楚科奇海与白令海海洋地质研究进展*

高爱国[1]　陈荣华[2]　程振波[1]　李秀珠[2]

([1]国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061)
([2]国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)

提要　1999年7月~1999年9月我国进行了首次北极科学考察,实现了北极地区海洋地质研究零的突破。这次考察取得了大量的沉积物样品,同时还获得了第一手现场资料。简要介绍了沉积物特性、分布特征,分析了沉积物的物质来源、沉积环境,同时介绍了部分室内研究成果。

关键词　楚科奇海及白令海,海洋沉积物,研究进展

楚科奇海与白令海是北冰洋与太平洋的两个边缘海,它们位于白令海峡的两侧,通过白令海峡,它们将两大洋连在一起,成为两大洋间物质、能量交换的通道。在两大洋间的物质、能量分配中起着重要作用,在全球变化研究中具有重要的地位。

为了探讨该区的海洋沉积过程,提取古海洋古气候信息。中国首次北极科学考察队地质学科的科研人员于1999年7月1日至1999年9月9日利用我国第一艘破冰船"雪龙号",开展了楚科奇海与白令海海洋沉积物的取样工作,这是我国科学家首次在这两海区进行的海洋地质调查研究,获取了大量的沉积物样品及宝贵资料。目前大部分样品和数据正在分析、整理中,从中发现了一些新的现象,为了促进北极地区海洋地质研究,现将调查所得的初步成果作一介绍。

1　海上调查概况

海上调查包括两个海区,楚科奇海调查区(含波弗特海区,以下通称楚科奇海区)位于66°30′N~75°05′N,157°56′W~175°02′W,水深30~2 700 m的范围内;白令海调查区位于57°38′N~61°32′N,175°33′W~179°56′W,水深140~3 850 m的区域内,见表1。

北极调查因受海冰影响较明显,随着海冰的逐渐融化,调查区的北端也逐渐北上,整个海上调查分为4个阶段,第1阶段(7月14日~7月19日)是67°30′N~71°00′N的楚科奇海区,第2阶段(7月20日~8月1日)是57°30′N~61°32′N的白令海区,第3阶段(8月3日~8月9日)是在66°30′N~73°27′N的楚科奇海区及70°15′N~73°27′N的波弗特海区。最后于8月20日在75°05′N,161°07′W的加拿大海盆进行了沉积物取样工作,共进行了45个站位的沉积物取样工作。除B1-8站因沉积物较粗、水深较深而作业时间有限没取到样品外,其余44个站位均获得了沉积物样品,取样率达到了97.8%。

根据采样要求、水深及船上现场条件情况,采样时分别利用箱式取样器、多管取样器、重力取样器及重力活塞取样器进行表层样与柱状样的取样。柱状样与多管样在现场密封后,原状保存。箱式样则根据沉积物岩性及取样厚度不同而作不同的处理。对沉积物厚度大于25 cm的箱式样,现场进行插管,密封后作为插管样原状保存,然后以表层向下5 cm深处为界分上下两层,用塑料袋取样;对于沉积物样品厚度小于25 cm的箱式样,以5 cm深度为界,直接用塑料袋分上下两层取样,剩余样品视沉积物的岩性特征及站位分布情况分别处理,有的进行冲洗筛选,采集贝壳、砾石样品;有的作为沉积物混合大样采集,以便研制北极地区海洋沉积物标准物质。各类样品采集情况见表2

楚科奇海取到最长的柱状样为505 cm;白令海取到最长的柱状样为519 cm;取样站位的最北端为75°05′N;这些柱状样是我国在高纬度海区取到的第1批海底柱状沉积物样品,为我国在高纬度海区进行古海洋古气候研究提供了珍贵的样品。

---

* 中国首次北极科学考察资助项目。
国家海洋局极地考察办公室及"雪龙"号极地考察船为本次科考所作的协调及条件保障工作,使我们能取得珍贵的海洋地质样品,谨致谢意。
收稿日期:2000-12-22;修回日期:2001-02-03

