

黄金科技丛书

金银矿产选集

第二集

庆祝黄金情报网成立十周年

冶金工业部黄金情报网
冶金工业部长春黄金研究所

1984.10 一九八四年十月

前 言

为了进一步开展黄金找矿勘探工作和促进黄金地质科研成果的交流。冶金部黄金情报网继续编辑《金银矿产选集》第二集。该《选集》是第一集的继续。内容有金银矿床成因、形态分类、成矿地球物理化学条件及同位素地质的综合论文10篇。《选集》还以主要的篇幅介绍了典型金银矿床地质特征、成矿理论及找矿方向及方法的论文23篇。对进一步研究和在我国寻找不同类型金银矿床具有一定的参考价值。

《选集》的责任编辑由冶金部黄金情报网地质站（吉林省冶金地质勘探公司研究所）杜希明工程师负责。由于水平所限、难免有错误和不当之处，请批评指正。

冶金部黄金情报网

1984年10月

目 录

关于中国金矿成因分类的探讨·····	王鹤年 陈泽铭 (1)
金矿的矿体形态分类·····	王先儒 (7)
我国主要伴生金类型和某些地球化学特征·····	许文渊 (12)
我国卡林型金矿矿物共生组合特征及成矿条件的讨论·····	刘东升 耿文辉 (20)
硅质脉型铀矿与岩浆热液石英脉型金矿的主要共性 & 经济评价意义·····	孙志富 黄志章 李月湘 (26)
晶格金的电子顺磁共振研究·····	易 闻 张振儒 蔡秀成 (31)
金矿研究中矿石铅同位素数据的使用和解释·····	王义文 (35)
岩脉与金矿·····	王化一 (50)
砂金矿与金砂矿生成关系及其利用价值的探讨·····	王文彬 解思源 (56)
华南花岗岩断裂带中热液银金矿床的几个地质问题·····	袁奎荣 梁金城 邓燕华 盛云台 张乐凯 (59)
黑龙江省佳木斯——牡丹江金矿成矿带成矿地质条件及找矿方向·····	邵永恕 李伟实 (66)
吉林五风中低温火山热液型金矿床主要地质特征·····	刘文达 胡连胜 (75)
吉林夹皮沟地区金矿形成的物理化学条件及元素分布规律·····	朱太天 (86)
吉林珲春三道沟砂金矿的矿物成因及其物质来源的研究·····	吴尚全 刘金福 杨翼 (105)
辽宁辽南某些“双峰式”花岗岩与金矿成因的初步研究·····	陈路 (121)
辽宁柏杖子金矿床几个地质问题的探讨·····	张成喜 张惠滨 (131)
山东鲁西太古宙花岗岩——绿岩带及其含金性的初步研究·····	徐光荣 (141)
试论河南内生金矿成因类型及成矿地质条件·····	宋建新 (153)
河南桐柏银洞坡层控型金矿床中金的赋存状态、金属矿物共生状况及矿石结构构造的研究·····	帅德权 张斌 郑明华 林文弟 漆丹志 (162)
河南小秦岭金矿床及其成矿模式·····	曹殿春 王嘉运 (184)
陕西潼关金矿床控矿地质因素与成矿规律·····	陈在劳 (194)
湖北宜昌巴山金矿金矿物产出特征·····	刘陶梅 (208)
安徽铜陵马山金矿床地质特征·····	王秉衡 (214)
论江西砂金矿中的红土化成因·····	张昆生 (230)
论江西赣中震旦系层控金矿床及找矿方向·····	张昆生 (236)

浙江银坑山金银矿床地质特征及成因讨论.....	罗镇宽 胡桂明 关康 (243)
湖南主要类型金矿金及其相关矿物的研究.....	罗献林 (254)
多元统计分析在湖南湘西沃溪金锑钨矿床的应用.....	罗献林 胡庭海 (266)
广西北流望天碛地区金银矿床地质特征.....	于志科 (277)
广西上林镇圩洪坡积红土型砂金矿床锑钙石的成因标型特征.....	钟世新 (286)
云南墨江金厂金矿金的赋存状态与矿床成因探讨.....	岩矿组 (290)
青海松树南沟金矿地质特征.....	赵希钧 (298)
新疆托里县齐依求Ⅰ号金矿地质特征及成矿地质条件分析.....	阎士俊 (305)

关于中国金矿成因分类的探讨

王鹤年 陈泽铭

(南京大学)

矿床是地壳的特殊组成部分，是地质作用的产物。对矿床形成要素的不同观点和认识，就导致不同的矿床成因分类及矿床学的不同理论体系。正确的建立矿床成因分类对了解矿床形成的特征与规律以及指导生产实践都具有重要的意义。

为了建立新的矿床分类，就必须突破旧有的“一元成矿论”，摆脱过去成因分类中的一些老框框；废弃某些陈旧的分类体系；运用现代矿床学研究中的新理论、新资料；根据成矿的主导要素；对矿床成因进行比较合理的科学的分类。

