

文章编号: 1000-0550(2002)01-0034-07

冷泉流体沉积碳酸盐岩的地质地球化学特征^①

陈多福 陈先沛 陈光谦

(中国科学院广州地球化学研究所 广州五山 510640)

摘要 冷泉流体是指来自海底沉积界面之下的低温流体以喷涌和渗漏方式注入盆地,并产生系列的物理和化学及生物作用,这种作用及产物称为冷泉。它是继洋中脊以盆下源中高温流体的热泉被发现和研究之后的又一个新的盆地流体沉积领域。日前研究较多的是以水、碳氢化合物(天然气和石油)、硫化氢、细粒沉积物为主要成分,温度与海水相近的流体,广泛发育于活动和被动大陆边缘斜坡海底。冷泉流体沉积体系发育高密度的化学自养生物群,以碳酸盐岩和天然气水合物为主,有少量的硫化物和硫酸盐等。冷泉碳酸盐岩的产状有丘、结核、硬底、烟囱、胶结物和小脉等,以化学自养生物碎屑和多期次的自生碳酸盐胶结物组成的生物丘最为常见,它在物质来源、形成环境、形成作用等方面与传统来源于海水碳的碳酸盐岩建隆不同,用术语 Chemoherm 表示,以区别于传统海水碳酸盐岩建隆术语 bioherms、lithoherms、pseudobioherms 和 biostromes。

地层中石化的化学自养生物丘常是含有大量底栖生物化石的碳酸盐岩建隆产于深水相沉积地层中,在沉积环境和相分析上出现纵向和横向的不连续,甚至出现反常现象。矿物以镁方解石、白云石和文石为主,与传统的碳酸盐岩相似,在地球化学组成上最大的区别是冷泉流体沉积碳酸盐岩的碳来源于冷泉体系中的细菌生物成因碳,具有特别的碳同位素值。

冷泉在海底主要沿构造带和高渗透地层呈线性群,或围绕泥火山或盐底劈顶部呈圆形或不规则状冷泉群分布,或以海底地形低凹处和峡谷转向处呈孤立冷泉形式产出。冷泉流体以沉积建造流体为主。上覆快速堆积、成岩压实和胶结作用、构造挤压和变形作用、深部的后生作用和成岩作用、海底沉积物中的天然气水合物分解作用是建造流体向上运移进入海底成为冷泉的驱动力。冷泉碳酸盐岩的沉积作用主要有胶结作用、充填作用和生物化学沉积作用。冷泉流体中的碳主要是以甲烷为主的碳氢化合物形式存在,经微生物作用转变为 CO₂,最终形成冷泉碳酸盐岩。

关键词 冷泉流体沉积 化学自养生物碳酸盐岩和生物丘 地质和地球化学特征

第一作者简介 陈多福 男 1962年出生 研究员 沉积学 沉积地球化学

中图分类号 P59 P588.24⁺5 **文献标识码** A

1 引言

固体地球与上覆的流体圈(水圈和大气圈)不断进行着物质和能量的交换,这种层圈间的相互作用是改变和塑造地球面貌的基本地质营力。固体地球中所包含的流体进入沉积圈中将深刻地影响沉积作用。70年代阿尔文号深海考察船在东太平洋隆海底直接观察到洋底的高温流体的热泉之后,掀起了研究大洋底热水(热泉)沉积作用的热潮^[1~4]。古代海底热泉的产物—热水沉积矿床和岩石研究也日益深入^[5~16]。现今海底流体系统的研究已向多学科交叉渗透,向研究地球各层圈间的相互作用、各体系界面间的相互作用发展,如岩石圈、水圈、气圈与生物圈的相互作用、生物圈中地球深部生物圈,洋底特异生物圈与海洋生物圈的相互作用、海底高温流体尤其是超临界流体与海水界面的相互作用等(丁抗,2001,学术报告)。冷泉流体是继洋中脊以盆下源中高温流体的热泉被发现和研究

之后的又一个新的盆地流体沉积领域^[17~20]。由于冷泉常产有巨大资源前景和环境灾害引发因素的天然气水合物^[21~22],并发育有依赖于流体化学自养能和养分的特异生物群^[17,19,23~24],而受到研究者的广泛重视。

