

中国层控矿床 地球化学

第一卷

涂光炽等著

科学出版社

中国层控矿床地球化学

第一卷

涂光炯 等著

科学出版社

1984

内 容 简 介

《中国层控矿床地球化学》是我国层控矿床研究的第一部专著,将分多卷陆续出版。本书为该专著的第一卷,介绍了层控矿床的含义和概念、兴起与发展、名词解释以及形成方式;讨论了我国层控铅锌、菱铁多金属矿、金、汞、铋、铀、铜等矿床的地质地球化学特征及形成机理;综合论述了我国层控矿床的沉积环境,同位素组成及元素组合;总结了我国层控矿床的形成特点。该专著的第二卷将于1985年出版,内容包括我国层控钨、银、钼、锡、重晶石、萤石、水晶、砷、冰洲石、硫铁矿、砷等金属和非金属层控矿床的地质地球化学研究结果。第三卷讨论层控矿床的矿源层,各种改造矿床的形成机理,有机质的作用,沉积改造矿床与油气矿床的对比,成矿的热力学分析,变质,混合岩化层控矿床,层控矿床的时空分布等方面的研究成果。预计1986年出版。该专著内容丰富,观点明确,系统性强。它对从事矿床学、地球化学工作的研究人员和找矿勘探人员以及高等院校的地质、地球化学、地理等专业的师生均有重要的参考价值。

中国层控矿床地球化学

第 一 卷

涂光炽 等著

责任编辑 苏宗伟 衣晓云

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

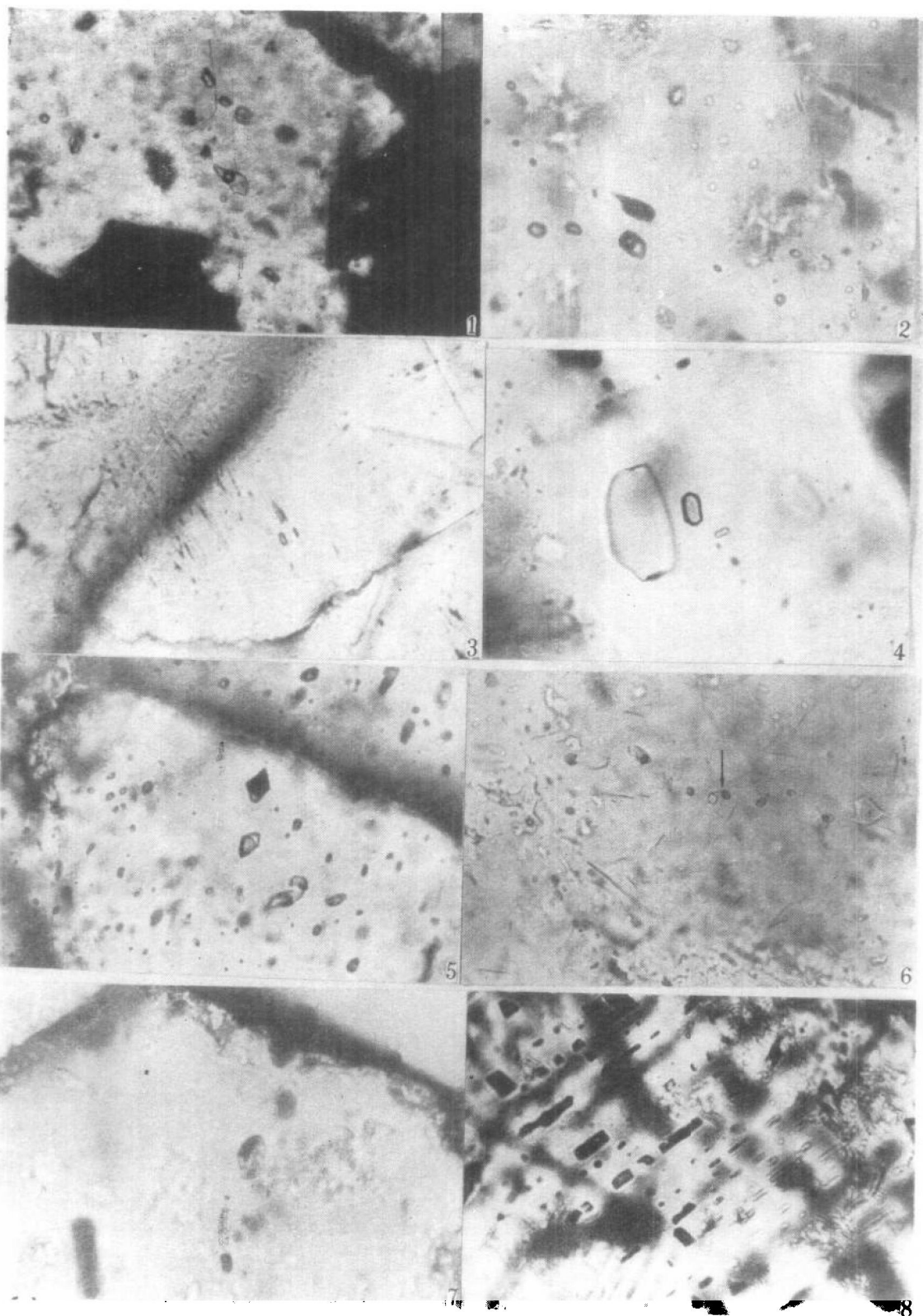
*

1984年4月第一版	开本: 787×1092 1/16
1984年4月第一次印刷	印张: 22 1/2
印数: 精1—1,750	插页: 精7 平5
平1—1,920	字数: 525,000

