

从太平洋中部热液矿物的发现 探讨热液活动的广泛性

杨 慧 宁

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

萧 绪 琦

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京 100037)

主题词 太平洋中部 热水溶液 磷酸盐 非晶质SiO₂球

提 要 位于太平洋中部的克利帕顿和克拉里昂断裂带之间的研究区处于远离大陆的远洋深水环境, 区内断裂构造和火山活动非常发育, 热水活动强烈, 由此形成一系列与热液活动及蚀变沉积有关的矿物, 如磷灰石、碳磷灰石、稀土磷灰石、磷铝锶石、重晶石、碳酸钡矿、泡铋矿及非晶质 SiO₂ 球。这说明大洋中热水溶液活动并不仅限于洋脊轴部和裂谷地区, 只要有较大规模的断裂存在, 就会有热水溶液活动或海底热泉出现, 随之会形成一系列与热液活动有关的矿物。

在大洋盆地内部的火山作用, 除大洋板内火山外, 还有存在于大洋中脊, 即离散型板块边界处的火山作用, 其规模相当可观。更为重要的是由于玄武岩的喷溢, 使这些地区相应出现强烈的地震、断裂活动及火山期后的热水活动。特别是大洋中脊邻近地区, 转换断层和其他一系列与中脊平行或斜交的断层, 以及由于玄武岩冷却收缩造成的许多断裂构造异常发育, 形成强烈的破碎地带。它们为海水的渗入、深循环及与玄武岩的热接触提供了大量的通道或水-岩相互作用的广泛空间, 从而导致海水被加热并改变其水化学类型(由硫酸盐型变为钠-氯型或钠(钾)-钙-氯型)。海水沿扩张裂隙下渗, 形成酸性的、具有溶蚀能力的热水, 抵达深部后又可进一步受热加温, 继而在对流循环的上涌过程中, 这种高温热水可萃取出玄武岩及沉积物中的大量金属元素, 并以热液和蒸气状态喷入海水中, 从而形成某些特征性矿物的沉积。

研究区(简称CC区)位于赤道以北, 远离大陆的太平洋中部, 处于克利帕顿断裂带和克拉里昂断裂带之间(图1)的深海远洋环境, 有富营养物的北赤道表层流及南极底层流通过, 断裂构造发育, 并有热水活动, 地貌形态主要为受切割的海丘平原, 这些复杂的动力学环境决定着研究区的沉积物除风尘、生物遗骸外, 火山及热水溶液也对其产生重要的影响, 由它们所形成的矿物是沉积物的重要组成部分之一。这类矿物的存在可为了解大洋成矿环境及铁锰建造、块状硫化物矿床、含金属沉积物等物质来源及成矿作用提供许多重要的信息。但由于远洋样品数量很少, 矿物颗粒又异常细小($<2\mu\text{m}$), 并与大量粘土矿物混杂在一起,

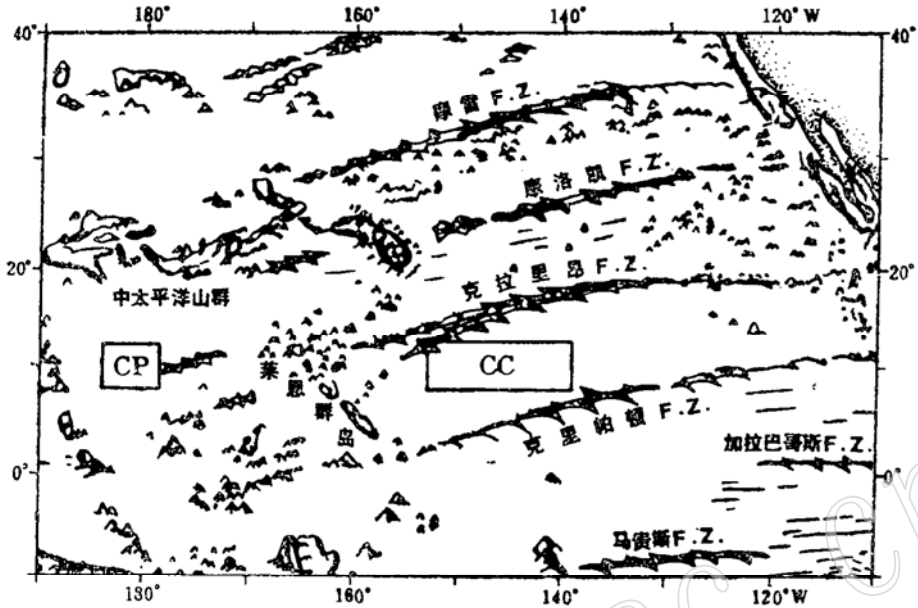


图 1 研究区地理位置图

(据Kennett, 1982)