海底流体是指来源于海底沉积界面之下的流体。该流体在向盆地沉积界面运移过程中的交代和充填作用及在沉积界面的沉积作用称为流体沉积作用。此作用所形成的产物为流体沉积物^[15]。海底流体根据产出的构造背景和流体的物理和化学特性分为:1、热水流体:产于拉张背景的洋中脊和大陆边缘拉张盆地中,以较高温流体为主,如黑烟囱和白烟囱,形成的沉积以金属沉积和硅质为主;2、冷泉流体:产于主动和被动边缘大陆斜坡的低温流体,如泥火山和油气为主的流体,形成的沉积物主要有化学自养生物为主的碳酸盐岩和巨有巨大资源前景和环境灾害引发因素的天然

^① 国家自然科学基金(批准号:40072044)和科技部基础司的专项资助。

气水合物,并有硫化物和硫酸盐等。这二种流体沉积体系均发育有依赖于海底流体化学自养能和养分的特异生物群。海底热水流体沉积早已被广大的地学工作者所熟知,而我们对冷泉流体沉积的了解并不多。因此,本文主要是介绍冷泉沉积的地质地球化学特征。

2 冷泉的概念

冷泉在英文文献中常以 cold venting、cold seepage、hydrocarbon venting、hydrocarbon seepage 及 cold hydrocarbon venting 或 seepage 出现,是指分布于大陆

边缘海底来自沉积界面之下、以水、碳氢化合物(天然气和石油)、硫化氢、细粒沉积物为主要成分,流体温度与海水相近的流体,并广泛发育于活动和被动大陆边缘斜坡海底。冷泉以流入盆地的速度分为快速冷泉(称 hydrocarbon venting)和慢速冷泉(称 hydrocarbon seepage),快速冷泉常产自泥火山,是富甲烷的流体,并携带大量细粒沉积物,慢速冷泉是富油或气的流体^[22-25-29],在空间上快速和慢速冷泉常过渡伴生,与海底高温流体相似。冷泉在海底沿构造带和高渗透地

表 1 海底冷泉沉积的地质和生物特点

Table 1 Geologic and biologic features of cold seepage and venting

分布位置	油气来源	流体类型	沉积产物及产状	自养生物群组成
墨西哥湾北部 ^[22, 25-29]	生物成因甲烷, 热成因天然气, 原油	建造流体, 卤水, 流体泥	自生碳酸盐岩、硬底、烟囱、丘, 天然气水合物, 泥火山, 重晶石	蚌, 蛤, 腹足类, 蠕虫, 细菌席
华盛顿—俄勒冈大陆边缘 (Cascadia 汇聚边缘) ^[17, 19, 32-37]	生物成因甲烷, 水合物分解气, 硫化氢	卤水, 建造流体	半固结自生碳酸盐岩、硬底、烟囱、胶结物、天然气水合物孔洞充填物, 天然气水合物	蚌, 蛤, 蠕虫, 细菌席
日本海沟 ^[22]	生物成因甲烷	建造流体	硬底、烟囱, 天然气水合物	蛤, 蠕虫, 细菌席
北海 ^[22]	生物成因甲烷, 热成因天然气	建造流体	硬底, 天然气水合物 (?)	蛤, 细菌席
巴巴多斯岛增生楔 ^[22]	生物成因甲烷	建造流体	硬底、烟囱, 天然气水合物 (?)	蚌, 蛤, 蠕虫
加州蒙特里海湾大陆边缘 ^[30, 38]	生物成因甲烷, 热成因天然气, 硫化氢	建造流体	天然气水合物, 自生碳酸盐烟囱、胶结物、脉和板片	细菌席、底栖有孔虫, 双壳类, 蠕虫
巴基斯坦 Makran 增生楔 ^[39]	生物成因甲烷	孔隙流体(建造流体)	自生碳酸盐结壳、麻豆状	细菌席
哥斯达黎加增生楔 ^[40-41]			自生碳酸盐	细菌席、双壳类, 蠕虫, 蛤
华盛顿州西北奥林匹克半岛早渐新世 Makan 组地层 ^[42]			深水地层中的外来灰岩块	双壳类, 腹足类, 掘足纲, 贝壳类, 蠕虫
丹麦卡特加特海峡 ^[43]	细菌成因甲烷	孔隙流体(建造流体)	砂岩的碳酸盐胶结物	
布莱克海台 ^[21]			自生碳酸盐岩丘	化学自养生物群
意大利 Tuscan 和 Romagna 半岛中新世地层 ^[44]		不连续的灰岩块, 硫化物	化学自养生物群	