成矿物质及其来源是成矿作用的基础和前提。划分矿床成因类型从本质上一般都是与成矿物质来源相联系的。本文试图以成矿物质来源为基础兼及其他成矿因素提出中国金矿成因分类的方案，以供讨论参考，不当之处敬请批评指正。

本文是在胡受奚教授热情支持和指导下完成的。

一、矿床成因分类的一般原则：

要进行矿床的成因分类，首先要问矿床的成因要素有那些？那些是主要的、决定性的；那些是次要的、从属性的。同时还需要考虑和兼顾到怎样有利于找矿勘探等生产实践。

内生矿床成因要素；成矿产物的来源；成矿溶液的来源及成因；成矿作用机理；矿床形成的大地构造环境；与岩浆作用关系；形成的物理化学条件（深度或压力，温度等）；成矿的方式；矿石建造；蚀变作用等。

这些成因要素中，具决定性意义是成矿物质来源，成矿溶液的来源和成因。及成矿机制。

1、内生矿床成矿物质来源问题是矿床学最基本最本质的问题之一。随着问题研究的深入，必然反映到内生矿床成矿理论假说和矿床成因分类方面来。

本世纪早期W.林格伦提出的成因分类学说，其理论基础就是成矿物质来自岩浆（大岩基），他以温度为标准，兼及深度和距岩浆母体的远近，分为岩浆、伟晶、气成高温热液、中低温热液、远温矿床完整的矿床成因系列。

由于地壳、上地幔研究工作的深入，稳定同位素地球化学的进展，推动了矿床学这一基本理论问题的发展。成矿物质来源从推论变得较有科学依据，因而对内生矿床成矿物质来源有了新的认识。据现有资料主要来源有三：

① 来自上地幔及其各种分熔产物、成矿与超基性、基性、中性及碱性岩石成因联系；

② 来自地壳硅铝层。成矿与混合岩化、花岗岩化或重熔作用有关；

③ 矿质来自有地下水活动的围岩中。与火成岩无关的各种热液有关。如深部环流作用的地下水溶液。

2、成矿溶液的来源及成因

成矿溶液常常是多组分体系，其来源是多途径的，类型是多种的，而且不同来源和成因的溶液常互相掺合混杂。研究矿床成因，划分成因类型，必须考虑成矿液溶的来源、成因这一重要因素。

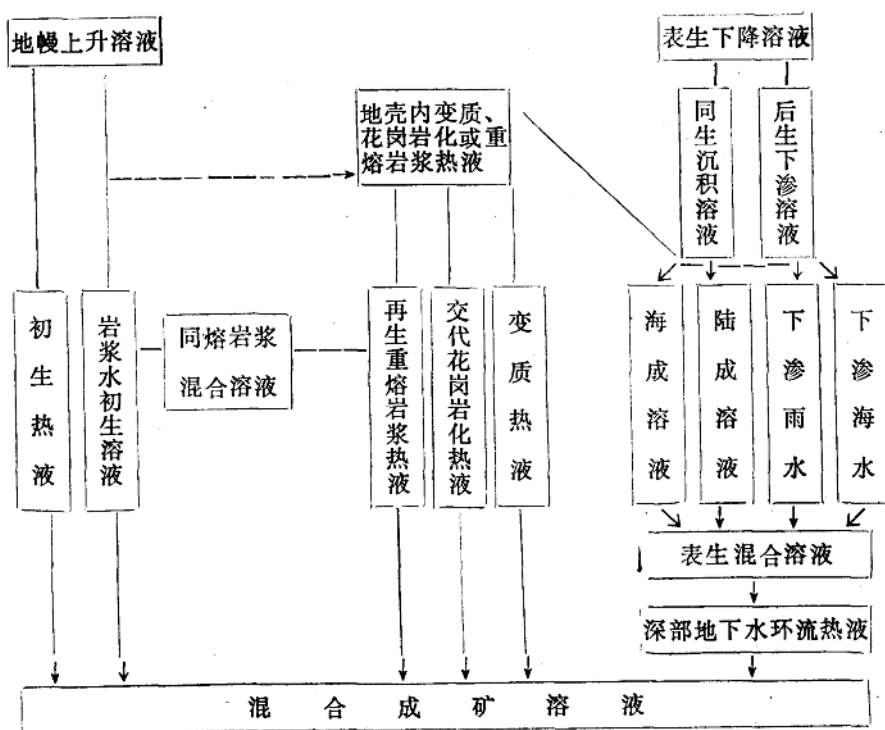
成矿溶液：（或热水溶液）的成因或来源主要可以分为三大类：

（1）表生下降溶液：①同生沉积溶液；②后生（主要雨水）下渗溶液。

（2）变质溶液、花岗岩化溶液或重熔岩浆热液

（3）地幔上升初生水及岩浆热液。

成矿液溶的来源与成因分类及其关系如图 1；



3、矿床的成矿机制

近年来火山作用与成矿关系，不同成因系列花岗岩类与成矿作用关系的研究取得显著成果。层控矿床研究的巨大成就，解决了一些长期争论的某些矿床的成因。说明了内生矿床的成因往往是复杂的多种成矿作用的综合产物，具多成因特征。如某些矿床可以

