

# 铜矿集中区的主要类型和铜矿床形成条件

冶金部北京冶金地质研究所

姜齐节

## 铜矿集中区的主要类型

某一矿产最佳找矿地区和某一地区最佳找矿对象的正确判断,具有重要意义。认识已知矿产集中区的区域地质背景和矿床组合特点,是解决问题的主要途径之一。为此,本文拟讨论铜矿集中区的主要类型,并在此基础上进一步讨论某些铜矿床的形成条件。

这里,在矿床类型之外采用了矿产集中区类型的概念。这是由于,看来相似的矿床可以出现在全然不同的地区;而不同的矿床,因某种内在联系却可在同一区域出现。矿产集中区类型划分的基础是区域地质背景和矿床组合,它是不能以矿床类型来代替的。

本文讨论的是铜矿集中区的主要类型,因而只把包含有大型独立铜矿床的常见矿产区作为研究基础。不考虑由中小型铜矿组成的地区,如塞浦路斯型和别子型等矿产区。不考虑共生铜矿和伴生铜矿组成的地区,如铜镍硫化物矿床、多金属矿床、斑岩铜矿床、锡铜综合矿床等矿产区。也不考虑极为罕见,因而研究程度不足的地区,如德尔尼型及与苏长岩系列有关的铜矿矿产区等等。

铜矿集中区类型划分的基础是区域地质背景和矿床组合特点。然而要掌握一个地区的区域地质特点和铜矿找矿程度(它和认识矿床组合有密切关系),却绝非易事。因此,本文的类型划分力图以我国实际材料为基础,只利用国外资料增添了少数确信并不雷同而必须补充的类型。由于我国铜矿找矿程度较高,这样做是可以的,但不可避免会有疏漏,欢迎指正。

在矿床组合方面,着重考虑的是大型矿床,否则其情况会十分复杂,甚至达到无法研究的程度。也暂不考虑和其他矿种的共生状况。

铜矿集中区主要类型的划分列入下表。

## 某些区域控矿因素的讨论

有必要对表列某些区域控矿因素作进一步讨论。

1. 活动大陆边缘和活动大陆边缘影响带 近年来,活动大陆边缘控矿引起了重大关注。同时,也广泛流传了一整套活动大陆边缘成岩成矿和金属来源的假说和模式。本文认为,活动大陆边缘的控矿现象很明显,但以洋壳俯冲消减为核心的成岩成矿和金属来源机制却使人十分疑虑。

可以我国东部燕山期的环太平洋带来讨论这个问题。一般认为东亚边缘海主要生成于第三纪。从边缘海的张裂对我国东部岩浆活动性质的影响来看,最早地区也不早于早白垩世晚期。也就是说,在中生代岩浆活动和成矿作用的极盛时代,我国东部很可能是与大洋直接毗邻的活动大陆边缘。但该地区这个时代的很多特点是很难以洋壳俯冲消减机制来说明的:①中一酸性岩浆活动带最窄也在700公里以上,最宽近2000公里,远远超过了目前所知的毕鸟夫带的宽度;②金属成矿分区与前燕山期的大地构造单元有关,常有继承性,常和海岸线呈大角度交切;③不同酸度岩浆活动区的分布也与前燕山期大地构造单元有一定联系,常常显示了古构造复活的控制作用。

问题还在于这些情况并非罕见的例外。而且,就是在洋壳俯冲消减成岩成矿假说提出的依据地区,即南美安第斯山区,霍利斯特也提出了种种疑问<sup>[1]</sup>。

因此,也可容许对活动大陆边缘控矿作另一种设想:①在大陆和大洋的积极相互作用下陆壳破裂或老构造复活;②导致深部热流体上升;③引起陆壳部份重熔或同熔,形成中一酸性岩浆;④岩浆演化、运移、成矿。