注: 空白为无资料

层带分布,呈线性群产出,也有围绕泥火山或盐底劈顶部集中分布,呈圆形或不规则状冷泉群出现,在海底地形低凹处和峡谷转向处也有呈弧立冷泉产出^[30]。流体以沉积建造流体、卤水、液化泥和碳氢化合物等为主,其中的碳氢化合物主要是细菌生物成因的甲烷气、热解天然气、石油、天然气水合物分解气、硫化氢等。冷泉流体在进入海底沉积界面处,常发育有特异的化学自养生物群,主要有双壳类、腹足类、掘足纲、贝壳类、蠕虫、细菌席等,常见的有贻贝、蛤、蠕虫和细菌席,生物密度非常高,最大可达每平方米 100 个体^[19]。而且,生物群在冷泉体系中的产生和生长速度非常快^[31]。

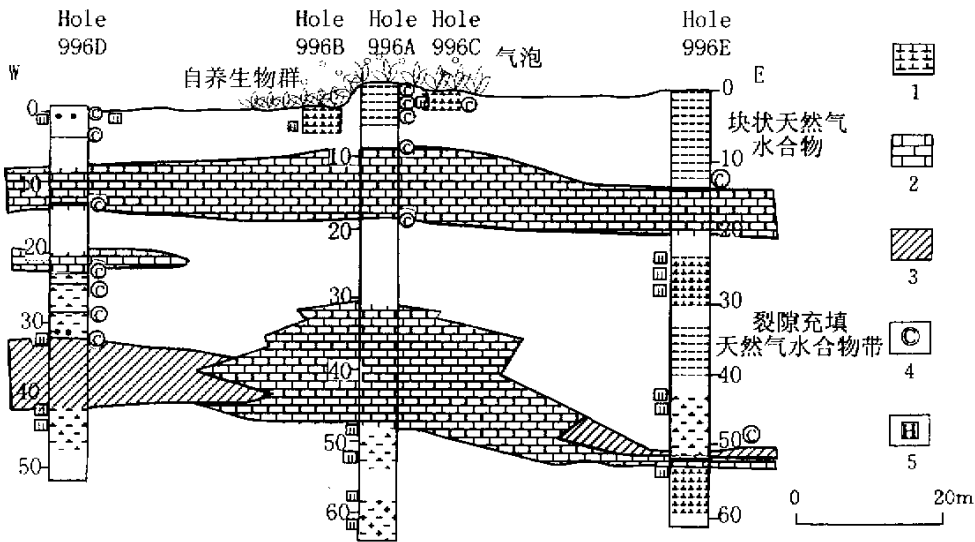
3 冷泉沉积物

海底冷泉体系形成的沉积物以碳酸盐岩和天然气水合物为主,有少量的硫化物和硫酸盐等(表 1)。碳酸盐岩的物质来源主要是冷泉流体中碳氢化合物的细菌生物氧化作用形成的二氧化碳,天然气水合物则是直接由冷泉流体中的气体在海底和海底之下沉积物孔隙中结晶形成。我们重点介绍碳酸盐岩的主要地质和地球化学特征。

3.1 冷泉碳酸盐岩沉积物的产状

冷泉碳酸盐岩的产状有丘、结核、硬底、烟囱、胶结物和小脉等,以丘最为常见。化学自养生物碳酸盐岩丘主要由化学自养生物碎屑和多期次的化学自生碳酸盐胶结物组成。这种冷泉碳酸盐岩丘物质主要来自海底冷泉流体系统,通过化学和生物化学沉积作用形成。在物质来源、形成环境、形成作用等方面与传统海水来源碳的碳酸盐岩建隆不同。因此,在术语上通常用 Chemoherm 与表示传统海水来源碳酸盐岩建隆术语 bioherms, lithoherms, pseudobioherms, biostromes 等相区别^[22-25]。

图 1 为在布莱克海台 ODP Leg 164 site 996 钻探中的化学自养生物碳酸盐岩建隆(Chemoherm)的剖面形态。钻孔中冷泉碳酸盐岩沉积层最大可见厚度达 20 m,在横向上很快尖灭过渡为正常海相深水沉积,由生物碎屑和多期次自生碳酸盐的胶结物组成,形态与传统的生物丘相似,与天然气水合物伴生,在海底有化学自养生物群和正在活动的冷泉体系^[43]。因此,在地层中根据碳酸盐岩建隆形态和生物化石组成特征很难作出成因识别。但根据化学自养生物碳酸盐岩建隆产于深水相地层中(如浊积岩地层),呈大小不等的透



1. 含天然气水合物带 2. 固结的碳酸盐岩带 3. 半固结的碳酸盐岩带 4. 含天然气水合物钻孔 5. 碳酸盐岩样品

图 1 布莱克海台 ODP leg 164 site 996 钻探中的化学自养生物碳酸盐岩建隆(据文献 [21])