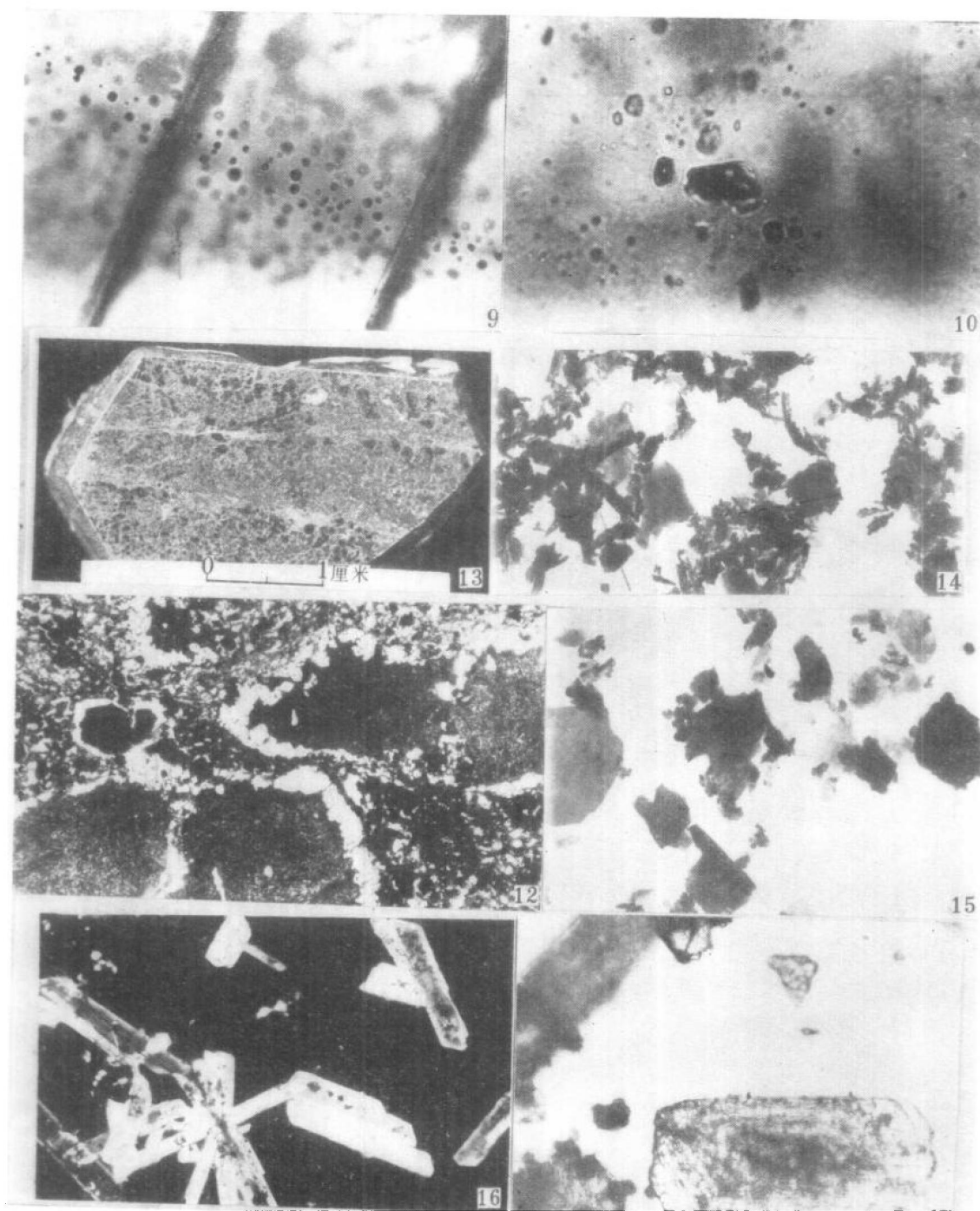
统一书号: 13031·2540

本社书号: 3481·13—14

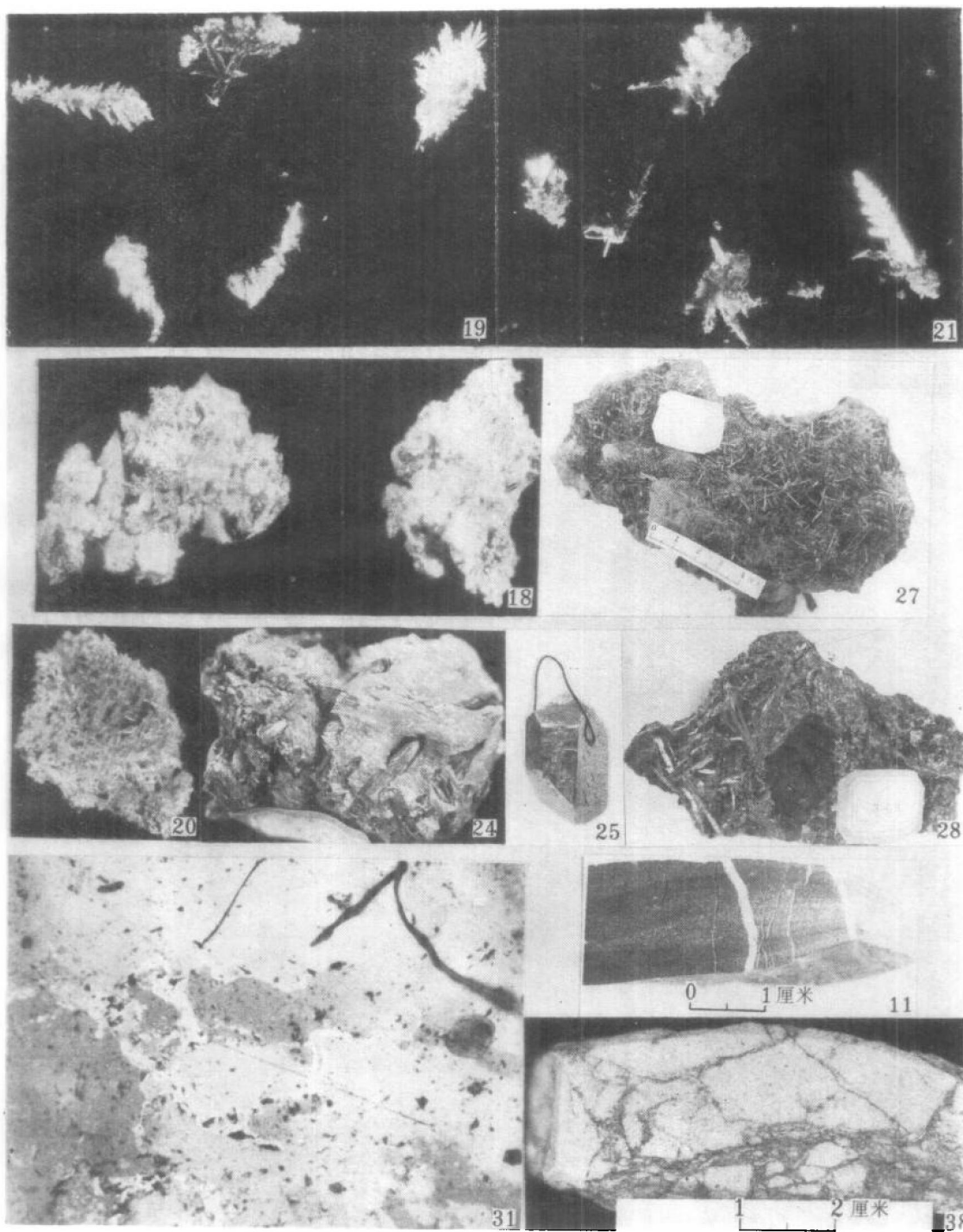
定价: 布脊精装 4.90 元
平 装 3.90 元



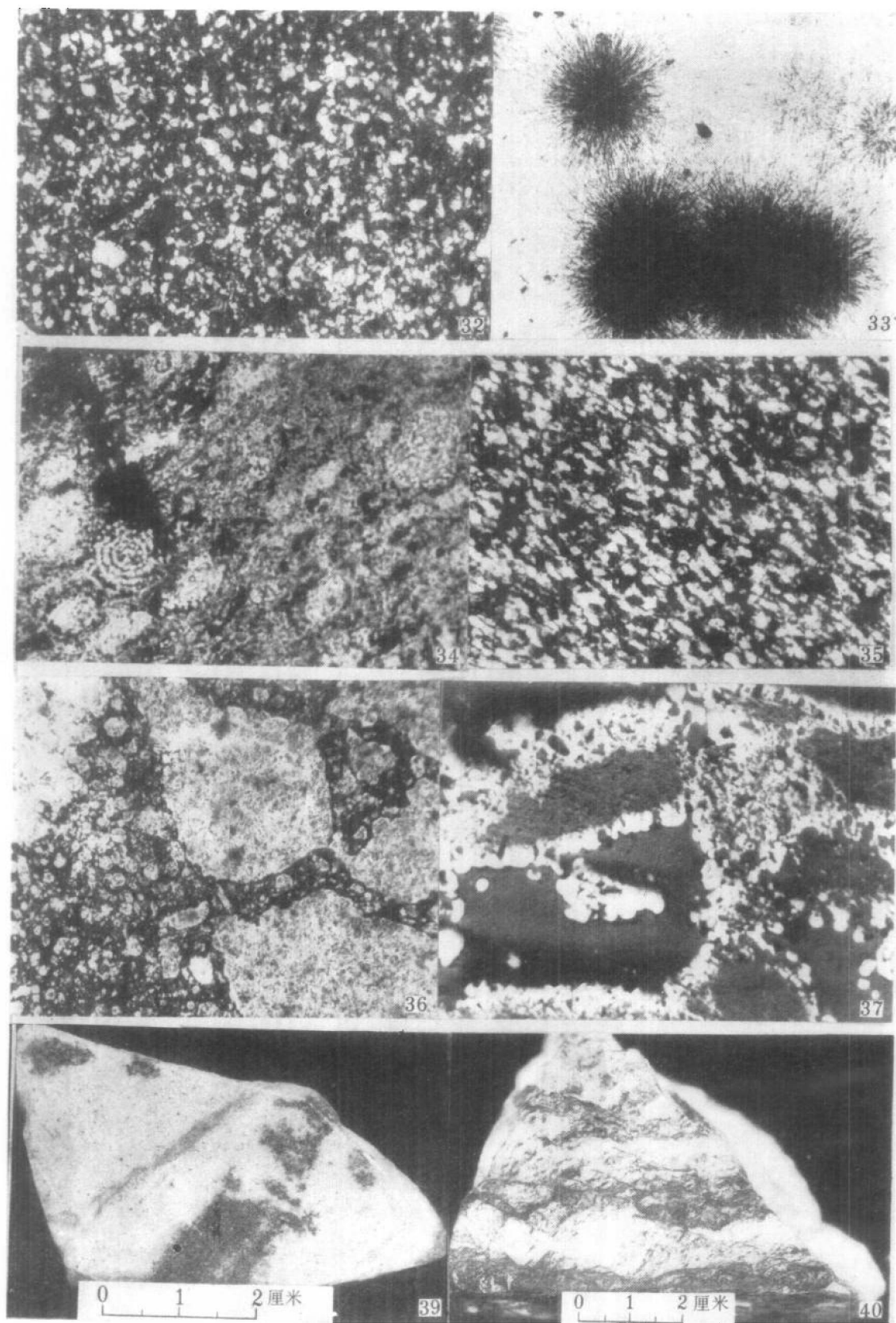
1. 石英颗粒中的气液包裹体, 金顶 (Yn23), $\times 1575$ 2. 天青石中的气液包裹体, 金顶 (Yn15-2), $\times 1000$
 3. 石膏中的柱状包裹体, 金顶 (Yn76) (石膏岩), $\times 1575$ 4. 黑云母片麻岩中石英所含六方柱状包裹体, 西榆皮 (Ce-1), $\times 1575$ 5. 黑云母片麻岩中石英所含液体 CO_2 包裹体及气体包裹体, 西榆皮 (Ce-1) $\times 1575$ 6. 混合岩中石英所含子矿物包裹体, 西榆皮 (Ce9-3), $\times 1000$ 7. 石英中的熔融包裹体, 西榆皮 (Ce-5), $\times 1575$ 8. 闪锌矿中的长柱状包裹体, 柴河 (Zh4-1), $\times 1650$



