重）依其成色而定，一般为15－18g／cm^3苏联地质学家涅夫斯基的研究证明了，金的成色与密度成正比关系，即成色越高，其密度越大（表13）。

表13　砂金密度与成色关系表

金成色（‰）	1000	950	900	850	800	750	700	650	600	550	500
砂金密度(g/cm^3)	19.3	18.5	17.8	17.1	16.5	15.9	15.3	14.8	14.3	13.9	13.4

（三）金的成色可指示或追索原生金矿源

砂金矿床中金的成色随矿床走向而变化，砂矿离开原生金矿源愈远，金的成色愈高。据此，可以指示或追索寻找原生金矿床（表14）。这是由于在风化搬运过程中水对银的溶解作用造成的，所以一般砂金比山金的成色要高。

表14　五个矿床金成色与搬运距离关系表

矿床实例	不同搬运距离金的成色（‰）		
	上游	中游	下游
河南高都川砂金矿床	871.98	879.01	910.57
黑龙江达拉河砂金矿床	871.40	821.30	826.70
黑龙江雷锋气河砂金矿床	768.70	769.60	800.00
黑龙江老梧桐河砂金矿床	811.10	816.70	817.30
黑龙江伊里吉奇河砂金矿床	781.20	877.20	890.90

砂金的成色一般波动范围在650－950‰，经常出现的成色为750～850‰，含金砾岩中金的成色较高，波动范围为920－1000‰。

金迁移的化学沉积过程，导致了金粒表面出现由极细的海绵金晶体组成的高成色外膜，在古风化壳中常出现海绵状金表膜，说明砂金的化学成份不是恒定的。

表15　自然界中不同成色的自然金出现的频率表

（据482个金粒）

金成色（‰）	出现频率	金成色（‰）	出现频率	金成色（‰）	出现频率	金成色（‰）	出现频率	金成色（‰）	出现频率
1000—980	12	900—880	45	800—780	22	700—680	7	600—580	4
980—960	18	880—860	50	780—760	30	680—660	7	580—560	2
960—940	27	860—840	21	760—740	27	660—640	18	560—540	6
940—920	38	840—820	31	740—720	29	640—620	1	540—520	4
920—900	42	820—800	16	720—700	16	620—600	3	520—500	6

自然界中金成色在860－920‰之间的自然金最常见，而且其粒度也是最大。其次是成色为720－780‰，而成色640－66‰很少，成色低于500‰的金银矿床更为稀少。

五、中国内生金矿床成因类型中金的成色

不同成矿作用、不同成因类型中金的成色特征也不同。我国内生金矿床成因类型中变质热液矿床金成色往往偏高，一般成色为800－900‰，高达950－990‰；岩浆热液金矿床金成色一般为600－800‰，高达900－950‰；沉积变质金矿床金成色一般为700－900‰；热水溶滤金矿床金成色一般为600－800‰（表16）。

表16　中国内生金矿床成因类型中金成色一览表

物质来源	成矿作用	矿床类型	矿床亚类		矿床实例	矿石类型	金成色(‰)	金银比值(Au/Ag)
壳源	沉积-再造作用	沉积变质金矿床	炭质火山碎屑岩金矿床		辽宁四道沟	硫化物	780—881	
					辽宁白云山	贫硫化物	692—905	
		沉积迭加热液金矿床	碳酸盐岩中硫化物金矿床		安徽马鞍山	硫化物	838—944	
					安徽铜官山	硫化物	平均815	1/0.226
		热水溶滤金矿床	碳酸盐岩中石英-方解石脉金矿床		广西叫曼	贫硫化物	成色高	
			石英碳酸盐中浸染型金矿床		陕西李家沟	贫硫化物	500—900	
	变质作用	变质热液金矿床	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	平均824	
					河南文峪	贫硫化物	745—952	
				中浅变质热液金矿床	河南银洞坡	硫化物	694—986	
					湖南沃溪	贫硫化物	985—987	
					湖北银洞沟	贫硫化物	平均800	
					广西古袍	贫硫化物	800—850	1/0.65

续表

物质来源	成矿作用	矿床类型	矿床亚类	矿床实例	矿石类型	金成色(‰)	金银比值(Au/Ag)
			接触变质交代热液金矿床	吉林二道甸子	贫硫化物	平均844	
			动力变质作用金矿床	河北金厂峪	贫硫化物	平均911	
		混合岩化热液金矿床	含金石英脉型金矿床	山东玲珑	贫硫化物	454—950	1/2
				浙江遂昌	贫硫化物	545—629	
			破碎带蚀变岩型金矿床	山东焦家	贫硫化物	平均775	
混源	岩浆作用	岩浆热液金矿床	与中小侵入体有关金矿床	湖南水口山	贫硫化物	平均914	
				湖北鸡龙山	贫硫化物	667—950	
			与火山-次火山岩有关的斑岩型金矿床	江西德兴	贫硫化物	639—927	
				黑龙江团结沟	贫硫化物	642—828	

续表

物质来源	成矿作用	矿床类型	矿床亚类	矿床实例	矿石类型	金成色(‰)	金银比值(Au/Ag)
			与火山 次火山岩组合有关的金银矿床	台湾金瓜石	贫硫化物	平均900	1/1.5
幔源		岩浆分异金矿床	含金岩浆熔离硫化物金矿床	青海德尔尼	贫硫化物	500—850	

表78　十二金矿床中金成色分析结果表

矿床名称	矿床类型	矿石类型	金成色（‰）
浙江何山	中低温热液蚀变	氧化矿石	9255
陕西西潼峪	中低温热液石英脉	少硫化物半氧化	647.1—化学法 856—电子探针
湖南漠滨	中低温热液	少硫化物	949.2
河南申家瑶	热液变质	硫化物	922
河南灵湖	热液变质	少硫化物	881.1
甘肃小铁山	中低温热液	硫化物	800
山东三山岛	中温热液蚀变	少硫化物	761.9
吉林海沟	含铀金矿	氧化矿石	926.8
武钢大冶	铁　　矿	（堆浸尾矿）	893.9
辽宁五龙	变　　质	少硫化物	902—化学法 945—电子探针
湖南湘西	热液变质	少硫化物	987.2—化学法 986.1—电子探针
陕西道岔沟	热液变质	硫化物	712.5

就同一矿区不同矿段，同一矿段不同部位及不同矿石标本中金的成色都有差别。同一个显微视域中不同金粒及同一金粒不同部位其成色也是不同的。陕西潼关西潼峪金矿床经电子探针分析结果表明，不同金粒不同检测部位金成色是不同的（表17）。

表17　西潼峪金矿床金成色电子探针分析结果表

样号及检测部位	1	2 ①	2 ②—1	2 ②—2	2 ②—3	3 ①	3 ②	4	5	6	
金成色(‰)	900	897	840	87	820	890	900	794	860	790	

（注：为湖南冶金所电子探针室分析）

此外，例举12个金矿床金成色分析结果（表18）。

六、结　语

通过上述研究工作可得出如下结论：

1．根据金的成色可以推断成矿的时代，分析矿床成因，矿床形成温度及矿化特征。

2．深入研究国内外不同矿床类型中的金成色及其一般地质规律，对指示和追索原生矿源具有找矿现实意义。

3．在金的工艺矿物学研究和黄金地质科研中应对金的成色研究引起重视。

选自《金银矿产选集》第三集（1985）

金矿的找矿问题

栾世伟

黄金在近代工业技术中有日益广泛的用途，目前正处于不断开发之中。同时，黄金也是当今国际贸易中最权威的支付手段。尽管国际金融市场上黄金的价格可以有较大的波动范围，但它作为硬通货的支付能力，却始终处于上升趋势。各国政府为了稳定本国财政，增加本国黄金储备，除限制黄金流通、走私外，还加强了对本国金矿资源的找金矿、勘查和评价工作。

一、当前世界各国金矿开发形势的几个特点

第一，各国政府普遍重视金矿地质勘查工作。1980年加纳成立黄金技术委员会，总统亲自主持政府召开讨论黄金资源的会议。巴西政府由于重视黄金的开发，并鼓励和资助民间探金与采金，使其黄金产量从1972年的9.5t增加到1982年的34.0t。在世界黄金产量的名次中，从第七位上升到第四位。80年代以来，美国与加拿大用于金矿勘查开发的投资每年都在1亿美元以上，分别占固体矿产勘查投资的55%和65%（表1）。

第二，在世界范围内，新发现的储量大于100t的世界级大型金矿越来越多。美国在近20年中发现的大型金矿计有：麦克劳林金矿（储量100t以上，品位4.98g/t），金坑金矿（储量127t，品位4.35g/t），卡林金矿（储量186t），韦纳契金矿（储量近100t）。加拿大继1975年发现德图尔湖金矿（储量107t）后，1981年又评价出黄金总储量达590t的赫姆洛大型金矿（品位4—

表1　美国、加拿大近二十多年来金矿勘查投资的变化*

占固体矿产投资的%	加拿大的金矿勘查投资（加元）	年　代	美国的金矿勘查投资（美元）	占固体矿产投资的%
9.3	400万	1961	200万	0.9
9.4	500万	1966	860万	
19.3	1400万	1971	2880万	7.0
25.2	3300万	1976	6990万	17.0
35.1	17000万	1981	21190万	40.0
65.0	19500万	1983		55.0