历沉积、变质、热液迭加等复杂成矿过程。因此，讨论矿床成因，进行成因分类时必须研究和综合矿床的形成机制，找出主要的、决定性成因因素才能进行恰当的分类。

众所周知，许多金矿与绿岩带有关。层控矿床在金矿成因类型中占据重要位置。

层控矿床是国际矿床学界近年来讨论最热烈的问题之一。涂光炽教授指出“层控矿床是指那些受一定地层层位（因而也是岩性）控制的矿床，但不包括典型的沉积矿床，也不包括产于层状侵入体中的矿床。它主要包括沉积后受到不同程度表生氧化，或深部改造、或变质作用、或岩浆气液作用迭加等；或这些作用（不是全部）的综合形成的矿床也包括一些受一定层位控制而成矿物质来源与岩浆活动没有明显联系的后成矿床”。因而，层控矿床实质上是多成因矿床。

由于我国许多地区地质历史上地壳运动具多旋回特征。中—新生代岩浆活动也十分剧烈，因而，早期形成的沉积（火山—沉积）矿床往往受到不同方式的改造迭加，形成层控矿床，如沉积—表生改造、沉积—变质、沉积—变质热液、沉积—混合岩化热液、沉积—岩浆热液迭加及后成矿床等矿床类型。

因此，成因分类应尽可能反映层控矿床理论最新成果。

二、关于中国金矿床成因分类方案及说明

我国金矿床种类繁多，新类型不断涌现，不少矿床。特别是内生矿床成因复杂，具有多来源、多成因以及多期阶段成矿作用的特点。对于这样复杂现象，要找出金矿床之间的共性和差异性，进行合理的、科学分类，必须在矿床的成因诸要素中，找出主要的、决定性的要素为分类之纲。那些次要的、从属的要素作为区别矿床类型及亚类的依据。

1、中国金矿成因分类方案

在分析矿床成因诸要素后，我们提出按金矿成矿物质来源为基础兼及成矿溶液来源和成矿机制等的原则，进行分类。分类的方案如表1：

这种分类方案我们认为有如下优点：

在理论上，它反映了矿床学基本理论问题研究的最新成就。这些理论包括①成矿物质的来源问题；②成矿溶液的来源及成因问题；③层控矿床的成因及机理问题。

这一分类方案也反映了中国金矿成因特点—多成因，多来源的特点。

在实践上，有利于成矿预测和找矿勘探工作。因为：

（1）成矿物质来源与大地构造地槽、地台学说，与板块构造学说有不可分割的关系。

如果成矿物质来自地幔，一般均与优地槽演化早阶段火山—沉积作用有关；或者与地台及其边缘深断裂，或断裂拗陷带有关。

与同熔岩浆有关的安山岩带，一般与板块俯冲带有关的岛弧及活动大陆边缘有关。

（2）成矿物质来源与岩浆建造有一定联系：

来自地幔的—与基性—超基性岩有关；

来自地壳的—与花岗岩化、再生岩浆有关；

混合来源的—与安山岩浆有关。

（3）按成矿物质来源分类，必须考虑层控矿床的矿源层性质。

（4）这种分类在表明某些矿床多成因来源的同时，还体现了其主要的成因及来源。

表1 中国金矿床

成矿作用	成矿系列	成因类型	矿床类型	构造部位
内生 (包括变质作用)作用	I 幔源系列	幔源型金矿床	1、含金岩浆熔离铜镍硫化物矿床 2、含金黄铁矿型多金属矿床 3、火山沉积—热液迭加含金铜黄铁矿型矿床	地台区或其边缘 优地槽区 断裂拗陷带
	II 壳源系列	沉积变质(热液再造)型金矿床(Ia)	4、含金(铀)变质砾岩矿床(部分矿体) 5、含铁硅质岩金矿床(Au—Fe建造)	地台边缘沉降带或拗陷区 地台隆起边缘
		变质热液型金矿床(IIb)	6、变质热液石英脉型金矿床 7、火山沉积—变质岩系中炭质层控制的金矿床。	地台隆起地槽基底隆起边缘 地台或元古代褶皱带
		混合岩化热液型金矿床(IIc)	8、混合岩化热液石英脉型金矿床 9、破碎带蚀变岩型金矿床	地台隆起区断裂带
		再生重熔岩浆热液型金矿床(II d)	10、花岗岩石英脉型金矿床 11、含金砂卡岩型多金属矿床(沉积热液迭加型金矿床)	褶皱带及断陷带 褶皱带及断陷带
外生作用	III 源混合系列	地下水环流作用型金矿床(II e)	12、碳酸盐岩层中脉状浸染型金矿床 13、砂质岩(碎屑岩)浸染型金矿床	地槽基底隆起边缘拗陷区 断裂拗陷盆地
		同熔岩浆热液型金矿床	14、斑岩型金—铜矿床 15、与火山—一次火山岩有关的银—金矿床	断拗盆地边缘、深大断裂带中新生代火山岩分布区 同上
		风化壳型金矿床	16、含金金属硫化物矿床氧化帽	
		机械沉积型金矿床(包括古代砂矿)	17、残—坡积砂矿床 18、冲积砂矿 19、冰碛砂矿	

