



关于内生金属矿床 学说的的发展问题*

近25年来,研究与金属矿床学说有关的理论问题的兴趣大大增长了,这与地质科学总的发展是相关联的。

在一般的地质概念上,如果不涉及某些细节的话,那么可以说,在这段时间里,由于探索地壳深部和上部地幔积累了大量地球物理、地球化学资料,理论基础有了很大进展。尽管目前掌握的材料还远不够完备,而且许多问题还有争论,但它仍不失为基本地质概念和一般构造-岩浆学说进一步发展的基础。许多区域的地球物理资料揭示了地壳的构造特征,例如:地壳的块段构造;在这些块段中由于物理性质不同而划分出各种带(假定性地可划为“花岗岩”层和“玄武岩”层);大断裂的存在、性质及其在时间上的活动等。关于上部地幔的认识也有较大发展,从而对于从上部地幔活动的联系上加深理解部分表层过程,提供了某种可能。

目前,在研究海洋及其与大陆的关系方面,开展了大量工作。从被海水覆盖的地球上大片地区获得的资料,已经迫使我们不得重新提出许多重要的、带根本性的问题;这些问题既与一般的地质概念有关,也与金属矿床的成因问题有关。

包括天然的火成岩和变质岩研究在内的地球化学、矿物-岩石学研究,以及理论及实验数据,扩大了有关变质作用发育的物理化学条件、不同成分岩浆熔融体产生的可能条件及其演化、岩石的成因关系以及岩浆岩与其派生产物的可能关系等方面的一般概念。

无论是地球物理还是矿物-地球化学研

究的结果,都有助于把地壳深部构造问题的一般认识提高到一个新的水平,对建立评价和认识深部条件下发生的许多过程的原则,也是有助益的。

就地学方面目前所积累的各种资料来看,作为地学一个重要问题的金属矿床学说的发展,尤其引人注目。这个与揭示矿产生成条件及其分布规律有关的十分困难的认识领域,由于从多方面阐明它的各种问题所提供的新资料而进一步得到丰富。

近十多年来,成矿作用学说的理论基础获得了地质学、岩石学和矿物学方面的大量实际资料;由于自然客体和自然过程化学和物理化学研究的飞速发展,地球化学方面的成果就更多了。

在现代能够作到的水平上,还比较详细地探讨了带有成因性质的个别重要问题,但距全面解决一些问题(例如找矿方向的理论前提,预测评价,矿化与岩浆岩成因联系的准则,金属的来源问题,等等)还相差很远;运用许多理论上的成就解释具体的地质问题,也远不够理想。

研究内生条件下发生的成矿作用是比较复杂的,要想弄清成矿作用的任何一个方面,都要涉及到许多互相关联的其他问题,而这些问题本身又需要进行专门研究。

为了确定这个问题今后的研究途径,必须找出基本的趋势,以便最有效地促进金属矿床学说的发展,但这不是件简单的事。因此,采用某种简化的办法来对待这个问题,似乎是正确的。

由于基本的研究客体是矿床,亦即个别金属元素富集的地方,所以基本点是以下两个问题:一是评价有利于单个元素及其集合体在不同深度环境下运移的条件;二是引起

* 文中所述的内生矿床应从广义上理解,即不是以成因标志,而是以其空间位置来区别的、产于并分布于深部条件下的一些矿床。

并确定其堆积的条件。

近来,对于热液条件下成矿作用各个方面的理论和实验依据,引起了极大注意。已经证实,绝大部分金属元素,在不同成分的热液中具有相当大的活动性。含有卤化物的溶液、碳酸溶液以及含硫、含二氧化硅的溶液,由于介质的物理化学条件,是各种成矿元素极好的载体。应当指出的是,当前一般的地质认识是这样的:从前,“热液”这一名词的含义通常是与深部岩浆源有关,现在则应当而且必须从广义上去理解。

所谓热液,一般说是任一深度下受热的溶液;在这一深度上,水能够存在,而且可以产生与其有关的简单的和含有某些气体组分的复杂溶液。这种溶液可以是岩浆的派生物,也可以是隐伏的沉积岩层或者是变质岩层的内孔隙溶液、含水矿物脱水过程中分离出来的水,以及层间及裂隙空间内自由运动的地下水。所有上述溶液,随着受热程度的增长,将转为另一个范畴,统称为“热液系统”、“热液”。预计在不久的将来能在合理的基础上区分出这些热液。