1. Zone containing gas hydrate, 2. Zone of indurated carbonate beds,

3. Zone of semi-indurated carbonate beds, 4. Gas hydrate-bearing cores, 5. Carbonate samples

Fig. 1 Schematic drawing showing the inferred distribution of Chemoherm authigenic carbonates and gas hydrates at ODP leg 164 site 996 in Blake

Ridg(After reference [21])

镜体、不规则体的团块、结核、结壳等产出,常含有大量的底栖生物化石,在沉积环境和相分析中出现纵向和横向上的不连续,甚至出现反常现象。在野外地质工作中可以根据这些地质特征,初步确定生物丘为大陆边缘斜坡冷泉碳酸盐岩沉积。要完全确定其成因,需进行地球化学研究,尤其是碳同位素的测定。

因此,对于在以往被认为是正常浅水生物丘或礁等碳酸盐岩沉积中,识别出这种冷泉流体系统的化学自养生物碳酸盐岩建隆,在我国区域地质调查、沉积相划分、沉积环境识别,尤其是石油和天然气地质研究中的意义非常重要,应引起广大地质工作者的重视。

3.2 冷泉碳酸盐岩沉积物中的生物和矿物组成

化学自养生物碳酸盐岩的化石与冷泉体系中的化学自养生物群相同,主要有双壳类、腹足类、拙足纲、贝壳类、蠕虫、细菌席等,常见的有贻贝、蛤、蠕虫和菌席等。它们的碳酸盐矿物主要为镁方解石、白云石和文石,与传统的碳酸盐岩基本相同,但常是以单一矿物为主(图 2)。

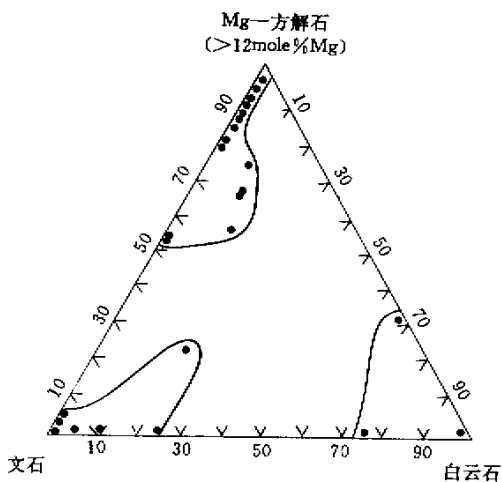


图 2 墨西哥湾北部冷泉碳酸盐沉积的矿物组成
(据文献 [22, 45])

Fig. 2 The dominant mineralogies of cold seepage and venting-related carbonates from the northern Gulf of Mexico continental slope (after references [22, 45])

3.3 冷泉碳酸盐岩沉积的碳、氧同位素组成

在地球化学上冷泉流体系统化学自养生物体及沉积碳酸盐岩的碳来源于微生物作用,相对海水碳而言,它们的碳同位素具特别负的值。表 2 为冷泉碳酸盐岩的碳和氧同位素组成。从表可见冷泉流体有关的碳酸盐岩的碳同位素为 $+4\text{‰} \sim -66.7\text{‰}$, 有较大的范围,以负值为主。氧同位素除俄勒冈大陆边缘碳酸盐胶结物为 -13‰ 外,均大于 0‰ ,最大达 7.87‰ ,碳、氧同位

素明显与正常海相碳酸盐岩的碳氧同位素组成有很大的差异,其特别负的碳同位素值是区别正常海相碳酸盐岩与冷泉碳酸盐岩最重要的地球化学标志。

但是,冷泉碳酸盐岩的碳同位素值并不都具有大的负值。Roberts 和 Aharon^[22]对墨西哥湾北部冷泉自生碳酸盐岩的碳同位素值与地理分布间的关系研究后发现,碳同位素在 0‰ 左右的样品(部分接近 $+4\text{‰}$),主要分布于陆架底和陆坡顶部的生物碳酸盐岩,具有正值比较高的样品可能与发酵作用有关,而接近于海水值 0‰ 的样品则来源于海水碳。在深水陆坡上的样品具有较大的负值,其碳来自石油和甲烷的碳。氧同位素的差别与碳酸盐岩沉积时的温度有关。但从表可见,加州蒙特里海湾浅水区的碳酸盐岩也具有很负的碳同位素值。因此,碳酸盐岩产出的水深并不是控制其碳同位素值的主要因素,主要受碳的来源和生物作用的控制。