因而这种分类方案表明了矿床成因的构造、岩浆、矿源层等地质特征。易于掌握矿床的区域成矿规律，确定找矿先决条件，有利于成矿预测及找矿、勘探工作。

2、分类原则及说明

(1) 首先根据成矿物质来源将金矿床分为三个成矿系列。我们拟定的中国内生金矿成因模式示意图如图1。

I、幔源系列：成矿物质来自地幔的矿床，是指由地幔物质分熔作用形成的幔源岩浆，在其喷发或侵入作用下直接形成的矿床。后期改造、迭加仅是次要的作用。

II、壳源系列：成矿物质来自地壳形成的矿床，要主要是指基底原始矿源层—绿岩带和基底衍生矿源层经区域变质、混合岩化花岗岩化作用、再生岩浆热液作用以及地下水环流作用的改造或迭加形成的层控矿床。

绿岩是太古代、部分元古代富镁质科马提岩及中酸性火山喷发—沉积岩组成。这些岩石中金的背景含量较高，是金矿形成的有利的原始矿源层。世界和我国75~80%的金矿均与绿岩带有关。经过表生迁移，可以形成基底衍生矿源层和上层衍生矿源层。

III、混合系列：是指成矿物质来自地幔分熔产物，基性—超基性岩浆，或洋壳在俯

成因分类表

成矿围岩	成矿机理及方式	矿床规模	矿床实例
基性—超基性杂岩体 细碧角斑岩 碳酸盐岩层中, 中酸性火山凝灰岩碎屑岩与晚期岩体接触带	岩浆熔离作用 海相火山沉积热液交代 海相火山沉积热液迭加	大型 大型 中—大型	甘肃: 金川 甘肃: 白银厂 安徽: 新桥马山
变质砾岩 含铁硅质岩	层控沉积变质(热液)再造 层控火山沉积变质(热液)再造	矿点—大型 小型—矿点	山西: 古潭沟 黑龙江: 东风山 山西: 袁家村
绿岩、混合岩 含炭质凝灰质变质砂岩千枚岩	变质热液、混合岩化作用 热液充填交代 层控火山沉积变质热液再造	大型 大型—矿点	吉林: 夹皮沟 河南: 小秦岭 辽宁: 四道沟 河南: 围山
混合岩混合花岗岩及混合岩化绿岩 同上	混合岩化热液充填交代 混合岩化热液交代	大型 中大型 大型	山东: 玲珑 河南: 小秦岭 山东: 焦家
花岗岩类 花岗闪长岩、大理岩	再生分熔岩浆热液作用 再生岩浆热液作用	中小型 中型—大型	广西: 大宁 湖南: 水口山 湖南: 石峡 云南: 金厂
灰岩白云岩、大理岩、碎屑岩 石英岩	层控地下水环流溶滤再造 层控地下水溶滤再造	中型—矿点 大型	江西: 德兴 黑龙江: 团结沟 浙江: 龙泉
花岗斑岩、流纹斑岩、花岗闪长斑岩	深源浅成侵入岩浆热液交代作用 火山热液交代	大型 中型	湖南: 浏阳
铁帽	氧化残留及次生富集作用	中小型	湖南: 浏阳
松散碎屑物 松散或固结、半结固的砾石、砂砾、粘土 冰川堆积物或冰积层	表生风化作用 风化剥蚀机械迁移与沉积 冰川作用迁移堆积	小型 大型—矿点 小型	湖南: 桂林大坊 云南: 老金山 黑龙江: 桦南 青海: 大场

冲带分熔而成的中酸性岩浆, 在上升过程中和地壳物质产生同熔作用形成的同熔岩浆, 并且在地壳中得到其它成因的热液及成矿物质而形成的矿床。

(2) 根据成矿溶液的来源和成因, 结合矿床机制划分出不同的成因类型。壳源系列的层控矿床, 经不同成因的成矿溶液作用, 经历各种改造和迭加作用, 可以分为沉积(或火山沉积)—变质(热液再造)金矿, 变质热液金矿、混合岩化热液金矿, 再生岩浆热液金矿及地下环流再造金矿等成因类型。