但是,人们往往把活动大陆边缘一词与前述有疑问的机制联系起来,因而本文使用了活动大

铜矿集中区的主要类型

名称 (1)	大地构造 位置(2)	含矿建造与基底 地层关系(3)	含矿建造(4)	与成矿有关的地 质体(5)	主要铜矿床类型 (6)	代表地区 (7)
江南型	活动大陆边缘影响带	重叠于粉砂—泥质基底上	与各类陆相中—酸性火山活动有关的花岗闪长岩、石英闪长岩、石英斑岩带	多为花岗闪长岩及石英闪长岩类，部份地区为二长花岗岩及闪长岩类	斑岩铜矿及夕卡岩铜矿	长江中下游、赣东北、赣东、多宝山区等
菲律宾型	大洋边缘岛弧	重叠于中基性火山岩基底上	与海相安山岩系(局部含玄武岩、英安岩)有关的石英闪长岩带	多为石英闪长岩、部份地区为闪长岩及花岗闪长岩，以及相应的次火山岩	斑岩铜矿	菲律宾等
巴尔干型	活动大陆边缘影响带	重叠于粉砂—泥质基底上	海相中性火山岩系(安山质、含玄武岩、英安岩，向粗面质演化)及与之有关的石英闪长岩、闪长岩带	中、早期的安山岩；以及石英闪长岩、闪长岩，和相应的次火山岩	火山岩铜矿(块状硫化物型)以及斑岩铜矿、夕卡岩铜矿	南斯拉夫蒂莫克区、保加利亚帕纳朱里什克区等
北祁连型	内大陆裂谷	自身组成中基性火山岩基底的部份	优地槽型海相基—酸性火山岩系，以中基性为主	中酸性火山岩发育地段及层位，火山喷发中心区及附近	火山岩铜矿(块状硫化物型)	北祁连东段等
狼山型	古大陆边缘中基性火山岩带	重叠于中基性火山岩基底上	叠加于基底上的第一套褶皱碳酸盐—砂泥质沉积岩系	与重晶石有联系的白云质沉积；或硅质沉积	热卤水成因“变质岩铜矿”共生层状铅锌矿体	狼山等
滇中型	古大陆边缘中基性火山岩带及其附近	早期含矿建造自身组成中基性火山岩基底及其旁侧中酸性火山岩基底；中后期含矿建造在其旁侧或叠置其上	早期为优地槽火山岩系；中期为含红层或炭质层的褶皱型沉积岩系；晚期为陆相红层	早期：中酸性次火山岩、火山岩，中基性火山岩，凝灰质白云质沉积岩；中期：红层上盘或炭质层两盘的白云质岩；晚期：陆相红层中的浅色层	早期：由次火山斑岩向火山沉积成因过渡的矿床(铜矿峪、拉拉厂、大红山)；中期：陆源再造成因“变质岩铜矿”(东川)；晚期：陆源再造成因砂岩铜矿	滇中川南区、中条山区等

陆边缘影响带一词，以免与之混淆。

本文把活动大陆边缘影响带定义为：在大陆和大洋的积极相互作用下形成的中—酸性为主的岩浆活动区。它既包括其下有俯冲消减带存在的

区域，也包括与之毗邻的区域。

从我国东部燕山期环太平洋带的情况出发，本文认为活动大陆边缘影响带有如下基本特点：  
① 濒临同时代的活动大陆边缘，可以跨越前期地

质发展历史极不相同的区域；②岩浆活动带的规模可以和同时代大陆边缘相比拟，在成分上以中—酸性为主，有厚千米以上的强烈火山喷发物大量出现是其重要标志；③同时代地壳差异运动强烈，沉积地层岩相厚度变化极大。

用上述特点衡量，我国中、东部的活动大陆边缘影响带还包括：晚古生代的华北古大陆北侧和西伯利亚古大陆南侧地区；晚元古代的华南古大陆北侧西侧地区；可能还有中生新世代的中国大陆西南侧和印度大陆东北侧地区。这些时代和地区也都是我国主要的成矿时代和地区。

**2. 内大陆裂谷、大洋边缘岛弧和古大陆边缘中基性火山岩带** 目前流行的看法是：塞浦路斯型块状硫化物铜矿生成于洋壳的生长边缘，其他块状硫化物铜矿多生成于洋壳消减边缘的火山岛弧中。对此本文不提出争议。

在一般文献中所指的洋壳消减和火山活动的位置实际包含有两种情况：①位于大洋边缘；②位于大陆内未张开为大洋的裂谷中，如边缘海、红海型小洋盆等。问题在于这两种情况下的成矿特点有无不同。从我国情况看，差别可能是存在的。

我国最重要的火山成因块状硫化物铜矿产于北祁连地区，而北祁连早古生代优地槽是叠置于已成大陆内的“盲”地槽。对此，尽管最近提出了多种解释，但从其东端陇东及陕西境内喷出活动显然转为以中酸性为主来考虑，把它看作内大陆裂谷是合适的。

