

文章编号: 1009-2722(2002)10-0021-08

俄罗斯大洋固体矿产资源调查研究进展

许东禹

(青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

摘要: 介绍了俄罗斯的海洋多金属结核、铁锰结壳、热液硫化物和磷钙土资源调查研究活动概况和发展趋势。

关键词: 海洋矿产; 铁锰结壳; 俄罗斯

中图分类号: P744 **文献标识码:** A

2002年4月20至25日,“国际海洋矿产会议”在俄罗斯圣·彼得堡举行。俄罗斯学者在会议上发表的论文和专题报告代表了当前国际上该领域的研究现状和进展。现按不同矿种分别介绍调查研究概况和主要成果。

此阶段内形成古大洋板块和磁静带,时间为50Ma;第2阶段为非扩张阶段(K_1-K_2 , 120~80Ma),广泛发育火山作用,形成巨大火山带;第3阶段为线性有序扩张阶段,形成年轻大洋板块(K_2-P_3 , 80~26Ma);第4阶段为有序线性扩张阶段,产生大洋中脊(26~0Ma)。

1 多金属结核和富钴结壳

大洋发展过程中形成了特殊的构造类型——转换断层,它们是脉动式依次形成的,其形成时代大致是侏罗纪、晚白垩世、始新世、晚渐新世,新第三纪。

1.1 大洋矿产资源图

图中将成矿区划分成不同级别的区域:区带—带或省(belt, Province)—域(field或region)—矿带(ore zone),矿区(ore district)—矿结(ore knot)—矿。

由主编S I Andreev(安得列耶夫)介绍了编图的指导思想、原则和内容,该图编制于2000年,由俄罗斯大洋地质矿产研究所编制。该图以板块构造理论为指导,以地质年代、构造、构造岩相及其发展阶段为背景,标示了铁锰沉积(结核和结壳);铜—锌硫化物(块状硫化物、浸染状硫化物);含金属泥和卤水(氧化—氢氧化物、硫化物、磷酸盐、碳酸盐、硅酸盐);含碳酸盐—磷矿沉积;结晶状天然气水合物;陆架矿砂。

铁锰结核和结壳按地球化学特征分为5类:富Ni—Cu型(克拉里昂—克利帕顿)、富Co型(夏威夷)、富Mn型(秘鲁海盆)、富Ni型(秘鲁海盆)、中度富Mi—Cu—Co型(中太平洋海盆)、Co型(南太平洋海盆)。

该图将大洋发展过程分为4个阶段:第1阶段为无序扩张阶段(J_2-K_1 , 171~120Ma),

图中按水化学界面将产矿水深段划分为如下几个:最低含氧层(LOM)和碳酸盐临界深度(CDCA),富钴结壳产于500~3500m水深段,富Ni—Mn型结核(秘鲁海盆)分布在东太平洋海隆翼部附近(3900~4300m)。Fe—Mn沉积的地球化学类型与一定的水深(地形)层上

收稿日期: 2002-08-08

作者简介: 许东禹(1936—),男,研究员,从事海洋地质研究工作



的密切关系产生了结核、结壳的集矿区,即结核分布在深海平原区,而结壳则分布在海台和海山区。在整个大洋中已发现 67 处远景区: 20 个区域(fields)和 47 个区(areas),其中 13 个区域和 41 个区位于太平洋上,主要包括克拉里昂—克利帕顿成矿域(富Ni—Cu—Fe—Mn型矿)、秘鲁成矿域(富Mn矿)和麦哲伦海山矿域(富钴结壳)。在印度洋上有 6 个矿域和 20 个矿区;大西洋上 2 个矿域和 20 个矿区,其中包括 4 个热水结壳矿区。整个大洋Fe—Mn沉积矿资源量为 817 亿 t,其中太平洋占 80% 的资源量,大西洋为 10.5%,印度洋为 9.5%;而且在大洋总资源量中,富Ni—Cu型结核占 25%,富Mn型的占 3.5%,富Cu型为 3.5%。

深海多金属硫化物(DPS)主要分布在大洋中脊轴部、弧后盆地、活动裂谷和火山链附近的热热水活动带上。50 个典型的硫化物产地已在大洋中得到确认,而巨型成矿带主要分布在洋中脊上,10 个成矿带出现在洋中脊上。

海洋磷钙土资源量可与陆地相媲美。海洋磷钙土的形成环境有两种:即不活动大陆边缘和海山(即某些海洋岛上)。大陆边缘磷钙土分布区有日本海、加利福尼亚、秘鲁—智利海岸、澳大利亚西岸、摩洛哥、开普敦等地。海山磷钙土大部分是古老沉积物,主要分布在水深小于 500 m 的海山上,结壳状的则分布在大于 500 m 的水深处,中太平洋海山群是磷钙土的主要产地。岛屿磷钙土分布在太平洋的瑙鲁岛、大洋岛、马塔伊瓦岛和印度洋的圣诞岛上。

