

温度一般为 410~600℃,时间以 4 小时为宜。试验证明 600℃,4h 比 400℃,6h 或 800℃×6h 效果都好。

矿床新类型和成矿新理论

项仁杰

(中国地质矿产信息研究院,北京 100037)

近二十年来,国内外发现了一些引人注目的矿床新类型,并相应提出了一系列成矿新理论。本文在收集大量资料的基础上,对这两方面的现状和进展作一简要的介绍。

1. 矿床新类型 矿床新类型的发现,给矿产资源的开发利用带来了巨大的经济价值。60 年代发现的卡林型金矿现已成了十分重要的金矿类型。70 年代在澳大利亚南部发现的奥林匹克坝铜铀矿床,矿石储量高达 20 亿吨;在西澳发现的钾镁煌斑岩型金刚石矿床,仅 AK-1 岩筒金刚石的证实储量就有 4.148 亿克拉。在我国内蒙发现的 801 矿,锆的储量占我国岩锆总储量 90% 以上,共生的铍、稀土、铌和钽的储量也均是超大型的。在南岭地区发现的离子吸附型稀土矿成了我国稀土的一个重要来源。可以毫不夸张地说,人类今后所需要的矿产资源将有很大一部分来源于新的类型。

所发现的一些新型矿床总起来看具有如下特点。

(1) 新型矿床往往是多元素的综合矿床,而且有独特的元素、矿物组合。最典型的要算湖南的柿竹园钨锡钼铋铍多金属矿床,其有用组分多达近十种,已发现的矿物有 139 种,主要有用矿物为黑钨矿、白钨矿、锡石、黝锡矿、辉钼矿、辉铋矿、自然铋、绿柱石、硅铍矿、金绿宝石等。在英国苏格兰高地东部的 Glen Gairn 地区,于加里东期含铁锂云母、富氟的花岗岩中见有一种奇特的 W-Sn-Mo-Bi-Ag 矿化,还含有许多稀有金属,包括不相容的碱金属(Li、Rb 和 Cs)和高场强的元素(Nb、Ta、Y 和 U)。矿化有两种矿物组合:第一种见于石英脉和硅化的围岩中,主要是黑钨矿、锡石和白钨矿,第二种组合富含硫化物,包括辉钼矿或闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿、锡石,以及较少的斜方辉铋铅矿和黄锡矿。第二种组合充填在脉体的孔洞和铁锂云母花岗岩的溶蚀带中,往往与含铁锂云母-白云母(绢云母)的云英岩伴生。斜方辉铋铅矿含银,与含银的硫化物一起呈残留颗粒出现在非晶质的表生赭土中。我国内蒙 801 矿有用组分有锆、铍、稀土、铌、钽等,有用矿物有锆石、烧绿石、黑稀金矿、羟硅铍钼铋矿、锆日光榴石,等等。著名的奥林匹克坝矿床含有的组分和矿物更为多样:铜含在斑铜矿-黄铜矿-黄铁矿建造中;铀含在沥青铀矿、铀石、钛铀矿中;稀土以氟碳铈矿和磷铈钙矿形式出现,此外还有自然金和赤铁矿-萤石脉体。在原苏联南卡累利阿的奥涅什地区发现一种铀-贵金属-钼组合的综合性矿床,矿石除了含 U、V、Au、Ag、Pd、Pt、Cu、Mo、Zn、Pb 和 Bi 外,还有 Cr、Ni、Co、Hg、Sn、Re 等 10 多种有用组分,矿石中已鉴别出 80 多种矿石矿物,钼主要含在钼云母、金云母和赤铁矿等矿物中;铀存在于非晶质铀矿和硅铀矿中,部分在晶质铀矿中;金、银、铂和钯见于铅、铋和铜的硫化物、硒硫化物、硫硒化物和硒化物中,以及以自然金属形式出现。在加拿大育空地区尼克矿化区的黑色页岩中也发现有独特

的镍-锌-铂族金属矿化,矿化的硫化物层含有黄铁矿、方硫镍矿、胶黄铁矿、闪锌矿、纤锌矿、脉石质的磷-碳质燧石,以及非晶质的二氧化硅和交生的沥青。

(2)新型矿床有很大一部分组分属于微细—超微细粒级。例如卡林型金矿,金颗粒呈显微和亚显微颗粒(几微米到 $0.5\mu\text{m}$)浸染在碳酸盐类岩石中,在俄罗斯哈巴罗夫斯克边区发现的钨-锆矿化,载钨和锆的矿物——斜锆石通常为几微米或几十微米,很少超过 $100\mu\text{m}$,在高倍镜($\times 600\sim 1000$)下都很难从细粒集合体中区分出单个的晶体。在中哈萨克斯坦中-晚泥盆世喷发岩中的新型锆矿化呈细浸染状,极细的锆石析出体仅 $0.1\sim 0.01\mu\text{m}$ 。在东阿尔丹古碳酸盐岩系中发现的层状斜锆石矿体,斜锆石颗粒通常小于 0.07mm ,时常为 $0.02\sim 0.03\text{mm}$ 。内蒙 801 矿含锆的矿物(锆石)也呈极微细的颗粒存在。在我国某地发现的新型铀钨矿床,白钨矿粒径多数为 $3\sim 5\mu\text{m}$,甚至更小。毫无疑问,这些含微细组分的新型矿床,其所以能被发现,一定程度上要归功于现代分析技术的提高。