*引自《地质科技参考资料》1985年第20期（总第290期）

16g/t）。苏联历来以西伯利亚砂金为其黄金的主要来源。但自60年代以来，先后在中亚细亚、阿尔泰等地发现了若干世界级的特大型金矿。80年代初建成投产的乌兹别克穆龙套金矿床，年产黄金70－80t。国土面积狭小，矿产资源奇缺的日本，1980年在九州鹿儿岛发现了储量为120t的火山岩型金矿。位于大洋洲的巴布亚新几内亚，1982年也发现了波格拉（储量287t）和利海尔岛（储量311t）两个大金矿，成为世界上重要的黄金出口国。

第三，在世界范围内，一些有悠久开采历史的老金矿，随着采掘深度的加大，储量也相应增加。印度科拉尔金矿已有几个世纪的开采历史。自1880年正规开采至今，垂直采深已达3300—3500m，仍保持几百吨的储量。而且采井每加深一米，储量可增大0.20t。世界著名的南非兰德砾岩型金矿，于1886年发现，20世纪初开采，平均年产黄金3000余万盎司，采深已达3000m以上，局部地段达到4000m。美国南达科他州的霍姆斯塔克金矿，于30年代开始开采，现采深已达1900多m，仍保持储量900t。而且采井每加深一米，储量可增大0.25t。

很多世界级特大型金矿都具有上述特点（表2）。

表2　　世界级特大型金矿采深与储量关系

国　别	金矿床名称	现有储量(t)	采井每加深1米储量增加数（t/m）
巴　西	莫罗一维洛	250	0.08
津巴布韦	肯一莫托尔	150	0.08
加拿大	霍　恩	230	0.18
加拿大	波丘潘	1550	0.25
加拿大	布莱洛恩一帕伊奥尼尔	120	0.10
加拿大	马拉尔蒂克	180	0.12
加拿大	克尔连德一莱克	700	0.30
加拿大	拉马克一锡格马	130	0.13
澳大利亚	卡尔古利	1050	0.25
澳大利亚	诺斯曼	120	0.12
澳大利亚	本迪戈	700	0.20
澳大利亚	巴拉拉特	100—110	0.10
澳大利亚	吉姆波	110—120	0.12
澳大利亚	查尔特斯一塔乌艾尔斯	190	0.19
美　国	马泽尔洛德	400	0.27
美　国	格拉斯	324	0.29
美　国	西维尔通一特卢里德	220—240	0.18
美　国	克里普尔一克里克	600	0.60
加　纳	亚山蒂	450	0.22
加　纳	阿里斯通	200	0.10

* 摘译自《Известия АН СССР》№3，1980年。

根据上述世界各国金矿开发形势的三个特点，可以获得如下四点结论：

第一，金可以形成一些储量大于100t的世界级的特大型矿床。过去认为，金矿一般只探到3－5t或10－20t就已不小了。当然大矿多数也是从小矿起步的，眼睛不能只盯着大矿，置小矿于不顾，而应不断从小矿入手，努力开拓大矿；

第二，上述世界级的特大型金矿，从分布的地理位置看，各大洲都有发现，可见大自然对人类的赏赐并无偏见。现在的问题，并不是我国有没有大金矿的问题，而是金矿地质工作者如何解放思想，深入研究，艰苦奋斗，到最有利的地区去工作、去发现；

第三，世界级特大型金矿在空间分布上，远不局限于绿岩带；在成矿时代上，也不局限于元古代前。世界各国寻找金矿的实践告诉我们，寻找大型金矿，太古代绿岩带虽应该是重点方向之一，但决不能受此限制。加拿大赫姆洛金矿，正是因为赋存于长英质火山沉积岩中，而不是在绿片岩带中，虽被公路切穿，但也是在30多年之后，才被思想活跃者发现；

第四，当前世界各国都把寻找和评价特大型金矿作为金矿地质的首要战略目标。特大型金矿在评价、开采、管理等方面都具有一系列优越性，对国家的经济建设，总体发展规划等都起着十分重要的作用和意义。

综观前述世界金矿开发形势的三个特点和引伸出的四点结论，可以归纳为一点，就是要解放思想，开拓前进，为在我国找到大金矿而奋发努力。

二、世界级特大型金矿的主要特征及某些评价标志

据不完全统计，在世界范围内已发现的大金矿至少在30个以上。它们的成矿背景、控矿条件、形成作用和找矿方向等都有一些报道与介绍。这里就主要方面作如下归纳：

首先，大型金矿在产出上的特点是规模大，延深大，储量也大。一般品位虽不很高（也有高品位的），但品位稳定。金矿体的形态比较复杂，往往可见多种矿化形态的互相穿插、过渡和复合。矿体产状的总体在垂向上虽具有稳定或比较稳定的特点，但各种矿化形态的多变、互相切割、交错现象也常见。

其次，可以按控矿因素了解矿床特征。而国内外主要金矿床产出的控矿因素，可以概括为：受一定层位控制，与构造关系密切和必要的热动力条件的配合。

大型金矿床形成的重要条件之一，就是受一定层位的控制，其主要作用是为金矿的形成提供充足的矿质来源。这种能够为金矿形成提供矿质的，一般应是含金较高的地层。根据金在地球各圈层和地壳各类岩石中的分布特征可知，下地幔、上地幔含金一般比地壳可高出20%，而地核中含金比地壳可高出500倍，地球内的平均含量比地壳内高200倍。在各类岩石中，基性侵入岩和喷出岩含金最高，其次是中性喷出岩。由此不难看出，以下一些地层是形成大型金矿的有利层位：

太古代前的原始陆壳，其成分与地球的平均成分相近；

太古代喷发出的大面积基性火山岩的成分处于地核与地幔之间，即地核与地幔在此期间还处于分异形成过程中，但还没有出现明显的界面；

元古代形成的中基性火山岩和元古代盆地或凹陷区堆积的来

自隆起区的太古代陆源碎屑物，前者来自地幔深处，后者为原始陆壳的风化产物。在一些元古代的大凹陷或区域性裂谷中，中基性火山岩和陆源碎屑沉积往往一起堆积，形成互层；

古生代以后，各次从深部上升的基性火山岩、次火山岩和由其分异而成的中酸性的火山岩、次火山岩和侵入岩与长期活动的区域深大断裂带，地台长期隆起边缘的活动带等有空间上的联系。

上述对金矿形成有利的层位，其时代可从前太古代一直到第三纪；其产出空间可以是地台区，也可以是地槽区；其成分的共同特点都是与深部幔源有关，且都经受了不同程度的变质。大凡变质程度较浅（如绿片岩相与角闪岩相）的地层，金的聚集多通过变质热液或渗滤热液的循环迁移而成矿；当变质程度较高时，金的聚集则常常是通过局部熔融的岩浆形成岩浆热液，最后成矿。

与构造关系密切。构造运动及其形态，不仅可为金矿的形成提供运矿、导矿和容矿空间，而且又是矿液运动的直接或间接的驱动力。区域深断裂的形成、运动，地层的褶皱、错动，都可有不同规模、不同产状、不同性质的断裂、裂隙、破碎带相伴。这些对金矿的形成极为有利。

在区域范围内，应注意基底层与上覆岩层之间的构造不整合接触带、砾岩带；注意中基性火山岩及其区域变质产物中的糜棱岩带和其它种类挤压型的构造破碎带；注意多次褶皱构造的轴部与陡倾翼部，以及褶皱的层间滑动；注意两组构造断裂带相交的复合部位等局部构造特征。

必要的热动力条件的配合。岩浆的活动可以为金矿的形成提供有效的热动力条件。岩浆的侵入或喷出活动一般都伴随着容岩地层的某些构造形变；深侵入岩浆的冷凝过程中，随着岩浆结晶作用的进行，使气-液组分不断集聚，形成矿液；浅成的岩浆活动形成次火山岩，由于压力降低的幅度较大，使浅成岩浆在结晶前

发生沸腾，释放出大量的气-液组分，或加入于下渗的水溶液，或直接成为与次火山岩有关的金矿热液；岩浆的地表喷发作用，同样可有大量的气-液喷出，当它们冷凝后又回到地面，随火山灰和其它喷出产物形成不同类型的火山岩及与其有关的金矿床；岩浆的海底喷发作用，由于海水压力相对较小，仍可有气柱形成，使海底局部地区出现热卤水，和海底沉积物与喷发物一起，形成不同类型的火山－沉积岩及与其有关的金矿床。

区域变质作用也可为金矿床的形成提供某些热动力条件，形成变质热液金矿床。变质热液金矿床形成的条件：①变质程度不是很深，一般只到绿片岩相和局部的角闪岩相后，即结束了区域变质作用；②区域变质作用停止后，发生了区域构造运动，形成断裂、裂隙，为变质热液的相对聚积提供了空间；③变质热液金矿床的成矿时代应与变质时代基本一致。

根据上述控矿因素和金矿床主要特征，可以确定如下一些评价大型或特大型金矿床的参考标志。

第一，大型或特大型金矿床，在同一个矿化段范围内，一般都没有十分明显的垂直构造分带和矿化分带现象。从地表到地下深部，矿床构造特征、主要含矿裂隙、矿体形态和内部结构、主要矿物成分、矿石中的矿物共生组合等，沿走向与倾向都无明显变化。

第二，大型或特大型金矿床，一般破碎带比较发育，断层的错动也比较大（一般可达几十米到百多米），在破碎带中常可见断层泥。破碎带的厚度沿走向和倾向的变化都不大。在一些大型或特大型金矿床中，破碎带全部被矿化，形成破碎带型金矿床。