(3) 根据其它的成因要素: 含矿建造、矿石建造、特征性元素组合及构造特征等划分不同的矿床类型。

含矿建造: 是指金矿赋存在其中的一套地层或岩石。它是这些矿床及矿石的特征。金矿赋存的层位也部分反映了金矿形成的条件、矿床成因以及成矿物质来源。

矿石建造: 是指组成矿石的特征性矿物组合。各种类型金矿床, 常有它的特征矿石建造, 如铜—黄铁矿建造, 金—石英建造, 金—银建造等。

成矿的构造特征有区域性的如断裂拗陷带; 有矿区的如破碎带。

金矿的矿体形态分类

王先儒

(冶金部长春黄金研究所)

矿体形态对地质勘探和矿床开采有着重要的意义,特别是金矿矿体的形态各异和变化多端,对它作充分研究将是提高勘探效果,最大程度利用金矿资源和降低贫化所必须。但对金矿体的研究,在我国还没有见到有专门的论著,只是在有关勘探方法,矿床学及有关规范中略提几句矿体形态类别,及说一下矿体形态对确定勘探类型及勘探网度的意义。因为对矿体形态没有科学的分类原则,即没有共同遵守的矿体形态分类标准,所以对矿体形态的分类和称谓比较混乱。为适应金矿勘探和生产发展的需要,根据我国黄金矿床的特点,有必要探讨和制订一套符合我国金矿床情况的,金矿矿体形态分类原则、标准和方法。

苏联曾作过具体矿床矿体分类的尝试。如Г·В·托赫图耶夫及В·М·卡托克,曾著文介绍克里沃罗格矿区矿体形态的工作经验。托氏的矿体形态分类可取之处,在于坚持统一的矿体形态分类原则和标志—先以矿体的长度、矿体最大厚度及倾伏深度,相互间的不同比值,再考虑矿体的复杂性综合指数数据,用这两组因素数字把矿体分成若干类型。因托氏的矿体形态分类是从研究一个矿区矿体形态经验的形式提出的,局限性是难免的。诸如类型划分的不细;矿体外形模数计算所选用的规则几何图形不尽合理;以厚度变化系数反映矿体形态的变化程度,不近科学等。

综合考虑我国金矿床的实际情况——控矿构造多变,成因类型繁多及形态复杂等特点,汲取托氏矿体形态分类的优点,结合我国矿体形态称谓习惯提出我们的金矿床矿体形态分类表。

金矿体形态类别表

矿体长度与最大厚度之比 ($L:M_{max}$)	矿体倾伏深度同长度之比 ($H:L$)	矿体基本形态类别	矿体形态名称	矿体形态复杂性综合指标 (F)
$\geq 10:1$	$\geq 3:1$	似碑状	简单的似碑状金矿体	≥ 1
			复杂的似碑状金矿体	$< 1 \sim 0.63$
			极复杂的似碑状金矿体	< 0.63
$\geq 10:1$	$3:1 \sim 1:3$	脉状或层状	简单的脉状(或层状)金矿体	≥ 1
			复杂的脉状(或层状)金矿体	$< 1 \sim \geq 0.63$
			极复杂的脉状(或层状)金矿体	< 0.63
$\geq 10:1$	$\leq 1:3$	条带状	简单的条带状金矿体	≥ 1
			复杂的条带状金矿体	$< 1 \sim \geq 0.63$
			极复杂状条带状金矿体	< 0.63

续表

矿体长度与最大厚度之比 ($L:Mm_{\alpha x}$)	矿体倾状深度同长度之比 ($H:L$)	矿体基本形态类别	矿体形态名称	矿体形态复杂性综合指标 (F)
$\geq 10:1$	任意的	褶皱~层状	简单的褶皱~层状金矿体	≥ 1
			复杂的褶皱~层状金矿体	$< 1 \sim \geq 0.63$
			极复杂的褶皱~层状金矿体	< 0.63
$10:1 \sim 3:1$	$\geq 3:1$	柱状	简单的柱状金矿体	≥ 1
			复杂的柱状金矿体	$< 1 \sim \geq 0.63$
			极复杂的柱状金矿体	< 0.63
$10:1 \sim 3:1$	$< 3:1$	透镜状	简单的透镜状金矿体	≥ 1
			复杂的透镜状金矿体	$< 1 \sim \geq 0.63$
			极复杂的透镜状金矿体	< 0.63
$< 3:1$	$\geq 3:1$	筒状	简单的筒状金矿体	≥ 1
			复杂的筒状金矿体	$< 1 \sim \geq 0.63$
			极复杂的筒状金矿体	< 0.63
$< 3:1$	$< 3:1$	瘤状	简单的瘤状金矿体	≥ 1
			复杂的瘤状金矿体	$< 1 \sim \geq 0.63$
			极复杂的瘤状金矿体	< 0.63