(3)新类型的矿床往往与“反常”的成矿作用有关。石墨过去往往被认为是变质或热液改造的产物,可是在西班牙南部超镁铁质岩体中发现的却是脉状石墨矿化,石墨矿脉由 $80\%\sim 90\%$ 的石墨和 $5\%\sim 10\%$ 的铬铁矿组成,副矿物为铁-镍-铜的硫化物,根据脉体的矿物和构造特征,可认为这类石墨矿床是岩浆成因的。

铂族金属成矿过去认为只与岩浆作用有关,多赋存于基性和超基性岩中,可在前苏联卡累利阿的一个地区,在碳酸盐-碱性交代岩中见到了 Pd 和 Pt 与 Au 和 Ag 共生的现象,经研究,该矿化属于中温热液交代型。

金的溶解度很低,地表水溶液是很难形成金矿的,可是近年来却发现了温泉型金矿和红土型金矿。前者以美国加利福尼亚的麦克劳克林金矿为代表,该矿金储量达 85 吨,矿石似乎就形成在地表及其附近,地表有一层泉华沉积,矿石中含有大量的烃,有时还含有游离的石油,石油圈闭在脉石矿物中呈液态包裹体存在,在附近萨尔弗谷有成群温泉,泉水金含量为 1 克/吨,泉坑底部沉积物金平均含量为 3.3 克/吨,形成麦克劳克林金矿的“热液”与泉水的同位素特点和化学特点完全相同,看来金矿是泉水作用的产物。红土型金矿发现于西澳的博尔顿及特尔弗,金大量富集在沿太古宙绿岩带发育的粘土-红土层中,平均品位为 1.8 克/吨,金一般呈微细粒状(不超过 $5\mu\text{m}$),以次生游离金的形式产出,看来金是从风化基岩中溶解出来并与铁氧化物一起再沉淀的。

(4)新型矿床中,锆和稀土矿床相当引人注目。上述的哈巴罗夫斯克边区的钨-锆矿化,钨和锆呈类质同象均匀地分布在斜锆石中,对于锆的矿物学和地球化学来说,含钨的斜锆石有重要的意义。在蒙古西部的一个含锆碱性岩体中,不是以锆英石,而是以低温、含水、钠钙的锆硅酸盐形式——水硅钠锆石($\text{Na}_2\text{ZrSi}_6\text{O}_{18} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)到水硅钙锆石($\text{CaZrSi}_6\text{O}_{18} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)的类质同象系列出现。内蒙的 801 矿床中锆则与稀土、铍、铌和钽共生,属于稀土蚀变碱性花岗岩矿床。

稀土的矿床新类型更多。在俄罗斯远东滨海地区新生代凹陷里发现褐煤层中存在一种特殊的稀土矿化,据认为,在强烈的火山活动和热液活动时,煤中聚集了稀土元素,并有选择地富集钇和重镧系元素。我国南岭地区的离子吸附型稀土矿床是由富含稀土的花岗岩和火山岩在特定的地质-地理条件下,经风化作用形成的,粘土矿物吸附了稀土元素,形成了稀土矿床。在蒙古南部的戈壁沙漠中查明了—个晚中生代的碱性岩和碳酸岩区,其中穆舒盖-胡杜克火山-深成杂岩体不仅特别富含铅,而且富含稀土元素,是个综合性稀土-铅矿点。

上面所列举的这些矿床实例说明了一个问题：人们对锆和稀土的地球化学学习性了解得还不够。

2. 成矿新理论 随着矿产勘查工作的深入，矿床新类型的不断发现，人们在成矿理论方面已经跳出了固有的框框，提出了许多新的成矿理论，其中比较突出的有：

(1)海底热水成矿：自 70 年代末期在大洋中脊上发现现代的块状硫化物矿床之后，人们就对形成这种矿床的现代洋底的热水活动及其成矿作用进行了研究，并建立了现代大洋热水的成矿模式：下渗到破碎洋壳中的海水经深部循环和水岩作用，淋滤出成矿元素，然后沿着构造断裂带（如大洋扩张中心），以热泉或温泉形式喷溢到洋底，这种喷出的热水遇到冷的海水，温度骤降，迅即沉淀下成矿物质，形成块状硫化物。根据这个模式，许多人认为地质历史上的许多块状硫化物矿床和日本的“黑矿”也是这样形成的。