绝大部分内生矿床均与有不同程度的水参与之下发生的成矿作用有关。现有的无可辩驳的事实证明,温度和水(水溶液)是重要的因素,它们把金属元素转化为运动状态并造成运移,在有利的物理化学条件下,向着浓度不同的地方搬运。这种情况虽是显而易见的,但却值得特别注意。

任何成因的水(包括浅部生成的水)的作用,由于热田特征的不同(人们正是在热田的范围之内来研究某一成矿过程的),都是极重要的。

沉积岩层和花岗岩类岩石发育的某些地区,向深部,水只呈某一种形式存在,即呈活动性较大的形式存在(随着深度的增加活动性减小,直至停滞),由于地热梯度的变化,这种现象可以发生在深达30公里的范围以内。在这样的深度下,水进入塑性带,因此裂隙和孔隙系统应当逐渐消失,水则在生成的一部分硅酸盐熔融体中呈溶解状态存

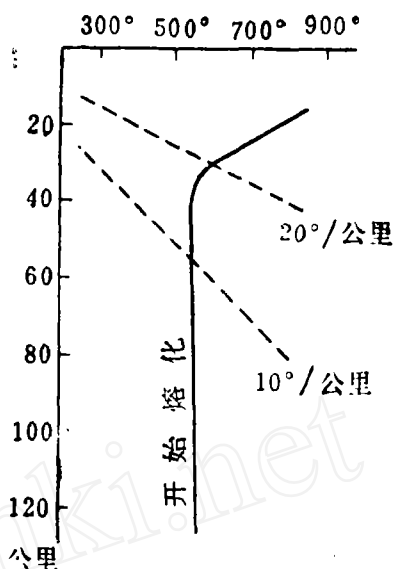


图1 砂页岩层(其成分相当于花岗闪长岩,含水3.2%,同时受到压力和温度的作用)平均样品开始熔化的温度曲线

在,或呈结合状态存在于在这种条件下稳定的水化矿物体中(图1)。

在构成地壳的更耐温的其他组分当中,例如在基性和超基性岩以及一些变质岩中,塑性状态可保持在更深的层位内,因此活动水的分布可以深于30公里。

地壳的陆地成分,特别是上部地段,是极不均匀的:一方面有沉积岩存在,另一方面还有大量物理化学性质(热导率、孔隙度、热容量、化学反应特性等)不同的各种岩浆岩和火成岩存在。这种不均匀性,连同复杂的块段构造一起,应当引起地壳中热流和主要的热量载体——水分布的复杂情况,无论是在垂直方向上,还是水平方向上,都是如此。

热量能够沿着固结的岩柱从深部传导出来,是因为它具有热导性,所采取的方式是通过上升的岩浆体和伴随的气体-液体产物,以独立气体-液体溶液的形式直接传播。气体-液体的传导方式应当扩展到构造破坏区,尤其是断层明显的区段。

目前,热田是以热流的总值来表征的;该数值当前只能以少数钻孔中所测的不充足

数据为基础来获得。地热梯度值的测定也是这种情况,它是某些地区的非常概略的数值,因为地区之间的构造是复杂的,热田也很零乱、空间上也是不均匀的。况且,这些数值只能得出表征介质热状况现状的一般形势。

这些数据对于认识形成某种矿床的成矿过程并没有多大意义。但从历史的观点上,就某一地区或区段的地质发展史而论,热田值则是必要的。

把地质构造、假定热源的本质及热的传导特征结合起来考虑,可以进行温度分布的评价。这时要注意的是,在正常条件下热导率值的变化很大:结晶岩石其波动范围为 $3 \cdot 10^{-3}$ 到 $10 \sim 12 \cdot 10^{-3}$ 卡/秒·厘米·度C;沉积岩的热导率值由于孔隙度、湿度和显微裂隙的影响变化更大。

上述事实说明,深部热田发育的情况是复杂的,从某一地区或区段的地质发展史研究热田的分布规律就更复杂了。

沉积盖层对热田的分布有很大影响。沉积物在时间上的形成特点、物质成分、岩石的物理性质及其厚度,都会对位于其下的地段的热田产生影响。库塔斯的大致估计表明,沉积岩的厚度对地壳底部的温度有明显影响。沉积盖层的厚度变化为5~15公里时,温差可达数百度(图2)。在沉积盖层与地壳下伏部分的交接带处,地热梯度值可

能改变。此时所产生的差值可能是较大的,在图2所示的条件下,盖层的梯度差值可比下伏部分的梯度值高几倍。

当有不同形式的岩浆过程迭加时,热田将被破坏,出现存在时长短不同的热田特征的区域性或局部变化。

在对新鲜和蚀变岩石、蚀变带进行矿物-岩石研究,以及研究矿物温度计和气-液包裹体并同时恢复一定阶段起主导作用的水文地质和水动力特征的基础上,可以再现温度分布的情况。