梅友松和作者曾指出<sup>[2]</sup>，从华北和华南两个古陆的核心部向外，存在着基底地层年代依次变新的现象，反映了陆壳依次向外生长，存在着多个边缘中基性火山岩带。如果可以现代板块活动类比的话，这种边缘中基性火山岩带大概应当类似位于大洋边缘、在洋壳基础上发育起来的火山岛弧。这些地区也存在火山成因块状硫化物铜矿，但目前所见都是中小型的。不过，在这些地区却有重要的火山成因的浸染状铜矿，如大红山、拉拉厂，以及特殊的铜矿峪斑岩铜矿。

这个区别的普遍意义尚待进一步研究。但应当看到，目前世界各地的主要火山成因块状硫化物铜矿产区，大多有形成于古大陆裂开处的见解，

其中充填的火山岩年代跨度并不很大，一些地区提出了有关基性火山岩形成于边缘海和红海型小洋盆的可能，不能排除与北祁连类比。而在现代大洋边缘，在洋壳上发展起来的岛弧中（不包括由陆壳分离发展起来的岛弧），确实也还没有发现较大的块状硫化物铜矿，但却发现了重要的斑岩铜矿。因此，上述差别是值得重视的。

**3. 基底地层和金属物质来源** 梅友松和作者特别重视基底地层类型及其中的金属丰度对区域成矿特点的指示意义<sup>[3]</sup>，梅友松还作了展开论述<sup>[4]</sup>。近两年来获得的区域化探成果大体和这些看法一致。

看来，在基底地层形成之后，成矿物质的主要来源很可能是基底地层。退一步说，即使在这方面有争议，基底地层性质和金属丰度至少也是区域性金属成矿分区的良好指示物，对实际工作是有意义的。

当然，如果还要进一步追本溯源，可能要追溯到与基底地层形成有联系的上地幔，或者还有初始硅铝壳。也不能完全排除残存于软流圈之上的古代上地幔残留物在后期成矿中起一定作用的可能性。

### 关于火山成因块状硫化物铜矿

重要的火山成因块状硫化物铜矿产于两类区域，特点各不相同。

北祁连型地区是最主要的。火山岩系与内大陆裂谷有关，自身是中基性火山岩基底的一部分。火山岩在酸度上有明显演化，矿床集中在酸性端员发育的地区和层位，且常位于火山喷发中心区及其附近。与重要斑岩铜矿不共生。

巴尔干型地区次要些。火山岩系与活动的大陆边缘有关，叠置于粉砂—泥质岩基底上。火山岩以中性为主，从安山质向粗面质演化。矿床常见于中早期安山岩中，常与次火山岩体及斑岩铜矿共生。需要指出，矿床与安山质向粗面质演化的火山岩系共生可能并非偶然。在区域地质条件与之相似的长江下游，中生代安山—粗面岩系中也有大量铁的聚集，不过这里是陆相条件，主要形成铁矿，只有小型块状硫化物铜矿（罗昌河等）。

这两类地区的共同特点是：火山岩系都是海相的；火山岩总厚都很大，常在千米以上；火山岩按酸度或碱度有明显分异；矿床与火山机构及一定的喷发旋回有关，或是与一定成分的次火山岩体及斑岩铜矿共生。看来，把这些矿床在总体上视为火山成因仍然是可能和必要的。

这里的问题是，成矿与火山作用特点之间“专属性”的表现是迂回曲折的，它受区域地质和火山岩演化特点的制约，但也确有存在。如果把多金属矿石为主的产区联系起来看就更为清楚。日本第三纪“黑矿”和苏联矿区阿尔泰泥盆纪的多金属矿都产于叠置在陆壳基底上而以中酸性为主的火山岩系中，火山岩系有明显的酸度演化，矿床与酸性端员有联系。这是又一种地质背景下又一种专属性的例子。

近年来有人从统计学出发，认为与块状硫化物矿床有关的火山岩多种多样，并无专属性可言，从而根本否定火山作用与成矿有亲缘关系。然而，如果统计时不考虑地区地质特点，不分矿化主次和规模大小，未必能肯定的说明很多问题。