(2)细菌成矿：生物成矿作用早已为人们所接受，它涉及到磷、锰、硫、铁、铅、锌、铀、钒、石灰岩等许多矿床的形成。近年来，生物成矿作用中的细菌成矿更为人们所重视。

研究表明，细菌在一些矿床的形成中发挥过重要作用。在印度的一些富锰矿中见有莓状体（显微球状集合体），它们可能是细菌活动形成的。金属硫化物矿床也见有莓状结构，这是一些细菌在酸性 pH 条件下氧化黄铁矿、白铁矿、黄铜矿、辉铜矿、铜蓝、斑铜矿、针镍矿和辉铜矿等形成的。生物后生硫矿床是在硬石膏或石膏中通过能使硫酸盐还原的细菌的活动形成的。拉塞尔在研究磷酸盐结核形成过程中的生物活动时发现，细菌可促使矿石富集。细菌、真菌等微生物同样能将铀富集并固定在矿床中。

(3)冰冻岩石条件下的成矿：过去一般认为，冰冻岩石条件下，化学风化微弱，元素迁移受到抑制，从而也否定了冰岩带中的金属成矿作用。然而，目前所积累的资料表明，在冰岩带中发生着一系列化学元素（包括许多金属）从岩石中释出并进入迁移旋回的强烈物理-化学作用过程。实际上，在冰岩带氧化环境占优势，表生作用带中的酸性和弱酸性介质以及由于低温条件下二氧化碳和氧气的偏高溶解度造成水中二氧化碳和氧气含量偏高，促进了北部地区的化学风化，另外，在冰冻岩石发育区，排出于土壤的水中有机质的含量（占全部溶解物质的总含量）达 15%~30%，对潜育土壤水和沼泽土壤水来说，占 40%~80%，这样高的有机质含量可生成络合有机矿物化合物，大大提高了许多化学元素的迁移能力。

用这种观点不难解释，为什么主要砂金产区，如我国黑龙江和内蒙东北部、俄罗斯的西伯利亚、美国阿拉斯加和加拿大北部地区，都位于在高寒地带，为什么“狗头金”多出现在青海可可西里和四川白玉县这些海拔 4000m 以上的高寒地区。在这些地区，化学风化作用不仅没有停止，一些化学风化还很旺盛。可以说，高寒冻土地区的化学搬运相当重要；正是这种机制才能形成重要的砂金和“狗头金”的密集区。

(4)岩溶成矿：岩溶成矿理论早就提出来了，一些铝土矿、铁矿、硅酸镍矿和金刚石矿床为岩溶成因也已得到公认。但是近年来研究发现，在某些铅锌矿（希腊劳里留姆铅锌矿床、意大利中部萨拉福萨铅锌矿床等）、汞矿（贵州的一些汞矿、中亚吉日克鲁特矿床汞锑矿体等）、重晶石（意大利撒丁岛巴里加重晶石矿床）、萤石等矿床的形成过程中，岩溶也起了决定性的作用。岩溶成矿理论的发展，导致对以前许多所谓“远成热液”和“潜热液”成因的矿床需要进行重新解释。

(5)风尘成矿：西澳大利亚达令丘原地区储量达 9 亿吨的铝土矿难以用下伏太古宙基岩原

地风化的观点解释其中磨蚀重矿物组合的存在,更为精确的化学质量平衡方法也表明,原地风化不能圆满解释元素在这些剖面中的富集,只能用风成作用来解释,所取得的矿物学和岩石学证据有力地说明,在这个剖面的顶部有风成物质的加入。不仅在西澳如此,而在澳大利亚其他地区的铝土矿也可能都受到风成作用的影响。K. Pye 甚至认为,撒哈拉尘埃的运移可远至加勒比海和南美洲,牙买加岩溶铝土矿的母质可能部分是风成的。

(6) 陨击成矿: 陨石撞击地球形成大量陨击构造或星疤构造, 目前查明的陨击构造大约有 1/5 含有各种矿产, 对此一些学者提出了陨击成矿的观点。陨击成矿除了直接形成西伯利亚波皮盖陨石坑冲击角砾岩中的金刚石等矿床之外, 更多的是间接成矿, 包括: ①热动力改造型: 如乌克兰地盾的捷尔诺夫卡陨击坑构造, 其底盘岩系中几层很厚的元古代含铁石英岩被撞击后, 受加热热液的改造而进一步富集; ②诱发型: 陨石撞击地壳, 造成断裂, 诱发岩浆, 火山及气水热液活动, 在陨击构造中富集成矿, 如加拿大的萨德伯里铜镍矿床; ③沉积型: 在撞击坑底湖及边缘水体中沉积而成的矿产, 如乌克兰的博尔兰什陨击坑构造中的含油页岩的始新世岩系, 油页岩资源总量可达 45 亿吨。