天然气水合物是一种潜在的能源资源,它们主要分布在各大洋大陆边缘的陆坡上。

在编制“大洋矿产资源分布图”时,引用了 50 000 多个铁锰结核和结壳的记录,1 200 多个站位的深海硫化物、含金属泥及卤水方面的资料,3 000 个磷钙土方面的记录以及 20 000 个岩浆岩方面的记录。

1.2 铁锰结核和结壳成矿作用

俄罗斯南方海洋地质勘探联合体的 V M Yubko 等讨论了铁锰氧化物矿的成矿作用,认

为铁锰氧化物成矿系统主要受到如下几个因素的控制:成矿物源及其特性和能源;成矿过程时空演化机制;成矿环境。成矿物质来源可分为两类:一是地质时期长期(几百万至数千万年)供应;二是短期(数千至数百万年)供应。从 43 Ma 前开始太平洋板块发生迁移,从 23 Ma 前开始发生周期性运动,造成了铁锰结核和结壳的不同生长构造和生长间断面。

S L Andreev 等在海洋化学和大洋成矿作用一文中提出,海洋水化学特征控制和影响了铁锰沉积成矿作用,认为大洋水层水化学分带(层)造成了不同类型的铁锰沉积物。以Ni、Cu和Co主要元素为判别依据,将铁锰沉积物划分为 5 种地球化学类型:富Co型、中度富Ni—Cu型(Ni—Cu—Co组分特征)、富Ni—Cu型、富Ni型和Co型等。富Co结核和结壳出现于水深 500~600 m 的最低含氧层上,当水深大于 3 000 m 时渐渐消失。中度富Ni—Cu型(0.7%~1.7%)铁锰沉积直接产出于碳酸盐临界深度之一的沉积物中,而富Ni—Cu型铁锰沉积物则产在碳酸盐临界深度以深地区。

大洋中铁锰沉积矿按与水化学分层关系可分成 3 个组:钴矿(贫 0.3%~0.4%,中常量 0.6%~0.8%,较富 > 0.8%);铜矿(贫 Ni+Cu 为 0.7%~1%,常量 1.7%~2.4%,富 > 2.4%);锰矿(锰型)Ni+Mn 为 33%~37%,Ni+Cu 为 1.7%~2.4%;富锰型Mn 为 35%~42%;Ni+Cu 为 0.7%~1.7%。

大洋水层的垂直水化学结构与外来能量因素有密切的关系,即与太阳辐射的季节变化有关系,气候纬向分带控制了铁锰沉积矿的纬向分布,结果大洋中 95% 的铁锰沉积矿集中分布在 35°S 和 45°N 之间的地带。

大洋水层中垂直分带的最主要的水化学界面是最低含氧层(LOM),碳酸盐临界深度(DCA)和有机二氧化硅补偿深度(CDSiO₂),这种水化学分带控制了铁锰沉积矿的垂直分布和类型。

Anikeeva 等认为大洋中铂族元素的沉积机制是水成作用。大洋中铁锰结壳的铁锰物质

是经过胶体颗粒的沉积作用形成在海山区基岩之上的, 其中 Co、Ni、Mo、V 和铂族元素并不是以独立矿物的形式存在于结壳中, 而是以同形异构的形式混入于结壳中的。

进入大洋的铂族元素的来源是陆地侵蚀、风成物质、宇宙物质。但是, 也不能排除岩浆作用和热岩活动、透岩浆溶液以及岩浆水影响的可能性。铁锰结壳中 Pt 的含量随着海洋水深发生变化, 其平均含量为 0.5×10^{-6} , 但是在生产水深范围内猛增到 $(0.1 \sim 0.3) \times 10^{-6}$, 甚至达 4.0×10^{-6} ; 而从 3 000 m 水深开始 Pt 含量明显减少到 $(0.1 \sim 0.2) \times 10^{-6}$ 。结壳中 Pt 含量随水深的变化主要受到水化学因素的控制, 即碳酸盐临界深度 (CDCA) 和最低含氧层 (LOM) 的控制。

俄罗斯的 Anikieeva 认为大洋和陆地天然水中 Pt 和 Pb 主要是以氯的络合物形式迁移, 即以 $[PtCl_4]^{2-}$ 、 $[PdCl_4]^{2-}$ 形式迁移, 这里 Pt (2+) 和 Pd (2+) 还原为 Pt (0) 和 Pd (0), 可能是这种金属固定到矿物种的一种形式, 而 Pt 和 Pd 在铁锰结壳形成过程中被固定到矿物种的主要机制是吸附作用。

1.3 铁锰沉积矿的分类

Andreev (1994) 等根据铁锰沉积物中主要元素 (Mn、Ni、Cu、Co) 和伴生元素 (Mo、Lo、Ce、Au、Ag、Pt) 的含量, 将海洋铁锰沉积矿分为 4 种类型, 其中前 3 种是结核状矿, 呈单层分布在水深 4 000~6 000 m 深海凹地沉积物表面上。结核丰度一般为 5 kg/m^2 , 而丰度大于 5 kg/m^2 (干重) 时有工业意义。第 4 种类型是铁锰结壳, 主要分布在水深 800~3 000 m 的海山上的固结沉积岩和玄武岩之上, 结壳厚度在 1~8 m 之间, 丰度在 50~90 至 300 kg/m^2 之间 (Andreev, 1995)。