一、金矿矿体形态基本类型

任何物体的形态，从总的来看是从三维空间尺寸大小的相对比例不同相互区别开的。如球体、立方体、长方体、柱状体、板状体和片状体等。矿体的三维空间常表示为，矿体的长度矿体的厚度和矿体的倾伏深度。只考虑它们三者的不同比值，并不考虑矿体的大小规模、矿床成因和矿石构造等因素。将矿体分为若干形态类型，并贯以习惯的名称——如脉状矿体、层状矿体、条带状矿体、柱状矿体、透镜状矿体、筒状矿体和瘤状矿体等。这样便于确定和应用，也能尽快地在黄金矿床的勘探、生产、科研和设计部门形成统一概念和有共同语言。

我国内生金矿床，以长度与厚度之比值大（佔且用展率大一词概之）的为多，由此长期以来把内生金矿床概称为脉金矿床。实际上这是一种误称，这一点现已由即将公布的山金勘探规范所纠正。再进一步分析，以脉状概括展率大的金矿体也不完全合适，因为展率大的矿体中，倾伏深度的相对大小还有不同。由此分析以脉状体概括不了内生金矿矿体形态，用它概括展率大的金矿矿体也不尽合适。只有具体的综合的分析矿体的长度、倾状深度和最大厚度三者的比例关系，划分金矿矿体形态的基本类型才合适如：

——大展率、大延率（倾伏深度：长度）矿体的几何图形化后，酷似竖立的石碑，我们以似碑状矿体概之。

——大展率、矿体的延深和展长近等的矿体，称为脉状矿体和层状矿体。脉状体和层状体的区别在于，与围岩层理构造的关系和矿体的产状性质。

——大展率，而延率很小的矿体，谓条带状矿体。

——大展率，矿体沿倾向、沿走向的变化与地层的褶皱起伏大体一致的矿体，谓褶皱一层状矿体。

- 展率中等，而延率大的矿体称柱状矿体。
- 展率中等，纵剖面上呈近等轴状的矿体称透镜状矿体。
- 在平面各方向的尺寸近同，而延率大的矿体称筒状矿体。
- 三维空间尺寸接近的矿体，称瘤状矿体。

二、金矿体形态复杂程度及在分类中的应用

矿体形态的复杂程度，对勘探工程摆布形式，勘探手段的选择、采矿方法以及利用程度也有重大作用，由此依矿体复杂程度也作为矿体类型划分因素，也有实际意义。影响矿体形态复杂程度的因素很多，首先是矿体的控矿及容矿构造特点及性质。其它还有矿体规模大小，容矿岩性，矿体圈定时所用工业指标的高低、矿体圈定方法以及勘探程度等。一般来说规模大的矿体形态较简单，规模小的矿体矿体形态较复杂；受高级构造控制的比受低级构造控制的矿体形态较简单；以充填形式形成的矿体形态较简单，以交代形式形成的矿体较复杂；工程少控制稀疏所圈定的矿体形态似为简单；同一矿体，圈定所用的矿块平均品位和边界品位指标高时，所圈定的矿体形态复杂程度也高，工业指标低时所圈定的矿体形态的复杂程度也趋于简单。

矿体也和其他物体一样，其形态复杂程度可从三方面研究对比。一是物体的表面积，物体的表面积如与标形物体的表面积的差异及其对比；二是物体在三维空间中尺寸的变化；三是物体的连续性，即是否有部分缺损及其缺损相对多少。

研究物体表面积的相对大小及其变化，通常的情况下，是由规则的几何图形的表面积和实际物体表面积之比。所得数字称谓外形模数，借以反映物体外形的复杂程度。外形模数接近一时说明其外形与标形近似，其外形形态简单，物体表面积越大外形模数越小，其外形复杂程度也越大。

对矿体表面积不能通过直接测量的方法获得。方便的办法是以线代面，在矿体剖面或（和）平面图上进行。其次要解决的问题，是几何化图形的选择问题。我们认为其选择原则，是尽量与矿体在断面上或平面上的图形近似为好，当然所选择的图形不能是任意的，应对各种形态的矿体基本上都适用。托氏选用的规则化的图形是长方形，我们认为选用菱形更合适。因为：①在绝大多数情况下，矿体的最大厚度位于矿体的中间部位，并且常向上下盘两方面膨胀。所以以菱形几何图形作为对比“模特”在最多的情况下符合或相当矿体形态客观实际。②两垂线所构成的平面图形为菱形时，其外边界线长度最短，由此计算所得到的矿体外形模数永远小于1。③计算公式简单，每个剖面上矿体外形模数按下列公式（1）计算。

$$M_k = \frac{2\sqrt{L^2 + M^2 m_{ax}}}{L_k} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- M_k —— 矿体的外形模数；
- L —— 矿体在平面上或剖面上的长度；
- M_{max} —— 矿体在平面上或剖面上的最大厚度；
- L_k —— 矿体在平面上或剖面上边界实际长度。

