

集体。在此过程中,岩石重结晶作用也可能对钨的富集起一定作用。

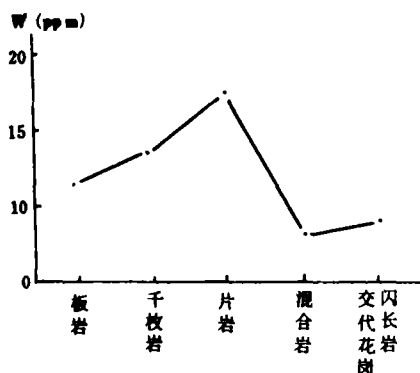


图5 江西北部变质岩中钨的分布曲线

变生溶液主要是由矿物在区域变质期间的脱水 and 脱碳作用形成。经计算,如果从一立方公里体

积的沉积物中释放出2%的水,就能排出 5×10^7 吨水溶液。根据矿物中包裹体研究,变质再造成矿作用的热液主要含有 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、Si质和相当数量的 CO_2 等,以含F量低、温度低(均一法温度为 $120 \sim 300^\circ\text{C}$,主要为中—低温成矿)为特点。在这种条件下,钨的含氟络合物等迁移形式不具重要意义,而主要应以杂多酸、单体钨酸根、钨酸或碱金属钨酸盐形式迁移。在矿液温度下降、酸度降低的相对氧化条件下,围岩中被带出的钙等与 WO_4^{2-} 结合形成钨矿物沉淀。随着矿液温度进一步降低,溶液趋于碱化,硫逸度明显增高,在比较还原的条件下,便有与钨矿物伴生的金、铋硫化物等的形成。

本文在整理写作中,得到李兆麟、马东升和谢少卿同志的协助和提供资料,谨致谢意。

关于生物礁成矿问题的讨论

西安地质学院

戴问天

最近十几年,越来越多的人注意到若干金属、非金属矿床在空间位置上和成因上与生物礁有关,在矿床研究中开始运用碳酸盐沉积学和石油地质学的一些成果。在国内,这一问题也引起了不少同志的注意。

生物礁是一个常用术语,但1950年W. H. 童豪富曾引述许多人对它的解释,说明对这一概念的理解各人并不一致,并由此产生了生物丘(bioherm)、生物层(biostrome)、碳酸盐岩隆(carbonate buildup)等同义或近义的词。根据最近30年来沉积学资料,可以认为生物礁是由于造礁生物的活动形成的、原地生长的抗浪构造。这样就可以把生物礁和其他生物沉积(如大量的生物软泥区分开:它是生长起来的,而不是沉积的(沉积意味着沉落水底并在那里按水动力学原理停积);它能抗浪,因而常常生长高出水面。生物礁能够抗浪的原因,是造礁生物(如群

体珊瑚和层孔虫)的硬体起了骨架作用。

藻?还是迭层石礁?

人们很早就注意到,在前寒武纪晚期(例如我国震旦纪)轻变质地层中广泛出现一种形态特殊的沉积碳酸盐岩石,业治铮等称之为“藻碳酸盐岩”。与这种岩石类似,但出现较少的还有所谓“藻磷块岩”(邹采杼、李继亮,1965)。按照现在的认识,这些岩石中原来所认为的“藻体”实际上并不是藻,而是藻类生长和新陈代谢的结果,捕集、沉淀和粘合碳酸盐而成的一种生物沉积构造,即迭层石。从迭层石在岩层中的产状来看,它无疑应该是原地生长的。如果人们对现代迭层石形成环境的认识也适用于古代,那么这些“藻碳酸盐岩”、“藻磷块岩”就可以当作一类生物礁看待。由于形成这类生物礁的造礁生物是比珊瑚、古杯、层孔虫更低等的藻类,所以可称之为“藻

礁”；又由于迭层石代替生物硬体起抗浪的骨架作用，所以又可称之为“迭层石礁”。二者同义。

美国密苏里州东南部铅锌矿 ——和藻礁有关矿床的典型实例

密苏里州东南部是美国，也是世界最大的铅矿产地，1974年这里“新铅带”生产的铅占美国总产量的85%，世界总产量的15%，矿体赋存在寒武系上部波尼特组地层中。1954年E. L. Ohle和J. S. Brown首先注意到藻礁的存在，确定过去描述的“滚卷构造”(roll structure)实际上是生物丘的内部特征。1972年P. E. Gerdemann和H. E. Myers发现，该区域沉积相型式与石油地质学家所熟悉的通过堤礁(barrier reef)的岩相变化很相似。矿化和藻礁以及与藻礁共生的黑色页岩、暗色碳酸盐岩有密切关系。礁后相岩石中存在被白云石充填的孔穴，这被看作是早先存在过蒸发矿物的证据。毗邻矿床的浅海相石灰岩显示负铅晕，被认为是可能的矿源岩石之一。富含有机质的礁相岩石在提供成矿所需要的硫质上可能起了重要作用。