Anikieeva 介绍了 4 类铁锰沉积矿的地球化学和分布特征。

镍—铜型铁锰沉积矿 (克拉里昂—克利帕顿型): 据 Ni 和 Cu 含量, 可分为 3 个亚类, 可作为工业原料的组分是 Ni、Cu、Co、Mn。此类

矿富集区分布在太平洋克拉里昂和克利帕顿断裂带之间和中印度洋海盆上。铁锰沉积主要形成在被硅质—粘土质粉砂覆盖的深海平原上。矿的丰度是 $2 \sim 20 \text{ kg/m}^2$, 少数可达 30 kg/m^2 。Pt 含量不高, 为 $(0.1 \sim 0.2) \times 10^{-6}$ 。

锰型矿 (秘鲁型): 产在洋中脊翼部附近的深度不大的海盆上。矿的丰度在 $5 \sim 20 \text{ kg/m}^2$ 至 $30 \sim 40 \text{ kg/m}^2$ 之间, 按 Mn 的含量可分为 2 个亚类。Co 和 Pt 的含量低 (Pt, 通常低于 0.1×10^{-6})。

富钴型矿 (南太平洋): 主要产在太平洋南部凹地上, 丰度为 $20 \sim 30 \text{ kg/m}^2$ 至 45 kg/m^2 , Co 含量是 $0.3\% \sim 0.4\%$, Pt 的含量较高, 自 0.1×10^{-6} 增加到 0.25×10^{-6} 。

钴—锰型矿 (夏威夷): 主要以结壳形式产在沉积物很少的坚硬岩石表面, 产生水深范围是 600~3 000 m, 最主要的产生水深接近最低含氧层 (LOM)。Co 的含量平均为 0.5% , 常达 $1.0\% \sim 2.0\%$, 铂含量自 $(0.3 \sim 0.5) \times 10^{-6}$ 增加到 $(1.0 \sim 3.0) \times 10^{-6}$, 最高可达 4.5×10^{-6} 。

1.4 铁锰结壳分布规律

俄罗斯南方海洋地质勘探联合体的 M Y Melnikov 在介绍太平洋麦哲伦海山铁锰结壳的钻探结果时, 探讨了铁锰结壳的壳厚、金属含量同水深、地形及基质的关系。2001 年 k/v “Gelendzik” (格连吉克号) 在麦哲伦海山的 DAN 海台上打了 7 个浅钻。结果表明, 结壳具有 4 个生长层: 层 I-1 (晚古新世—早始新世)、层 II-2 (中、晚始新世)、层 II (中新世) 和层 III (上新世—第四纪)。个别样品上还看到层 Ra (坎佩世—马斯特利赫世) 和 Rb (晚古新世)。7 个孔中有 4 个孔打到基岩上, 基岩岩性为礁相重结晶灰岩。分析表明海台平坦处的结壳厚度和有用金属含量均比斜坡上结壳的大和高。

俄南方联合体的 T M Khoulapova 等分析了富钴结壳的地球化学特征, 并做了结壳的地质和工业评价和区划。在研究铁锰沉积成矿地质环境和采矿条件时, 主要考虑了 4 个问题: 海底地形 (海底表面坡度、坡降率); 矿床沉积环境

(结壳分布区表面中型地形、结壳分布区分隔程度、沉积物覆盖比率、结核的产出); 矿石和基质特征(结壳和基质的固结度、基质成分); 水环境水动力状态。

为了开发研制采矿和处理技术, 在太平洋麦哲伦海山的 DAN 海台上进行了矿区划分工作。进行区划时依据了不同的参数, 其中最主要的参数是结壳的厚度(不小于 4 m)和钴含量(大于 0.5%)。

矿床类型的划分是根据矿体分离程度来进行的, 而矿体分离程度是用照相剖面来确定的(Melinikooov, 1995), 据此, 划分出如下几类矿区。

(1) 未分离或微弱分离的结壳覆盖区, 这些地形几乎是平坦或坡度很缓, 构成整个海台矿区的 48%。

(2) 中度分离的矿区, 构成数米宽的大的结壳板块。这种矿区位于海台的顶面和坡面, 构成整个海台 47% 的矿区。

(3) 高度分离的矿区, 可形成倒石堆。这里结壳碎块的大小不超过数十厘米, 结壳往往和基质、单个结壳及沉积物混在一起, 因而失去工业意义。

麦哲伦海山区结壳一般具有 4 层结构, 自下而上为层 I-1、层 I-2、层 II-2 和层 III-3。下 2 层结构致密, 磷含量高, 有用组分含量低, 而上 2 层结壳构造固结度较差, 但有用组分含量高。