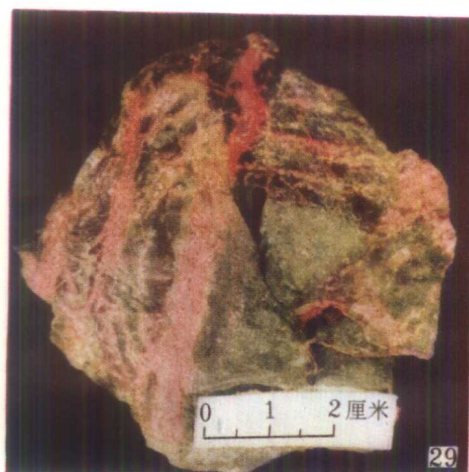
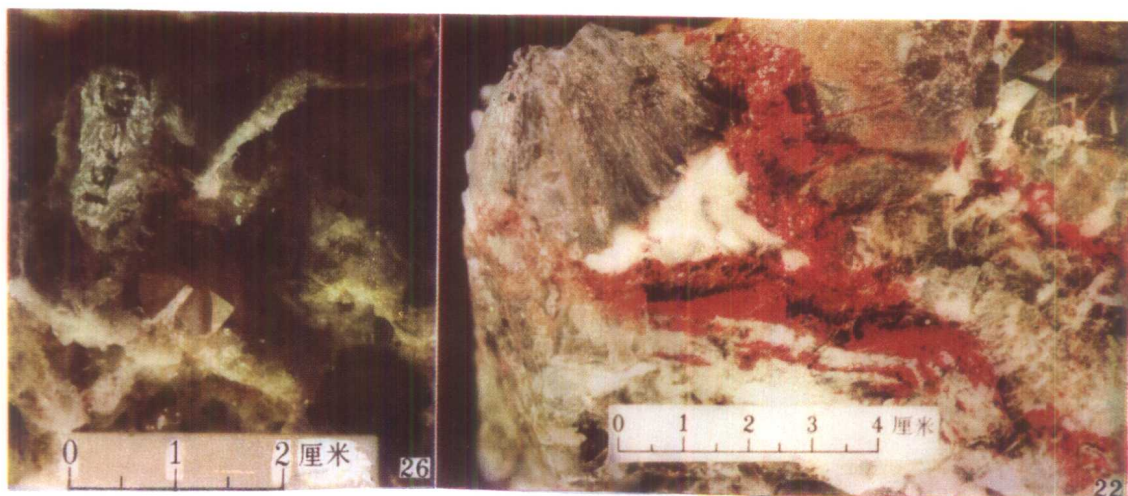
9. 平行于闪锌矿解理的原生六边形包裹体, 柴河 (Zh20-2), $\times 1000$ 10. 粗晶白云石中的气体包裹体, 柴河 (Zh3-4), $\times 1000$ 11. 闪锌矿(黑色砾状)的序粒层 12. 菱铁矿在模拟现代大气雨水氧化淋滤下生成的有序度不高的含水铁氧化物 $\text{FeO} \cdot \text{OH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (褐色针状) (电子显微镜下), $\times 10000$ 13. 菱铁矿在模拟现代大气雨水氧化淋滤下生成的赤红色薄板状赤铁矿 (电子显微镜下), $\times 10000$ 14. 含矿黑色页岩在模拟现代大气雨水氧化淋滤作用下, 在滤液中生成的石膏晶体 (70°C), 正交偏光, $\times 44$ 15. 含矿黑色页岩在模拟现代大气雨水氧化淋滤作用下, 在氧化带生成的石膏晶体 (70°C), 正交偏光, $\times 330$



11.黄铁矿(白色粒)在粉砂岩中形成斜层理 18.300℃ 实验生成的絮状金,×44 19.250℃实验生成的树枝状或羽毛状自然金,×44 20.200℃ 实验生成的树枝状或羽毛状自然金,×44 21.150℃ 实验生成的树枝状及片状自然金,×44 24.熔蚀状辉锑矿(柱状端部浑圆)与锑华连生 25.水热法生长的辰砂(重3.3克) 27.毛发状辉锑矿晶簇 28.角砾状辉锑矿矿石 31.角砾状碳酸盐矿石中呈胶结物出现的沥青铀矿(白色)(909),反光镜下,×100 38.灰紫色细砂岩中的沥青网脉(郝家河坑道口),光面



32. 具细粒等粒镶嵌结构的黑色硅化岩(504), 正交偏光, $\times 118$ 33. 超显微粒状铀矿物的 α -径迹(曝光时间 20 天)(504), $\times 118$ 34. 硅岩中的放射虫化石(320), 单偏光, $\times 108.5$ 35. 具层状构造的单粒硅岩(510-III), 正交偏光, $\times 132$ 36. 具角砾状构造的硅岩(320), 单偏光 $\times 46$ 37. 角砾状矿石中的沥青铀矿(灰白)石英(灰黑)脉(320), 反光镜下, $\times 108.5$ 39. 郝二段灰色细砂岩中的云雾状沥青(郝家河坑道), 光面 40. 郝二段灰色砂岩断裂面上的沥青(郝家河坑道), 光面



22. 辉锑矿(左上角灰色纤维状集合体)、赤砂(红色脉)及方解石(白色粒)组合 23. 角砾状辰砂矿石 26. 辰砂(他形及呈截顶矛头状晶体) 石英晶簇 29. 细脉状辰砂矿石 30. 辰砂分布在方解石细脉边部

目 录

前言

绪论	1
一、层控矿床的含义与概念	1
二、名词解释与对比	4
三、层控矿床理论的兴起与发展	9
四、简列层控矿床形成的几种方式	11
第一章 层控铅锌矿床的地球化学	13
第一节 矿床地质	13
第二节 硫、铅同位素组成	30
第三节 矿物包裹体特征	42
第四节 成矿实验研究	55
第五节 成矿机理	66
第二章 层控菱铁矿多金属矿床的地球化学	70
第一节 矿床地质概述及成因分类	70
第二节 矿石的物质成分	81
第三节 矿床沉积环境	90
第四节 菱铁矿、含多金属黑色页岩和黄铁矿的氧化淋滤模拟实验研究	99
第五节 矿床的后期变化及机理	109
第六节 层控菱铁矿多金属矿床的成矿机理	119
第三章 层控金矿床的地球化学	129
第一节 层控金矿床的地质特征及矿床类型	129
第二节 层控金矿床的矿源层	141
第三节 层控金矿床的包裹体特征	159
第四节 层控金矿床的成矿实验研究	166
第五节 层控金矿床的形成机理	175
第四章 层控铋、汞矿床的地球化学	189
第一节 地质地球化学概况	189
第二节 层控铋、汞矿床地球化学	192
第三节 层控铋、汞矿床实验地球化学	206
第四节 层控铋、汞矿床成矿机制及有关问题讨论	214
第五章 层控铀矿床地球化学	219
第一节 层控铀矿床的含矿建造	220
第二节 层控铀矿床的类型	226