后来，K. G. Larsen (1977)对区内含矿地层进行了系统的沉积学研究，指出该地在 ϵ_2 末到 ϵ_3 初是一个往东南缓倾的克拉通陆架，圣弗朗科山的前 ϵ 高地在此区域背景上形成一个碳酸盐沉积台地，沉积了板状迭层石(planar stromatolite)和潜穴灰质泥岩(burrowed lime mudstone)，部份地方前 ϵ 基底露出海面成为古岛屿。Myers等把它看作礁后相沉积，并认为其形成和藻礁的保护效应(sheltering effect of the reef)有

关。沉积台地的西、北和北东边缘，分布着狭长的指状迭层石相(digitate stromatolite)，即藻礁礁体。台地西缘坡度较缓，向上生长的迭层石到达高潮水平面时就受到限制，于是向外(向西)扩展，结果在新铅带指状迭层石相以生物层旋迴性重复为特征。台地北东边缘坡度较陡，因为往东沉降较深，结果迭层石持续向上生长，所以老铅带这一沉积相发育了生物丘。藻礁外侧分布鲕粒岩相(oolite facies)，二者合共宽3~6英里，代表中一高能沉积环境。再往西北方向，是一个由向东南倾斜的区域性大陆架斜坡和向西北倾斜的沉积台地斜坡构成的克拉通内沉积盆地，沉积了代表低能环境的微晶石灰岩和页岩(图1和图2)。

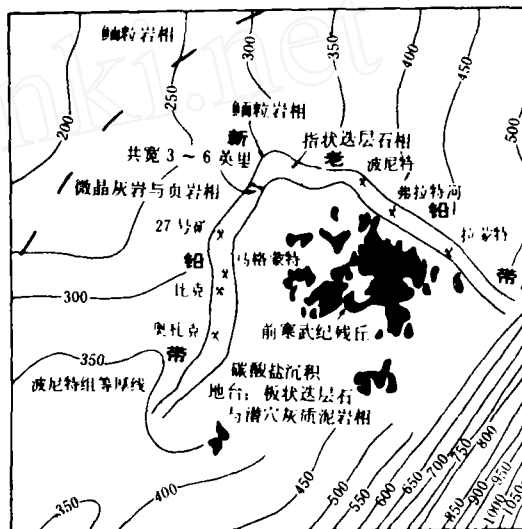


图1 密苏里东南部波尼特组(ϵ_3)的
沉积相与铅矿带分布

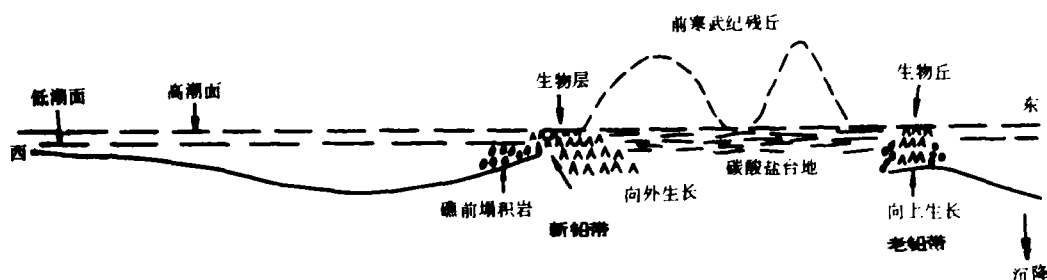


图2 波尼特组沉积示意剖面

区域内铅矿床都沿迭层石礁分布,台地东北侧的礁相带构成“老铅带”,西侧的礁相带即“新铅带”。新铅带不同地段,矿体赋存状况稍有差别。北部的第27号矿山,矿体主要产在被石灰质碎屑充填的沟槽构造中,可能受原先的潮汐水道控制。中部的马格蒙特矿山和比克矿山,矿体主要与溶解塌陷角砾岩和重力崩塌构造有关,也与礁内灰屑岩有关。南部奥扎克铅公司的矿山,和矿带其他部份有较大区别,主要矿体与区域沉积相分布方向(北北东)垂直,受北西方向的埋藏的前€残丘控制,但不超出指状迭层石相和鲕粒相的范围。