根据结壳的生长层数, 将结壳划分为如下几类: 三层型(I—II—III)、双层型(I—III和II—III)和单层型(III)。

三层型常产于海台上, 占据矿区的 63%, 结壳厚度为 6~12 m, 主要金属含量分别是 Co 0.52%, Mn 21.83%, Ni 0.47%; 双层型结壳, 当双层为层 II 和层 III 时, 有工业意义, 它们构成矿区的 31%, 结壳厚度为 4.5~5.4 cm, 金属平均含量是: Co 0.56%, Mn 21.74%, Ni 0.45%。双层为层 I 和层 III 时, 这类结壳分布很散, 只占整个矿区的 2%。结壳厚度为 4.5~5 cm, 金属平均含量: Co 0.48%, Mn 小于 20%, Ni 0.38%; 单层结壳只占矿区的 4%, 结壳厚度很

少超过 4 cm; 但是金属含量较高: Co 0.68%, Mn 22.79%, Ni 0.48%。

结壳中有害组分, 特别是 P_2O_5 含量在层 I 中最高。 P_2O_5 在三层结壳中的平均含量为 3.36%, 最高达 10.33%; 双层结壳(层 I 和层 III)中平均 3.42%, 最高达 12.06%。

据以上分析可知, 从经济方面考虑, 三层和双层结壳因其分布广, 且金属含量较高, 而具有开采价值。从各类结核分布特征来看, 在海台平缓地形上分布的结壳最有开采价值。

1.5 结核和结壳生长史

俄罗斯高加索地质调查所的 IA Pulyaeva 利用生物地层学方法, 确定了西太平洋海山区的铁锰结壳的 6 个生长层: 它们是晚白垩世; 晚古新世—早始新世; 中—晚始新世; 晚渐新世—早中新世; 中—晚中新世; 上新世—更新世。而结壳的生长间断期是早古新世和早—中渐新世。她进而探讨了铁锰结壳的生长史与古海洋演化史的关系, 认为结壳的主要生长阶段与全球海侵期相对应; 而其生长间断期则与全球海退期相对应。

俄罗斯北方海洋地质勘探联合体的 V V Shibue 等介绍了东太平洋克拉利昂—克利帕顿断裂带之间地区的铁锰结核生长年代和生长速率方面的新资料, 他们根据放射虫化石, 将东太平洋海盆克拉利昂和克利帕顿断裂带之间的铁锰结核断面划分为 8 个带: 带 I—II, 更新世—全新世; 带 III, 晚中新世—上新世; 带 IV, 中中新世; 带 V 和 VI, 早中新世; 带 VII 和 VIII, 早中新世或渐新世。根据上述生长层时代, 计算了结核不同带的生长速率。

1.6 铁锰结核在沉积物表面保存机制

俄罗斯科学院海洋研究所的 IP Kuzin 讨论了太平洋克拉利昂—克里帕顿断裂带之间区域的铁锰结核生长年代和结核在沉积物表面上保存的机制。他们根据微体古生物分析结果, 揭示了研究区自晚始新世到早中新世(40~17 Ma)为连续的沉积层序; 而自 17~1 Ma 间

发生区域性沉积间断。他们又根据铁锰结核中的放射虫化石, 认为结核形成的时代主要是渐新世。另外, 他们又鉴定了海山区铁锰结壳覆盖区的半远洋粘土沉积物和结壳中的微体化石, 认为粘土形成的时代是晚渐新世, 而铁锰结壳形成时代则是第四纪。Kuzin 等根据铁锰结核及结壳形成时代与下伏沉积物时代上的差异和产状提出了一种假说, 认为铁锰结核和结壳始终保留在沉积物表面上的主要机制是, 由于接近中美地震活动带的地区内发生的强地震 ($M > 7.5$), 使得海底沉积物发生振荡, 并被地震活化了的底层水冲走了沉积物, 而比较重大的铁锰结核被保留在原地。

1.7 太平洋之外其他海域的铁锰沉积矿产

1.7.1 芬兰湾的铁锰结核

俄罗斯地质研究所在芬兰湾东部进行了系统的地质调查, 绘制了铁锰结核分布图。V A Zhamoïda 和 A G Grigoriev 将芬兰湾的结核分为 4 组形态类型, 并用统计分析法对比研究了不同类型的结核在化学成分上的差异。

1.7.2 大西洋中脊铁锰沉积物

俄罗斯“斯特拉霍夫院士号”(R/V Academic Nikolai Strachev) (1989)、“南方海洋地质号”(Yuzhmorgeologia) (2000) 和“罗加切夫教授号”(Professor Logachev) (2001) 等调查船在航次调查中, 在 13^N 和马拉封断裂带之间的大西洋中脊裂谷上发现了铁锰沉积物。