某一地段上述过程发展的水文地质状况,要求查明典型的构造要素——气体和气-液溶液的储存层,估计出大致的深度及其发育特征。

矿床主要赋存于10公里以上的深部,多产于地壳上部、构造断层表现最明显的地带和压力薄弱带,这证明水动力系的作用是很大的。

天然水对热田的形成是有影响的,这种影响首先取决于沉积岩、变质岩层以及产于其中的火成岩体的水动力条件、它的表现程度或不同深度上的变化。在此过程中,古水文地质具有很大意义。为了判断在任一区域、地带或地段地质发展史过程中含矿溶液的性状,必须认识地下水形成和分布的基本规律。最大限度地恢复水文地质条件方面的数据也很重要。这就首先要再造水动力和水化学条件、水的补给和减压条件。

有鉴于此,为了扩大解决这一过程在时间上演化的多方面问题的前提,加强古水文地质研究是非常迫切和必要的。

在古水文地质研究方面已经积累了一些经验。第一个古水文地质水册*已经问世,这个手册中提出了两种研究方法,一是区域构造-古水文地质分析方法,二是应用地下水地质活动(岩石蚀变带、各种脉体的生成等)的研究成果的方法。已经制出了概略的

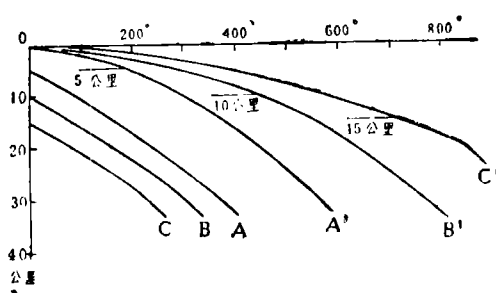


图2 具有“玄武岩”层稳定厚度25公里、“花岗岩”层厚度的变化为5、10、15公里的地壳模型地壳温度在时间和沿深度的变化

A、B、C和A'、B'、C'—沉积层生成前与生成后所确定的温度分布。初始的地表热流值取为 1.2×10 卡/(秒厘米²)

* Карнев А.А. и др. Палеогидрогеология. — М., «Недр», 1967, 150с.

时代	深度, 米	岩石柱状图	水的矿化度 克/公升(上界)	化学成分		温度 ℃	含水层的平均开放孔隙度(%)
				水	汽体		
P	500	陆源和含煤岩石	3	HCO ₃ NaCa	O ₂ -N ₂	50	30
C			35	HCO ₃ Cl CaNa	N ₂ , CH ₄ -N ₂		
S							
O		陆源和碳酸盐岩石	140	Cl CaNa	N ₂ CH ₄ -N ₂	100	15
Cm ₂₋₁	2500						
Cm ₁		碳酸盐和盐类岩石	350	Cl CaNa	CH ₄ -N ₂ CH ₄	150	1
	4500						
Cm ₁	500	陆源、碳酸盐和陆源岩石	270	Cl CaNa	CH ₄	150	10
A		+++++底					

图3 晚二迭世末到暗色岩岩浆活动开始之前西伯利亚地台西南部的概略水文地质剖面

古水文地质图。例如, 根据阿尔丹地盾的古水文地质图可以了解裂隙水和层间水的分布及其运动方向以及不同化学性能水(盐水、碳酸盐水等)的大致分布, 即一种古水文地质条件与另一条件在时间上的更替。

这种图主要是表征地台条件的。对于有

火成活动的褶皱区, 恢复古水文地质图要困难得多, 这方面的研究还很薄弱。

西伯利亚地台的西南部, 二迭纪的末期至暗色岩岩浆活动开始之前, 水文地质剖面是由四个含水层组成的, 每一层都有其特点(图3)。第一层是间隙—裂隙—层间水, 第一、第四层是裂隙—层间水, 第三层是裂隙—喀斯特—层间水, 随后, 在早三迭世时期, 由于地台北部和西部地区的火山活动, 形成了暗色岩建造, 水文地质和热液条件受到破坏。

早三迭世以前的水文地质系统与上升的岩浆压力系统在强烈的构造条件下相互作用, 应当在很大程度上决定了该区成矿作用的特点及过程。

在侵入和喷发活动发育的地区, 应当注意查明来自下伏深部(不管它是否与火成活动有关)的气—液承压系统与侵入介质热液系统间相互作用的特点。

卡尔波里地区热水分布的资料是这方面的明显例证。这是意大利的拉尔捷

列罗现代热田中的一个区段。这里的热水无论是根据水文地质资料, 还是同位素资料, 都是降水与深部循环的区域水混合的结果生成的。温度的差异和压力梯度造成了复杂的运动条件。根据许多钻孔一直到1000~1500米深的地下水圈研究资料绘制的水流曲线,