密苏里州东南部并不是与藻礁有关的铅锌矿的唯一实例。附近田纳西州(亦为晚寒武世)和加拿大巴芬岛元古界地层中的铅锌矿,也和藻礁共生。在澳大利亚类似的矿床见于伍德卡特、麦克阿瑟和艾沙山,其中麦克阿瑟的含矿地层属元古代(16亿年),含很多藻类生物层(algal biostrome),J.H.Oeher和R.G.Logan(1977)从直接含硫化物的黑色燧石中分离出了许多微体化石,包括丝状菌(filamentous bacteria)、单细胞藻(unicellular algae)和丝状藻(filamentous algae)。

庞家堡“肾状”赤铁矿:迭层石生物层?

大家熟知的庞家堡铁矿,矿层下部常出现一种“肾状”赤铁矿,一般把它解释为胶体凝聚产物,但奇怪的是每一薄层都是向上凸起而不是向下凹陷的,而胶体凝聚产物在重力作用下理应下垂。这里我提出,它应该是一种铁质迭层石,属于柱状或指状迭层石类,整个矿体似可当作生物层或生物丘看待。这种看法是否有当,希望大家讨论。

除碳酸盐、磷酸盐成份的迭层石,以及庞家堡的铁质迭层石(?)外,博茨瓦纳德兰士瓦系“黑礁组”中,据报道有由氧化锰组成的柱状迭层石。扎伊尔沙巴省西部元古代地层中见到由锰碳酸盐、锰榴石英岩(gondite)和石墨片岩组成的锰矿层,其碳酸盐矿石有迭层石存在。

湖南棠甘山锰矿也有所谓“藻锰碳酸盐矿

石”,实际上宏观的“藻体”也不是藻而是迭层石,其中呈微圆球形,原来认为是鲕粒的碳酸锰矿物,经研究证实才是矿化了的蓝藻。季金法、杨悌君所复原的沉积环境,如果按照这一认识,可以和礁环境相比拟。藻锰碳酸盐相可能相当于藻礁相,其靠陆一侧的黑色页岩相代表礁后相富含有机质静水沉积,往外,北部浅海区沉积了正常浅海石灰岩。

与生物礁有关的矿床

按照上面所说,生物礁可以分为两大类,即狭义的生物礁(珊瑚礁、层孔虫礁、古杯礁等)和迭层石礁(藻礁)。大体上说,元古代至早古生代迭层石礁最发育,这段时间碳酸盐沉积岩中的矿床不少和它们有关;狭义的生物礁从寒武纪开始出现,从志留纪开始占主导地位。现代海洋里有大量狭义的生物礁,迭层石礁却只有为数不多的几个例子。

与生物礁有关的矿床,首先当然要推石油和天然气。早在1957年,由于预见到沉积碳酸盐岩石对油、气可能具有重要意义,美国石油地质学家协会设置了专门的研究机构,其工作特点是对古代岩石的研究与对现代地质作用(海洋沉积作用)的调查紧密结合起来。这是科学史上成功的科学决策的一个例子,到现在全世界已发现礁型大油气田十几个,同时,人们对沉积碳酸盐岩石也取得了许多新认识。这些新认识对研究金属矿床的地质学家同样很有价值。

下面我们简要介绍一下除油、气以外,与生物礁有关的其他矿床,主要是金属矿床。

铅锌(及萤石、重晶石):前面已说到和迭层石礁有关的矿床,另外还有不少矿床和狭义的生物礁有关,如加拿大西北部著名的松点矿床(中泥盆世,造礁生物为珊瑚、层孔虫以及藻类),欧洲和北非上古生代、三迭纪、侏罗纪和白垩纪的矿床,以及我国湘、桂、粤、黔、滇等省泥盆纪、石炭纪、二迭纪的矿床。1972年R.L.Stanton就指出,“密西西比式”矿床大多产在沉积碳酸盐岩石中,这些岩石一般是生物礁的组成部份,矿化发生于礁组合的一定地段(多在礁核或礁前,

仅欧洲见有产于礁后的),成矿的原始区域控制是一种古地理控制。

铜:东川铜矿是一个很好例子。近年来许多人注意到含矿地层中“古藻”的存在及其与矿化的关系,指出所谓“马尾丝状”矿石实际上是矿化了的“古藻”。按本文前面所说,这些“古藻”应为迭层石。最近龚琳、王承尧详细论述了藻礁与铜矿化的关系(1981)。