在“斯特拉霍夫院士号”第 9 航次调查过程中, 在裂谷西缘用拖网采到的铁锰沉积物是脆薄的结壳, 其特征是 Mn/Fe 比值低 (0.52), 微量元素含量也较低: Cu 为 480×10^{-6} , Ni 为 100×10^{-6} , Co 为 $1\ 600 \times 10^{-6}$, Zn 为 530×10^{-6} , Pb 为 180×10^{-6} , Cd 为 5×10^{-6} , 是典型的大西洋中脊的水成型铁锰沉积物; 同时, “费尔斯曼地质学家号”(Geolog Fersman) 调查船第 10 航次调查时, 在裂谷上发现了水化学和水文物理异常, 可能证明这里发育有热液系统, 后来在裂谷东西两侧边缘上发现了渗透于玄武岩中的硫化物矿物, 表明了热液活动的存在。

2000 年, “南方海洋地质号”船在大西洋中脊调查时, 在裂谷西侧平坦阶地的中部发现了新的热液系统“Neptune Beard”(海神胡子)。后来“Professor Logachev”调查船等在 20 航次调查时, 确认了“Neptune Beard”热液场上的大量铁锰结壳的存在。

1.7.3 大西洋无名海山上的铁锰结壳

TTR-11 号第 3 航次, 在大西洋葡萄牙海岸和马德拉岛之间的无名海山上采集到铁锰结壳和结核样品, 并对该样品进行了结构构造、矿物和化学分析, 最后将化学分析结果画到三角因子图上, 从图中看出新老两代结壳。三角图的三角点分别是 P 、 Mn 和 Fe 含量。

1.7.4 塞拉里昂海山的铁锰沉积矿微量元素地球化学

俄罗斯科学地球化学与分析化学研究所的 A M A sauin 介绍了大西洋塞拉里昂海山上的铁锰结壳, 在山顶上有沉积盖层的地方结壳厚度较薄, 而基岩上的结壳厚度则厚, 可达 8~10 cm, 结壳中 Fe 、 Ti 、 Ca 、 Mg 、 To 、 Na 、 Cr 、 Ni 含量与其在下伏岩石中的含量有直接的关系; 而 Mn 、 Zn 、 Co 含量与下伏岩层却没有关系, 说明 Mn 、 Zn 和 Co 的沉积并不受基质的影响。

2 磷钙土

俄罗斯科学院海洋研究所的 G N Baturin 在论文中讨论了海洋环境对磷钙土化学成分的影响。

为探讨环境对磷钙土元素成分的影响, 从不同环境中取一系列磷钙土样品, 分析了其中主要元素和 35 种微量元素。从大陆边缘和远洋地区不同沉积环境中采集了现代至晚白垩世的大量磷钙土样品。大陆边缘的代表样品是取自纳米比亚、秘鲁、智利、摩洛哥陆架, 布莱克海台和阿古拉斯浅滩。此外还从朝鲜东岸日本海的大和高地、塞拉里昂海隆、中太平洋海山群和南赤道太平洋上的马尼希基海台上采集了一些样品。

除 SO_2 及有机质是用一般化学分析方法进行分析之外,其他元素是用 ICP-MS、ICP-AFS 和原子吸收光谱法进行测定的。分析结果揭示了元素之间有明显的相关关系,使得我们可以划分出两大元素组合:碎屑或岩成元素组合部分和铁锰氢氧化物组合,后者是磷钙土形成之后暴露于氧化环境时进入到磷钙土的次生组分。第 1 组包括 SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O 和 TO_2 、 Li 、 Rb 、 Cs 、 Be 、 Ga 、 Hf 、 Nb 、 Tb 、 Th 和 Zr 。第 2 组由大部分过渡性成矿元素组成,即 Co 、 Cu 、 Ni 、 Mo 、 Pb 、 V 和 Zn 以及微量元素 As 、 Bi 、 Cd 、 Sb 、 Sn 、 Te 、 Tl 、 W ;但是,后一组的一部分元素,特别是 Mo 、 Cd 、 V 和 Zn 可以在氧化和还原两种环境里都可以发生沉淀,只有 Sr 和 P_2O_5 关系很明确。Batum 讨论了各种元素在磷钙土中的分布特征,一般陆架磷钙土中稀土元素含量小于远洋磷钙土,而 U 和 Rt 则富集于陆架磷钙土。

3 块状硫化物

3.1 大西洋中脊硫化物

3.1.1 马拉松断裂带(Marathon fracture zone)块状硫化物

俄罗斯极地海洋地质考察队的 V Beltenev 等介绍了该考察队与北方海洋地质勘探联合体利用“Logachev 教授号”船第 2 航次在大西洋中脊的 $13^{\circ} \sim 18^{\circ}N$ 之间裂谷段上的调查成果。该调查的目的是揭示现代和古代热液活动,圈定硫化物的远景区。调查了 4 个点,其中一个调查区位于马拉松断裂带以北 20 km 处的 $12^{\circ}48' \sim 13^{\circ}04'N$ 和 $44^{\circ}44' \sim 45^{\circ}00'W$ 之间,这里曾由“Geolog Fersman”号第 10 航次和“Yuzhmoregeologia”号和“Atlantis”号调查船曾调查发现了水化学和水文物理异常。“Professor Logachev”号船第 20 航次调查结果得出了如下几个结论:调查区构造—地形特征是以接近转换断裂带为先决条件的,这里形成了一系列线状构造和块状构造,构造活动强烈,这种状况使得海