4 冷泉流体的驱动力和碳酸盐岩的沉积作用

4.1 冷泉流体上升的驱动力

冷泉流体主要来自沉积建造流体(表 1)。沉积建造流体上升成为冷泉的驱动力比较复杂。在加州蒙特里海湾大陆坡冷泉区,流体的驱动力主要是上覆快速沉积、成岩压实和胶结作用、构造挤压和变形作用使沉积物孔隙减少,使流体压力增大,导致建造流体向上运移,深部的后生作用和成岩作用使孔隙流体密度降低而导致上升浮力增加,驱动流体向上运移^[30]。

在 Cascadia 汇聚边缘海底沉积物中的天然气水合物分解,产生的低盐度水及分解的气体使建造流体向上运移^[32-33]。而墨西哥湾北部海底冷泉的驱动力被认为是海平面的下降、盐丘的调节及天然气水合物的分解^[22, 29]。

4.2 冷泉碳酸盐岩的沉积作用

冷泉碳酸盐岩的沉积作用主要方式有胶结作用、充填作用和沉积作用。胶结作用常是多期次的,有砂岩的胶结物、化学自养生物碳酸盐岩的胶结物等。充填作用的产物是沉积物中的细脉碳酸盐,天然气水合物中的空洞充填物。沉积作用主要为生物化学沉积作用,钙质生物体的堆积是最主要的方式。

冷泉流体中的碳主要是以甲烷为主的碳氢化合物形式存在,并没有足够的使碳酸盐沉积的 CO_2 。因此,冷泉中的碳氢化合物在上升进入海底转变为沉积碳酸盐岩的过程中,首先经历微生物作用使碳氢化合物转变为 CO_2 ,然后通过生物化学沉积作用形成冷泉碳酸盐岩沉积。主要的微生物作用有硫酸盐还原菌、甲烷

表 2 冷泉碳酸盐岩的碳和氧同位素组成

Table 2 Carbon and oxygen isotope values of cold seepage and venting-related carbonates

分布位置	产状	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$ (PDB)
墨西哥湾北部 ^[22, 26]	陆架底和陆坡顶部碳酸盐岩	-5 ~ +4	+1 ~ +5
	大于 200 m 水深碳酸盐岩	-15 ~ -55	+2 ~ +6
俄勒冈大陆边缘(Cascadia 汇聚边缘) ^[32~33]	碳酸盐生物体和壳	-0.1 ~ -51.6	+3.49 ~ 4.91
	碳酸盐胶结物和结壳	-66.7 ~ -34.9	+3.69 ~ 6.79
	碳酸盐烟囱	-16.9 ~ -21.9	+7.28 ~ +7.87
	碳酸盐胶结物	-55 ~ -1	-13 ~ +5
	碳酸盐岩	-40.6 ~ -54.2	+3.27 ~ +4.84
加州蒙特里海湾大陆坡 ^[30, 38]	1 000 m 水深碳酸盐岩	-48.8 ~ -52.6	+4.05 ~ +5.19
	360 m 水深碳酸盐岩	-55.9 ~ -46.0	+4.44 ~ +6.28
	460 m 水深碳酸盐岩	-55.1 ~ -11.8	+3.21 ~ +6.82
	100 m 水深碳酸盐岩	-27.7 ~ -3.32	+2.6 ~ +5.87
	675 m 水深碳酸盐岩	-24.5 ~ -2.01	+1.77 ~ 3.93
	900 m 水深碳酸盐岩	-26.6 ~ -20.6	+4.4 ~ +4.58
	Gregorio 断层带碳酸盐岩	-35 ~ -56	
	San Gregorio 断层带碳酸盐岩	-7 ~ -26	
巴基斯坦 Makran 增生楔 ^[34]	碳酸盐岩	< -40	
丹麦卡特加特海峡 ^[42]	白云质胶结物	-34 ~ -61	+3.2 ~ +4.1
	高镁方解石和文石胶结物	-26 ~ -57	+0.4 ~ +2.8
意大利 Tuscan 和 Romagna 半岛中新世地层 ^[44]	地层中石化冷泉碳酸盐岩	-16 ~ -58	

菌、硫化氢和甲烷氧化菌、热成因烃和原油氧化菌等微生物作用,几个主要的微生物作用形成 CO_2 的过程为:硫酸盐还原带甲烷的细菌氧化作用: $\text{CH}_4 + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{HS}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ 。硫酸盐还原带碳氢化合物的发酵作用: $\text{RCOOH} \rightarrow \text{CO}_2$ 。甲烷在海底附近的细菌氧化作用: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 。有机质的细菌氧化作用: $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ 。