赞比亚—扎伊尔铜矿带的某些地段和东川类似。1964年S. P. Malan 首先指出穆富里拉含矿地层中的白云岩是迭层石生物丘。接着 Garlik (1964),Paltridge (1968) 等也认为铜带许多白云岩是轻度变质的藻类生物丘或生物层,硫化物的成份和分布与它们有密关系。

澳大利亚艾沙山矿床以铅锌著称,但这个矿床也产铜。这里的含矿岩石主要有两种,一种是显示藻礁和礁砾岩特征的硅质白云岩,含黄铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿,另外一种含铅锌硫化物的黑色页岩,它被认为是富含有机质的礁外(off-reef)沉积。

据报道博茨瓦纳、摩洛哥、印度等地也有类似的铜矿,年龄几乎都是元古代。只有阿拉斯加红沟(Ruby creek)矿床产在中泥盆世生物礁内。

铁:据报道国外某些前寒武纪条带状硅铁岩与含迭层石的岩石共生,如美国上湖麦萨比区比瓦比克组(含铁组)有燧石质柱状迭层石,下伏白云岩也含迭层石,南非开普和德兰士瓦含铁组都直接覆在含丰富迭层石的厚层白云岩之上(F. Mendelsohn, 1976)。

我国古生代碳酸盐地层中有不少菱铁矿矿床,其中一些(如黔西赫章、湖北黄梅)被认为和生物礁有关(刘宝珺等,1980)。

金和铀:南非维特瓦特兰德矿田的西部和西南部,主要矿石并不采自砾岩本身,而是采自一种“碳质层”(carbon seams),Pretorius (1974),Hallbauer 和 Van Warmelo (1974) 认为,它们可能是藻类或其他低等生物成因的,金铀可能在这些生物生长时被它们“吸收”(assimilated),也可能以碎屑形式被捕集在碳质柱体之间。

铝:许多的现代礁岛发育了铝土矿,如所罗

门群岛的伦纳尔环礁和贝洛纳环礁,洛亚尔提群岛的乌韦阿,利富和马雷等几个环礁。苏联 Ю. К. Горенский 在 1960 年就认为,若干古代铝土矿也是以生物礁石灰岩为基底发育起来的,例子有:北乌拉尔(产于 D₁ 堤礁中),阿尔泰—萨彦区(D₁ 可能为岸礁),南费尔干纳(D₁ 堤礁)以及克里米亚(J)。乌拉尔的部分铝土矿变质后形成刚玉矿床(В. Г. Кузнецов, 1978)。

磷:我国西南震旦亚界和寒武系的沉积磷矿,多沿碳酸盐岩相(向陆一侧)与碳泥硅质岩相(向海一侧)交替地带分布,再往陆地方向有时出现石膏、岩盐等蒸发岩。有的磷矿(如开阳)本身具有清楚的藻礁结构,成为板状、柱状、锥状等各种形态的磷质迭层石,并与大量滨海沉积构造相伴随,往外海方向常出现海底沉积物滑移现象,表明曾经存在较陡地形。这些都是生物礁常见特征。另据周茂基等报道(1978),黔中陡山沱组磷块岩中还发现了富含碘(最高达 0.0288%)的磷质迭层石。

在国外,已知印度和苏联有和生物礁有关的磷块岩。其中阿尔泰—萨彦区的矿床和寒武系藻礁、古杯礁关系最为明显(В. И. Фоминский, 1970),此外还见于小卡拉套和西滨贝加尔地区(里非纪),吉尔吉斯山脉、绍里亚山和哈巴罗夫边区(寒武纪),北哈萨克斯坦(奥陶纪),以及前乌拉尔边缘拗陷(二迭纪)。

除了以上列举的铅、锌、铁、锰、铜、金、铀、铝、磷以外,和生物礁有关的矿床可能还有锡(广西)、汞、锑(贵州、湖南)等等,种类不少,若干矿床规模很大,值得重视。

生物礁类型及其与矿床的关系

生物礁可以按不同原则分类。按照造礁生物的不同,可以分为藻礁和狭义的生物礁。从上面引述的资料看,与晚元古代至早古生代藻礁有关的矿床,似乎在数量和规模上都优于与较晚地质时代狭义生物礁有关的矿床。