水渗入到很深处以形成热液。复杂的水化学和水文物理异常证明热液柱的存在,其形成的位置是在裂谷斜坡的西北段;在裂谷西侧阶地上的沉积层中部有热液矿物晕—黄铁矿,重晶石和 Fe 氢氧化物。在 4 个调查点上采集到低温铁锰沉积物;基岩上的热液变质重结晶作用的痕迹与准经向断裂有关,变质玄武岩和橄榄岩中的硫化物矿化等直接表明了热液活动的存在;根据以上研究的结果可以推测,裂谷西北部基脚和阶地的上部坡面($12^{\circ}56.5' \sim 13^{\circ}N$, $44^{\circ}55.5' \sim 44^{\circ}57.9'W$)是块状硫化物最有远景的地区。

3.1.2 现代热液成矿作用的新类型——Rainbow—热液活动场

俄罗斯科学海洋研究所的 Y A Bogamov 介绍了在 1997 年夏,在大西洋中脊 $36^{\circ}N$ 处新发现了 Rainbow (彩虹)热液活动场。这种热液活动与蛇纹岩相伴生,出现在无轴心岩浆房、发生蛇纹岩化作用的扩张脊区段上。这类热液活动场及其热液沉积物与世界裂谷系的其他热液均有许多相同点,但是它有以下一些其他特征:

与蛇纹岩块伴生的高温热液硫化物沉积物具有 Zn 和 $Cu-Zn$ 矿化作用;但是 Co 和 Ni 含量很高。 Pt 含量比其他热液区的硫化物高一个数量级。Rainbow 热液场的热液硫化物中含有钴镍黄铁矿和针镍矿,而这种矿物对世界裂谷系其他地区的热液矿来讲是非典型的;Rainbow 热液区的硫化物中的同位素成分也有些差异,即该硫化物中 S 同位素含量是 $+0.7\%$ 至 $+13.8\%$,而在其他裂谷系的硫化物中则为 $+2.0\%$ 至 7% ,平均 $3\% \sim 5\%$;与其他地区相比,本热液活动区的低温热液物质富含 Cu 、 Ni 和 Co ;本热液活动区的热液沉积物和热液溶液中含有在蛇纹岩化过程中海水与超基性相互作用而产生的 CH_4 和某些石油碳氢化合物;在本热液活动区上能见到两类高温热泉“黑烟囱”。第 1 类“黑烟囱”是在裂谷带上形成的典型的烟囱,它是由极大的浮力作用而产生的上升的热液形成的热液硫化物筒管;第 2 类“黑烟囱”是高温热液凹地或热流坑,这里并不

产生热液上升,而是沿着近底层做水平移动。目前,第 2 类“黑烟囱”在其他热液活动区还未见报道; Rainbow 热液活动的热液中富含 H_2 和 CH_4 , 而且 Co 含量很高,这种现象在其他热液区还没有遇见。

Bogodanov 认为 Rainbow 热液活动区热液沉积物的上述特征是由于其形成过程比其他热液活动区长得多而造成的。

3.1.3 大西洋中脊岩石类型与热液活动

俄罗斯北方海洋地质勘探联合体(VN IO Keanologia)的 A I Trukhalev 等在论文中提出,大西洋中脊有两种岩石类型:上部为火山—沉积岩组合,下部为古老变质的辉长岩—超基性岩组合,与此相应,可以确定出两个成矿作用演化的阶段,即大洋本身的晚侏罗世—新生代阶段和前大洋的前寒武纪—显生宙阶段。

海洋阶段的岩浆岩的表现形式是玄武岩盖层、孤立火山、岩墙、辉绿岩及粒玄岩岩床(所谓火山—入侵辉绿岩—玄武岩组合)。

辉长岩—超基性岩组合广泛分布在裂谷、转换断层和大西洋中脊脊部与转换断层交接带上,其宽度达数百米,垂直厚度达 2~3 km,岩石由辉长岩—苏长岩、钛磁铁矿辉长岩、辉长岩、苏长岩、橄榄辉长岩和橄长岩组成。

大量资料表明由辉长岩—超基性岩构成的地幔和下地壳在岩石圈上升过程中经历了复杂的变质作用过程。

全岩和分离的矿物同位素年代分析结果表明,辉长岩—超基性岩组合形成于前寒武纪—显生宙,这类岩石组合可与大西洋周围的非洲及南美的岩石组合相比较;因此可以推断,在大西洋中脊深部可能找到类似于南美巴西的 Fe、Mn、Ni、Cr、PGE(铂族元素)和硫等矿床。实际上,在大西洋中脊多处已经发现有钛磁铁矿,而且在大西洋中脊超基性岩石中经常见到纯橄榄岩(常与辉石岩伴生),由此可以推测在大西洋中脊可能存在含铂族元素的纯橄榄岩组合。