矿体的外形模数与矿体的外形规则程度成反比。矿体的外形边界线与矿体几何化菱形图形相同时, M_k 等于 1。据统计 M_k 小于 0.7 以下时矿体外形趋于复杂。

矿体三维空间尺寸变化的最佳研究测量部位是矿体的厚度, 矿体厚度变化的基本特性之一是呈一定方向性的变化, 即在多数情况下, 矿体厚度表现有一定程度的稳定性, 亦即矿体某处所呈现的厚度在空间上与之相邻处矿体厚度有一定的相联性。由此以随机性原理及其方法, 所计算的厚度变化系数, 是不能反映矿体厚度变化的实质, 更不能恰当的反映矿体形态的复杂程度。所以用厚度变化系数作为一个参数, 参加矿体形态复杂综合指标计算, 显然是不妥当的。到目前为止, 还没有成熟的, 既能反映矿体厚度变化性质又能反映厚度变化程度的, 符合矿体厚度变化客观实际的计算公式和方法。但我们认为利用数理统计学中时间性变化序列的原理和方法, 来解决这一问题看来是有前途的。因为时间序列的研究不仅其数值大小起作用, 而且其出现的顺序也起作用。矿体厚度变化的标准递差及标准递差系数, 用公式 (2) 和 (3) 计算。

$$S = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{2(n-1)}} \dots\dots\dots (2)$$

$$V_s = \frac{S}{\bar{M}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- S —— 标准递差
- Δ^2 —— 相邻工程矿体测量厚度之差
- n —— 矿体厚度测量次数
- V_s —— 标准递差系数
- $\bar{M}$ —— 矿体平均厚度

由公式 (2) 和 (3) 所计算得来的标准递差系数, 简单的讲系决定于矿体相邻工程中矿体厚度的平均递差 (Δ^2) 和矿体平均厚度两个数字, 即矿体厚度标准递差系数为相邻工程矿体厚度之平均递差与矿体平均厚度平方之比。其数学关系也可表示为

$$V_s = \frac{\sqrt{\Delta^2}}{\bar{M}}, \quad \text{或} \quad V_s = \frac{\Delta^2}{\bar{M}^2}$$

V_s 的最大极限为 1, 最小极限趋于零。经初步统计 $\Delta^2 : \bar{M}$ 大于 1 : 5 时, 即 $V_s > 0.1$ 以上时, 金矿体变化趋于复杂。

矿体的连续性一般在矿体纵剖面投影图上进行, 由矿块的面积, 与包括无矿包体在内的整个面积之比, 得出矿体连续性变化系数, 用公式 (4) 计算。

$$K_c = \frac{S_p}{S_o} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- K_c —— 矿体连续性系数
- S_p —— 纵剖面上矿体投影面积
- S_o —— 包括无矿地段在内的矿体投影面积

矿体的连续性越好时，其连续性系数越大，其极限值为1，据统计 K_c 小于 0.9 以下时矿体趋于复杂。

矿体的复杂程度，用矿体形态复杂性综合指标来体现。为了对比应用方便起见，再乘以常数为好。其计算公式如下所列。

$$F = \kappa \cdot \frac{V_s}{M_k \cdot K_c} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

F ——矿体形态复杂性综合指标

V_s 、 M_k 、 K_c 同前。

矿体的复杂程度既然可以由矿体复杂性综合指标所表示，那么以 F 的大小去划分矿体复杂程度类型就是可行的了。需要确定的只是复杂程度分类界限，我们提出如下数字，作为分别简单矿体，复杂矿体和极复杂矿体的界限，供研究讨论。

$F \geq 1$ 时为极复杂的矿体类型

$1 > F \geq 0.63$ 时为复杂的矿体类型；

$F < 0.63$ 时为简单的矿体类型。

1 和 0.63 的确定并无太充分的根据，只能大体上反应，当 $F \geq 1$ 时，三种因素趋于复杂类型， $F < 0.63$ 时，其中三种因素都属不复杂范畴。

$$F = \kappa \cdot \frac{V_s}{M_k \cdot K_c} = 6.3 \times \frac{0.1}{0.7 \times 0.9} = 1$$

$$F = \kappa \cdot \frac{V_s}{M_k \cdot K_c} = 6.3 \times \frac{0.1}{1 \times 1} = 0.63$$

我国主要伴生金类型和某些地球化学特征

许 文 渊

(冶金部地质研究所)

收稿日期

我国伴生金类型多、储量大、回收简便，在黄金生产中占有重要地位。但品位低，类型杂，仅作为付产品在各级精矿中顺便回收，对其地质特征和赋存状态的研究，长期以来未引起足够的重视。本文所谈伴生金系指含金低于边界品位 (3g/T) 的矿床，不含砂矿伴生金。

一、我国伴生金及其矿床类型

七十年代以来，黄金价格猛涨，世界各国大抓黄金的勘探和生产，对伴生金的工作日益引起重视。除南非外，许多重要产金国的伴生金生产，都占重要比例 (见表1)。这些伴生金主要来自各种铜矿石，特别是斑岩铜矿 (美国、菲律宾、巴布亚新几内亚、澳大利亚)，其次是含铜黄铁矿、硫化铜镍矿、铅锌矿 (苏联、加拿大和日本)。