按照形态和对沉积作用的影响,生物礁可以分为两类,一类是具有分隔沉积环境作用的礁,如堤礁、环礁(atoll)、马蹄形礁(horse-shoe

reef) 以及一部分岸礁 (fringing reef), 另一类则不具备这种作用, 主要是一些小礁体, 如尖柱礁 (pinnacle reef) 和补丁礁 (patch reef)。已知和成矿有关的生物礁多属前一类, 其整个礁组合可以进一步三分: (1) 礁核 (core), 即生物礁本身, 以存在呈生长状态的生物硬体 (或迭层石) 为特征; (2) 礁前 (fore reef), 生物礁向海一侧, 地貌上常为较陡斜坡。由于波浪、海流和潮汐的作用, 这里常堆积了来源于礁核的碎屑, 粒度较粗, 称为礁前塌积岩 (talus); (3) 礁后 (back reef), 生物礁向陆一侧, 通常为较平坦的浅水地带, 由于礁体的阻隔, 可以出现泻湖。礁后沉积物来自陆地和生物礁两方, 视气候与封闭程度的不同, 有的沉积了富含有机质的静水沉积 (如黑色页岩), 有的沉积了蒸发岩。环礁和马蹄形礁的礁后往往只有泻湖而没有陆地, 因而沉积物中缺失陆源物质。在石油地质中, 礁前和礁核岩石的储集性质最好。与此类似, 金属矿大部份也赋存在这两个部位。

按照和海、陆的关系, 生物礁可以分为陆表海礁 (epicontinental reef) 和产在大洋中以火山岛为基座的礁。在地质历史上陆表海的分布远较现在为广, 说明生物礁成矿的条件优于现在。

低等生物的活动与矿质沉淀

和生物礁有关的矿床种类繁多, 产状各异, 其形成自然很难或不可能用一个统一的模式来说明。按照传统观念, 有些矿床应属沉积成因 (在沉积和成岩过程中形成), 有些为热液成因, 但和岩浆作用无关。

在低等生物如细菌、真菌和藻类中, 有很多具有使铁、锰氧化的能力, 现代海洋、湖沼里不少铁锰氧化物是由于它们的活动造成的。从1922年在美国比瓦比克组条带状铁矿中发现菌体以后, 加拿大、南非等地都相继发现类似微生物化石。我国近年来在鞍山地区铁矿石中, 亦找到不少菌、藻化石 (徐仁等, 1979)。这就提出了这些低等生物与铁矿形成的关系问题。最近十几年来, 越来越多的人把前寒武纪条带状铁矿的形成和地球大气圈、生物圈、水圈的演化联系起来。

其中比较有代表性的是 P. Cloud (1968, 1973) 的意见, 他认为20亿年前条带状铁矿的成矿“高潮”, 可能和当时蓝绿藻等低等生物的大量发育有关: 铁的沉积要求 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ; 而当时大气圈、水圈中游离氧很少, 成矿所需要的氧, 可能主要靠低等生物的生命活动提供。结合美国、加拿大和南非条带状铁矿与迭层石的关系来看, 矿石有可能是在一种浅水、富含低等生物的环境里形成的。

某些金属硫化物的沉积可能也与低等生物有关。草莓状 (framboidal) 硫化物主要是黄铁矿, 曾被当作石化的细菌 (*fossilized bacteria*)。有的人 (如 D. T. Rickard, 1969) 并用人工培养的硫酸盐还原菌合成了一系列硫化矿物。澳大利亚麦克阿瑟铅锌矿分离出细菌和藻类化石的事实, 使人们不得不考虑至少一部份硫化物的生成可能与低等生物有关。硫酸盐的细菌还原需要三个基本条件: (1) 细菌; (2) 还原对象— SO_4^{2-} , 它存在于海水、特别是卤水中, 也存在于蒸发岩 (石膏) 中; (3) 细菌新陈代谢过程中能被其利用的有机物。这三个条件在生物礁环境中都可具备。

生物礁作为矿源岩 (Source rock) 的可能性

在许多情况下, 生物活动可能不足以促使矿床形成, 但是可以使矿质初步富集, 形成矿源岩, 为后来的改造成矿提供基础。

首先, 尽管不同作者报道的实验结果有一些差异, 但总的说来低等生物如细菌和藻类对重金属有较高的忍受能力; 而且, 在有机物产率高的地方, 只有当进入环境的金属的数量超过环境中产生的 H_2S 的数量时, 才会成为一种抑制生物繁殖和生长的因素。所以毫不奇怪, 海生植物 (主要是藻类) 往往浓集某些重金属, 参见下表 (据 P. A. Trudinger 和 F. Mendelsohn, 1976)。

密苏里大学 N. L. Gale 等 (1974) 的一项研究证明, 丝状蓝绿藻 (blue-green filamentous algae) 可以把 Pb 富集到 5,000 倍, 即从含 Pb 0.2 ppm 的水里把 Pb 富集到超过 1,000