3.1.4 块状硫化物中的铀及放射性同位素

VN IO Keanologia 的 M P Torokhov 介绍了“Professor Logachev”号调查船第 7 航次调

查期间新发现的“Logachev II”区块状硫化物的地球化学特征。该区块状硫化物的特征是低含一般大西洋中脊型玄武岩中常有的蛇纹岩,而且铀(U)含量特别高。本区硫化物中含有沥青铀矿,它以球状同心圆构造连接于沿着闪锌矿、黄铜矿及辉铜矿外部边界分布的蛋白石上,而且这种矿物组合中常含有自然金。热液硫化物中出现沥青铀矿在某种意义上讲是迄今第 1 次发现。过去,有报道说在大西洋中脊 TAG 断面上的硫化物中 U 含量只有 40×10^{-6} (D J Miller, 1998),可是 Logachev II 热液硫化物中发现铀(1560×10^{-6})、钍(15×10^{-6})、金(50×10^{-6})、银(9.15×10^{-6})含量很高(M P Torokhovet 2001),说明上述不相容元素是地幔成因的。

3.1.5 大西洋中脊硫化物中贵重气体的同位素——矿液来源的指示剂

全苏地质研究所(VSEGED)的 E M Prasolov 等介绍了大西洋中脊 Logachev-1、Logachev-2 和 Rainbow 矿田的硫化物的 He、Ne、Ar、Kr 和 Xe 等气体同位素,研究结果表明,化学活动大的气体基本上是地壳成因的,而且 He 和 Ar 同位素资料表明在矿液形成过程中地幔气体发散也参加了一部分。

3.1.6 大西洋中脊上的汞

俄罗斯科学院矿床、岩石、矿物和地球化学研究所的 N A Ozerova 等综合介绍了大西洋中脊硫化物中汞的分布特征,指出冰岛和亚速尔群岛的洋底硫化物、沉积物和火山岩中汞含量非常分散。海底沉积物中汞含量最高值出现于红粘土和铁锰壳,而对岩浆岩来讲有 2 组:一是背景值为 $n \times 10^{-6}\%$ 者,二是汞含量增大为 $n \times 10^{-5}\% \sim n \times 10^{-4}\%$,蛇纹质超基性岩中的汞含量较低,含金属沉积物中汞含量比硫化物低得多,但是大于地壳平均值($4.5 \times 10^{-6}\%$),其平均值为 $1.5 \times 10^{-5}\%$,现代海洋硫化物中汞含量为 $5 \times 10^{-6}\% \sim 1.2 \times 10^{-6}\%$,硫化物中汞、锌、铜之间有正相关关系。

3.1.7 大西洋海底与蛇纹岩相关的块状硫化物中高温出溶构造

俄罗斯的N Mozgova等探讨了大西洋不同地区硫化物的结构构造特征及其与硫化物形成年代、活动强度及成熟度的关系。她们研究的地区是: Logachev-1矿区(14°45'N), 形成年代最老(达66.5 ka), 现已几乎停止活动; Rainbow矿区(36°14'N), 形成年代有变化(西部为22~23 ka, 中部为2.2~3.9 ka), 其现代活动强度最大; Logachev-2(14°43'22"N), 最年轻(只有3.9 ka), 但现在不活动。她们在不同地区热液硫化物矿体中发现了等轴古巴矿出溶结构、自然金—砷出溶交生构造和闪锌矿—黄铜矿出溶结构。该论文的最后结论是“硫化物的不同结构和矿物成分取决于硫化物沉积年代、活动强度以及成熟度”。

3.2 俄罗斯在大洋热液硫化物成矿作用方面的研究成果

(1) 俄罗斯关于大洋热液作用的研究始于20世纪60年代中期, 并第一次从太平洋采集到含金属沉积物(Skornyakova, 1964)。

(2) 在六七十年代, 俄罗斯进行了一系列考察活动, 研究了太平洋和印度洋中脊地区的低温沉积物, 如含金属沉积物和热液结壳以及热水异常(Lisitsyn等, 1976, 1979)。

(3) 1979年, 高温硫化物成矿作用的发现促进了这类沉积物的调查和研究。

(4) 80年代初开始, 俄罗斯开展了大规模的大洋块状硫化物的调查。主要由自然资源部(MNP-主要由PMGRE, VNIDKeangeologia, Sevmorgeo组成)和俄罗斯科学院海洋研究所

两个部门来完成。科学院海洋研究所主要负责基础研究; 而自然资源部则主要负责应用(资源)研究, 以发现和评价新矿床资源。

科学院海洋研究所(D.RAS)主要是利用深潜器(开始是用“Pisces”, 从1987年开始用“Mir”号深潜器)研究了太平洋和大西洋上14处热液活动场(地区)及胡安得富卡洋脊的海山、加利福尼亚湾的瓜亚马斯盆地、西南太平洋的某些海域和大西洋中脊上的4个地区, 主要目的是详细研究硫化物成矿作用。目前, 科学院海洋研究所主要在Rainbow、Lucky Strikt和Logachev热液场上进行研究。