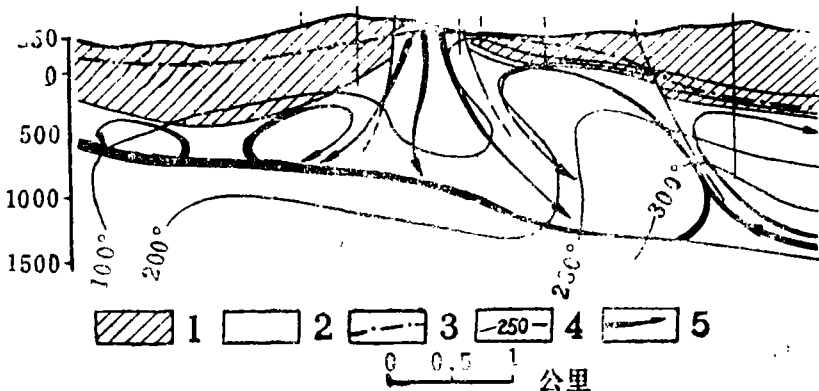


图4 卡尔波里地区潜在水动力平面与水流循环的水温度分布示意图

1—上部不透水岩层(粘土页岩、泥灰岩); 2—主要透水层(放射虫岩、蒸发岩、灰岩、白云岩); 3—潜在水动力平面; 4—等温线; 5—水流方向。(两层均位于局部被裂隙切穿的不透水结晶基底之上)

反映出该区段水的层流及对流运动的总效应(图4)。这种复杂的状况,是来自地表的冷降水与在压力作用下由局部被裂隙断开的结晶基底中冒出的热水(剖面的东北部)互相作用所造成的。

天然水系化学成分的复杂性以及分析热液成矿作用的各个方面和阶段性所必须的物理化学、热动力基础资料的不足,更增加了自然过程地球化学解释方面的困难。但是,经过相当一段时间之后,在这方面达到一个比较理想的境界,应当认为是可能的。

在详细研究某些个别(局部的)成因问题的过程中,当这些问题需要在物理化学基础上作出解释和论证时,我们的确碰到和将要碰到缺乏许多资料的难题,这就要补做一些实验和理论研究工作。如果只是一般地对待,近似地确定过程的进程、方向或其产生的最主要的特征,那么地质实验和边缘学科现有的专门资料对于研究成因问题,在比较短的时间内根据某种模型过渡到评价自然界热液作用各个地球化学方面的可能性是可以预见的。

深感不足的热液物理化学特征方面的数据,例如个别矿物化合物(矿物)的溶解度、稳定性等,不久前还必须通过实验来补充,而用比较容易办到的计算方法还不能解决。最近,在综合比较大量的实验资料和理论探讨的基础上,出现了新的可能性。

例如,研究温度增高时(达 300°C)电解质水溶液中硫酸银、各种形式的硫酸钙、硫酸钡的溶解度表明,在温度 300°C 以下的区间内,当钠、钙和镁的氯化物溶液浓度变化范围很大时,上述化合物的溶解度可用德拜-休克尔方程式,即高温条件下适用于硫酸盐溶解度的强电解质理论表示出来,不仅在简单的溶液中是正确的,对于复杂溶液也是正确的。在含任意比例的钾、钠、钙、氯混合溶液中,硫酸盐的溶解度也可能计算出来。

为了解释导致生成各种矿物的自然过程,需要具备每个化学反应的平衡常数。现有资料是不足的。运用热动力计算,在很多

情况下可以近似地得到这些缺乏的常数,从而可以少做一些复杂的实验。

近来,查明了水溶液中许多物质在 350°C 以下热动力性质变化的一般规律。高温下水溶液中物质形成的自由能数据,不仅可以通通过实验来获得,而且也可以用近似的计算方法得到,这就对许多矿物平衡的表征开辟了道路。各种平衡系统的器械分析配合热动力计算,扩大了研究有大量组分参加的某些过程个别模型的可能性。

总的来说,应用物理化学方法研究热液本身及与其存在有关的各种过程的可能性尽管是非常近似的,但即便是现在已经可以从地球化学观点来评价成矿作用的成因问题了。

如果有这种可能性的话,那么是什么妨碍地质人员在实践中广泛应用呢?通过理论途径进行预测、普查,是否可以得到预期的结果,能否提高这些工作的效率?

