

科技述评

沉积环境中金属硫化物矿床成矿元素组合的普遍规律与区域性特征

刘 经 深

(桂林冶金地质学院)

几种矿床类型的成分组合

近二十年来,由于层控成矿理论和矿源层概念新的成矿观点的兴起和迅速发展,对沉积环境中形成的金属硫化物矿床的成矿作用的条件、过程及其变化,以及对矿床地质特征的重新全面研究,都有了很大的进展。有关的文献资料层出不穷,其中研究较为集中的一些矿床类型,几乎都是矿床规模和经济价值比较大,而且具有区域性分布特点的层控和层状矿床。这些矿床在我国也是广泛存在的,而且有许多同样具有重要的工业意义。

关于这些矿床的成矿元素共生组合,有的很简单,几乎属于单金属矿床;有的型式多样,为多种元素以不同比例的组合。

现就下列六种矿床类型的成矿元素组合及有关的问题,略作探讨。

(一) 海相火山岩系中铁、铜、锌、铅的硫化物(及金银)组合矿床

以铁、铜、锌、铅的硫化物的不同型式的组合为主,并含具经济价值的金和银及少量其它显示地区性特征的元素如硒、镉、锑、锡等的块状硫化物矿床,与火山作用密切相关,故在欧美地质界通称为“火山成因”块状硫化物矿床^[1]。就其成矿元素的共生组合型式而言,目前有些研究者按其金属种类进一步分为铜型、铜-锌型和铜-锌-铅型三个亚类^[2];也有人把重要的伴生贵金属——金和银一同列入上述三个共生组合亚类中^[3]。可是一般都把矿石中含量最多,而且同样具有工业利用价值的硫化铁,排除在成矿元素组合之外。实际上硫化铁在此类矿石中所占的比例及其被作为矿石特征的突出地位,是绝不应忽视的。

这类矿床在世界上有许多著名的产地和成矿区,其成矿时代在所有金属硫化物矿床中,也许是最广泛的:从太古代的绿岩带,直到现代大洋底的洋脊裂谷

系,均有属于此类的矿床形成^[4]。但是第三纪以前所形成的矿床,一般均已受过不同地区、不同程度的区域变质作用的影响,以致使其容矿岩石和其它围岩,无例外地变成了典型的区域变质岩了。然而铁、铜、锌、铅的硫化物,在受到变质作用以后,因其适应新环境的能力较强,所以其基本组合状态仍保持未变,而只表现为金属矿物的重结晶和粒度变粗等矿石结构和构造方面的改变,以及矿体形态和产状的不同程度的变形。由此可见,在不同成矿区的矿床中,成矿元素的共同组合型式尽管各有不同,但它们在自然界的变化及其彼此间的密切关系,却具有普遍的相似性。

R. L. 撕坦屯^[5]曾指出,这类矿床的主要成矿元素,通常存在着由下列四种组合型式所反映的成矿顺序:即铁,铁-铜,铁-铜-锌和铁-铜-锌-铅,在此组合序列中,若无前者存在,则后者必不单独出现,而不论它们的含量比例如何。以铁-铜-锌-铅组合为例,铅必然形成于铁、铜、锌三者之后并与其共生;至于在以铅-锌为主的组合中,哪怕其中的铜含量极微,但不至完全绝迹。在这类矿床的围岩蚀变和矿化分带现象中,上述的组合序列也有明显的反映。因而这些共生组合规律及其变化,被认为具有全球性的普遍意义。

从上述这些成矿元素与火山岩类的亲缘关系来看,一般说来,在偏基性成分的岩浆中,通常会有较高的铁、铜、锌和金等元素,故由这些成矿元素形成的铁和铜的硫化物及铁、铜和锌的硫化物组合矿床,多与基性成分的火山岩类关系较密切,并伴有较高含量的金,如属于蛇绿岩带的塞浦路斯型矿床和加拿大太古代绿岩带的铜-锌型矿床^[4]。当岩浆成分偏于酸性时,则铅和银的含量相对增多,而铜含量则降低,于