5 小结

冷泉流体广泛发育于活动和被动大陆边缘斜坡海底,来自海底沉积界面之下、以水、碳氢化合物(天然气和石油)、硫化氢、细粒沉积物为主要成分、温度与海水相近的流体。冷泉流体沉积体系发育高密度的化学自养生物群,常见的主要有贻贝、蛤、蠕虫和菌席等。沉积物以碳酸盐岩和天然气水合物为主,有少量的硫化物和硫酸盐等。冷泉碳酸盐岩的产状有丘、结核、硬底、烟囱、胶结物和小脉等,以化学自养生物碎屑和多期次的化学自生碳酸盐胶结物组成的生物丘最为常见,它在物质来源、形成环境、形成作用等方面与传统来源于海水碳的碳酸盐岩建隆不同,用术语 Chermo-

herm 表示,以区别于传统海相碳酸盐岩建隆术语 bioherms、lithoherms、pseudobioherms, biostromes。地层中石化的化学自养生物丘常是含有大量底栖生物化石的碳酸盐岩建隆、产于深水相沉积地层中,在沉积环境和相分析上出现纵向和横向上的不连续,甚至出现反常现象。矿物以镁方解石、白云石和文石为主,与传统的碳酸盐岩区别不大,在地球化学组成上最大的区别是化学自养生物碳酸盐岩的碳来源于微生物成因碳,具有特别负的碳同位素值。

冷泉流体以沉积建造流体为主,驱动建造流体向上运移进入海底成为冷泉的动力有(1)上覆快速沉积、成岩压实和胶结作用、构造挤压和变形作用使沉积物孔隙减少和流体压力增大(2)深部的后生作用和成岩作用使孔隙流体密度降低而导致上升浮力增加(3)海底沉积物中的天然气水合物分解产生的低盐度水和分解产生的气体使流体密度降低等。冷泉在海底主要沿构造带和高渗透地层呈线性群分布,或围绕泥火山或盐底劈顶部呈圆形或不规则状冷泉群分布,也有在海底地形低凹处和峡谷转向处呈孤立冷泉形式产出。