第三，有一些大型或特大型金矿床，按矿化深度可区分出三个矿化段：第一矿化段，矿物特征、硫化物的含量，以及矿石中金的含量变化都不大；第二矿化段，在矿物成分中石英的含量增加，角砾状、斑状、条带状矿石减少，而致密状、浸染状矿石逐

渐增多，金的含量均匀地缓慢地减少；第三矿化段，一般以浸染状矿化为主，且金矿物和载金矿物在浸染状矿石中的密度明显减小。金含量忽高忽低，很不稳定，但总的趋势是减少。

三、在我国寻找大型或特大型金矿的主要找矿方向

根据上述大型或特大型金矿的控矿因素和成矿特征，结合我国实际情况，以下一些地区可作为较有远景的寻找大型或特大型金矿的找矿方向：

前寒武系的老变质岩分布地区，仍然应是寻找金矿的重要方向。我国鞍山群、建平群、迁西群、太华群、胶东群、阜平群、五台群、武当群等太古代（部分下元古代）变质岩地层，其原岩多为富含镁铁质硅酸盐岩系的中基性火山岩，一般含金都较高，是形成金矿极有利的地层。

在老变质岩地区寻找金矿，重点应集中在地台边缘的活化地区、区域性大断裂带附近，以及较晚侵入的局部深熔型花岗岩或花岗闪长岩体的附近，或糜棱岩带和基性岩脉（墙）比较发育的地区。

在古生界以后的地层中找金，应注意各种凹陷、盆地中基性火山岩、次火山岩的活动特点和分布范围。在大地构造上多属于地槽区，或地台的活化区。

在不同性质大地构造单元的接壤地区寻找金矿，也是十分重要的找矿方向。中朝准地台，北与内蒙地槽褶皱带，南与秦岭地槽褶皱带，东与天山兴安岭地槽褶皱带的接壤地区，或其边缘的一些长期隆起地区（如胶辽台隆、铁岭靖宇隆起、佳木斯隆起、燕山隆起、内蒙地轴、五台西断隆、小秦岭地轴等），以及扬子准地台的北、西、西南等边缘地区，准葛尔、塔里木盆地的周边

地区等，不仅是我国当前重要的金矿分布区，而且也应该是寻找大型或特大型金矿的重要找矿方向。

地台区或地槽区中的深断裂带附近，深断裂的围限范围内，都是金矿分布的有利地区。如位于中朝地台北缘一带的金矿床，其中部被北侧近东西向的康保－围场－赤峰－开原大断裂和南侧的张家口－登德－平泉－宁城－北票近东西向深断裂围限。豫西地区金矿在区域分布上实际受夏馆－槐树断裂及商南－西峡断裂控制。滇西三江地区金矿的形成与分布，在很大程度上受主要由三江断裂带组成的构造岩浆活动的控制。

在上述地区寻找金矿和分析区域地球化学数据时，还应注意金与铁、钨、锑、汞、砷、铅、锌等元素的关系。金与铁在地球化学上的亲和性，决定了古老变质岩地层区铁建造与金矿在分布上的密切关系。我国东部地区广泛分布的铁建造或含铁建造，在其中寻找金矿应引起重视。在区域地球化学异常中，应特别注意砷异常的分布地区和分布特征。苏联乌兹别克地区克齐尔库姆沙漠中发现的穆龙套金矿床（80年代形成生产能力，年产黄金70－80t），就是根据砷的次生晕异常为线索。美国70年代末在加利福尼亚州找到了火山-沉积型的麦克劳林大金矿，就是从该州诺克斯维尔汞矿区开始的。

此外，在变质岩地区寻找金矿，还应注意在同一构造单元之内，变质程度不同，或不同变质相杂岩的分布与产出特征。区分出古老基底的变质岩系残块和上覆地层的变质岩。从原岩恢复和热力学相图中找出它们之间在成因上和时空分布上的联系。从其中找出对形成金矿有利的因素。

四、寻找大型或特大型金矿的找矿方法
——目标找矿法

自有人类社会以来，就开始了找矿活动。只是随着社会的发展和科学技术的进步，找矿的内容、范围、原则与手段在不断的变化和完善，以求有效地合理地适应人类社会发展对矿产资源的需求。

按找矿原则与找矿手段的协调综合，可将找矿方法分为就矿找矿、综合找矿和目标找矿三种基本方法。

就矿找矿法是一种古老的找矿方法，但也是至今仍行之有效的找矿方法之一。其特点是：在露头、老硐或河滩等地，用肉眼或借助于放大镜、显微镜，见到了要找的矿，或见到了与要找的矿有关的某种矿物。近年来由于成矿理论中成矿系列的研究，为就矿找矿法提供了进一步的理论依据，使就矿找矿法在找矿实践中发挥更重要的作用。

综合找矿法，是随着物、化探手段在找矿中的应用，而逐步发展和完善起来的找矿方法。其特点是：结合大、中比例尺地质填图工作，综合查明图幅内一般的成矿条件，可能的含矿性，以及物、化探异常所提供的一些矿化信息。具体找什么矿、在什么地方找矿，一般并无明确目的。它的优点是，由于有多种方法（地质，物、化探）的综合使用，可以互相验证，互为依据和补充，因此找矿的效果较好。20世纪40年代以来，用综合找矿法在世界各地找到了不少大矿，包括金矿在内。但这一方法必须与地质填图结合进行。因此，一般费时多，投资大，见效慢。同时由于找什么矿的目的性并不很明确，在各种方法的使用上，往往针对性不够很强。如果配合不当，也常常发生漏矿的现象。

作为就矿找矿和综合找矿方法的补充，并可能在某些方面或

某种程度上避免上述两种找矿方法的不足和缺陷，解决寻找大型或特大型金矿的找矿问题，现介绍一种新的找矿方法，即目标找矿法。

目标找矿法的要点是：对准目标，选好地区，相应手段，坚持不懈。

对准目标 将世界上已发现的太古代绿岩带型（加拿大波丘潘）、砾岩型（南非兰德）、铁硅质建造型（美国霍姆斯塔克）碳酸盐建造型（美国卡林）、复理式建造型（苏联穆龙套）和中、新生代火山岩－次火山岩型(日本鹿儿岛)等特大型金矿床，作为我们的找矿目标。通过深入分析上述六大类型的金矿，确实了解它们的成矿条件、控矿因素、矿化特征、找矿标志、发现历史、评价方法等方面特点，特别注意矿体形态、矿物组合、微量元素及一些微细的但又是具有普遍性的标型特征。对上述目标矿床的特征了解越确切，越能体现出“对准”的全部意义。

选好地区 先按某些宏观特点，从上述六类特大型金矿床中确定某一种或两种为找矿目标。再以区域内基础地质的研究程度为基础，根据要找的目标矿床的成矿条件确定工作地区。目标矿床的成矿条件与工作地区的地质条件在主要方面的差距越小，越能符合“选好”的要求。

相应手段 目标找矿与综合找矿法不同，地质、物探、化探手段如何配合使用，用到什么范围，什么程度，不完全按填图比例尺的要求。而是根据目标矿床发现过程和有效评价手段，再结合工作地区的地质、地形特征确定相应的地质、物探、化探手段。所用手段的针对性越强，越能发挥找矿的效果，越能说明“相应手段”的真实内容。

坚持不懈 这虽似一句较空洞的口号，但同时应该是目标找矿法的重要内容。其一，目标找矿法与其它找矿方法不同，有固定的目标。要达到一定目标，一般都不是轻而易举的，不是一帆

风顺的。常常会遇到种种料想不到的问题和困难，因此没有坚持不懈的精神是不行的；其二，相应手段的有效性必须在找矿实践中不断总结、完善，随时注意研究每一手段的实际效应，也需要有坚持不懈的精神；其三，随着工作地区地质资料和找矿信息的积累，根据目标矿床的控矿因素，不断缩小工作范围，调整找矿手段，以达到最后找矿的目的。

为使目标找矿法顺利实现，必须组建一支事业心强，且技术训练有素的找矿队伍。其次在整个找矿过程中，必须把找矿工作与研究工作密切配合，贯彻研究为了找矿，找矿中必须研究的原则。

选自《国外地质》第三期（1986）

金矿勘查中值得注意的若干问题*

一、广开思路，强化勘查，不断发现新矿床

在全球找金热中，各国均千方百计加强勘查工作，尤其是在已知的金生产区和有色金属生产区，加强重新检查和资料的综合整理，广开思路，不拘泥于一种矿化型式，其结果是发现了大量的金矿床。

80年代以来，世界范围内发现的大金矿，其规模称得上世界级(100t以上)的至少有6个，它们是加拿大安大略省赫姆洛矿床，美国加利福尼亚州麦克劳林矿床，内华达州金坑矿床，日本九州菱刈地区的矿床以及巴布亚新几内亚的波格拉和利海尔岛金矿床。

这6个矿床中储量最大、影响最广的是1981年在加拿大安大略省发现的特大型赫姆洛矿床。储量590t以上，品位4—16g／t。金矿床产在东西向晚太古代（28—26亿年）变质的沉积岩和火山岩带（绿岩带）中，这些岩石形成一个宽广的向形构造。基底为片麻岩，其上是变质基性至中性火山岩系，往上为变质中酸性火山岩、火山碎屑岩、化学沉积岩和碎屑沉积岩，赫姆洛层控矿床即产在这套岩石的顶部，最上部为较厚的变质碎屑沉积岩系（夹火山碎屑岩层）。矿床赋存在变质的由凝灰岩再沉积而成的