第三节	层控铀矿床地质-地球化学	228
第四节	层控铀矿床的特点	244
第五节	层控铀矿床的成矿机理与成矿模式	247
第六章	层控铜矿床的地球化学	252
第一节	铜的地球化学	252
第二节	中国层控铜矿在时代上的分布和演化	255
第三节	成土作用与层控铜矿的矿源层	259
第四节	含铜建造与沉积-改造过程中的有机质作用	264
第五节	含矿流体与沉积-改造成矿	270
第六节	层控铜矿成矿机理及成矿概率性	280
第七章	中国层控矿床的沉积环境	287
第一节	太古界的沉积环境	287
第二节	元古界的沉积环境	291
第三节	古生界的沉积环境	294
第四节	中生界的沉积环境	297
第五节	层控矿床沉积环境的演化	298
第八章	层控矿床的稳定同位素组成特征	300
第一节	硫同位素组成与沉积环境	300
第二节	铅同位素组成及演化特征	308
第三节	两个典型矿床	314
第九章	中国层控矿床的元素及元素组合	327
第一节	中国层控矿床的主要控矿地层	327
第二节	主要控矿地层的元素含量背景	327
第三节	层控矿床的元素组合	330
第四节	层控矿床元素组合形成机理的初步认识	340
第十章	中国层控矿床的若干特点	343
结论		349
参考文献		351

绪 论

一、层控矿床的含义与概念

由于层控矿床的提法被国际矿床界普遍接受不过是最近二十多年的事,这一新事物发展又很快,因此,大家对层控矿床的理解很不一致。七大卷《层控矿床和层状矿床》(Wolf, K. H. 主编, 1976)(实际上是论文集)的作者们有着各式各样的对层控和层状矿床的看法。我国情况也大致相似。粗略归纳一下,我国目前大致有四种不同的对层控矿床的理解:

(1) 不问矿床的形成方式或物质来源,只要它们局限于一定的地层或建造中便可称之为层控矿床。换言之,“层控矿床就是受地层(包括层、岩性段、组、系和建造)所控制的矿床”¹⁾。象华北邯邢式铁矿、长江中下游大冶式、凤凰山-白象山式铁矿、福建马坑式铁矿、菜园子式、黄梅式菱铁矿床、永平-城门山式铜矿、水口山式铅锌矿、瑶岗仙和东坡矽卡岩型钨矿等无不明显地受地层所控制,因而,它们都是层控矿床。这里面包括了一部分其成矿物质来源与岩浆活动有密切联系的矿床(如瑶岗仙式钨矿、城门山式铜矿等)。

(2) 层控矿床包括典型的沉积矿床(如宁乡式铁矿、湘潭式锰矿、昆阳式磷矿等),因为这些矿床确实受一定的地层层位和一定岩性、岩相控制。

这两种有关层控矿床的含义实质上囊括了矿床成因分类中大多数的内生、外生和变质矿床。除少数产于非整合岩浆岩体内的矿床以外,多数矿床常局限于一定地层和建造内。按照这种含义,层控矿床是否过于扩大化了?这对于探讨层控矿床的形成机制和“顺层找矿”是否有利?

(3) 相对较狭义的含义,也是本书作者们对层控矿床的理解。照顾到现在已广泛流行的矿床成因分类方案,也从我国矿床实际出发,我们认为,层控矿床的概念不宜只是受一定地层和建造控制的过于概括笼统的说法,而应当加上两种限制,即一,层控矿床不包括典型的沉积或沉积成岩矿床;二,层控矿床的主要成矿物质来源与岩浆活动没有明显联系,除非它们是后期岩浆活动叠加上去的。这样,层控矿床含有下述三方面互相有联系的内容:

- 1) 矿床在一定地区受一定地层层位(也常常是一定岩性、岩相)控制,常具多层性;
- 2) 它们不包括典型的沉积矿床;
- 3) 矿床的形成与岩浆活动没有明显的联系,除非是后期岩浆气液的叠加。

从上述层控矿床的含义出发,典型的沉积矿床不包括在层控矿床的范围内,但沉积后受到不同程度改造的矿床,受到表生氧化的矿床,受到变质的矿床,受到后期岩浆作用叠加的矿床或这些作用的复合影响的矿床等,如果这一系列后期地质作用的结果并没有改

1) 胡受奚(1980)。

变矿床受一定地层层位控制的基本特征,则这些矿床便应是层控矿床了。因此,矿床成因分类中的沉积变质矿床和沉积-表生氧化矿床在多数情况下是层控矿床。

(4) 有的同志对层控矿床持更狭义的看法,即只有沉积后受到改造(改造的含义见下文)的矿床才是层控矿床。这些同志认为,沉积变质矿床和沉积-表生氧化矿床在过去地质文献中受到重视,对它们的形成机理探讨较多,但沉积后受到改造的矿床则未受到重视,成矿机理有待深入研究。为了引起人们的注意,层控矿床只宜包括沉积-改造矿床。这种看法有一定道理。本书为了考虑到一些矿床受到各种后生变化作用的完整性,暂时持上述的第三种观点。

需要说明的是:这里所说的沉积(包括成岩,下同)仅指地质作用,不涉及成矿物质来源,所以实际上,它可以指陆源沉积、海水沉积、火山沉积、热泉沉积等。另外,沉积时可能已成矿,后期的地质作用保持了,有时还甚至加富了矿床。也可能沉积时元素或矿物的富集未达到工业要求,只能称之为矿化地层,或矿化地质体,或矿源层,经过了后期地质作用(改造、变质、氧化、或它们的复合)才富集成矿。这两种情况都包括在层控矿床范围内。

从前述层控矿床的概念出发,相当大一部分层控矿床是多成因的、多阶段成矿的。莫柱荪也持这一观点,他称“多元成矿”¹⁾。早期的沉积阶段,准备了矿化地层或甚至矿床,后期的地质作用才真正成矿或使矿床更加富集(当然,后期地质作用也可以破坏已形成的矿床或矿化地层,但这已不在本专著讨论范围之内)。

还需要说明的是,在我们的层控矿床概念范围内不包括那些其形成与岩浆活动有明显联系的矿床。这里的岩浆活动主要指侵入岩浆活动。至于喷溢或喷发于地表的火山活动产物可以参与某些沉积矿床或矿化地层或矿源层的形成,它们在形成方式上与陆源沉积无异,只是物质来源有些不同。后一情况应考虑在层控矿床范围内。