自然资源部(MNP)在东太平洋海隆(EPR)0°13'N和20°22'S范围内进行了大区域调查, 在其北部发现了6个新的硫化物矿化区和一系列推断的热液活动点。

80年代开始的大西洋中脊的调查目前仍在进行中, 这里进行了近20个航次的调查。在大西洋中脊轴部12°19'N和21°29'N范围50~100 km宽带内进行了1:100 000和1:200 000比例尺的地质地球物理调查, 调查项目包括地形、地磁、海洋物理、海洋化学、侧扫声纳、电视、照相和地质采样等。

经过调查, 已确定出10个新的可能的热液活动场(28°40'~28°48'N, 27°05'~27°10'N, 25°25'~25°33'N和16°07'~16°09'N是最有希望的地区); 发现了新的热液硫化物区Logachev-1、Logachev-2和24°30'N高含铜的硫化物矿化点; 照相和拖网采集到Au含量很高的样品。对在TAG地区热液土丘上采集的样品和先前发现的Snake Pit热液活动区进行了详细的研究。

ABSTRACTS

INTEGRATED EVALUATION OF MARINE GEO-ENVIRONMENT IN DAPENG BAY

XIA Zhen

(Guangzhou Marine Geological Survey, CGS, Guangzhou 510760, China), 2002, 18(10): 1—5

In 2001, the Project of Integrated Survey of Marine Geo-environment and Geo-hazards in Dapeng Bay was carried out by GMGS. In the paper are present some data on hydrochemical analysis, potential geo-hazards and seafloor engineering geological conditions obtained during the survey. The marine geo-environment in Dapeng Bay was integrated and analyzed on the basis of seafloor morphology and relief, and evaluated quantitatively and semi-quantitatively. Finally, some suggestion was made for marine development and engineering geology in the Dapeng Bay.

Key words: marine geo-environment; integrated evaluation

DIVISION OF MARINE RESOURCES AND FUNCTIONS OF DALIAN CITY

MAO Fengmin, LI Shuyuan, JIAO Yiping, YU Yonghai, YANG Xinmei, ZHANG Yonghua, MAO Lijuan, WANG Quanming

(The State Monitoring Center of Marine Environment, Dalian 116023, China), 2002, 18(10): 6—12

After a thorough survey of Dalian's marine natural environment, natural resources, development situations and potential problems and an integrated analysis of the requests of regional economic development, we demarcated marine function areas in seawaters of Dalian City and adjacent regions and made relevant suggestions to operate the function areas, in order to scientifically and reasonably develop and utilize marine resources, control and guide marine-use orientation, protect marine environment, promote sustainable development of marine resources and regional economics, and provide service for integrated marine management.

Key words: marine function division; important sea areas; dominant function; management measures

RESEARCH DEVELOPMENT OF RUSSIAN OCEANIC SOLID MINERAL RESOURCES

XU Dongyu



(Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China), 2002, 18(10): 21—28

In this paper, investigations and development tendency of marine polymetallic nodules, ferromanganese crusts, hydrothermal sulfides and phosphorite nodules are introduced. "Map of Oceanic Mineral Resources" was finished in 2000. The map was guided by plate tectonic theory, and took geologic ages, tectonic movements and lithofacies as background. The map divided the oceanic development into four stages: the first was disordered spreading stage (J_2-K_1 , 171~120 Ma) when the ancient oceanic plate and magnetic static zones formed; the second was a non-spreading stage (K_1-K_2 , 120~80 Ma) that saw extensively developed volcanism, as a result of that, great volcanic zone came into being; the third was linear and ordered spreading stage (K_2-P_3 , 80~26 Ma), during which young oceanic plate was created; and the fourth was an ordered and linear spreading stage (26~0 Ma) and mid-oceanic-ridge was formed. Ferromanganese nodules and crusts are geochemically classified into five types, namely Ni-Cu-rich type, Co-rich type, Mn-rich type, Ni-rich type and Ni-Cu-Co-rich type.

Key words: marine mineral resources; ferromanganese crusts; Russia

ON SUBMISSION OF MANUSCRIPTS IN MARINE GEOLOGY TO FOREIGN SCI JOURNALS

XU E Chun-ting

(Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China), 2002, 18(10): 32—34

It is popular in the European countries, Japan and Korea that scientific papers of high quality are published on the international journals. In the past years indeed some papers which had been published on China journals in Chinese were published again on the international journals in English. It is because of being short of contacts with foreign scientists before. However, according to the regulation that all international journals do not publish papers that have been published on the journals in Chinese, a paper published on an international journal is not allowed to be published on a journal in Chinese again. Therefore, when you get a series of data you should make arrangement: which papers should be published on the international journal and which should be published on the journals in Chinese or on some SCI journal in both Chinese and English. Understanding the scopes and interests of some professional journals is significant for manuscripts to be accepted. The contributors should read enough references, closely related to the latest scientific progress. In addition, some differences between China and international journals are pointed out such as size and caption of the figure and acknowledgements.

Key words: SCI journal; contributors; publishing; international journal