冷泉碳酸盐岩的沉积作用主要有胶结作用、充填作用和沉积作用。冷泉流体中的碳主要是以甲烷为主

的碳氢化合物形式存在 经过微生物作用转变为 CO_2 , 通过生物化学沉积作用形成冷泉碳酸盐岩沉积。

参 考 文 献

- Corliss J B, Dymond J, Gordon L I, *et al.* Submarine thermal springs on the Galapagos rift [J]. *Science*, 1979, 203 :1073~1083
- Ballard R D. The exploits of Alvin and Angus : Exploring the East Pacific Rise [J]. *Oceanus*, 1984, 27(3):7~14
- Rona P A, Scott S D. A special issue on sea-floor hydrothermal mineralisation : New Perspective [J]. *Econ. Geol*, 1993, 88(8):1935~2294
- Rona P A. Hydrothermal processes at seafloor spreading centres [M]. New York : Plenum Press, 1983. 1~620
- 涂光炽 王秀璋 陈先沛等. 中国层控矿床地球化学(3 [J] M]. 北京 : 科学出版社, 1984. 1~250
- 陈多福 马绍刚, 董维权等. 大降坪热水沉积超大型黄铁矿矿床的铅、钨同位素特征 [J]. *矿床地质*, 1998, 17(3):215~222
- 陈多福, 陈光谦, 翻晶铭等. 广东大降坪超大型黄铁矿矿床的热水沉积特征 [J]. *地球化学*, 1998, 28(1):12~19
- 陈多福, 陈先沛, 高计元等. 礁硅岩套与超大型矿床 [J]. *中国科学 D 辑*, 1998, 28(增刊):85~91
- 陈多福, 陈先沛等. 广东超大型矿床的控矿岩石组合及形成作用 [J]. *沉积学报*, 1997, 15(增刊):91~95
- 陈先沛, 高计元, 陈多福. 热水沉积作用的概念和几个岩石学标志 [J]. *沉积学报*, 1992, 10(3):124~132
- 陈多福, 陈光谦, 陈先沛等. 礁硅岩套的类型、组成及形成作用 [J]. *地质学报*, 1998, 72(2):97~102
- 陈多福, 陈先沛. 贵州松桃热水沉积锰矿的地质地球化学特征 [J]. *沉积学报*, 1992, 10(4):35~43
- 陈多福, 陈先沛. 广西泥盆系硅岩的沉积特征和成因探讨 [J]. *地球化学*, 1992, 10(2):190~198
- 陈多福, 陈先沛. 贵州瓮福磷矿中的热水硅化作用 [J]. *沉积学报*, 1993, 11(2):58~65
- 陈多福, 陈先沛, 陈光谦等. 热水沉积作用与成矿效应 [J]. *地质地球化学*, 1997, 25(4):7~12
- 韩发, 哈钦森 R W. 大厂锡矿床成因综合分析及成矿模式 [J]. *中国地质科学院院报*, 1991, 22(2):61~80
- Kulm L D, Suess E, Moore J C, *et al.* Oregon subduction zone : Venting, fauna, and carbonates [J]. *Science*, 1986, 231 :561~566
- Lallemand S E, Glaçon G, Lauriat-Rage A, *et al.* Seafloor manifestations of fluid seepage at the top of a 2000m deep ridge in the eastern Nankai accretionary wedge : Long lived venting and tectonic implications [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1992, 109 :333~346
- Paull C K, Hecker B, Commeau R, *et al.* Biological communities at the Florida escarpment resemble hydrothermal vent taxa [J]. *Science*, 1984, 226 :965~967
- Hovland H W, Motl M J. Hydrocarbon seeps in northern marine waters-their occurrence and effects [J]. *Palaios*, 1992, 7 :376~382
- Paull C R, Matsumoto R, Wallace Paul *et al.* Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Report [J]. 1995, 164 :1~623
- Roberts H H, Aharon P. Hydrocarbon-derived carbonate buildups of the Northern Gulf-of-Mexico continental-slope-a review of submersible investigation [J]. *Geo-marine Letters*, 1994, 14(2~3):135~148
- Sibuet M, Juniper S K, Pautot G. Cold-seep benthic communities in the Japan subduction zones-geological control of community-development [J]. *Journal of Marine Research*, 1988, 46(2):333~348
- Kennicut M C II, Brooks J M, Bidigare R R *et al.* Vent-type taxa in a hydrocarbon seep region on the Louisiana slope [J]. *Nature*, 1985, 317 :351~353
- Aharon P. Geology and biology of modern and ancient submarine hydrocarbon seeps and vents : An introduction [J]. *Geo-marine Letters*, 1994, 14(2~3):69~73
- Roberts H H, Carney R S. Evidence of episodic fluid, gas, and sediment venting on the northern Gulf of Mexico continental slope [J]. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 1997, 92(7~8):863~879
- Roberts H H, Aharon P, Carney R, Larkin J, Sassen R. Sea-floor responses to hydrocarbon seeps, Louisiana continental-slope [J]. *Geo-marine Letters*, 1990, 10(4):232~243
- Botz R, Faber E, Whiticar M J, Brooks J M. Authigenic carbonates in sediments from the Gulf-of-Mexico [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1988, 88 :263~272
- Bouma A H, Roberts H H. Northern Gulf-of-Mexico continental-slope (J). *Geo-marine letters*, 1990, 10(4):177~181
- Orange D L, Greene H G, Reed D *et al.* Widespread fluid expulsion on a translational continental margin : Mud volcanoes, fault zones, headless canyons, and organic-rich substrate in Monterey Bay, California [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1999, 111(7):992~1009
- LaRok P A, Hyun J-H, Bennison B W. Bacterioplankton growth and production at the Louisiana Seeps [J]. *Geo-marine letters*, 1994, 14(2~3):104~109
- Suess E, Torres M E, Bohrmann G, *et al.* Gas hydrate destabilization : enhanced dewatering, benthic material turnover and large methane plumes at the Cascadia convergent margin [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1999, 170(1~2):1~15
- Bohrmann G, Greinert J, Suess E, Torres M. Authigenic carbonates from the Cascadia subduction zone and their relation to gas hydrate stability [J]. *Geology*, 1998, 26(7):647~650
- Sample J C. Isotopic evidence from authigenic carbonates for rapid upward fluid flow in accretionary wedges [J]. *Geology*, 1996, 24(10):897~900
- Han M W, Suess E. Subduction-induced pore fluid venting and the formation of authigenic carbonates along the Cascadia continental-margin-implications for the global C-cycle [J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 1989, 71(1~2):97~118
- Schroeder N A M, Kulm L D, Muehlberg. Carbonate chimneys on the outer continental shelf : Evidence for fluid venting on the Oregon margin [J]. *Oregon Geology*, 1987, 49(8):91~96
- Sample J C, Reid M R. Contrasting hydrogeologic regimes along strike-slip and thrust faults in the Oregon convergent margin : Evidence from the chemistry of syntectonic carbonate cements and veins [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1998, 110 :48~59
- Stakes D S, Orange D, Paduan J B, *et al.* Cold-seeps and authigenic carbonate formation in Monterey Bay, California [J]. *Marine Geology*, 1999, 159(1~4):93~109