我们之所以暂时不将与侵入岩浆活动有明显联系的矿床包括在层控矿床范围内,即或它们受一定地层层位的控制,主要的原因是,不至于把层控矿床的含义过于扩大化。如大部分赣南脉状黑钨矿矿床受寒武-震旦系碎屑岩地层控制。有可能这些碎屑岩系具较高的W的地球化学背景值,因而在中生代这些碎屑岩受到部分熔融形成花岗岩浆时,W便从岩浆结晶分异过程中得到富集,形成岩浆期后气液矿床。但要肯定这一点还要作大量工作。而且,即或论证了这种可能性,W的直接来源是重熔花岗岩,间接来源才可能是寒武-震旦系碎屑岩地层。在目前情况下,这一类直接来源于侵入岩浆活动的矿床以不列入层控矿床范围内为宜。

至于象邯邢式铁矿,其成矿物质的多来源似乎是可以肯定的²⁾。广布华北几省的这种铁矿中,黄铁矿的硫源与赋存矿床的中奥陶统白云岩中的硫酸盐有密切关系。至于Fe,它的主体来源于中基性岩浆的结晶分异或中基性岩在钠长石化过程中的富集。换言之,Fe的直接来源是侵入岩浆活动。尽管众多的邯邢式铁矿受中奥陶统所局限,在目前情况下,这种成因的矿床似暂不宜列入层控矿床。大冶式、白象山式铁矿等也有类似情况。

这里,就所谓层控矽卡岩型矿床问题讲一点意见。涂光炽曾提出了矽卡岩的多成因问题³⁾。他认为除典型的中酸性岩浆岩类岩浆气液与围岩作用形成的矽卡岩外,还存在着

1) 莫柱荪(1980)。

2) 涂光炽(1979)。

3) 涂光炽(1977)。

火山气液,混合岩化气液和变质成因的矽卡岩。后三种矽卡岩如果顺层发育,受地层控制,可以称之为层控矽卡岩,至于岩浆气液形成的矽卡岩,即或受地层控制,按我们前述含义,暂不宜放入层控之列。

按理,矽卡岩与矽卡岩矿床有成因上的联系,因此如果某矽卡岩是层控的,则其矽卡岩矿床也应当是层控的。但这里要注意与矽卡岩有一定空间联系的矿床是否在成因上也与矽卡岩有关。有些矿床虽与矽卡岩在空间上有一定联系,但矽卡岩实际上形成于矿床之后的另一次地质事件中,有时甚至可相隔很远(如白云鄂博稀土-铁矿床形成于15亿年前,东接触带的矽卡岩则只是在海西晚期才叠加于铁矿之上)。这种矿床便不能称之为矽卡岩矿床,如马坑、石碌等矿床都有矽卡岩的发育,但后者与成矿没有联系,不宜将它们称为矽卡岩矿床。

还有一些矿床产在整合型层状侵入体内,如产于中酸性岩床内外接触带的斑岩铜矿(白乃庙),或层状超基性岩体内的铬铁矿床。这些矿床的形成,特别是成矿金属来源,主要与侵入岩浆活动有关。往往层状侵入体与它们赋存的地层层位间并没有成因上的联系。如果把这些矿床也列入层控矿床,势必引起后者概念的含混不清。

如前所述,本书对层控矿床持相对狭义的定义。在讨论对象中,我们将特别着重沉积-改造这一类型层控矿床(和类似的沉积-变质后受到改造,或甚至沉积-变质-混合岩化后又受到改造的类型)。这是因为,这一类型层控矿床在过去没有引起足够的重视,或者在成因上对它们作出了错误的理解,而这类矿床在我国又特别发育之故。过去长时期内,人们着重研究了沉积矿床和沉积变质矿床的形成机理、分布规律,而对于在形成的地质与物理化学条件介于二者之间的沉积-改造矿床则注意很不够。本书努力方向之一便是力图弥补当今矿床学的这一不足之处。

即或我们采取了狭义的有关层控矿床的含义,在本书中我们也只是触及了我国部分的层控矿床。例如,本书没有讨论沉积后受到表生氧化或沉积后受到岩浆气液叠加的层控矿床。对层控钨矿床、层控水晶矿床、层控雄黄、雌黄矿床、层控黄铁矿矿床、层控萤石矿床、层控重晶石矿床、层控铁、锰矿床(除菱铁矿矿床外)等本书皆未涉及。就是在书中讨论较多的层控铅锌、铜、汞、铋、铀、金及菱铁矿矿床,也没有概括这些金属和非金属的所有在我国出现的层控矿床类型。以火山沉积为基础的层控矿床在本书所占的比重也较少。另外,对层控矿床形成机理,本书各章虽都有所讨论,但都不够深入。好在本书只是我国层控矿床地球化学的第一卷,今后隔若干年将出版第二卷、第三卷,上述不足我们将设法弥补或部分弥补。

最后,还要说明的是,在一定意义上,相当多数层控矿床在它们的形成过程中,既有外生作用(沉积成岩),又有内生作用(改造、变质、混合岩化、后期岩浆气液的叠加或它们的复合等)的参加;既有浅部成矿作用,又有较深部成矿作用的参加;既有同生作用,又有后生作用的参加;既有常温常压的成矿环境,又有较高温高压的成矿环境。在过去相当长一段时间内,人们把内生成矿和外生成矿、浅部成矿和深部成矿、同生成矿和后生成矿、常温常压成矿和高温高压成矿过于对立了;只注意了它们的区别,而没有注意或对它们之间存在的联系注意不够。因而在不少情况下,一个矿床被认为不是内生矿床就是外生矿床;不是浅部成矿就是深部成矿;不是同生矿床就是后生矿床;不是常温常压成矿,便是高温高压成矿,而不可能是一个矿床兼具二者特征。当然,这与客观矿床实际是不相符合的。只