近年来的另一趋势是把火山成因的概念无限外延而脱离了它建立的基础。但是，由于热卤水成矿的研究，对那些缺乏与火山作用有成因联系的地质证据的矿床，特别是不与或仅与少量火山物质共生的矿床，应当慎重。刘东升和作者等指出过远源火山沉积成矿在理论上困难<sup>[5]</sup>。对于弱火山活动成大矿的假设，也必须解释为何岩浆中的挥发分只大量搬运矿质，而不驱动岩浆作大规模喷发或侵入？

### 关于含铜沉积岩

含铜沉积岩（砂页岩、白云岩、砾岩、硅质沉积等）的成因是一个众说纷纭的问题，确实也可能有不同情况存在。可能应区分出两类地区的三种矿床。

狼山型地区情况较简单，含矿建造是叠置于中基性火山岩基底之上的第一套冒地槽沉积。主要矿床或与重晶石化的白云质沉积有关（炭窑口），或与硅质沉积有关（霍各气），均有大量铅锌矿体共生。从矿化特征看，可以推测深层氯化物卤

水所聚集基底地层中的铜在成矿中有决定作用，这是第一类矿床。

属滇中型的滇中川南地区情况比较复杂，有多个时期的铜矿化出现。最新的是白垩纪含铜砂砾岩，较老的是震旦纪地台型含铜白云岩，更老的是元古代冒地槽型含铜白云岩，按地质关系推测，在变质较深的优地槽型火山岩系中还可能有一期最老的强烈铜矿化存在。

对于时代较新的三个层位的矿化来说，下述现象值得密切注意：①与狼山型矿化区不同，没有见到高纯氯化物卤水有广泛活动的迹象；②矿化层位多不存在火山活动，或火山活动微弱而零星，难于设想由火山活动直接提供大量铜；③矿化层位与红层有密切关系，红层含铜较高，而红层主要是陆源物；④矿化区域大体围绕最早期铜矿分布区出现，存在不仅由陆源区岩石，而且也由矿石供给丰富铜的可能性；⑤有多处发现碎屑铜矿物的报道，说明有来自陆源的铜存在。因此，冉崇英和西南冶金地质勘探公司很多同志关于红层是矿源层，其铜主要来自陆源的设想是可能的。在矿床形成方式上，他们从新的实际材料出发提出了一系列新见解：易门队发现了“刺穿体”对易门铜矿体的控制；李雷认为基底—隐伏构造和砂岩铜矿的分布有密切关系；任祖传、卢今才、王治滨等都强调构造对形成含铜白云岩和含铜砂岩的作用。冉崇英等最近更以易门包裹体的研究为基础，强调浅层硫酸盐卤水的意义，认为浅层硫酸盐卤水溶滤下伏红层的铜，在沉积—成岩期向上运移形成贫矿，卤水的多期活动更使贫矿改造加富，并发生后生迁移。从此出发，本文拟把这些矿床视为陆源再造矿床。陆源地的岩石和铜矿化与矿源层中的铜有密切关系，成矿则是浅层硫酸盐卤水多次溶滤迁移铜的结果。这是第二类矿床。

滇中川南区在可能最早形成的铜矿中也有含铜白云岩或白云质岩石存在（大红山、石龙），但情况不同。它们产于厚大的火山岩系中，本身常含凝灰物质的变质物，附近有中基性或中酸性火山岩中的浸染或条带铜矿存在（耙耙寨、落函）。如果把后二者视为火山成因的话，则把前者视

为火山—沉积成因也是合理的。这是第三类矿床。

中条山地区类于滇中型铜矿集中区，但其早期矿化特点略有不同。在中条山，下层位还有与中酸性次火山岩有关的重要“斑岩铜矿”。

美国基维诺裂谷中的铜矿产区也可能类于滇中型地区。果然如此，则下层位还有举世闻名的玄武岩铜矿，在大地构造上位于极为狭窄的内大陆裂谷中。

由此看来，在滇中型继承性复合铜矿集中区找矿，应充分注意多层位矿化的可能性。既要注意上部各有利层位（红层及其上盘，炭质层上下盘），还应注意下层位火山岩、次火山岩和白云岩中的浸染状铜矿。可惜对下部层位矿化的专门研究特别薄弱，它们与火山作用究竟是怎样联系的？为何均不出现大量典型块状硫化物矿石？它们与斑岩铜矿和火山成因块状硫化物矿床的关系如何？这些重要问题目前都还不清楚。