*本文是向1985年10月召开的全国金矿地质工作经验交流会提供的资料，本刊刊用时作了删节。——编者注

沉积岩和变质的泥质岩的接触带。矿化范围很大，长近 40km。矿体呈席状，较稳定，产状较陡，一般宽数米至二三十米，延深超过1000m，明显受地层控制，产在硅化-绢云母化沉积变质岩（绢云母片岩）中。矿化由浸染状黄铁矿、自然金、辉钼矿等组成，接近矿体底部处含较多重晶石。容矿岩石中的副矿物有辉锑矿、雄黄和浅绿色云母。

赫姆洛金矿床的发现，对全球地盾区金矿勘查的影响，无论怎样评价也不过份。它与人们比较熟悉的绿岩带金矿化类型很不相同。当时人们预期在石英脉中找到金，而该区金矿却大部分呈浸染状赋存在绢云母化变质火山沉积岩中。50年代修公路时，在该区已横切出一个金矿带，但一直未能辨认出来。因此，几代找矿人员是否有可能漏掉了其它地区类似的矿床呢？这值得在太古代地盾上绿岩分布地区内的找矿人员深思。

1980年 8 月美国加利福尼亚州发现的麦克劳林大型金矿床，也是很轰动的，是美国本世纪发现的大型金矿床之一。储量大约100t，平均品位4.98g／短吨。

矿床位于加利福尼亚州纳帕县北端诺克斯维尔汞矿区内，为一综合性的金-汞矿床，还含银。金：银：汞为1：1：2。矿床系产在火山岩和沉积岩中的网脉浸染型金矿床，矿体产在硅化的碳酸盐质凝灰岩中。金呈分散的微粒，肉眼难以看见，伴生矿物有黄铁矿、白铁矿、辰砂和含金的黑色蛋白石。

金和汞的空间共存关系以及美国在老汞矿区发现大型金矿这一实例，给予人们新的启示，即通过检查目前正在开采的或已停采多年的汞矿床，以及检查那些研究程度较差的汞矿点和异常，很可能找到综合性的金-汞矿床或金矿床。

1980年日本九州鹿儿岛市北北西约45km的菱刈地区发现高品位的火山岩型金矿，据说是日本采金史上最大的金矿床，储量达120t，平均品位约80g／t。

矿床产在白垩纪-早第三纪的四万十超群（由黑色页岩和砂岩组成）和不整合其上的中新世至上新世的北萨火山岩（由安山质凝灰角砾岩和火山砾凝灰岩组成，局部与安山岩呈互层）中，属石英脉型，除金和石英外，伴生有一些银矿物、方解石和冰长石，它们构成若干大矿脉和许多细脉。

这个矿床的发现，说明即使在地质工作程度较高的日本，找到大矿也是有可能的。

1980年12月初美国内华达金矿带又发现了一个大型金矿床——金坑矿床，储量达127t，品位4.35g／t，属卡林型。说明已知金矿带上的潜力是大的。

1982年在巴布亚新几内亚发现了两个大型金矿——波格拉和利海尔岛金矿，储量分别达287t（品位3.5g／短吨）和311t，是属于与火山岩有关的低温热液金-银矿。尤其是利海尔岛金矿，据称是巴布亚新几内亚近代历史上最大发现之一。

日本和巴布亚新几内亚发现的三个大金矿均产在火山岩中，说明火山岩区找金大有可为。

二、遵循金赋存的地质规律，着重抓八种金矿类型

从古至今已采黄金122000t，其中65%是本世纪采掘的。在19世纪中叶以前，砂金是金的主要来源，但随着采矿、冶金及地质学的发展，开始由地表砂金矿转入到地下，最先开采的是石英单脉、石英网状复脉及以后的含金铀砾岩型金矿床，这些已成了金矿的主要来源了。随着碳还原技术和露天开采金技术的发展，低品位及浸染状金矿亦已开始作为金的主要开采对象了。目前南非原生金矿品位已降到6.55g/t，美国已降至3g/t，甚至利用金矿和汞矿废石堆浸提取金。联合国砂矿开采顾问麦克劳纳尔德提

出砂金开采边界品位可到0.05g/m³。

从黄金的生产实践中人们逐渐认识到，金矿可形成于所有的地质时期和各种地质环境及岩石类型中。从地球演化整个历史看，金矿床分布于两个大的历史旋回中，从内生到外生为一个大旋回。因此，内生的太古代绿岩带金矿为元古代的古砂矿（含金铀砾岩）提供了物质来源；元古代以后，特别是中、新生代内生金矿床又为第三纪末到第四纪初外生砂金矿提供了物质来源。因此，从太古代到新生代，由稳定的地盾区到活动带都有金矿分布。但从金储量来看，主要集中于一些前寒武纪地盾和地台区，约占世界金总储量的70%。最古老的太古代绿岩带金矿主要产于美洲、非洲、亚洲以及澳大利亚等地盾区。如加拿大的波丘潘、耶洛奈夫，巴西的莫罗维洛，印度的科拉尔，西澳的卡尔古利，南非的巴伯顿，以及津巴布韦的沃巴契奎等矿床，元古代金矿多形成于地台及地槽的坳陷区，如世界最大的南非兰德式含金铀砾岩型矿床，即产于地盾的坳陷区，，加纳的塔库瓦矿床产于原生地槽坳陷中，还有以美国霍姆斯塔克金矿为代表的与含铁硅质建造有关的矿床也产于元古代岩石中。其余30%的储量集中在古生代和中、新生代。古生代金矿如分布在苏联乌兹别克，哈萨克斯坦、库兹涅茨克、乌拉尔和阿尔泰等地。其中有目前世界上最大的金矿山——穆龙套金矿山。还有分布在澳大利亚的本迪戈金矿以及阿巴拉契亚古生代褶皱带内的许多金矿床。中、新生代金矿主要沿环太平洋带和地中海-喜马拉雅带以及蒙古-鄂霍次克带分布，大多与火山岩、次火山岩或侵入岩有关，如美国西部、墨西哥、秘鲁、智利、苏联东部、日本、菲律宾、巴布亚新几内亚等地火山岩型金矿及斑岩铜-金矿。主要分布在美国内华达州的卡林型金矿也已知是与第三纪热液活动有关的矿床。

从金富集的地质环境和岩石类型看，世界上主要金矿床集中在八种类型中，这就是：太古代绿岩带型、含金砾岩型、元古代

含铁硅质建造型、微细浸染型、古生代穆龙套型、中、新生代火山岩型、现代砂矿型以及伴生金型。

（一）太古代绿岩带型

太古代绿岩带是世界重要的含金岩系，指的是一套普遍绿岩化了的超基性、基性、酸性火山岩系和部分沉积岩系，主要发育在古老地盾区。国外太古代绿岩带主要分布在加拿大、南部非洲、西澳大利亚、印度、几内亚和巴西等地盾区以及俄罗斯、西伯利亚等一些地台区的基底中。这些地区不仅有大量中、小型金矿，而且有很多大型和特大型金矿。如加拿大波丘潘金矿，黄金总产量已达1600t，西澳卡尔古利金矿，已产金1200t，印度科拉尔金矿也已产金达800t。该类矿床占世界黄金累计总产量的13%左右。

这类矿床最大特点是金矿化都与古老火山岩变质而成的绿岩有密切关系，其含矿层位和岩性方面都可进行对比。但不同地区也有各自的特点。如南非绿岩带相对于加拿大的绿岩带来说，超基性岩和基性岩更多些，而中性岩和酸性岩则较少，故前者除金外，尚产铬、镍、铁、铂族金属，而后者不产铬，除金外只产铜、锌、镍等有色金属。

绿岩带中的矿化至少有三种型式：含金石英脉、条带状含铁层和浸染型。含金石英脉以陡倾或近直立为主，延深较大，可达千米。很多矿床与绿岩带中的侵入体有空间上的伴生关系。金之所以产在石英脉里，有人认为这是因为超基性岩蚀变为滑石-碳酸盐时可释放出大量的金和硅。因而在裂隙中形成含金石英脉，在一些破碎带中可形成含金石英细脉和网脉带，或较均匀硅化的金矿化带。

太古代绿岩带中条带状含铁层金矿见于许多国家和地区，如津巴布韦、澳大利亚、巴西、加拿大和印度等。矿床呈层状、条带状含铁层由富含一种或多种氧化硅（石英、燧石）、毒砂、磁

黄铁矿、黄铁矿以及富铁碳酸盐（铁白云石、菱铁矿）层组成。含金岩石只产在较薄的含铁层中，尤其是富含毒砂和其它硫化物的含铁层中，属条带状含铁层中的硫化物相和硫化物-碳酸盐混合相。矿体呈夹层和透镜状、板状产在含铁层中。金多呈小包裹体产在毒砂晶体中。成因上与元古代霍姆斯塔克型金矿类似，可能属海底"喷气"成因。

最近在加拿大安大略省发现的特大型赫姆洛金矿床，是绿岩带中一种新型的金矿类型。金的矿化型式与传统的绿岩带中金矿化很不相同，金呈层控浸染状产在绢云母化片岩中。这种类型的矿化目前只见于加拿大地盾，在发现赫姆洛矿床之前曾发现过两个较小的浸染型矿床，地质特征与之相似。绿岩带中这种新型金矿的发现使勘查地质学家不得不重新考虑传统的规律。赫姆洛矿床的发现给人们打开了绿岩带找矿的思路，说明绿岩带中的金矿化是多种多样的。