元 素	海水丰度, ppm	海生植物丰度, 干重, ppm	浓 集 倍 数
Ca	400	10,000 ~ 300,000	25 ~ 750
Cu	0.003	11	3,700
Fe	0.01	700	70,000
Mn	0.002	53	26,500
Ni	0.005	3	600
P	0.07	3,500	50,000
Pb	0.00003	8	267,000
Zn	0.01	150	15,000

ppm左右同时还可以富集Zn。重金属被认为是吸附在藻类表面的,它很难用河水、自来水或蒸馏水清洗掉,但可以被某些溶液、例如0.1 M的EDTA溶液清洗掉。用这种办法处理,尾矿堆排出的含Pb约0.1 ppm的水,在经过3英里长的人工曲流系统和在终端沉积池沉淀以后,含Pb量可下降到0.05甚至0.005 ppm以下。

其次,现代海洋学资料证明(J. D. Milliman等, 1974),若干海生动物的碳酸盐质硬体,不同程度地富集Fe、Pb、Zn、Mn、P等元素,浓度系数*有时可以达到很大的数值。例如软体动物文石质碳酸盐中的Pb可达4,200~6,700,对于方解石质碳酸盐,Fe可达450(苔藓虫),Pb可达30~600(瓣鳃类)和300(腔肠动物),P可达2,100(节肢动物),87~850(苔藓虫)和100~800(棘皮动物)。这些海生动物不少是造礁或喜礁的。

礁环境中成矿流体(热液)的形成

与生物礁有关的铅锌矿和铜矿(以及汞、锑矿床?),后期热液改造往往比较明显。这类矿床与矿有关的碳酸盐岩石经常为白云岩。根据流体包裹物研究,成矿温度不高,通常不超过150~180℃。成矿溶液含盐度高,多为Na-Ca-Cl型卤水。某些矿床(特别是铅锌和萤石矿床)且含有碳氢化合物包裹体,如石油和沥青。

按照对现代沉积物的研究,人们发现几乎所有白云岩都是原来石灰质岩石次生改造的结果。

Adams和Rhodes 1960年提出来的“蒸发回流作用”,被认为很可能是白云石化的主要机制:礁后泻湖里的蒸发卤水,可能是最常见的白云石化溶液。在这种认识的启发下,J. H. Davis (1977)对密苏里东南部铅矿的形成,提出了所谓“早期成岩模式”,其要点如下。

- (1) 在潮间带环境沉淀富含金属的藻灰岩;
- (2) 礁后泻湖中蒸发形成的富Mg卤水渗透回流(seepage reflux),使礁灰岩白云石化;
- (3) 白云石化作用和藻类残体的氧化,使金属从藻类灰岩中释出。白云石化溶液(富Mg卤水)失去Mg而得到Ca以及重金属,转化成为富含金属的成矿溶液。
- (4) 礁灰岩及其共生岩石中存在的大量有机物,可以产出H₂S或HS(同时形成一些碳氢化合物),促使卤水中的金属以硫化物形式沉淀;
- (5) 卤水中SO₄²⁻的细菌还原是硫质的另一重要来源,这个过程是一个放热反应,因而又是使卤水转变为热液的热量来源。

对于澳大利亚伍德卡特铅锌矿,W. M. B. Roberts (1974)也提出了类似的解释,认为含金属热液的产生与含矿层石灰岩的白云石化有关。

“油捕”与“矿捕”

在石油地质上,生物礁是一种优良的“油捕”(oil trap)。“借用”这个概念,在热液矿床形成过程中,看来生物礁有可能成为一种有效的“矿捕”(ore trap),即集聚成矿流体,并促使矿质沉淀。

首先,生物礁往往是同时代沉积物的构造高点,如乌拉尔山前拗陷的P₁生物礁与同期沉积物高差达300~800m,因而油气对运移向生物礁部位。根据现有资料,成矿热液的运动方向也主要是往上的,因而油气运移相仿,具有在构造高点聚集的趋势。

生物礁成为构造高点的原因有三:(1)它的生长比同期地层的沉积快;(2)许多生物礁是在

* 浓度系数 = $\frac{\text{(某元素在碳酸盐中的浓度)}}{\text{(某元素在海水中的浓度)}} \times \frac{\text{Ca 在该碳酸盐中的浓度}}{\text{Ca 在海水中的浓度}}$

区域地壳下降过程中生长的,周围同期沉积物由于地壳下沉而坳下,生物礁却因其不断生长抵偿了这种下沉,结果形成以它为核心的背斜构造;(3)在沉积物后来的压缩团结过程中,生物礁由于造礁生物硬体(或迭层石柱体)的支撑作用,压缩程度比周围沉积物小。