从上述三类含铜沉积岩成矿方式的设想出发，构造控矿问题应当引起重视。或许，这方面的深入研究有可能成为新的找矿工作的出发点，从而使沿层找矿更为深入一步。

### 关于斑岩和夕卡岩铜矿

斑岩铜矿集中区大约可分三类。

江南型。以我国江南的铜矿区为主要代表。世界上大多数斑岩铜矿可能均集中在此类地区。此类集中区叠置于粉砂—泥质岩基底上，受与各类陆相中—酸性火山活动有关的中酸性侵入体带控制，其生成与各时代的活动大陆边缘有联系。斑岩铜矿常见与夕卡岩铜矿共生，少见其他类型重要铜矿。

巴尔干型。次要一些。巴尔干的白垩纪成矿区域即属此类，但这个地区的第三纪斑岩铜矿集中区仍属江南型。巴尔干型集中区的区域地质特点总体上与江南型相似。其不同处是：①有关的火山岩系是海相的，以中性为主，由安山质向粗面质演化；②侵入体常是次火山性质的，也偏中性，以石英闪长岩及闪长岩类为主；③块状硫化物矿床与斑岩铜矿共生，二者可互为找矿指示。

菲律宾型。此类斑岩铜矿集中区较为特殊，

系叠置于中基性火山岩基底上，目前多见于西南太平洋岛弧带内。和其他很多并无重要斑岩铜矿出现的中基性火山岩基底区相比，本类铜矿集中区（以菲律宾为代表）有如下特征：①处于大洋边缘的岛弧上；②下部各层位火山岩（Pz下岩系，J—T上部，K<sub>2</sub>）以基性岩为主，缺乏明显分异，没有重要火山成因矿床存在；③与成矿有联系的第三纪火山岩系以安山质为主，按酸度有微弱分异现象，属海相喷发，有规模较小的块状硫化物矿床存在；④与成矿直接有关的侵入活动偏中性，以石英闪长岩为主，局部见闪长岩、花岗闪长岩，或是成分与之近似的次火山岩；⑤地壳厚度薄，仅10~20公里。但究竟是哪一些特点与斑岩铜矿的发育有内在联系，还有待进一步研究。

斑岩铜矿发育区多少都能见到些夕卡岩铜矿化。从我国近年的找矿经验来看，夕卡岩铜矿的发育在很大程度上取决于围岩中碳酸盐岩层的发育状况。在地层剖面中的无碳酸盐沉积区，无疑是形成斑岩铜矿（德兴、多宝山）；在夹碳酸盐沉积区，可以形成斑岩和夕卡岩复合铜矿，其规模可相互比拟（玉龙等）；在碳酸盐岩层发育区，往往是以夕卡岩铜矿为主，在岩体内接触带可以形成具从属意义的然而是有价值的斑岩铜矿。在考虑一个地区的找矿对象时似应充分估计到这一特点。当然还应注意研究成矿深度对这方面的可能影响。

夕卡岩铜矿的层控现象极为值得重视。安徽地质局近年在长江沿岸的找矿进展表明，利用夕卡岩铜矿主矿体经常赋存的层位，以出露岩体和上层位矿化为指引，可以找到埋藏较深的盲矿。目前看来，厚大的碳酸盐岩系（当然也夹多层砂页岩）的底界和顶界，是控制夕卡岩铜矿主矿体位置有决定意义的层位，特别是在这种层位及其附近有铁质沉积、膏盐沉积时更是如此。例如，在长江中下游和江南古陆东段南侧，已经证明中石炭统和中三叠统是这种层位。因此，在某些已知铜矿成矿区范围内，似还应探索深部有无新的控矿层位（如中上奥陶统）的可能性。当然，还必须深入研究层控的原因，以及通过浅层矿化如何更准确的指示深层矿化等问题

用磁重资料解释夕卡岩和斑岩铜矿产区的深部地质情况可能是一个重要进展。安徽地质局物探队和熊光楚等人的工作表明,长江中下游一带的主要铜矿床在不大深度下都有面积至少大于十平方公里的岩体存在。这在实践上有可能提供新的间接找矿标志,在理论上则可能有助于解决小岩体成大矿带来的疑问。

江西冶金地质一队的经验还表明,在江南型地区的陆相火山盆地中,在不出现标志高氧环境的矿物和矿化组合,而出现标志高硫环境的组合,特别是硫砷铜矿的情况下,在铅锌矿化旁侧或深部可以出现银山类型斑岩铜矿。其品位尚可,有可能达到坑采感兴趣的程度。