（二）含金砾岩型

含金砾岩型矿床占世界金储量60%左右，以元古代为主。金是在现已岩化成砾岩层的冲积扇中沉积生成的，金呈微小的颗粒与绢云母等一起产在石英卵石砾岩的填质中，以及石英质砂质岩石中，含炭质薄层和含黄铁矿的重矿物薄层中。有时与晶质铀矿、炭质和黄铁矿伴生。南非著名的维特瓦特斯兰德（简称兰德）金矿就属此类。

兰德金矿产于早元古代维特瓦特斯兰德系砾岩中，主要含矿层达10层之多，厚数厘米至3 m左右，矿化富集在砾岩层的下部，特别是在炭质较多的部位。含金砾岩主要由小而滚圆的石英卵石组成，胶结物为泥质、其中见有黄铁矿、绢云母、绿泥石等矿物，除金外，还有晶质铀矿及铂族金属等。金大部分产在胶结物及硫化物中，小部分呈细脉穿插于石英砾石中，矿石品位6—25g/t。储量极大，累计约50000t。

类似的矿床还有加纳南部的塔库瓦矿床、产于下元古界塔库瓦群下部含金砾岩层中。砾石为石英砾岩、石英岩、角页岩和结晶片岩，胶结物为石英、赤铁矿以及少量钛铁矿和磁铁矿，不含铀矿物。金呈自然金出现在胶结物中，颗粒较细，一般粒径均小于150μm，肉眼难以见到。矿化富集在砾岩层最下部，特别是在砾石大、胶结物中赤铁矿富且交错层发育的部位。该区整个含矿砾岩金品位为2.5—3.5g/t。

此外，还有巴西巴伊亚州的雅科比纳矿床以及加拿大的盲河埃利奥特湖矿区，但后者金含量很低，主要为铀矿，含较多的钍和稀土元素。

近几十年来，虽然各国投入大量人力物力重点找此类型，在加拿大地盾、巴西-圭亚那地盾、非州-阿拉伯地盾、印度地盾、澳大利亚地盾、芬兰、俄罗斯地台等地也找到了一些含金砾岩，但总的来看，成效不大。以往的经验教训证明，寻找此型矿床，主要还是要到前寒武系地区去找。总结其综合成矿条件是：①砾岩产于晚太古代准地台之上的早元古代盖层的底部；②砾岩之下发育有太古代绿岩，其中产有大量的含金石英脉和金矿化，构成理想的金源；③地台内部存在大复向斜凹陷，构成有利于金富集的和长期活动的巨大堆积盆地；④具有利于砾岩金矿的形成和保存的特殊的古地理和古气候条件，如古砾岩层沉积前，广泛发育风化作用，形成巨厚风化壳，在区域造陆运动中，风化壳和原生金矿受强烈剥蚀；⑤沉积作用后，砾岩分布区又经区域性弱变质作用，使黄铁矿和赤铁矿化广泛发育，并使金矿发生再次富集作用。因此，符合这类金矿成矿条件的环境较少，所以发现“兰德”这样巨大金矿的机会不多。

与兰德式含金砾岩稍有不同的塔库瓦式含金砾岩是赋存在原生地槽坳陷中，在充填有火山-沉积岩层地区的地质环境中产出的，不含铀，且金颗粒很细，肉眼难以见到。因此，找矿中既要

注意“兰德”式含金砾岩，又要注意塔库瓦式的含金砾岩。

（三）元古代含铁硅质建造中的金矿（霍姆斯塔克型）

这类金矿以美国南达科他州霍姆斯塔克金矿最为著名，该矿是北美目前最大的金矿山，累计产金已达1000t，平均品位9g/t，近年来占美国金产量的30%。

矿体产于元古界霍姆斯塔克组的镁铁闪石片岩或镁菱铁矿片岩中的高度绿泥石化的层位中，矿体呈层状，含有大量石英脉、石英块以及少量磁黄铁矿、黄铁矿和毒砂。金呈浸染状，与毒砂伴生。

过去人们都认为这种矿床是与第三纪岩浆作用有关的热液矿床，与霍姆斯塔克组含铁硅质建造没有必然的联系。然而，近年来对矿床稳定同位素的研究结果表明，矿体中的金和其它一些组分是霍姆斯塔克组原始沉积的一部分，属海底“喷气”成因，后来在前寒武纪区域变质作用期间被运移和富集。所以有人认为该类型矿床在成因上可以与太古代绿岩带中条带状含铁建造中的金矿类比。

（四）微细浸染型金矿（卡林型）

卡林型金矿是本世纪60年代发现的一种很有远景的新类型金矿，它以典型矿床——美国内华达州卡林金矿——而得名。以后在卡林附近又陆续发现格彻尔、科特兹金矿。近10多年来又勘查发现了布特斯特拉普、蓝星、金地、巴克霍恩、金坑、贝尔、雷恩、波瑞阿里斯、朗德山等矿床。到目前为止已展现出一个北起“独立山”，南至加利福尼亚州的巴勒拉特，绵延960km，包括20多个金矿床的金矿带，成了世界主要金矿带之一。除美国之外，世界上其它地区，如加拿大、西班牙，苏联、新西兰等均有发现。目前卡林型金矿已成为世界上重要的金矿工业类型之一。

金矿化是与第三纪晚期岩浆作用有关的液热活动形成的。金颗粒极细（小于10μm），主要呈显微粒状自然金浸染于古生代

硅化的含有炭质的碳酸盐类岩石（有纹理的泥质、砂质白云岩或灰质泥岩）中，分布于石英、白云石、重晶石、伊利石、粘土、黄铁矿和炭质物的间隙中。金银比值高，多为1：1，金的品位约9g/t。大部分金与汞、锑、钾伴生，有时含钨，重晶石含量较高，含有碳氢化合物沉积。矿体沿陡倾断裂延伸，常与岩石层理整合或平行产出，容矿岩石蚀变主要为硅化和泥化。

通过近年来的勘查和研究对该型矿床的容矿岩石有了新的认识。卡林型金矿的容矿岩石是多种多样的，虽然大多数矿床是产在硅化的碳酸盐岩中（狭义的卡林型金矿），但它不是唯一的容矿岩石。近几年的勘查表明，矿床的容矿岩石除碳酸盐岩外，还有片岩、燧石岩、凝灰岩、流纹岩、安山岩和白岗岩等。例如，1971年发现的内华达州雷恩金矿床，主要产于碎屑岩（粉砂岩）中；曼哈顿金矿产在片岩和炭质片岩中；“矿物山”金矿产于白岗岩中；朗德山金矿产于熔结凝灰岩中；最近在加福尼亚州新发现的波瑞阿里斯矿床产于火山岩中；1980年在加利福尼亚州发现的麦克劳林大型金矿，矿体产在硅化的碳酸盐质凝灰岩中，等等。这一认识，显然扩大了卡林型金矿的勘查范围。因此，广义的卡林型金矿不仅要在沉积岩区，而且还要在火山-沉积岩区和火山岩区寻找。

（五）古生代穆龙套型金矿

穆龙套金矿位于苏联乌兹别克的克齐尔库姆沙漠中部，是苏联大型金矿之一，发现于1956—1957年。这是目前世界上生产能力最大的金矿山，年产金70—80t（另据报道为143t）。

矿床位于南天山海西期地槽带内，产于早古生代薄层的粉砂岩、砂岩和千枚状片岩互层而成的复理石状岩系中。岩系内广泛地分布着延伸较短的张裂隙、剪切裂隙等构造裂隙，裂隙中充填有石英或石英-电气石角砾岩。矿体位于北东向断裂附近，产在东西向近于平行的张裂隙和剪切裂隙带内，呈巨大的网状脉，有

细脉-网状脉型矿化，也有石英脉型矿化。含金最富的部分是由一系列彼此平行的、呈雁行排列的石英脉以及石英细脉、石英-硫化物细脉、石英-电气石细脉、碳酸盐细脉带组成，有些地方还有方解石和石英-电气石角砾岩脉体存在。这些脉和细脉合在一起形成厚度很大的矿带。矿石矿物主要为黄铁矿和毒砂。金见于粗粒和中粒石英和硫化物脉和细脉中，与黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、辉铋矿和自然铋、银的硫盐共生。苏联人认为矿床属变质-热液成因，就是认为金矿化同区域变质作用和深部溶液有关。

穆龙套型金矿类似于加拿大地质调查所新近提出的“浊积岩容矿的金矿脉和剪切带中的金矿”，实例有加拿大新斯科舍的戈登维尔以及澳大利亚的巴拉腊特和本迪戈等矿床。成矿地质环境是陆隆或深海槽的沉积岩系，成矿时代以古生代为主，少数矿床属太古代。容矿岩石为杂砂岩-页岩岩系。矿体以与层理一致的脉、交错脉、鞍状脉出现，矿化集中在褶皱轴上或其附近。金呈自然金，浸染在石英中或与毒砂等硫化物伴生。金的沉积与扩容构造有关。金的来源还不清楚，但很可能是从伴生的炭质页岩、含硫化物和含砷的页岩中吸取的。某些侵入体对金的迁移可能有重要作用。作为这类矿床的勘查标志是矿脉强烈地受变形期间的扩容带控制以及伴有炭质、硫化物和含砷的沉积岩。