是成矿元素的共生组合型式,亦随之由上述的铁-铜或铁-铜-锌(及金、银)的组合,变成铁-铜-锌-铅-银(金)组合了,如日本著名的黑矿型矿床^[4]。在离火山活动中心较远的正常细碎屑沉积岩层中,则出现了以铅-锌(-银)为主的组合,但因后者与火山岩类的空间关系不明显,故对其成因尚有争论;不过目前在许多矿床学文献中,把这种海相细碎屑岩中的“层状铅-锌矿床”,归之于“火山喷气”成因^[5],因而多被视为此类型矿床的另一个亚类。

我国的这类矿床,其成矿元素的共生组合,也大体上类似于上述的情况^[7]。

(二) 层状铜矿床

层状铜矿一般赋存于海相页岩、砂岩或白云岩中。据R·鲍文等^[8]的资料,在赞比亚-扎伊尔铜带其最佳成矿时代属于晚元古代(同位素年龄介于1300 Ma前至840 Ma前之间),该铜带面积约12 000 km²,在此范围内拥有 17×10^7 t的铜储量和50 000 t左右的钴储量;提供了目前世界铜产量的20%左右和钴产量的三分之二。每一平方公里面积内平均含铜15 000 t,含钴455 t。在此矿带内这两种成矿元素的浓度如此之高,反映了该带铜-钴组合特有的区域性特征。

我国东川式铜矿则为以单金属为主的矿床,亦属晚元古代成矿期的产物。就目前已知的资料统计,晚元古代成矿期所成的层状铜矿床,约占世界同类矿床铜储量的将近80%,显示了这类矿床成矿时代的突出特点。在这类矿床中,黄铁矿总是最常见的共生矿物,而且铁铜硫化物可出现规律性的垂向和侧向变化及带状分布现象。有些矿区有时还伴有显著含量的铅、锌和银;或者是在含矿层的侧向层位,逐渐过渡为铅-锌矿化带^[9,10]。然而,由于此类矿床中矿质来源的多样性及其差异,致使不同的成矿区除铁、铜的硫化物组合以外,其它伴生有益组分常具有各自的区域性特征。关于其矿质来源的推测,除了传统的陆源风化产物说以外,还有下伏含矿岩层的淋滤^[10];富含养分和微量金属的上涌洋流的作用^[11];萨布哈作用^[12];以及深部地幔源^[13]等观点。这些理论当然都是根据不同成矿区的区域地质特点以及地层和地理条件等方面的资料,进行分析和研究后提出来的。尽管对矿质来源的看法各有不同,但由于成矿的环境和条件相似,所以终于形成了同类型的矿床。可是成矿元素组合则因受矿质来源的支配而有所不同。所以,其区域性特征常常表现得比较明显。

(三) 碳酸盐岩层中的铅-锌组合矿床

这种类型的矿床,在国内外的分布均相当广泛。

涂光炽等^[14]根据我国的这类矿床或多或少受过不同程度的后期改造,而分为“沉积后受轻微改造的矿床”,“沉积后受强烈改造的矿床”和“后成矿床”三个亚类。在国外的一些矿床学文献中^[15],则有若干地区性的名称,其中以“密西西比河谷型”和“阿尔卑斯型”较为通用。尽管矿石组成简单,主要为不同含量比例的铅和锌的硫化物,但一般总是伴有少量的铁、铜硫化物;有些矿床还伴有数量不定的萤石和重晶石,以致也被某些人认为是此类矿床的特点,然而这并非普遍现象,而是区域性特征的反映。这正如我国有些矿区在邻近铅-锌矿体的层位中,有时存在具有一定规模和工业价值的菱铁矿或黄铁矿矿体一样。