本文第二部份是与梅友松合作的结果。作者感谢冉崇英、李雷、酆德火、施林道、姜福芝、秦有余等同志在本文资料准备过程中提供的帮

助。感谢余传善、曾骥良、陈民扬、任治机等同志对本文初稿提出批评意见。

#### 主要参考文献

- [1] 维·弗·霍利斯特, 西半球斑岩铜矿地质, 冶金工业出版社, 1982
- [2] 姜齐节、梅友松, 桂林冶金地质学院学报, 1982, 第1期, 35~43页
- [3] 姜齐节、梅友松, 地质与勘探, 1982, 第1期, 3~14页
- [4] 梅友松, 地质与勘探, 1983, 第1期, 1~8页
- [5] 姜齐节、刘东生、陈民扬、冯建良、余大良、黄超、曾骥良, 地质与勘探, 1980, 第1期, 1~6页; 第2期, 1~7页
- [6] 冶金部赴菲斑岩铜矿考察组, 地质与勘探, 1979, 第5期, 31~42页
- [7] 冶金部地质研究所情报室, 欧洲巴尔干半岛斑岩铜矿床(打字油印本), 1981

### 对岩溶地区化探取样的一点建议

侯智慧

在区域化探扫面工作中, 许多地区采集水系沉积物样品, 基本上能反映控制区内元素含量的变化规律。但在岩溶地区, 采集水系沉积物样品, 效果就不一定好。

岩溶地区的溶解作用强烈, 河流底沉积物大都是碳酸盐类物质, 成矿成晕元素含量严重贫化, 对水中溶解形式的金属离子吸附作用也很弱。因此, 建议采集具有强烈清除作用的铁、锰氧化物, 氢氧化物结核或河床裂点处的沉积物。发现异常后, 向上游追踪。在地下水出口处, 要注意采集沉积物, 追踪高含量的截止点。

因为在岩溶地貌的形成过程中, 碳酸盐类物质主要呈溶解形式被岩溶水带走, 存在于碳酸盐类岩石中的金属元素, 有些也呈溶解形式被带走, 另一些则呈固态被岩溶水携带。在这种条件下, 铁、锰很容易呈氧化物、氢氧化物形式沉淀<sup>[1]</sup>。它们沉淀时将在水中共沉淀多种金属, 沉淀后又能从水中吸留金属, 从而成为某些金属的强烈清除剂<sup>[2]</sup>。被铁氧化物强烈清除的元素有: As, Zn, Mo; 被锰氧化物强烈清除的元素有: Ba, Cd, Co, Ni, Tl, Zn; 被铁、锰氧化物微弱清除的元素有: Ag, Cu, Pb, Sr; 可能不被清除的元素有: Be, Ca, Ga, La, Sb, Y; 不被清除的元素有: B, Cr, K, Mg, Rb, Sc, Ti, V, Zr。可见, 不被清除或被微弱清除的元素, 其原生矿物形式大都是抗风化的, 如Zr, V, Ti, Sc, Cr, La, Be等, 它们在河流中多呈固态形式

搬运。由于河流的溯源侵蚀作用, 河床上常形成许多坑坎(裂点), 沿河床底部呈固态搬运的物质很容易在这里沉积。

在岩溶发育区内, 岩溶基准面就是碳酸盐岩层的底板<sup>[3]</sup>, 因此, 地下河流的化学成分可以反映地下较深部元素变化特征。在地下河流出露地表的地方, 由于条件的变化, 许多金属元素将得以沉积富集(见图)。所以, 采集这种堆积物, 可以获得地下深处的地球化学资料。



岩溶地貌在山地中的分布剖面图

- 1—岩溶洼地; 2—漏斗; 3—竖井; 4—阶梯; 5—堆积物;
- 6—地下河出口处的堆积

在溶蚀漏斗、溶蚀洼地采集沉积物的作法是可行的, 但所反映的元素变化规律, 无论在面上还是空间上, 都不及上述采样介质广泛。

#### 参考文献

- [1] 曹涂, 1982, 个别元素地球化学, 现代成矿理论及勘查地球化学汇编, 第1集, 秦皇岛冶金地质进修学院编, 71~118页
- [2] 谢学锦, 1979, 区域化探, 地质出版社, 第7页
- [3] 北京大学等, 地貌学, 人民教育出版社