Fig. 1 Geographical location of the study area

很难单独分离出来进行单矿物测定。因而对大洋中这类微细粒矿物(除粘土矿物外)的研究一直是一个极其薄弱的环节。笔者曾进行了较深入细微的研究,找到了许多在过去大洋沉积学工作中未曾发现的矿物,其中很大一部分是与热水溶液成因有关的矿物。

笔者所采表层沉积物的样品除进行常规测试外,还将样品制成悬浮液,再将悬浮液置于透射电镜下进行观察,通过对所获得的矿物电子衍射图及X射线能谱图的分析,并对照其矿物的标准谱线,确定矿物的名称。现已发现与热水溶液及蚀变沉积有关的矿物有磷酸盐、碳酸盐、硫酸盐矿物及非晶质 SiO_2 球等四种类型。

1 磷酸盐矿物

通常海底的磷酸盐沉积主要见于大陆架、大陆斜坡上部和水下平顶山之上。太平洋中部水深5000m左右,多数为深海丘陵或深海平原区,迄今在该处尚未发现磷酸盐结核或大量磷酸盐沉积,仅在表层硅质粘土和硅质软泥中见到一些自生磷酸盐矿物的零星分布,其中有磷灰石、碳磷灰石、稀土磷灰石和磷铝锆石。这些磷酸盐矿物颗粒细小,自形程度高,借助透射电镜才能辨认其晶形。

碳磷灰石

碳磷灰石单晶呈纤维状,但常以簇状集合体形式出现(照片1),晶体长 $2\mu\text{m}$ 。含Ca 51.4%、P 42.7%,此外还含有Fe、Na、S等元素。

磷灰石

磷灰石呈假六方板状晶体,粒径长 $0.85\mu\text{m}$,往往以连晶方式出现(照片2)。磷灰石含

Ca 56.7%、P 40.1%及Si、S等(图2),其Ca/P=1.57—1.20,很接近磷灰石的理论成分(Ca:P \approx 1.667⁽¹⁾)。

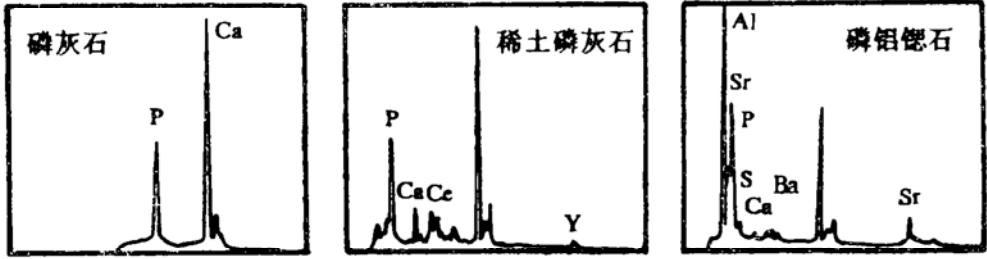


图2 磷灰石等的透射电镜能谱图

Fig. 2 TEM spectra of apatite and other minerals

磷铝锶石

磷铝锶石的晶形为假立方体,粒径长0.56 μ m(照片3)。主要化学组成:Al 43.2%、P 25.1%、Ca 2.5%、Si 4.4%、K 0.3%、Ti 1.6%、Fe 3.1%、Sr 2.66%,此外还含有较多的稀土元素,如La 8.08%、Ce 4.99%、Nd 4.19%(图2)。

稀土磷灰石

稀土磷灰石具纤维状的单晶,放射状、簇状集合体(照片4),纤维长0.35 μ m。经透射电镜X射线能谱分析,稀土磷灰石含P 41.2%、Ca 8.0%、Al 3.4%、Si 7.8%、Mg 1.1%、Fe 5.0%、S 1.5%,及大量稀土元素,其中La 6.6%、Ce 21.4%、Y 3.95%(图2)。