其次,生物礁、特别是礁核和礁前,往往具有良好的孔隙性和渗透性,这是它在石油地质上成为良好储集岩的重要原因,对于金属矿的形成也很重要。生物礁孔隙性、渗透性好的原因,是它的原生孔隙、次生裂隙洞穴都很发育。

原生孔隙:(1)大多数造礁生物具较多的生物孔隙;(2)迭层石、特别是柱状迭层石之间,常充填以生物碎屑或其他碎屑,孔隙较发育;(3)由于生物礁位处高能环境,常发育了波浪、海流冲刷造成的沟槽和潮汐水道,其中经常充填比较粗粒的碎屑。在密苏里新铅带北部,这种沟槽是主要的控矿因素;(4)礁前往往堆积波浪、潮汐破坏礁体而成的灰屑岩,有时出现孔隙多且大的礁前塌积岩;(5)礁核本身常常伴生有礁砂(reef sand),即礁体破碎产物,在密苏里东南部礁本身被分为藻礁和礁砂两个亚相。

次生孔隙:(1)生物礁中溶解孔隙比较发育,因为根据现代沉积物的研究,造礁碳酸盐中高镁方解石和文石比较多,而这两种矿物在天然水中的溶解度都比普通方解石大;(2)礁灰岩常常白云石化,白云石的摩尔容积比方解石小12~13%,这意味着当岩石容积不变时石灰岩白云石化将伴以孔隙度的显著增大。根据石油地质学家的测定、统计,古代白云岩孔隙度都比石灰岩大。北美碳酸盐岩石中的石油、天然气将近80%产自白云岩,显然与此有关。

生物礁中还常常生成各种后生角砾岩,它们常常含矿。这些角砾岩按成因大体可分为四种:(1)喀斯特角砾岩,由于生物礁所处位置多在潮汐带附近,海面略一下降它就可以成为陆地发育喀斯特作用,纽芬兰 $\epsilon \sim O_1$ 圣乔治组石灰岩中的铅锌矿;被认为受这种角砾岩控制;(2)受下伏基底中的断裂的影响而发育的溶解塌陷角砾岩,它们往往呈线状分布。加拿大松点铅锌矿可作为

产生这种角砾岩中的矿床的实例,矿体在 D_2 礁相白云岩中,沿南西方向(250°)的角砾岩常分布,这些角砾岩被认为是沿下伏前寒武纪基底中的断裂带形成的;(3)沿礁体中潮汐水道和冲刷沟槽发育的溶解塌陷角砾岩;(4)盐溶角砾岩,和礁后经常出现的蒸发岩的溶失有关。F. W. 和 J. L. Hardy (1977)认为,密苏里新铅带白云岩中的部份角砾岩,是礁后(即被藻礁围绕的部份)曾经存在过的蒸发岩淋失而造成的,他们在含矿层粒度较细、渗透性较差的部份找到了一些细小的石膏晶体,认为应该是蒸发矿物的残余。

第三,生物礁在化学性质上也比一般碳酸盐沉积有利于矿质沉淀。一方面,现代沉积学研究发现造礁碳酸盐中文石常常很多,它比方解石不稳定,容易被溶解和交代;另一方面,生物礁及其附近沉积物富含有机质,能够提供金属沉淀所需要的 H_2S 。石油地质上关于生物礁中油气的来源虽有它生说(来源于相邻沉积物)和自生说(来源于生物礁本身)之争,但都承认生物礁及其相邻沉积物富含有机质,油气和 H_2S 实际上是有机物变化过程中相伴出现的产物。

第四,能够保存下来的生物礁其上多被浅水不渗透或弱渗透岩石覆盖,这些岩石包括泥质岩石、蒸发岩以及主要由灰泥组成的微晶石灰岩(micrite),其结果,在石油地质上即使没有构造圈闭也会形成地层或岩性圈闭,对金属矿床的形成,这些覆盖岩石则起到阻止矿液逸散的作用。在密苏里东南部,主要矿体都在 ϵ_3 戴维斯组页岩之下,类似现象在其他地方也屡见不鲜。

最后,在石油地质上生物礁常形成大油田还有一个重要原因,就是它毗邻生油岩石(按它生说观点),或本身就是生油岩石(按自生说观点),油源充足,因而圈闭一般都是有效的。与此类似,对于金属矿床的形成,在生物礁环境中矿质来源、成矿溶液的产生和运动、成矿物质的沉淀这几个条件往往结合得很好。