- 39 VonRad U , Rosch H , Berner U *et al.* Authigenic carbonates derived from oxidized methane vented from the Makran accretionary prism off Pakistan[J]. *Marine Geology* , 1996 , 136 (1~2) : 55~77
- 40 McAdoo B G , Orange D L , Silver E A , *et al.* Seafloor structural observations , Costa Rica accretionary prism[J]. *Geophysical Research Letters* , 1996 , 23 (8) : 883~886
- 41 Kahn L M , Silver E A , Orange D , *et al.* Surficial evidence of fluid expulsion from the Costa Rica accretionary prism[J]. *Geophysical Research Letters* , 1996 , 23 (8) : 887~890
- 42 Goedert J L , Campbell K A. An early Oligocene chemosynthetic community from the Makah formation , Northwestern Olympic Peninsula , Washington[J]. *Veliger* , 1995 , 38 (1) : 22~29
- 43 Jorgensen N O . Methane-derived carbonate cementation of marine – sediments from the Kattegat , Denmark-Geochemical and geological evidence[J]. *Marine Geology* , 1992 , 103 (1~3) : 1~13
- 44 Terzi C , Aharon P , Lucchi F R , Vai G B. Petrography and stable-isotope aspects of cold vent activity imprinted on Miocene age calcareous lucina from Tuscan and Romagna Apennines , Italy[J]. *Geo-marine Letters* , 1994 , 14 (2~3) : 177~184
- 45 Ferrell R E Aharon P. Mineral assemblages occurring around hydrocarbon vents in the northern Gulf of Mexico[J]. *Geo-marine Letters* , 1994 , 14 (2~3) : 74~80

Geology and Geochemistry of Cold Seepage and Venting-related Carbonates

CHEN Duo-fu CHEN Xian-pei CHEN Guang-qian

Guangzhou Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences Guangzhou 510640)

Abstract Cold seepage and venting is a fluid seepage and venting mainly composed of water , hydrocarbon (gas and crude oil) , hydrogen sulfide and fine sediments derived below seafloor. Its temperature is similar to sea water and widely occurs on the seafloor of continental slope of active and passive margins.

Cold seepage and venting-related chemosynthetic communities are highly in organism density , mainly mussels , clams , tube worms and bacterial mats. The sediments in cold seepage and venting are mostly made up of carbonates and gas hydrates with minor sulfides and sulphates. The chemosynthetic carbonates occurred as buildup , chimney , cement , nodule , hardground and fine vein , and generally as buildup of chemosynthetic bioclasts and multi-stage authigenic cements. The carbonate source , sedimentary environment and sedimentations are different with normal carbonates of which carbon is from sea water. Therefore , using term “Chermoherm” represents the chemosynthetic carbonate buildup to distinguish from the terms of bioherms , lithoherms , pseudobioherms , biostromes of carbonate buildups in normal sea environment in which the carbon is from sea water.

In strata , Chermoherm frequently occurred in abyssal sediment strata as a carbonate buildup containing a lot of fossils of benthic fauna. There are disrupted sedimentary phase and environments in longitudinal and cross strata section , so much as turnover. Carbonate minerals in chemosynthetic carbonates are primarily Mg-calcite , aragonite , and dolomite , which are not different with normal carbonates. Carbon isotope values in chemosynthetic carbonates are very low due to bacteria mediation.

Cold seepage and venting occurred along fault zone or permeable beds and at the surface expression of mud volcano and salt diapirism. Cold seepage and venting fluids are derived from formation fluids driven by a combination of (1) pore-space reduction of rapid sedimentation and tectonic compaction , deformation and cementation , and (2) increased buoyancy due to a decrease in pore-fluid density related diagenesis and catagenesis , and gas hydrate decomposition at depth. The sedimentation processes of cold seepage and venting-related carbonates are cementation , filling action and biochemical sedimentation. The hydrocarbon mainly of methane into cold seepage and venting is changed to carbon dioxide by bacteria mediation and deposited chemosynthetic carbonates.

Key words sediments of cold seepage and venting , chemosynthetic carbonates and chermoherm geological and geochemical features