位于大陆架、大陆斜坡土部和水下平顶海山上的磷酸盐沉积,已有不少学者进行了比较多的研究,认为它们是来自生物源,经成岩作用及再沉积而形成的(即生物成因)⁽²⁾,但笔者在研究区内沉积物中见到的磷酸盐矿物多数富含稀土元素,有的还含有大量的Sr、Al,与我国腾冲现代热泉中所见到的一些富含稀土元素的磷酸盐矿物,不论在成分上还是在晶形上都相似⁽³⁾。而海洋生物成因的磷块岩贫Ce,在稀土元素分布曲线上常显示负铈异常⁽³⁾。另外,东太平洋隆起和加拉帕加斯断裂带发现的含金属沉积物,也含有P、Al、Sr和稀土元素⁽⁵⁾。根据上述资料,本区海底自生磷酸盐矿物的形成似与海底热泉有关,其物源极可能是海底热水溶液,而并非来自生物。

2 碳酸盐矿物

研究区沉积物多位于CCD线之下,陆源碳酸盐矿物和钙质生物已不易保存,但研究区内还存在一些自形程度较高的碳酸盐矿物,如泡铋矿和碳酸钡矿。笔者认为它们的形成与海底热水溶液活动有关。

泡铋矿

泡铋矿在透射电镜下呈六边形板状晶体,为辉铋矿的假象(照片5),粒径长0.3 μ m,晶面上有晕。Bi为其主要的阳离子,其他杂质很少(图3)。

地表泡铋矿产于含铋的金属矿床氧化带中,是辉铋矿、自然铋的氧化产物。在太平洋中部沉积物中发现的泡铋矿很可能也是辉铋矿或自然铋的氧化产物。二者主要产于海底热液矿

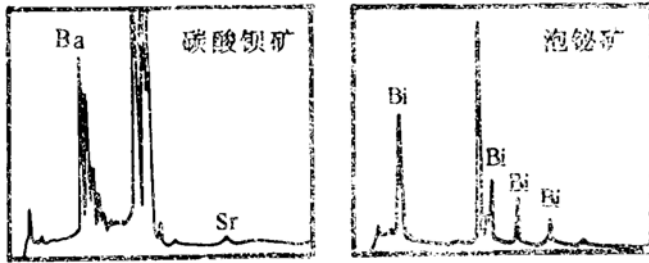


图3 碳酸钡矿及泡铋矿的透射电镜能谱图
Fig. 3 TEM spectra of witherite and bismutite

床或火山喷气所形成的矿床中。

碳酸钡矿

碳酸钡矿又名毒重石，晶体结晶程度较好，呈菱形片状（照片6），粒径 $1.4\mu\text{m}$ 。含Ba可达88.83%，此外还含Sr 5.36%、Si 2.28%、Al 1.34%、S 1.26%、Ce 0.92%（图3），其中少量Ba被Sr所置换。碳酸钡矿多见于研究区北部放射虫软泥中。

碳酸钡矿通常赋存于低温热液脉中，与重晶石、方解石、白云石、方铅矿等共生；在地表也可因碳酸水溶液作用于重晶石而形成^[6]。研究区地处中太平洋东部，其东面有广泛的热液溶液活动，重晶石、方解石等矿物常见，钡含量较高，这种碳酸钡矿很可能是热水溶液所形成的。

3 硫酸盐矿物

SO_4^{2-} 在海水中是仅次于 Cl^- 的主要阴离子，它可与 Ba^{2+} 、 Ca^{2+} 形成自生硫酸盐矿物，如重晶石、石膏等。

重晶石

是研究区内常见的自生硫酸盐矿物，其产出形态有两种。较为常见的自形重晶石颗粒，多呈菱形板状（照片7），粒径 $2.15\mu\text{m}$ 。另一种呈橄榄球状或椭球状，晶体表面凹凸不平，晶体中间有孔洞，可能是悬浮的重晶石在其沉降过程中遭受溶解的结果。重晶石含BaO 57%左右，此外还含有Si、Al、Ca、Sr等杂质（图4）。