表1 某些国家伴生金的产量

国 家	伴生金年产量 (T)	占本国金总产量 %	国 家	伴生金年产量 (T)	占 本 国 金 总 产 量 %
苏联 (2)*	48	11.7	加拿大 (3)	12.7	25.2
巴布亚新几内亚 (6)	17.9	100	菲律宾 (9)	10	62.1
美国 (4)	13	40.1	澳大利亚 (5)	8.2	59

* 括号内数字为世界金产量排位名次，第一位为南非。

我国伴生金储量，几乎占全国金储量的一半，据我们统计，截止80年底为45.58%，比74年统计的43.6%略有增加 (见表2)。这些伴生金主要分布在长江中下游和西北地区，其中江西占全国伴生金的42.3%，甘肃12.7%，湖北12.2%，青海10.4%，安徽8%，五省总和为85.6%。

我国每年综合回收的伴生金约占总产量的1/3，主要通过铜精砂、铅精砂和锌精砂的冶炼来回收。硫精砂的金，虽在酸渣中有相对的富集，但目前只处于实验阶段。与国外相比，很少辅以单独选矿回收流程。

表2 我国伴生金储量比率

金矿类型	至80年底 (%)	74年以前 (%)
脉金	43.54	46.9
砂金	10.85	9.5
伴生金	45.58	43.6

我国主要伴生金类型，依矿床成因主要分为五类：岩浆熔离型，砂卡岩型、斑岩型、热液型和火山岩型；次要的尚有某些沉积矿床、变质矿床等。目前生产回收的伴生金以砂卡岩型铜（铁）矿为主，其次为斑岩铜矿床，铅锌矿床。各类矿床伴生金的品位、规模等特征见表3。表中各类比率为1976年统计资料，随着斑岩铜矿勘探的深入，该类伴生金的储量不断增长。

二、各类伴生金的某些地球化学特征

（一）硫化铜镍矿床伴生金

此类矿床含金普遍，但品位不高， Ag/Au 比值较低。国外如肖德贝里、苏联诺里尔斯克，南非布斯韦尔德等矿床，国内主要有：金川含 Au 0.06—0.2 g/T，红旗岭 0.47 g/T，金平白马寨 0.07—0.12 g/T，力马河 0.2—0.45 g/T，内蒙黄花推 <0.2—1.4 g/T。

金主要以银金矿形式存在于各种硫化物中，其品位明显依赖于 Cu (Ni) 主金属含量；铜镍富矿石金高，表外矿金低，块状矿石金高，浸染状矿石金低，多数有较高的 Cu/Ni 比值；在矿物组合上，与晚期的方黄铜矿—黄铜矿—磁铁矿—（方铅矿、闪锌矿）组合关系比与早期的磁铁矿—镍黄铁矿—紫硫镍铁矿的组合关系密切，当矿石中有多期迭加，特别是黄铜矿出现，往往有利于金的富集，这可能与 Au 、 Cu 同为晚期沉淀有关。金的矿化还与岩浆熔离类型有关，一般是，晚期岩浆熔离矿床和残余岩浆熔离矿床普遍含金和铂族，而深部熔离矿床（如吉林 401 区），其金等贵金属的含量很低，前者蚀变作用和交代作用均较发育。

在熔离矿床中，苏联发现了与斜长岩有关的钒钛磁铁矿床也伴生有金，目前正试验从选铁尾矿中回收。我国渡口钒钛磁铁矿床，经鉴定伴生金较微，其他地区尚待检查。

（二）砂卡岩 Cu 、(Mo 、 S 、 Pb 、 Zn) 矿床伴生金

此类矿床包括砂卡岩 Cu 矿、 $Cu(Fe)$ 矿、 $Cu—Mo$ 矿、 $Cu—S$ 矿及 $Cu—Pb—Zn$ 矿床。是我国伴生金回收最主要类型。广泛分布于长江中下游，其次是东北、华北、西北等地。该类矿床含金普遍，品位较高。主要矿床有：单一 Cu 矿床—铜陵狮子山 (0.92 g/T)、凤凰山 (0.63 g/T)、铜山 (0.58 g/T)、鄂东鸡笼山 (0.82—1.98 g/T)、叶花香 (0.5—1.68 g/T)、山西刁泉 (0.41 g/T)、江苏伏牛山 (0.4 g/T)； $Cu(Fe)$ 矿床—铜官山 (0.56 g/T)、滁县 (0.34—0.47 g/T)、铜录山 (0.1—1.49 g/T)； $Cu—Mo$ 矿床—金口岭 (0.24—3.08 g/T)、笔山 (0.12 g/T)、鄂东李家湾 (0.82 g/T)，