（六）与中、新生代火山岩、次火山岩有关的金矿

这类金矿产于时代较新的褶皱带中，包括新金银矿、近地表金矿、浅成热液囊状矿床和斑岩金矿等。矿体多呈脉状、囊状、透镜状赋存于中性、中酸性火山岩、火山碎屑岩的构造断裂与破碎带和火山机构中，以及中酸性、酸性的浅成和超浅成小侵入体的顶部或接触带附近。矿床分布很广，与环太平洋带、地中海-喜马拉雅带以及蒙古-鄂霍次克带的火山岩、次火山岩带的分布一致，主要有苏联的巴列伊、卡扎科夫、达拉宋、克柳切夫、阿穆尔河（黑龙江）下游的“多峰”矿床。在美国和加拿大西部、墨西哥、智利、

秘鲁、日本、印度尼西亚、巴布亚新几内亚和新西兰等地均有分布。

矿床往往含银较高，有的形成金银矿床，有的形成含金的银矿床。矿石矿物主要为自然金、辉银矿、银金矿、金和银的碲化物以及各种硫化物。围岩蚀变常为青磐岩化、硅化、绢云母化，碳酸盐化、黄铁矿化、高岭土化、冰长石化和钠长石化，其中冰长石化和钠长石化一般较接近矿脉。所以几乎在发现这种围岩蚀变的同时也就可能找到了矿脉本身。矿床品位变化大，如北美科迪勒拉的金矿田，有些矿石品位达500—900g/t，但大部分含金15—30g/t。最近发现的日本菱刈大型金矿，金品位达80g/t。

火山岩型矿床种类很多，苏联学者M.M.康斯坦丁诺夫根据金银矿床的地球化学特征，把金银比值作为划分标志，把该型矿床划分为：金-碲型、金型和金-银型。

金-碲金型的金银比值为10：1—1：1，碲含量较高，矿石中碲与金、银、铋、汞呈化合物，以微细析出物形式产在硫化物中。大部分金呈碲化物形式出现，某些矿床中根本不含自然金，而金的碲化物才具有实际价值。矿化多产在次火山建造中，如岩颈、岩脉、火成角砾岩体中。这类矿床的大地构造位置处在岛弧火山带或大陆裂谷带中。与矿化共生的火山岩是碱性玄武岩或钠、钾比值大致相等的钙碱系列安山玄武岩。美国的克里普尔克里克矿床、斐济群岛的塔瓦矿床被认为是这类矿床的典型代表。

金型矿床的金银比值为1：1—1：20，这类矿床在罗马尼亚特兰西瓦尼亚、日本和苏联东部都有。矿石中金为自然金，颗粒细，成色低。在脉中冰长石较多，而硫化物、碲化物、硫酸盐相对较少。矿床主要赋存在火山构造洼地、破火山口、地堑等负向构造中。容矿裂隙呈规律性分布，或呈火山构造的放射状裂隙，或者是把火山建造切成断块的长期发育断裂的羽状裂隙。矿床产于内陆型火山带，有时也产在发育于陆壳上的岛弧地段。

金-银型矿床金银的比值等于或小于1：20，在美国西部诸州、墨西哥等地均有广泛分布，如美国的科姆斯托克、墨西哥的埃耳奥罗矿床等。矿床中银含量相当高，甚至形成一些含金的银矿床。主要矿石矿物为辉银矿、自然银，并含有一定数量的金（直至银金矿），有色金属硫化物含量高。矿床主要产在陆缘火山带中，而且局限在其发育特点继承了基底构造的地段。矿田发育在正向构造——火山穹窿和短轴背斜中。一些延伸很长的大断距的断层具控矿作用，这些断层把这些隆起切割成许多含矿断块。矿体位于断裂本身或羽状裂隙中。

在太平洋西部由于造山作用在时间上由西向东推移，故随着金银矿化的不断更新（白垩纪—早第三纪—上新纪），也有陆缘带向外部和内部岛弧系统相应地发生以银为主的矿化为金和金-碲矿化所代替。在东部，随着造山作用向大陆方向推移以及陆壳基性化程度增高，则发生了金-银型、金型和金-碲型矿床的递变和更新。通常，在金矿区内所划分出的类型中只有一种具有工业意义，而出现的另一些类型则规模不大。

（七）砂金矿

砂金从古至今一直是金的重要来源，目前仍占世界金产量的5—10%。可分为残积、坡积、洪积、冲积，滨湖、滨海、冰碛等类别。这类矿床易找、易采、投资小、收效快，因此仍是一些国家找金的重点。尤其是国土面积较大，或开发程度不高的国家，砂金仍是金的重要来源。苏联约有50%的产量来自砂金矿。除苏联外，其它产砂金的国家还有美国、加拿大、澳大利亚、新西兰、巴西、哥伦比亚、玻利维亚等。

由于砂金来自附近古老的含金地质体，因此往往可以通过砂金追索发现原生金矿。美国加利福尼亚砂金区发现了大量脉金矿床。美国内华达金矿区，十九世纪开始是著名的砂金矿区，后发现了大量与第三纪火山岩有关的脉金，在六十年代又在老矿区周围发

现了微细浸染型金矿，这就是卡林型金矿。苏联勒拿砂金矿，为了扩大远景，通过物探方法也寻找到了原生金矿床。通过追索砂金而发现大型原生金矿的例子还有澳大利亚的维多利亚地区和扎伊尔的基洛-莫托区等。

（八）伴生金（详见下述）

上述八个类型中，近几年最有进展的是绿岩带型、卡林型、火山岩型及伴生金型，均在这些类型中发现了大矿。

三、伴生金在黄金生产中占有重要地位

伴生金的类型很多，几乎各种类型的铜矿石，特别是斑岩铜矿、矽卡岩型铜矿、黄铁矿型铜矿、黄铁矿型多金属矿、硫化铜镍矿等以及铅锌等有色金属矿床中都伴生有金。

世界上很多斑岩铜矿床普遍含金，如巴布亚新几内亚、菲律宾、马来西亚、巴基斯坦、波多黎各、阿根廷、美国、加拿大等地，它们被称为富金的斑岩铜矿床。金品位一般大于0.4g/t，品位与铜品位成正比。如阿根廷下拉阿伦布来拉矿床，矿石含铜0.58%，含金0.63g/t，金大部分为自然金，颗粒很细（10—20μm），最高品位的矿石见于石英-磁铁矿型钾硅酸盐蚀变带中；巴基斯坦萨因达克矿床，铜品位0.42%，金品位0.46g/t，铜和金的最高品位见于含有细脉、粗粒岩块和块状石英及磁铁矿不规则交代体的岩石中；巴布亚新几内亚潘古纳矿床，铜品位0.47%，金品位0.51g/t，银品位2.79g/t，矿床具铜金属储量424万t，金281t，银2492t。矿石产在钾硅酸盐蚀变带中，金呈自然金产出，大部分颗粒极细，在普通显微镜下难以发现，品位以富含斑铜矿的地段为最高；菲律宾圣托马斯Ⅰ号矿床铜品位0.7%，金品位达0.93g/t，矿石产于以黑云母为主的钾硅酸盐蚀变带中，含矿地带有网脉状石英细脉和丰富的磁铁矿；马来西亚马木特矿床，铜品位

0.43%，金品位0.63g/t，金呈自然金或银金矿。

富金斑岩铜矿的特点是：金含量高的矿石主要见于长石稳定的蚀变带，这种蚀变带一般可称之为钾硅酸盐型蚀变带，代表性的蚀变矿物为黑云母和钾长石，矿物组合中磁铁矿含量较高，而且一般伴有交代成因的透明石英；金与黄铜矿（±斑铜矿）矿化有密切关系；矿床中的金至少有一部分为自然金，其品位大体上与铜品位成正比；金和黄铁矿没有直接关系，在某些富金的矿带中黄铁矿反而少见；富金的矿床一般贫钼，但不是没有钼。

虽然金富集的机制还不清楚，但许多已知的富金矿床异乎寻常地富含磁铁矿这个事实表明：在长石稳定、fo_2/fs_2比值异常高的条件下，有利于沉淀高出平均值的磁铁矿，也有利于引进和沉淀大量的金。富金的钾硅酸盐蚀变带所显示的流体温度高，盐度也高，表明了金是作为岩浆流体的组份而不是作为受热的雨水组份引进的。在这种情况下，金和磁铁矿，也和铜一样，是以氯化络合物的形式搬运的。因此，金搬运和沉积的地球化学条件是控制金富集的主要因素。

高磁铁矿含量(可产生高达4500μR/h的磁响应)与某些富金斑岩铜矿伴生表明，地面磁法甚至航空磁法是圈定这类矿床的有效手段，一旦肯定斑岩矿点是富金的，就应朝着磁响应最高的地段打钻。磁铁矿和与之伴生的透明的交代石英很容易在露头中识别。当遇到根据淋滤帽的评价只表明它是一个低品位铜矿化的斑岩铜矿点时，如果在长石稳定的蚀变带中磁铁矿含量高，则值得进一步工作，因为似乎没有理由说明这里没有贫铜的斑岩金矿存在。对这种斑岩矿点的进一步评价要应用金的地球化学，因为金的土壤地球化学值能充分地反映出下伏斑岩铜矿化的深生金含量。这种矿点上金的地球化学值高，表明它可能是一个铜品位低的“帽子”，值得进行钻探。