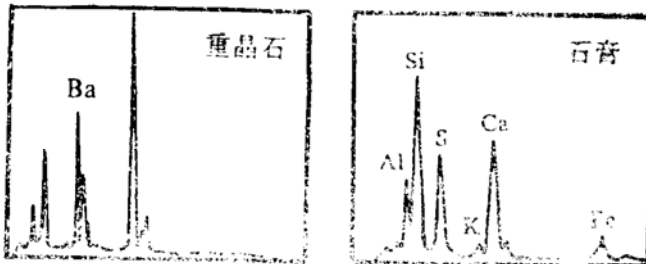


图4 重晶石和石膏的透射电镜能谱图
Fig. 4 TEM spectra of barite and gypsum

海洋自生重晶石的成因，前人已作过大量的工作，主要有二种观点：一种观点认为是生物成因。生物从海水中吸取钡，使其富集在自身的软组织或粪便中，生物死亡后，在水中或

沉积物表面发生氧化分解,使钡得以在沉积物或间隙水中富集,当Ba和 SO_4^{2-} 达到饱和时形成重晶石的沉淀^[7]。因此在生物发育地区,尤其是在钙质软泥中,会有高含量的重晶石矿物存在。另一种观点认为重晶石的形成与海底热液活动有关,线状分布的断裂构造可为热液上升提供通道,从高温热液自喷口形成的“烟囱”中喷出的“白烟”里就会含有微粒状的重晶石^[8]。

研究区位于大洋中脊的西侧,断裂构造、火山活动、热液作用异常强烈,被加热的海水——热水溶液的作用不可忽视。如果再考虑到重晶石中所含的大量Si、Al、Ca、K、Sr等杂质,笔者更趋向于其热液成因的观点。

石膏

单晶呈细板条状,组成竹排状的集合体。单晶长 $3.6\mu\text{m}$ 。研究区内石膏较为少见。据透射电镜能谱分析(图4),石膏除含Ca、S外,还含有大量的Si、Al、Fe、K、Mg等杂质。

对石膏成因的看法不一,日本西南海底的石膏因与火山灰的风化产物蒙脱石共生,故而推测它们是火山硫化物在海底氧化的产物。Бутузова等(1975)^[9]在研究加里福尼亚湾远洋粘土沉积物时,曾发现球粒状、放射状——掌状石膏集合体,具纤维状构造,并与重晶石、铁蒙脱石及铁锰氧化物共生,并认为上述共生组合的矿物应为热水溶液作用的产物。此外近十多年来在东太平洋隆起及胡安·德·富卡洋脊海区的热液活动带沉积物中也发现硬石膏矿物^[8,10]。研究区所见石膏与加里福尼亚湾的石膏晶体颇为相似,并与沸石、火山玻璃共生,应为热水溶液成因。

4 自生非晶质二氧化硅

在太平洋中部海底沉积物中,常见到不少透明无色的小球体,主要呈球粒状、水滴状,也有呈双球或多球状的连生体(照片8)。球粒直径变化较大,一般为 $0.06-0.15\text{mm}$ 。球粒表面平滑光亮,具玻璃光泽。把球粒放大500—600倍后,球面仅见有细小的纹饰,有的还有小凹坑(照片9);放大6000倍后可见到表面起伏不平。电子探针能谱分析其成分为Si(图5),X射线衍射分析表明该球为非晶质体。

Hein(1979)^[11]在DOMES计划中三个区的研究中也曾发现此类非晶质的氧化硅小球,呈螺旋状。最初认为是火山玻璃球,后又解释为来自制样时使用的无离子水中的离子交换树脂球(离子交换树脂球为黄—黄褐色球粒,无玻璃光泽,主要成分是有有机质,Si仅为少量)。笔者用无离子交换树脂的蒸馏水制样,因此认为该球很可能为海底热泉之产物。Edmond等人(1979)^[12]研究了东太平洋加拉帕加斯洋脊裂谷区的加拉帕加斯热泉,发现热水溶液中的Si含量与温度呈良好的线性关系(图6),即可把 2°C (周围海水温度)时的Si浓度视为海水所具备的浓度,随着喷出热液(富Si)与海水的混杂,温度降低,其中含Si量也应降低。在此过程中呈过饱和状态的Si则以 SiO_2 为主要成分的硅质球形式析出。

综上所述,在太平洋中部研究区沉积物中所发现的磷酸盐、硫酸盐和碳酸盐矿物以及非晶质 SiO_2 球,经初步的成因分析,应是洋底热液成因矿物。它们的存在表明,在远洋或远离大陆的深海盆沉积物中,除存在由风尘或洋流搬运所带来的陆源碎屑物和火山碎屑物、由菌藻生物化学作用形成的矿物和生物遗骸、经洋底海解或成岩蚀变作用所形成的矿物以及宇