结 语

生物礁成矿问题的提出,有助于把一部份产在沉积碳酸盐岩石中的矿床的“层控理论”研究

推向更具体、更实际的阶段。在研究这个问题的
时候,应该把对矿床本身的研究和现代海洋沉积

学的研究结合起来,并注意借鉴石油地质上所取
得的经验。

主 要 参 考 文 献

- [1] Blatt, H. 等, 沉积岩成因 (中译本), 1978, 科学出版社
- [2] Milliman, J. D. 等, 海洋碳酸盐 (中译本), 1978, 地质出版社
- [3] Cloud, P. 1973, Econ. Geol. Vol. 68, No. 7
- [4] Econ. Geol. Vol. 72, No. 3, 1977 (An Issue devoted to the Viburnum Trend, Southeast

Missouri)

- [5] Twenhofel, W. H. et al. 1975, Carbonate Rocks III: Organic Reefs, AAPG, reprint series No. 15
- [6] Walter, M. R. et al. 1976, Stromatolites
- [7] Кузнецов, В. Г. 1978: Геология рифов и их нефтегазоносность



菲律宾群岛斑岩铜矿床液包裹体的研究

自1959年在这里发现斑岩铜矿床以来,到现在已有十多个
矿山投产。探明储量32亿吨,平均含铜0.46%,含金0.30克/吨。

矿床产在第三纪闪长岩体的边缘。在吕宋岛北部,沿阿格
罗岩基边缘,在马林杜克岛的马欣欣岩株,内格罗岛西北部的
岩株以及棉兰老东部的一些岩株的边缘,都有斑岩铜矿产出。

矿床的特征可归纳为以下几点:

(1) 侵入体的地质年龄在成因上与矿有关,不是上新世就
是中新世。

(2) 与矿有关的侵入岩具有闪长岩的成分。

(3) 矿带的围岩蚀变以黑云母化或绢云母化为主。硫化矿
伴有硅化。

(4) 围岩蚀变分带不规则,也不太明显。

(5) 矿化几乎都是含硫化物的石英细脉,有一部分呈浸
染状。

(6) 与美国的斑岩铜矿相比,硫化物的总含量(6%,重
量)以及黄铁矿、黄铜矿的比例(1~4)一般都偏低。

(7) 金和磁铁矿的含量平均分别为0.3克/吨和3%(以重
量计)。

(8) 矿床中常见有硬石膏和石膏。

西里托曾指出,在岛弧形成的斑岩铜矿床与在大陆壳里形
成的斑岩铜矿床相比,含金较富,而钼含量则较贫。他认为这
不是由于大地构造位置而是由于与体系内部演化有关的局部因
素所引起的。他还指出含金多的斑岩铜矿床,含交代成因的磁
铁矿和石英也较多。

液包裹体研究结果发现,其赋生状态是多种多样的,与矿

床的年代无关,而是与矿床的特征有关。侵入体的深度与规模、
岩浆的挥发演化、地质构造和地下水的侵袭等,这些都可能是
控制模式和温度压力范围的因素。

直立延伸的筒状矿床中,多相的和气态的包裹体很多,而
液态包裹体却很少,例如在菲勒克斯矿山的第二号矿体就是这
种情况。液态包裹体的产状说明,呈沸腾状态的高温、高盐度
的流体对矿体的形成起主要作用,并且在晚阶段低盐度雨水的
参与较少。这种热液活动导致矿带普遍的黑云母蚀变。

另一方面,水平方向延展平卧的矿床,液包裹体比较多,
但多相的包裹体则很少见到。马科珀矿山的矿体有这样的情况。
矿带中产生普遍绢云母化的循环雨水的强烈活动,可能是形成
液包裹体的原因。在阿特拉斯矿的比卡矿体,多相包裹体比液
相的包裹体多。多相包裹体主要产生与硫化物和磁铁矿所伴生
的石英中。在此矿体中的液相包裹体太小,能够进行温度测定
的为数很少。

在西珀雷和巴塞两个矿山的矿床,其液包裹体的产状介于
上述两种之间,在这两个矿山的矿床中,黑云母化和绢云母化
都能见到,而绢云母化蚀变比黑云母化蚀变要强烈。

以上结果指出,斑岩铜矿床成矿液体的特征与矿体的形态
有密切的关系,还与围岩蚀变以及热液体系的演化有关。要得
出具体的结论,还需要进一步取得更多的液包裹体的数据。

(吴奇石 摘译自日本地质调查所出版的
地调报告81年261期《亚洲的矿床成因》)