此类矿床的矿体形态和产状变化大都很大,后成现象也很明显。然而无论矿床受到何种程度的改造,以不同比例的铅、锌硫化物为主,并伴有少量铁、铜硫化物的基本共生组合依然可见;其余的伴生有益组分则随不同地区而异,因而显示出区域性特征,但贵金属的含量都很低;矿床多赋存于显生宙碳酸盐岩层分布区,具区域性分布特点,富矿体多与一定的沉积构造和断裂构造的交汇部位有关;矿质多由基底的老岩层或其它矿源层经淋滤分必作用而来,其硫、铅同位素组成亦较复杂。所有这些地质特点几乎具有共同性,因而尽管各个矿区的地质情况千差万别,但根据这些共同特点,比较易于把它们划归同一类型。而其各自的区域性特征,正可用来作为探究不同成矿区矿质来源差异性对比研究的内容。

(四) 沉积岩和火山-沉积岩中的锑、汞组合矿床

在地中海北岸的欧洲南部和亚洲西部各国,在已受区域变质作用的沉积-火山岩系中的汞-锑-钨组合矿床,以及由其派生的单金属或彼此组合而成的层控矿床分布甚广。这是A·Maucher等最初提出层控成矿理论并在找矿实践中获得了突破的矿床类型^[16]。上述几种成矿元素原系由早古生代海底基性火山活动及其部分富碱的酸性分异物所提供,然后同时沉积而成为下古生界岩系中的矿源层。后来又经历了几次造山运动和区域变质和变形作用的影响,使这些成矿元素发生了不同程度的活化和迁移。由于汞和锑的化学活动性强,故被转移到了原来层位上部年轻的不同岩层中,分别形成了含量比例不同的汞、锑等共生组合和矿床组合;而钨则因其化学活动性较弱,故仍被保留于原来的层位而与变质过程中所成的矽卡岩矿物伴生在一起,以致过去曾被认为是矽卡岩型的白钨矿矿床。这样一来,就使汞-锑-钨的原始沉积组合,分别形成了

各个成矿元素近于单金属的矿床及二者或三者的相互组合，如汞-锑（辰砂-辉锑矿），锑-钨（辉锑矿-白钨矿），和汞-锑-钨（辰砂-辉锑矿-白钨矿）等组合的矿床，但不存在汞与钨的组合^[13]。这些不同组合型式的矿床在欧洲南部和亚洲西部各国的早古生代、中生代和第三纪的沉积层中，分别构成了受不同时代的地层层位和岩性所控制的、由不同成矿元素以不同比例组合而成的“同矿源异时代”的矿床组合。而且它们被认为具有全球性的普遍意义，因而亦可见于其它地区^[16]。然而在世界其它地区，这三种元素的共生组合并不普遍。即使是在欧洲南部和亚洲西部，它们也受后来的地质作用影响而发生迁移，从而出现了分别活动、各自成矿的现象。以致形成了今日所见的世界著名汞成矿区之一，和欧洲的锑与钨的重要产区，并成为在该矿区进行找矿的物质基础。

我国华南的钨和锑、汞资源是举世闻名的。它们均分别构成了分布广泛而不相统属的各自的著名成矿区。就锑、汞而言，其矿质来源除少数矿区与火山岩有关以外，大多数矿区均与火山作用无直接联系。至于汞-锑的共生现象亦不多，而以近于单金属的矿床最为重要，并常见。此外，锑-金、锑-钨，锑-钨-金，汞-锑-钨以及汞或锑与铅-锌所成的组合亦有所见，但都随地而异，无明显的分布规律。它们大多成断裂带中的充填脉产出。至于钨则绝大多数表现为与花岗岩类有较密切的空间关系，且形成一系列在空间、时间和成因上互有关联的、独特的矿床组合。因而它们的区域性特征表现特别鲜明。