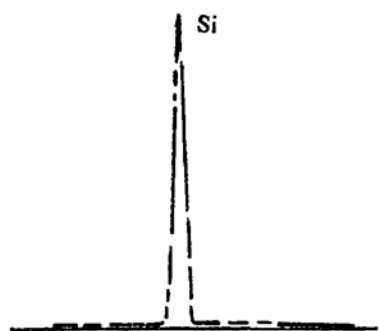


图5 非晶质SiO₂球的电子探针能谱图
Fig. 5 EMP spectra of spherulitic amorphous silica

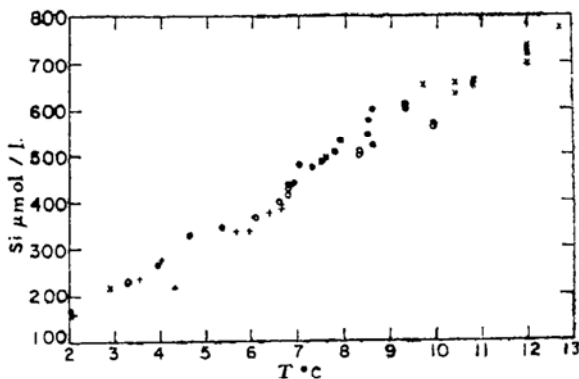


图6 加拉帕加斯热泉中Si与温度的线性关系
(据Edmond等人, 1979)
Fig. 6 Linear relation between Si and temperature of Galapagos hot spring

宙尘等, 还应包括沿断裂系统或火山期后热水溶液所携带的物质而析出的矿物。它们在数量上虽然远比陆源碎屑矿物少得多, 但却是一个很重要的成因类型, 可作为研究洋底动力学环境的客观标志。本项研究充分证明了笔者对位于东太平洋洋脊附近、转换断层发育、新构造运动十分强烈的海区, 应广泛存在热水溶液的补给及与其有关沉积作用的推断。如果联系到广泛赋存于研究区或整个克利帕顿和克拉里昂二大断裂带之间多金属结核的富集和结核中过渡族元素的高丰度, 则可认为, 海水经洋壳断裂深循环所形成的热水溶液很可能是结核成矿物质的重要来源。对洋底含金属软泥的沉积及存在于克利帕顿—克拉里昂盆地玄武岩盖层底部常见的富含金属粘土层的研究(下第三系)^[13]也具有同样的意义。

参 考 文 献

- 1 朱而勤、王琦. 海洋自生矿物. 北京: 海洋出版社, 1988, 148—167.
- 2 Батурин Г И. Фосфориты на дне океана, М. Наука, 1978.
- 3 郑直、吕达人、周国平等. 中国主要高岭土矿床. 北京科学技术出版社, 1987, 13—38.
- 4 王中刚、于学元、赵振华等. 稀土元素地球化学. 北京: 科学出版社, 1989, 356—357.
- 5 Gross G A, McLeod C R. Metallic minerals on the deep seabed, Geological survey of Canada Paper, 1987, 86—21.
- 6 王濮、潘兆鲁、翁玲宝等. 系统矿物学. 北京: 地质出版社, 下卷, 1982, 372—373.
- 7 Church T M. Marine barite, Ph. D. Dissertation, Univ. Cal-California, San Diego, 1970, 100.
- 8 Styrst M M, Brackman A J et al. The mineralogy and the isotope composition of sulfur in hydrothermal sulfide/sulfate deposits on the East Pacific Rise, 21°N Latitude, Earth and Planetary Science Letters, 53: 382—390.
- 9 Бутузова Г Ю, Лисцына И А, Волков И П и др. Признаки эвгаливной деятельности в осадках Тихого океана к югу от Калифорнийского залива. Литол. и полезн. ископ. 1975, №5.
- 10 Tivey M K, Dolaney J R. Growth of large sulfide structures on the Endeavour Segment of the Juan de Fuca Ridge, Earth and Planetary Science Letters, 1986, 77: 303—307.
- 11 Hein J R, ROSS C R and Alexander E. Mineralogy and diagenesis of sediments from DOMES areas A, B and C. In: Marine Science 9: Marine geology and oceanography of the Pacific Manganese Nodu-

- le Province. 1979, 365—396.
- 12 Edmond J M and Measures C et al. Ridge crest hydrothermal activity and the balances of the major and minor elements in the ocean; the Galapagos Data, Earth and Planetary Science Letters, 1979, 46: 1—18.
- 13 Van Andel T H, Heath G R. Initial reports of the deep sea drilling project. V, 16, 949. U. S. Government Printing Office, Washington.