有当层控矿床的概念提出来以后,才从一个方面(并不是全面的),把两种对立而又有联系的成矿作用有机地统一起来了。

二、名词解释与对比

正如对层控矿床本身不同作者提出不同含义一样,对某些成矿机理的名词也理解不一。因此,在本书开始有必要对书中某些常用名词作扼要解释。

1. 沉积-改造与沉积-变质矿床

这里的改造是专用名词,不是泛指。若为泛指,改造可以包括矿床或矿化地层于沉积形成后所受到的任何变化,如变质、表生氧化、混合岩化、褶皱等。这里所说的改造,专指矿床或矿化地层于沉积形成后在另一次或多次地质作用中处于不到绿片岩相变质程度的温度压力范围(即温度低于 $300-400^{\circ}\text{C}$, 压力 <1000 大气压),不均一围压和宏观破裂中的各种改变。宏观破裂表现在破碎带、断裂、层间破碎和剥离,裂隙带、角砾化带的产生。与此同时或稍后,部分或全部成矿物质发生重结晶、溶解、重新沉淀和富集成矿。因此,这里的改造不是指矿床在沉积成岩阶段的改造(这种改造无疑是存在的,重要的,但不是本书讨论的重点),而是指矿床或矿化地层在固结以后,在另一次或多次地质作用中,在不太大的深度下的改造。沉积-改造矿床的矿石和围岩基本上没有变质(除非改造发生在变质之后),但可以受到各种错动、挤压、破碎、断裂。改造时围压常不均一,有时带强烈的方向性。原来沉积形成的整合矿体视改造的剧烈程度可以变得很复杂。

沉积-变质矿床的变质一般发生在绿片岩相或更高级的变质相中,矿石和围岩中产生新的变质矿物组合。这里,关于变质,我们引用了 C. J. 阿莱格尔 (Allégre) 及 G. 米哈尔德 (Michard) (1980) 的定义,即“认为变质作用的条件是:

- (1) 在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。”

G. J. 阿莱格尔和 G. 米哈尔德认为“变质反应开始于 300°C ”。

按照变质作用的这一定义,鞍山式铁矿无疑是沉积-变质矿床,因为无论是围岩或矿石都出现了与沉积铁矿完全不同的变质矿物共生组合。但过去一些被认为是沉积-浅变质的矿床常产于板岩、千枚岩中,围岩与矿石中的矿物基本是沉积成岩阶段形成的,保留了沉积矿床的矿物共生组合特点,这种矿床最好仍称为沉积矿床,或沉积-改造矿床,而不宜称为沉积-浅变质矿床。如大西沟菱铁矿矿床,产于千枚岩、板岩与碳酸盐岩的过渡带,矿石铁矿物主要是菱铁矿,只在很局部地段出现磁铁矿,含量不到整个铁矿物的 5%。矿床的沉积特征完整地保留下来,但受到一些后期地质作用的改造,象这种矿床最好称为沉积-改造矿床。变质时矿石和围岩保持一定的连续性和整体性,矿床所受到的围压比较均一,矿体形态变化不大,保持了沉积时层状、似层状和透镜状形态。

在矿床或矿化地层遭受变质时,它经受的温度和压力 ($> 300-400^{\circ}\text{C}$, > 1000 大气压)比遭受改造时为大,但由于在变质时围压较均一,基本上没有产生宏观破裂,而在改造时围压不均一,常发生宏观破裂。

在改造或变质时都有热水溶液的参与。从本书有关章节的描述可以看出,改造时起作用的热液主要是源于大气降水的地下水热液,不排除某些深部来源水的参加。变质时起作用的则是变质热液。两种热液在本质上是不同的。

由于矿床在改造阶段所处深度小于变质阶段,常处于不同程度的开放体系。但矿床在变质时则基本处于封闭体系。因而前者常伴有宏观破裂的产生,有不同程度物质的进入和流出,而后者则基本上不伴生宏观破裂,物质的进入和流出不显著。

宏观破裂的存在与否,对新生矿物的形成方式有重要影响。由于在变质时一般不发生宏观破裂,不仅沉积矿床在变质时保持了它们的完整性和连续性,而且新生的变质矿物组合也是以交代和重结晶方式形成的,很少发生由充填一定空间而形成的变质矿物。但

表 0.1 沉积-改造矿床与沉积-变质矿床对比

类 型	沉 积 - 改 造 矿 床		沉积-变质矿床
	沉积-轻微改造矿床	沉积-强烈改造矿床	
控制矿床的主要地质因素	地层、岩性、岩相	地层、岩性、岩相、构造	地层、变质程度
围 岩	基本未变质*	基本未变质*	绿片岩相以上的变质
构造控制	微 弱	强烈、矿体常受断裂破碎带背斜控制	褶皱控制多见
矿体与围岩的关系	整合为主	不整合多见	整合为主
矿体形态	层状、似层状为主	复杂、残留一些透镜状似层状矿体	似层状、透镜状
矿石结构构造	细粒、层纹层理可见,有的显示沉积韵律	改造部分粗粒,残留沉积结构	条带状等变质结构
改造或变质阶段的体系	轻微开放体系	强烈开放体系	主要是封闭体系
改造或变质阶段的热液	主要源于大气降水的地下水热液	地下水热液、热卤水	变质热液
改造或变质阶段的围压	弱不均一	强烈不均一,方向性强	基本均一
改造或变质阶段的温压	较成岩略高	一般 $<300-400^{\circ}\text{C}$, <1000 大气压	一般 $>300-400^{\circ}\text{C}$, >1000 大气压
改造或变质阶段的新生矿物	无	少	大 量
改造或变质阶段成矿物质的迁移	少量迁移	大量迁移	迁移不多
硫同位素特征	δS^{34} 范围宽广,不集中	δS^{34} 有某些均一化	δS^{34} 强烈均一化
铅同位素特征	一般的正常铅,矿石模式年龄与围岩一致	单源,有时为多源铅,正常铅或混合铅	铅同位素可在变质作用中均一化,显示变质年龄
气液包体特征	少,小	改造部分较多	较 大

* 沉积-改造矿床围岩一般是未变质的岩石,除非是变质后又受改造的矿床的围岩。如不少金矿是变质后受到改造形成的,围岩便是变质岩。

在改造时,由于形成宏观破裂,形成导矿与容矿空间,因而新生矿物完全可以以充填方式形成,(不排除部分交代和重结晶)。事实上,许多沉积-改造矿床在改造阶段常形成脉状、网脉状矿体,充填作用是显而易见的。

沉积-改造矿床和沉积-变质矿床的硫、铅同位素组成有较大差别。沉积-改造矿床的硫同位素或者显示明显沉积特征,或则在改造剧烈时可以出现一定程度但很不完善的均一化。铅同位素组成常显示单阶段生长铅特点,其模式年龄与地层年龄基本一致,有时也混入若干异常铅。在沉积-变质矿床中,铅同位素组成一般均一化,反映变质时代,而硫同位素组成则高度均一化。