（五）陆相红层砂岩中的铜、铀组合矿床

在世界各地的晚古生代、中生代和第三纪陆相红层盆地所成的滨河床相、滨湖相及河湖三角洲相的砂岩和砂砾岩层中，常有由铜或铀为主的近于单金属的矿化或此两者的共生组合，通常被分别称为含铜砂岩（或红层铜矿）和砂岩型铀矿。它们在红层分布区都较为常见。在美国西部的科罗拉多和怀俄明等州，则有以铜、铀、钒三种元素的不同组合所构成的矿床。除了铜、铀、和铜-铀三个亚类之外，还有铀-钒和铜-铀-钒两种组合型式，但不存在铜和钒的组合。矿石中还伴有银、硒和钼等可以回收的有益组分。在这些矿床亚类中，以铀的经济价值最大。据统计，砂岩型铀矿约占资本主义国家铀矿资源总量的40%以上，而在美国则占其铀、钒资源总量的90%以上^[17, 18]，故被视为重要的铀矿床类型之一。至于以铜为主的亚类，在世界（包括我国）铜矿资源总量中极为次要。由于这些不同组合型式的矿床在美国西部诸州发

现和研究较早，所以在矿床学文献中曾以“科罗拉多高原型铜-铀-钒组合”作为其代表性名称^[19]。其实这三种元素在同一矿床内的共生现象并不普遍，而以单金的铀矿床和铀-钒组合矿床较为重要，而且在该成矿区内各种组合的矿床亚类，其含矿层的时代并不一致，分别属于晚古生代到中生代。可见这只是反映了美国西部各州由铜、铀、钒的不同组合所构成的矿床，在该成矿区内显示了“同类型不同时代”的矿床组合的区域性特征而已。

关于这三种成矿元素的来源，一般认为铜来自沉积盆地周围蚀源区含铜源岩的风化产物；铀来自花岗岩和酸性火山岩（特别是凝灰岩）的淋滤；钒则来自含钒的铁氧化物的分解^[18]。这当然都是根据对该成矿的古地理环境和区域地质的研究而提出的。而且对于砂岩型铀矿床来说，除了产状平缓的矿体之外，还有一种“矿卷状”的不整合矿体，则显然是通过地下水对矿源层的淋滤和搬运而成。由此可见，原先已存在的矿源层的区域性分布及其含矿性，对提供成矿元素的种类和数量以及对其组合型式，都起了决定性的作用。而这三种元素所以共生，并在一个成矿区内形成由不同组合型式的亚类构成的矿床组合，则是由于在不同时代的沉积环境中，出现了相同的成矿条件所致。所有这些情况均应属于区域性特征，而不是普遍的地质规律。此外，在有些地区的海相细碎屑岩层中有时亦可出现铜-铀组合，也属于同样的道理。

在我国许多中生代和第三纪的红层盆地内，则以含铜砂岩较为发育，著名的产区如滇中^[20]和华南一些地区，也以不同时代的多层位含矿为特征。可是砂岩型铀矿床则相对较少；至于铜-铀或其它组合型式则更少。这些情况应与沉积盆地周围提供矿质来源的蚀源区岩石的含矿性有关。例如衡阳盆地的南缘，发现有红层型铜矿，因其蚀源区有含矿的基性火山岩类提供矿质；而其北缘则因接近花岗岩分布区，故出现了砂岩型铀矿床^[21]。

（六）砾岩型-金铀组合矿床

在国外一些前寒武纪地盾区的晚太古代至早元古代克拉通盆地，有产于石英卵石砾岩层内的金-铀黄铁矿组合矿床。如著名的南非威特沃特斯兰德（Witwatersrand）成矿区。此外，金与铀亦可单独成矿，如加拿大的埃利奥特湖（Elliott Lake）砾岩型铀矿床和巴西的Jacobina砾岩型金矿床。因而可以分为三个亚类，而黄铁矿在这些矿床中则普遍存在。甚至其数量相当多。含矿的石英卵石砾岩的年代，在不同地区可相差很大。据D. A. Pretorius的研究^[22, 23]，认为加拿