这是一个很现实的问题。特别是现在,许多科研单位对热液作用从各不相同方向上进行了矿物-地球化学和物理化学研究,工作量与日俱增,但实际效果不显,这就有必要作一些讨论。在解决生产地质任务的工作中,理论方面的成就很少是臆断的。

障碍究竟在哪里?首先,没有努力把已有的物理化学数据用于分析与具体的成矿客体有关的自然过程;没有提供解决单个矿床或矿床组普查、评价和勘探合理途径的地球化学结论。现有工作常是数据的形式上的罗列,并未揭示矿化作用的发育过程及动力学,没有从区域地质发展史的联系上去考虑问题。这种状况,一方面表现在地球化学工作者和地质人员相邻学科的专门知识贫乏,专业狭窄,因而限判了某一专业人员的能力。但如果不同专业的人员密切合作,是会有好的前景的。

另一个值得注意的情况是,由于许多地质报告质量不合要求,而且在很大程度上仅限于对矿区或矿汇地质特征的认识。这里首先应当包括的是,以区域构造发育史为基础

矿石建造

建造分析在金属矿床研究中的应用

建造分析是认识地质现象的重要方法之一。研究地质建造,能够发现和解释一系列普遍的地质规律,进而解决最复杂的地质理论问题。建造分析,对研究各种矿床的赋存规律以及探索矿床的找矿科学原理,都具有很重要的意义。

建造研究方法的基础是地质建造的分类,即划分相互密切共生,而且形成年代和地质条件相近的岩石、矿物和矿石的自然组合。地质建造的特点,首先是它具有一定的岩石组合或矿物共生组合,即固定的物质成分特征。划分具体的地质建造并确定其建造类型时,最重要的标志应当是它的物质成分,也就是所研究的现实客体。一般说来,地质体的生成条件,也在物质成分上得到反映。同时,还应当考虑建造各组分的地质年代的一致性及其生成顺序,以及它与某种地质构造的联系。因此,应当主要把凭经验所

的矿田古地温和古水文地质特征方面的材料积累恢复地质史方面的资料,预示了金属矿床学说发展过程中将有许多新的、重要的情况发现,为深入研究各种现象发展的动力过程中的成矿作用打下了基础,这对于提高内生矿作用的认识水平是很重要的。

在古地温和古水文地质途径的基础上对热液过程进行分析,可以逐步对所发生的过程进行定量评价,确定液体和流体运移和分布的途径及特点,判断有利于矿石富集的区域、地带,定量估计形成某些矿石时有多少不同成因的水(包括岩浆源的水)参与。这样可以补充一些材料,进而更广泛地探讨矿

得到的实际资料作为建造分析的基础。关于成因和成因联系方面的设想,应当放在极次要的地位。成因不应成为建造分析的手段,而应成为其目的。

当前划分出以下建造:1)沉积岩和火山沉积岩建造(纯地质建造);2)岩浆岩建造;3)变质岩建造;4)交代岩建造;5)矿石建造。

研究得最全面、最详细的是纯地质建造和岩浆岩建造。

赫拉斯科夫认为,“所谓建造,系指岩石及与其有关的矿化之天然组合,其各组成部分(岩石、岩层、地层等等)因共生关系在空间和时代上密切相关”。建造系列则是指建造的有规律的组合或共生组合。现在一般划分三大建造系列:地槽建造系列、地台建造系列和造山建造系列。所谓造山建造,应理解为地槽体系发展晚期、倒转期后所形成的建造系列。上述建造系列的概念是构造区划的基础。根据建造系列或整套的建造特点,再来讨论地质构造发育的各个阶段。

近年来,岩浆岩建造学说有较大进展。这是一门介于构造地质学和岩石学之间的边缘学科。划分岩浆岩建造的主要标志,和划分沉积岩建造一样,也是岩石的稳定共生组合。一个岩浆岩建造(岩浆杂岩)具有固定的一套岩浆岩,在岩石化学和矿物成分特

质的可能来源,这正是提高普查一预测工作结论的可靠性应当反映出来的成果。

以上意见作者并不以为是什么新的东西。本文只是在分析现有资料的基础上,讨论了内生成矿作用学说发展的最重要的方向。

这些看法并不贬低内生矿作用其他方面进行的研究工作,它们应当继续下去,但上面指出的方向要优先发展,这样才能为实践的有效应用打下比较牢固的基础。

晋遂译自:《Советская геология》

1973, №9, стр.

3-11 Н.И. 希塔洛夫