沉积-改造矿床和沉积-变质矿床的差异见表 0.1。

应当说明,在沉积成岩期的改造和岩石固结后的改造之间,在沉积-改造与沉积-变质之间并不存在截然的界限。这是因为沉积岩的固结不是突然发生的,它们的改造和变质也不是突变的,而常是逐渐过渡的。如有的改造可能从成岩期持续到岩石固结以后。但在多数情况下,是可以较有依据地区分沉积成岩的改造与岩石固结后的改造,沉积-改造与沉积-变质的。

2. 轻微改造与强烈改造

沉积-改造矿床可分为沉积-轻微改造矿床和沉积-强烈改造矿床两种类型。这主要取决于后期改造的程度,也在一定程度上与成矿物质本身的地球化学行为有关。有的成矿元素如 Hg、As, 地球化学行为十分活泼,在同样剧烈程度的地质作用中,汞、砷矿床的改造就比铅锌矿床的改造表现得强烈一些,而后的改造则可能比同一地区的菱铁矿矿床来得剧烈。如我国主要汞矿——万山铜仁汞矿皆属沉积-强烈改造类型,但同一地区相邻层位的层控铅锌矿床的改造程度便低一些。又如凡口地区,铅锌矿为沉积-强烈改造型,而相邻层位的菱铁矿矿床则改造得轻微一些。

沉积-轻微改造矿床保留了大量沉积矿床特征。除古沉积条件、古地理环境、地层层位和岩性岩相的控制十分明显外,矿体形态、矿石结构构造都具沉积矿床本色。如矿体常呈层状、似层状整合产出,与围岩同步褶皱。矿石颗粒较细,常呈层纹、层理。围岩蚀变不明显。但在局部地段可见脉状穿层矿体,粗粒矿石,围岩轻微蚀变等后期改造产物。

沉积-强烈改造矿床的沉积面貌已大多消失,但局部仍有残留的沉积矿石结构构造出现。除地层层位、岩性岩相控制外,构造控制也极为重要。原来沉积矿床或矿化地层中大量成矿物质受到溶解、搬运并在构造软弱带重新沉积成矿。构造软弱带可以是断层、断裂带、裂隙发育带、背斜和穹窿轴部与倾伏端、背斜被断层错断处(即背斜加一刀)、角砾化带、层间剥离带、层间破碎带等。构造控矿部位围岩蚀变较明显,尽管蚀变是就地取材的。矿石颗粒也较粗。

沉积-轻微改造矿床与沉积-强烈改造矿床的异同也见表 0.1。

如果说,沉积-轻微改造矿床的成因引起争议较少的话,则对沉积-强烈改造矿床分歧则很大。后者在过去很长一段时间都被看作中温、低温或远温岩浆期后热液矿床。

3. “后生”与改造

本书所指的沉积-改造矿床的改造阶段常发生于 $<300-400^{\circ}\text{C}$, <1000 大气压的温

压条件下,且在沉积成岩之后。这就出现了改造与“后生”相区别的问题。

所谓“后生”(Катагенез 或 Эпигенез)是苏联部分沉积学家(Л. Б. Рухия, Н. М. Страхов, Н. Б. Вассоевич, ...)常用的名词,意指沉积岩于固结后变质前发生的各种变化。据 Н. В. 洛格维年科(Логвиненко, 1968)意见,这种变化发生的温度范围为 30—50℃ 到 150—200℃,和压力为 100—200 到 1500—2000 大气压的范围内。

苏联学者所说的“后生”作用指沉积岩在成岩固结后继续下沉,在明显区域变质前的变化。因此,它是指沉积岩在成岩后在同一地质时期或地壳运动中的持续变化。换言之,这种“后生”变化与成岩作用是连续的。

我们这里所指的改造,主要指矿床、矿体和矿石的改造,虽然围岩沉积岩也参加了,但它是作为矿床的一部分参加了改造。这种改造一般不发生于矿床沉积成岩之后的同一地质过程或同一次地壳运动中,而发生于另一次地质作用和地壳运动。如华南的许多沉积-改造铀矿床,成矿物质的沉积作用可发生于震旦纪、古生代或三叠纪,但改造成矿常发生于燕山晚期。故沉积与改造是在时间上互相隔离的两种不同性质的作用。因此,矿床的改造作用不同于沉积岩的“后生”作用。

4. 沉积-改造矿床与后成矿床

沉积-改造矿床与后成矿床在成矿机理、矿化与地层关系等方面有一定差别。沉积-改造矿床包含了同生(沉积成岩)和后生(改造)两个有联系的成矿过程。在沉积-轻微改造矿床,同生部分更重要些。而在沉积-强烈改造矿床则后生部分更重要些。至于后成矿床则全部矿床形成于地层之后。因此,按道理这二者是有区别并可以区别的。

然而在实际工作中,区分二者,主要是沉积-强烈改造矿床与后成矿床常并非易事。因为它们在矿体形态、矿体受构造控制、矿物组成、蚀变等方面都十分类似。如后成的柴河铅锌矿床与我国南方一些沉积-强烈改造铅锌矿床在上述几个方面都是很难区别开的。但在沉积-强烈改造矿床,总是可以找到未被改造或未被彻底改造的矿体、矿石,可以找到原来沉积的一些依据。

另外,矿石或方铅矿的铅同位素组成也可以作为区分二者的一种依据。在沉积-强烈改造矿床中,方铅矿常具正常铅或正常铅与异常铅混合的铅同位素组成¹⁾,而正常铅的模式年龄大致与地层时代一致,这说明了全部铅或部分铅与地层同生的性质。在后成矿床中,铅也可以是正常铅或异常铅,前者的实例是柴河铅锌矿床,后者的实例是美国密西西比河谷铅锌矿床。从铅同位素组成看,二者的铅都主要是从前寒武系基底(也有部分铅可能来自围岩)岩石中活化转移到盖层构造有利部位沉积成矿。因此,相对于地层来说,铅的矿化要来得晚,是后成矿床。

5. 再造与沉积-改造

1965年,作者在秦岭工作时曾对这一地区志留系中的铀矿床提出再造成因的观点。其后,在1974年,作者又进一步阐述了再造成矿的重要性²⁾。

近年来,再造这一名词在矿床文献中使用颇多,但不同作者含义不同。有的指矿床形

1) 陈好寿(1981)。

1) 涂光炽(1974)。