大地盾区首次出现的大陆沉积作用,约开始于2 500Ma之前,比南非克拉通约晚700Ma,因而此两地盾区的绿岩带组成亦各有不同:南非克拉通的花岗岩-绿岩带比世界其它地区发育较全,其中基性-超基性火山岩类所占的比例很大;而加拿大地盾的绿岩带内,以酸性岩类所占的比例较大。故当它们风化后为各自所在地区的沉积盆地提供的成矿碎屑矿物的种类及其数量也各有不同。据研究,金系来自基性火山岩类的风化产物;而铀则来自花岗岩和长英质火山岩类的风化产物。目前已知南非的含矿层主要形成于3 100—2 500Ma前^[23];加拿大的含矿层形成于2 400Ma前^[23];其最佳成矿期被确定在2 800—2 400Ma前;在此期间原始大气圈尚属缺氧的还原环境,故与金、铀矿石伴生的还有大量碎屑状黄铁矿。至于加纳的Tarkwa砾岩型金矿的含矿层则形成于1 900Ma前^[23],而此时的原始大气圈已属氧化环境,故与金矿石伴生的为赤铁矿而不是黄铁矿。由此可见,由于花岗岩-绿岩带的岩性差异及其含矿性不同,不仅使同一类型矿床的成矿元素组合型式不同,而且也影响其伴生有益组分:如与金矿石伴生的为银和铂族元素;而与铀矿石伴生的则为钍和钽等元素。从而表现了明显的区域性特征。

我国太古代和早元古代古老岩层主要分布于北方部分地区,大陆沉积的开始时期比国外古陆要晚,而且目前尚未发现类似的含矿层及与之有关的环境、条件。这是由我国太古代和早元古代地质的区域性特征所决定的。

关于成矿元素共生组合的普遍规律与区域性特征

关于矿床中成矿元素的共生组合规律,已往曾有过一些研究成果。比如有些是由成矿元素的物理与化学性质和(或)地球化学特性相近,而在成矿过程中具有相似的化学活动性因而共生;有些系来自相同或邻近的矿源,或者来源虽不同,但在同一成矿环境,因其成矿条件相似而共生;还有些则因叠加矿化所致^[24]。从以上所举六种类型矿床的成矿元素共生组合的情况来看,基本上不外乎这些原因。但是其中来源相同而彼此间的化学活动性又相近的成矿元素,其共生关系往往较密切,而且在自然界也最常见。从而表现为普遍性的规律。如铁、铜、锌、铅及其硫化物的共生组合即是如此。至于成矿元素的来源尽管相同,但其化学活动性不同;或者其来源不同,但在同一环境的成矿过程中,其活动性相近;或者是由于后来的叠加矿化;这几种情况均因受不同地区的区域地质条

件所支配,故所成的共生组合往往带有明显的区域性特征,而并非普遍现象。这在前述的多数矿床类型中所出现的多种型式的共生组合,均只标志某一特定地区的成矿特征,即属于此类。

在地壳上部的亲硫元素中,铁、铜、锌、铅的平均分布量远比其它亲硫元素要高,故它们的硫化物在自然界分布最广,其中尤其是以黄铁矿为代表的硫化铁最为常见。所以,由这些成矿元素以不同比例和不同型式的组合,在金属硫化物矿床中最为普遍。然而由于地幔的物质组成和地壳中成矿元素的分布,都是极不均匀的。因而由这些广泛存在的硫化物以特别巨大的数量按不同的组合型式形成矿床,或者在一定地区范围内构成特殊的成矿区或成矿带而异于它区,则仍受区域地球化学背景的制约,而显示出鲜明的区域性特征。如前述赞比亚-扎伊尔铜带内铜-钴组合的高度浓集即为一例。至于与这些主要成矿元素有经常伴生关系且具一定经济价值的有益组分,也因它们各自的依存关系不同,而显示其与主要成矿元素相应的区域性特征。