A Preliminary Discussion on the Extensiveness of Hydrothermal Activity Based on the Discovery of Hydrothermal Minerals in Central Pacific Ocean

Yang Huining

Xiao Xuqi

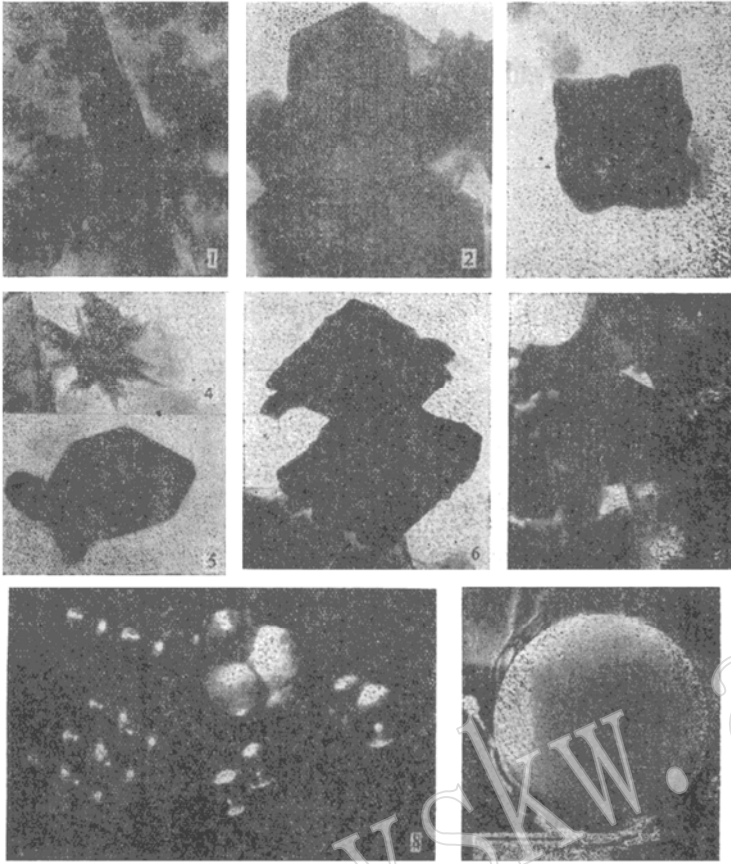
(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Key words: Central Pacific, hydrothermal activity, phosphate, spherulitic amorphous silica

Abstract

The study area lies between Clipperton and Clarion fault zones in Central Pacific, being in a pelagic environment far away from the continent. In this area, there are well-developed fractural structure and volcanic action as well as strong hydrothermal activity, thus forming a series of minerals related to hydrothermal activity, alteration and deposition, such as apatite, dahllite, REE-bearing apatite, geyazite, barite, witherite, bismutite and spherulitic amorphous silica. This demonstrates that hydrothermal activity is not merely confined to the axial part of the ridge or the rift zone, and that wherever there is large-scale fault movement, there will appear submarine hydrothermal solutions or thermal springs, accompanied by the formation of a series of minerals related to hydrothermal alteration.



照片1 纤维状磷灰石，集合体呈簇状，透射电镜，28000×；照片2 假六方片状磷灰石，透射电镜，46000×；照片3 磷钨铀石 晶体为假立方体，透射电镜，46000×；照片4 集合体呈放射状的磷钨铀石，透射电镜，80000×；照片5 泡铀矿 呈辉铀矿的假象，晶面上有晕，透射电镜，80000×；照片6 菱形板状体的碳酸铀矿，透射电镜，28000×；照片7 重晶石 呈菱形板状，透射电镜，1300×；照片8 非晶质二氧化硅球粒，呈球粒状及双球或多球连生体，80×；照片9 非晶质二氧化硅球粒，扫描电镜，360×