矽卡岩型铜矿中也常伴生有金，称为含金的矽卡岩型铜矿床，

主要分布在环太平洋外带，包括大陆边缘带和部分陆内火山-深成岩浆作用带，如日本、中国等许多矿床。日本福岛的八茎矿山，铜品位0.8%，金品位3.11g/t，银155.5g/t。在矿物组合上，斑铜矿、毒砂和辉铜矿的存在显然是金的重要富集标志，而有辉钼矿、磁黄铁矿和黑钨矿存在则往往是不利于金富集的标志。矽卡岩型铜矿床金沉淀在富硫低氧条件下，从早期硫化物沉淀时开始，大量金的沉淀发生在硫化物沉淀的中期。

黄铁矿型铜和多金属矿伴生金也不少，苏联、加拿大、日本等地都见有。苏联乌拉尔盖伊铜矿床，平均铜品位2.0%，金1.2g/t，其中40%的金以自然金形式产出，回收率达70%，年产金约5t；乌拉尔锡拜矿床，平均含铜0.84%，含金0.8g/t，年产金2.2t；加拿大诺兰达地区霍恩矿床含铜2.19%，含金达4.7g/t；日本北鹿地区的黑矿含Cu2%，Zn5%，Pb1.5%，Fe21%，Ba12%，Au1.5g/t，Ag95g/t。日本国内金产量的20% 是由黑矿中的伴生金提供的，黄铁矿型铜矿和多金属矿床中金与黄铜矿和黄铁矿有关。

硫化铜镍矿床普遍含金，但品位不高，苏联、加拿大、南非等矿床中均见有。如苏联诺里尔斯克铜镍矿床平均含金0.18g/t，诺里尔斯克矿冶公司年产金不到1t。金主要以银金矿形式存在于各种硫化物中，品位与铜（镍）主金属的含量成正比。

此外，苏联发现了与斜长岩有关的钒钛磁铁矿矿床也伴生有金，目前正试验从选铁尾矿中回收金。

1976年在澳大利亚发现的奥林匹克坝特大型铜铀矿床，伴生有大量的金。含金0.6g/t，银3.5g/t。1983年已求得的概略储量：金为270t，银为2700t。这是一种新型的以沉积岩为容矿岩石的元古代层控矿床。矿床中铁、铜、金、银、铀、氟、稀土含量均较高。所有成矿金属都产在赤铁矿含量高的岩石中。所以不断发现新类型的矿床，就可能会不断增加伴生金的类型。

四、注意与某些矿床伴生的独立金矿

金矿有时与某些矿床如汞、锑矿床和铝土矿矿床等在空间上有伴生关系。

金和汞的原子结构相似，电子排布差别很小，电离势近似，离子半径接近，使金和汞能共同参与金属成矿作用。苏联和其它国家许多研究者都曾指出，金和汞矿床常显示有规律的带状分布，或者金、汞矿化共存于同一个矿床内，汞矿化赋存于较高部位或者叠加在金矿化之上。美国内华达州大金矿带就位于内华达州南北向汞矿带以东，该汞矿带北起麦克德米特，南到蒙哥马利关。1980年美国霍姆斯塔克公司在加利福尼亚州诺克斯维尔汞矿区内，为寻找金矿而有目的地详细研究了该汞矿床，并迅速发现了大型麦克劳林综合性金-汞矿床就是一例。

金矿化与汞矿化时常一起出现，辰砂与金密切伴生，自然金中常含汞，自然汞中也有金。在哥伦比亚和美国的矿床中发现一种含金38.39%，含汞57.4%和含银5%的矿物——金汞膏。也还可能存在一系列矿物相——Au_3Hg，Au_2Hg，AuHg等。所以必须研究汞矿床的矿石，以便查明独立的金-汞矿物和混在自然汞和辰砂中的金；另外，在有汞矿化和汞地球化学晕的地区，应当注意寻找金矿床。在同一剖面中，金的沉积位置很可能要深于汞，也就是说，在汞矿化之下可能发现金矿化。

另外，据报道，澳大利亚大型的博廷顿铝土矿山现已成为澳大利亚最大的产金矿山。金产在与铝土矿伴生的岩系中，是在分析铝土矿钻孔样品时发现的。金品位3—3.5g/t，年产金5.3t，可采15年以上，因而估算其储量至少在80t左右。矿石中金颗粒细（5μm）。该区内有铝土矿金矿和非铝土矿金矿两种。金矿石一般在地表下小于35英尺处，可露采。虽然矿石中粘土含量高，但

可以使用碳浆法提取金。

五、黄金勘查的战略和战术

如同其它矿种的勘查工作一样，黄金的勘查工作也进入了一个新时期。尤其是在地质工作程度较高的国家和地区，已从找地表露头矿转向找隐伏矿、盲矿和难以辨认的矿，找矿难度增大了。在这种形势下，勘查的战略和战术都相应有所变化。战略上，一般以成矿区（带）综合研究为中心进行各种类型金矿的总体勘查，因为在一个成矿区（带）内往往有各种类型金矿床同时聚集，矿床类型不是成矿的本质，而是成矿的表现形式，是区域内不同地质作用的最终结果。从成矿区（带）着眼，把金矿作为地质构造区（带）的一个组成部分来考察，就能够从总体上研究和揭示各种矿产、各种类型、各个矿床之间的固有联系。如美国内华达州大金矿带内，就矿床类型来说，就有卡林型（狭义的）、火山岩中微细浸染型、砂金、斑岩金矿等。战术上，从直接找矿转向理论找矿、信息找矿，强调建立成矿模式和综合信息研究。

建立矿床模式，实质上是调查和总结成矿区（带）内典型矿床的地质特征、形成环境和成矿作用，从而对其区域地质背景、成矿环境、矿床成因、产状及勘查方法取得较深入的认识，从中概括出一些本质性的规律，建立矿床成因模式和勘查模式等来指导找矿。

信息找矿就是把来自各个方面的资料、数据汇总在一起，从中提取出对找矿有用的最佳组合信息来指导找矿。

找矿的信息来源于地质场、地球物理场和地球化学场，由此建立的地质勘查、地球物理勘查和地球化学勘查是现代找矿的三大支柱。虽然它们都具有独立找矿能力，但在当今找矿难度增大的情况下，更强调其信息的综合，对由不同办法取得的数据进

行统一解释，从而形成综合找矿信息、组合找矿标志、有效地指导找矿。

（一）利用矿床模式再次进行找矿

过去勘查工作的“就矿找矿”原则在新形势下应赋予新的涵义，西方学者认为，在新地区用老概念可以找到矿，在老地区用新概念可以找到矿，然而在老地区用老概念却很难找到矿。事实上应用现在不断建立的矿床模式均可在老地区再次进行找矿。

就金矿来说，已建立的矿床模式很多，文献上反映较多的有：以加拿大地盾金矿为典型矿床所建立的太古代绿岩带金矿的成因模式和勘查模式和以与美州西部火山环境有关的贵金属矿床为典型矿床所建立的浅成热液金银矿床的成因模式和勘查模式。

1.太古代绿岩带金矿成矿模式

以加拿大地盾提敏斯地区为例，该区过去和现在生产的矿山都是在1909—1935年期间发现和开发的，此后40多年没有重大的新发现，于是给人的印象似乎是该金矿区已作过很好的勘查，并已接近硐老山空了。但应当指出，过去就矿床成因而进行的地质研究，是以后生成矿模式为指导的，认为该区金矿与酸性侵入体（如珍珠湖斑岩）和断层系统（如波丘潘-德斯托断层）有关。这种后生模式在解释矿床的一些重要特征以及许多矿床成因方面是有严重问题的。

后来D.R.派克提出提敏斯的金矿与超基性蚀变岩流有密切关系，而且可能来源于这些岩流的同生成矿模式。在提敏斯地区，金矿化的关键问题是富含碳酸盐岩石的成因问题，因为所有的矿床都与这些岩石有密切关系。后生成矿模式中，这种岩石被解释为围岩蚀变所致，而且认为是切穿围岩的。但经研究，在提敏斯地区有两个主要的和一个次要的富含碳酸盐岩层，主要由铁白云石和（或）菱镁矿、石英、绿泥石和绢云母组成，厚20—200m

以上；两个主要富含碳酸盐岩层明显是层控的，沿走向可追索15km以上，大多数是与地层整合的；该区所有的金矿床都位于富含碳酸盐的岩石或斑岩中或其附近，矿体大体可分为三类：①与碳酸盐岩层和大斑岩体有关的金矿；②产在含有小斑岩体的碳酸盐岩层主要褶皱构造中的金矿；③沿主要碳酸盐岩层附近局部不整合面分布的金矿。

根据各个矿床详细资料建立的矿床成因模式为：酸性岩的喷发和向高层位的侵入，广泛的喷气活动，使洋底上沿着岩石和水的界面的各种岩石，特别是主要火山（喷气）口附近的各种岩石，发生碳酸盐化。这时，金和其它一些元素首先富集在这些岩石中，在后来发生的区域性绿片岩变质和变形作用期间，原先富集在碳酸盐岩层中的金等元素再活动，进入张裂隙中，以脉的形式沉淀下来。褶皱的鼻部、斑岩的接触带和局部的不整合面是形成含金脉极为有利的场所。

这种同生成矿模式对勘查太古代绿岩带矿床具有指导意义：强烈碳酸盐化的地层单元，极有可能形成金矿，特别是在主要火山（喷气）口地区，这种地区的下伏岩石中可能有石英-长石斑岩体或蚀变角砾岩带存在。