一般说来,沉积环境中的金属硫化物矿床,其矿质直接来自火山作用者,则其成矿元素的组合型式和伴生有益组分通常都较为复杂而多样。然而由于矿质成分主要受不同地区和不同时代的火山喷出物的成分和性质的影响,从而导致了其区域性的差异。至于矿质来自陆源风化产物,或下伏矿源层的淋滤,或上升洋流的作用,或其它含矿岩石的侧分泌等作用所成的矿床,则因参预成矿作用的元素的补给及其数量的不同。而适宜的成矿环境和成矿条件又各异,故使其成矿元素的组合及伴生有益组分都较为简单。即使是同一类型的矿床,在不同的地区,也常常显示明显的区域性差异。这是因为提供矿质来源而具区域性分布的含矿原岩或矿源层的组成有所不同所致。如前述各类型矿床中的金-铀、铜-铀(和钼)-铜-钴等组合的形成即是如此。甚至象来自同源而化学活动性又相近的成矿元素如锑和汞,按理应该在矿床中大量表现为较密切的共生组合;但实际上当这些成矿元素受到后来的各种地质作用影响时,毕竟由于它们对新环境的适应性不同,而出现了分别活动的情况,以致在不同时代和不同岩性的上部层位中,形成了“同矿源异组合”的矿床组合。而其中许多矿床,甚至以单金属矿化为特征。在此情况下,即使是共生关系表现比较密切的铁、铜、锌、铅的硫化物的组合型式及其伴生有益组分的种类,也都因它们在不同成矿区其来源不同而显示其差异,而且显得比较简单,从而表现出明显的区域性特征。

结 语

在沉积环境中的金属硫化物矿床的成矿元素组合中, 共生关系最密切而在自然界具有普遍意义的是同源的铁、铜、锌、铅的硫化物。但它们以不同的比例和型式组合成为矿床时, 则受不同成矿区的成矿条件所制约, 因而常常显示出不同的区域性特征而各有不同; 与它们有经常伴生关系的有益组分的种类和数量, 也往往因其依存关系而有差异。

至于金、铀、锑、汞等成矿元素的组合状态, 则因它们在地壳上部的平均分布量较低, 所以, 由它们高度密集而形成巨大型的矿床或成矿区一般说很不容易, 故它们在世界各地的分布都较为局限。而其组合型式和伴生有益组分, 也由于矿质来源的不同和成矿条件的差异, 以致比较简单, 甚至表现为近于单金属的矿化。所以其区域性特征都甚为明显。

总之, 对一个地区的矿床中成矿元素的区域地球化学特征及其演变和发展的历程, 以及它们对该地区成矿作用的影响进行探究, 有助于了解不同成矿区内所出现的“同时代不同层位”的矿床组合的形成条件, 以及“同矿源不同时代”的矿床组合的成矿元素的继承和演变关系。从而为有目的、有成效地开展找矿工作和成矿预测, 提供较确切的信息。

此外, 为了便于野外应用以及进行不同成矿区内同类型矿床的对比研究, 以成矿元素的共生组合型式为主, 适当地结合其原始容矿岩石的岩性, 作为划分矿床类型的依据, 尽管带有区域性色彩, 但其实用价值是不容忽视的, 所以有些矿床类型名称, 在地质界常被广泛引用而成为专门术语, 表明其具有一定的生命力。

参 考 文 献

- [1] Park, C. F. Jr. and MacDiarmid, R. A., 1975, Cre deposits. 3rd, ed. chap. 17, PP. 379—390. Freeman, San Francisco.
- [2] Solomon, M., 1976, "Volcanic" Massive sulphide deposits and their Host Rocks. —A Review and an Explanation. in: Wolf K. H (ed.), Handbook of strata-bound and stritiform ore deposits. Vol. 6, PP. 21—54, Elsevier, Amsterdam.
- [3] Hutchinson, R. W., 1980, Massive base metal sulphide deposits as guides to tectonic evolution, in: Strangway, D. W., (ed.), The continental crust and Its mineral deposits, PP. 656—679. (Geol. Assoc. Canada Spec. Paper 20).
- [4] Franklin, J. M., Lydon, J. W., and Sangster, D. F., 1981, Volcanic-associated massive sulfide deposits. Econ. Geol. 75th Anniv. Volume, PP. 485—627.
- [5] Stanton, R. L., 1972, Ore petrology. chap. 15, PP. 495—540, McGraw-Hill, New York.
- [6] Large, D. E., 1981, Sediment-hosted submarine exhalative lead-zinc deposits—A review of their geological characteristics and genesis. in: K. H. Wolf (ed.), Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits, Vol. 9, chap. 8, PP. 469—500, Elsevier, Amsterdam.
- [7] 宋叔和, 1982, 黄铁矿型铜矿和多金属矿床世界范围内一些主要矿带和矿床类型的对比及研究趋势。中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 第3期, 第1—33页。
- [8] Bowen, R., and Gunatilaka, A., 1982, 铜矿地质及铜的经济评价。第6章, 第194—253页。张炳熿、李文达译。地质出版社。
- [9] Jung, W., and Knitzschke, G., 1980, 德意志民主共和国的铜页岩, 特别论述东南哈茨山前沿地的含铜页岩矿床。层控矿床和层状矿床, K. H. 乌尔夫主编。第6卷, 第7章, 第259—301页。黄崇柯译。地质出版社。
- [10] Wedepohl, K. H., 1971, "Kupferschiefer" as a prototype of syngenetic sedimentary ore deposits. Tokyo-Kyoto, Japan, Proc. Spec. Issue Vol. 3, PP. 268—273.
- [11] Brongersma-Sanders, M., 1969, Permian wind and the occurrence of fish and metals in the Kupferschiefer and marl slate. Proc. Inter-University Geol. Cong. 15th, Leicester, England, PP. 61—72.
- [12] Renfro, A. R., 1974, Genesis of Evaporite-associated stratiform metalliferous deposits—a Sabkha Process. Econ. Geol., Vol. 69, No. 1, PP. 33—45.
- [13] Raybould, J. G., 1978, Tectonic controls on proterozoic stratiform copper mineralization. Trans. Instn. Min. Metall. Sect. B: Appl. earth Sci. Vol. 87, B 79—B86.
- [14] 涂光炽、尹汉辉, 1980, 碳酸盐地层中的某些层控铅锌矿床成因——以中国矿床为例说明。国际交流地质学术论文集, 3, 成矿作用和矿床, 第59—65页, 地质出版社。
- [15] Sangster, D. F., 1976, Carbonate-hosted lead-zinc deposits. in: Wolf, K. H. (ed.) Handbook of strata-bound and stratiform deposits, Vol.

- 6, PP. 447—456. Elsevier, Amsterdam.
- [16] Maucher, A., 1981, 层控辰砂-辉锑矿-白钨矿矿床 (结合地中海地区实例讨论)。层控矿床和层状矿床。K. H. 乌尔夫主编, 第7卷, 第10章, 第358—376页。冯钟燕译。地质出版社。
- [17] Rackley, R. I., 1981, 美国西部各州型铀矿化的成因。层控矿床和层状矿床, K. H. 乌尔夫主编。第7卷, 第3章, 第64—110页。陈肇博译。地质出版社。
- [18] Nash, J. T., Granger, H. C., and Adams, S.S., 1981, Geology and concepts of genesis of important types of uranium deposits. Econ. Geol. 75th Anniv. Vol., PP. 63—116.
- [19] Laznicka, P., 1981, The concept of ore types —summary, suggestions and a practical test, in: K. H. Wolf (ed.), Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits, Vol. 8, chap. 3, PP. 449—511, Elsevier, Amsterdam.
- [20] 云南省冶金局地质勘探公司, 1977, 砂岩铜矿地质 (滇中砂岩铜矿床的实践与认识), 第50—184页。冶金工业出版社。
- [21] 涂光炽等, 1984, 中国层控矿床地球化学。第1卷, 第280页。科学出版社。
- [22] Pretorius, D. A., 1981, 威特沃特斯兰金-铀矿床的特征。层控矿床和层状矿床, K. H. 乌尔夫主编。第7卷, 第2章, 第21—62页, 张待时译。地质出版社。
- [23] Pretorius, D. A., 1981, Gold and uranium in quartz-pebble conglomerates. Econ. Geol. 75th Anniv. Vol., PP. 117—138.
- [24] 冯景兰, 1963, 关于成矿控制及成矿规律的几个重要问题的初步探讨。矿床分类与成矿作用 (矿床学论文集), 第36—57页。科学出版社。