因此在勘查加拿大地盾上太古代绿岩带金矿时特别注意以下六个特征：①超镁铁质岩流；②燧石-碳酸盐沉积物；③广泛蚀变，尤其是碳酸盐化；④有诸如岩株这样的侵入体存在；⑤绿片岩-角闪岩相变质作用；⑥构造变形带。

然而，最近在加拿大地盾上发现的特大型赫姆洛矿床所显示出来的特征与上述模式不大相同，勘查地质学家应该重新考虑传统的规律。用于勘查赫姆洛矿床的模式包括下述准则：

（1）主矿带由一组层控的富黄铁矿的变沉积岩组成；

（2）矿化带厚30—40m，呈席状，含金量均匀，4—16g/t；

（3）金呈自然金产在含黄铁矿片岩中；

（4）金品位不取决于黄铁矿的含量；

（5）容矿岩石中含有肉眼可见的辉钼矿以及辉锑矿、雄黄和浅绿色云母；

（6）矿床显示出明显的层状；

（7）上盘沉积物向下逐渐变化到富辉钼矿硅质片岩，然后变化到混有硅质、重晶石、局部有绢云母的片岩，最后变化到底部低品位的富重晶石带。

因此，以加拿大地盾提敏斯地区为典型矿床所建立起来的太古代绿岩带金矿成矿模式远非能适应其它地区，甚至在加拿大地盾上也并不是完善的。但随着地质资料的积累，相信终究会建立起一个较为完善的矿床模式。

2.浅成热液金银矿床成矿模式

该模式是1981年建立的。由于过去几十年对浅成热液金银矿床的新理解，加上早期广泛的观察与认识，形成了一些新的成因概念，这些概念为寻找、发现和评价金银矿体、矿床和矿区提供了勘查方法和设想。这些概念适用于火山岩中的浅成热液金银矿床，也适用于卡林型金矿。

现在人们认为，浅成热液矿床是在一种地下热水对流体系中形成的。当对流体系周围大量地下水循环到深部火山相岩层或沉积岩时，水逐渐被加热以致于溶解围岩中的金属矿物质、碱性物质、氧化物和硫化物。最后那些经过加热但盐度不高的热液开始沿着裂隙系统向上运移，以充填渗透的方式形成脉状及浸染状等矿体。

该模式的特点是：

（1）矿化产在沉积岩或陆地火山岩中，在这些岩石中，晚期多阶段构造活动形成了作为热液通道的一套裂隙系统。张性构造环境有利于形成所需要的开放空间。典型的马尾构造、翘曲构造等不规则构造是形成有利成矿环境所需要的构造；

（2）围岩中有渗透带与多孔带，它们可接收从断裂系统迁移出来的流体；

（3）与对流地热房有关的近地表低温地质环境，地热房在地表上的表现可能是二氧化硅或低温蚀变效应等；

（4）各种化学作用，包括流体在从热源向外迁移时与围岩的反应；温度降低引起溶解度降低，从而使离子络合，并从溶液中沉淀出金属矿物；液体在近地表处与氧化能力较强的地下水溶液混合；近地表压力降低引起沸腾，形成以气相为主的溶液，溶液上升形成酸性水，产生泥质蚀变带，不规则地覆盖在许多这样的矿床之上，以及矿质沉积后的表生作用，等等；

（5）与复杂的断裂系统、硅化和各种蚀变矿物组合有关的金和银的不规则分布。

大多数金属硫化物出现在热液沸腾线以下，而贵金属矿物却出现在沸腾线以上。另外，随着溶液pH值的升高，溶液从弱酸性向弱碱性过渡。冰长石很快在这种溶液中得到了隐定。这样，在整个脉体中高品位的贵金属与大量冰长石共生。

应用这个模式进行勘查时，观查和研究低pH值的围岩蚀变带是相当重要的。低pH值的蚀变矿物主要有伊利石和蒙脱石等。

（二）化探找金效果好

众多的现代找矿技术在金矿勘查中效果最为明显的要算化探方法。60年代初在美国内华达州发现卡林型金矿主要应归功于化探技术。该区在进行地质和地球化学填图时，通过大量化探取样查明了金及其指示元素砷、汞、锑等异常。尔后依据化探异常打钻验证，第三钻就打到25m，金品位为34g/t的矿体，这就是卡林金矿。它的发现为内华达州产金区增加了一个重要的矿床类型，导致一系列矿床的发现。据称，近10多年，该区所有的金矿床几乎都是用化探方法发现的。50年代中在苏联乌兹别克，根据金矿与

毒砂有密切伴生关系，提出依据砷的地球化学异常找金的方案，发现了包括大型穆龙套金矿在内的一系列金矿床。

通过勘查金矿的指示元素为金、银、汞、锑、砷。苏联有些学者特别强调“依金找金”的问题，提出在地球化学调查的每个阶段都应该测定金。有人对标准土壤、残积物和冰碛物中指示元素的区域平均含量进行过统计（单位ppm），Au通常小于0.005，Ag为0.1—0.5，As—7，Sb—0.7，Hg—0.006。世界著名的金矿床专家R.W.博伊尔认为，当Au含量高于0.01ppm，Ag高于0.7ppm，一些其它指示元素高于上述值2—3倍时，就应引起找矿人员注意找金。

在化探方法应用中近来进展之一是突破十亿分之几（ppb）的分析大关，一些新的灵敏度高的分析方法可以准确地测定过去甚至不被看成是勘查介质的物质中金的异常含量。例如，腐殖质（系指还未转化为土壤成分的森林垫积层）中含金量为25ppb，在有些地方可能相当于背景值的5倍，从而形成巨大的地球化学异常。

使用20年前经典的火试金法分析这些物质可能会分析不出金。这些新方法有可探测限度为1ppb的直流等离子法和中子活化法等。

（三）物探、遥感方法在找金中广泛应用

除化探方法外，其它如物探、遥感等也均在找金中广泛应用。

物探迄今还是一种间接的找金方法，主要因为金在矿床中含量甚少，不能使含金岩石的物理性质发生任何能测量到的变化。所以，物探在找金中，主要作为间接方法来应用，即用它圈出可能与金矿有关的地质构造等。但近来一个值得注意的趋势是越来越多地使用了激发极化法，这种方法在确定黄铁矿型金矿床的位置方面是有效的，由于这类矿床含有浸染状硫化物，它们提供

了很好的找金的目标特征。据最近报道，航空电磁法、地面电阻率法在日本菱刈大型金矿发现中起了重大作用。

苏联某地寻找金矿床的实践表明，利用航天照片选定普查区是有效的，特别是在火山岩广泛发育的地区更为有效。例如苏联某地近地表金和金-银矿化赋存于火山岩中，并且主要产于酸性次火山岩和喷出岩体里，矿体是一些石英脉和网状脉及硅化角砾岩带。推测矿化可能主要产在巨大火山-构造成因构造的边缘，这些构造在地表通常表现为一些洼地，另外，大断裂，特别是隐伏断裂对矿化的空间分布可能也有重要作用。

为弄清该区的控矿构造及查明隐伏的断裂带，从人造地球卫星上所拍摄的1：100万航天照片编制了航天照片略图，并对这种图进行解译，结果查明了大量的线性断裂和环状构造。这些环状构造的直径为5—60km，其中绝大多数在已有的各种比例尺的地质图上均未划出，而是在航天照片略图解译时首次发现的。环状构造在照片上是以细而亮的、偶尔为暗色的条带要素被解译出来的，而这些条带常常与河流和涧溪的谷地一致。在环状构造内部通常分布着次火山岩和喷出岩体，有时还有浅成侵入体。它们很可能与深部岩浆源是一致的，并且可能是火山活动的中心，而它们的环形边界显然是构造裂隙或断裂。

在作出航天照片解译略图之后，将所有已知的原生金矿点标在该图上，结果发现，大约80%的矿点都落在环状构造内，并且大部分集中在直径为25—50km的构造内。金矿点主要位于环状构造的边缘，偶尔也产于它们的中心部分。在解译出的10个直径为25—50km的环状构造中，有7个已证实是含金构造，从而可以认为，在尚未发现金矿化的其它几个环状构造内可能具有含金远景。

为了进行验证，选出一个环状构造，根据直升飞机航空目测，在该构造的火山岩发育区发现了三个含有石英脉的地段，进

行了取样分析，在对来自全部样品的人工重砂进行矿物分析时发现了自然金。随后进行地面普查，完成坑探和刻槽取样，结果又查明一个含石英脉地段。对这四个地段进行初步评价，证明矿化集中在石英脉、网状脉及细脉状硅化带里。

因此，通过航天照片略图的研究及其解译结果与已知金矿床空间分布的对比，可以圈出局部普查区。在所圈定的地区里进行航空目测也证明是很有效的，这种目测可以划分出布置地面普查的具体地段。此外，研究大面积的航天照片略图还有助于查明区域矿化分布的构造规律。

需要特别强调的是在当前找矿工作难度日益增大的情况下，这些找矿方法与地质的密切结合的重要性便显得越来越突出，这种结合通常是以建立地质-地球化学模型和地质-地球物理模型来实现的。这种综合模型是综合各种找矿信息形成的。在国外的矿产勘查活动中，建立各类模型是一项受到普遍重视的任务，这类模型是对成矿环境、成矿机制、矿体在空间和时间上的分布规律和控制因素的辩证综合或抽象图式，是正确选定靶区的依据，也是优选综合勘查方法的指南。

（戴自希编写）

选自《国外地质科技》第一期（1986）