表 1 中国首次北极海洋地质调查站位表

Tab.1 The stations visited during the first Chinese National Arctic Research Expedition

序号	站号	纬度	经度	水深(m)	序号	站号	纬度	经度	水深(m)
1	J-1	67°30′N	170°01′W	47	24	p2	71°41′N	159°34′W	50
2	J-2	68°00′N	170°00′W	58	25	p3	72°06′N	159°09′W	49
3	J-3	68°31′N	169°58′W	56	26	p4	72°22′N	158°57′W	50
4	J-4	69°01′N	169°59′W	55	27	p5	73°25′N	157°56′W	2 700
5	J-5	69°21′N	169°59′W	52	28	p5′	73°27′N	158°21′W	2 600
6	J-6	70°00′N	170°01′W	35	29	p7	75°05′N	161°07′W	1 700
7	J-7	69°59′N	172°15′W	47	30	B1-8	60°00′N	180°00′E	2 695
8	J-8	70°01′N	174°59′W	59	31	B1-9	60°16′N	179°26′W	840
9	J-9	70°30′N	175°02′W	54	32	B1-10	60°25′N	179°04′W	516
10	J-10	71°00′N	173°54′W	38	33	B1-11	60°32′N	178°44′W	235
11	J-11	71°00′N	172°29′W	38	34	B1-12	60°40′N	178°14′W	165
12	J-12	70°40′N	170°02′W	30	35	B1-13	60°55′N	177°46′W	140
13	J-13	70°29′N	167°10′W	50	36	B2-3	57°38′N	179°21′E	3 850
14	J-14	71°00′N	167°31′W	47	37	B2-9	59°18′N	178°42′W	2 200
15	P6630	66°30′N	169°53′W	51	38	B2-10	59°29′N	178°27′W	420
16	P6700	67°00′N	169°59′W	47	39	B2-11	59°33′N	178°11′W	180
17	P7100	70°59′N	169°59′W	40	40	B2-12	59°43′N	177°51′W	162
18	P7130	71°42′N	168°53′W	50	41	B4-2	57°57′N	179°56′E	3 780
19	P7200	72°00′N	168°40′W	45	42	B5-4	58°05′N	176°31′W	3 370
20	P7230	72°30′N	168°38′W	54	43	B5-7	58°27′N	176°10′W	2 440
21	P7300	73°00′N	165°03′W	61	44	B5-9	58°34′N	175°59′W	180
22	P7327	73°27′N	165°02′W	92	45	B5-10	58°40′N	175°33′W	139
23	p1	71°15′N	160°01′W	45					

表 2 中国首次北极科学考察海洋地质样品统计

Tab.2 The statistics of geological samples from the Chukchi Sea and the Bering Sea

海区	柱状样($n=17$)		表层样($n=41$)						
	重力样	重力活塞样	多管样	插管样	袋装样	贝壳样	砾石样	基岩样	混合样
楚科奇海	8	2	5	9	27	18	16		1
白令海	4	3	2		13	4	5	1	
小计	12	5	7	9	40	22	21	1	1

注:1)混合样单位为个,其余均为站位数;n 为站位数。2)有 3 个深水站位(P5, B4-2, B5-4),因受作业时间限制,只取柱状样,没取表层样。

2 沉积物的岩性特征

沉积物的岩性特征与物质来源、离岸距离、水动力条件、水深及海底地貌等因素密切相关。楚科奇海调查区大陆架宽广,海底平缓,大部分站位水深较浅,水深小于 100 m 的站位有 26 个,占站位总数的 92.9%,沉积物相对较细。白令海调查区水深较深,海底坡度较大(水深 100~200 m 站位有 6 个,200~500 m 站位有 2 个,500~1 000 m 2 个,> 2 000 m 站位 5 个),沉积物相对较粗。

2.1 沉积物的颜色与气味

沉积物的颜色是沉积物的重要特征,能反映出沉积物的物质来源,成分及沉积环境,是海洋地质调查中最直观的观察指标之一,与沉积物的气味结合,能较直观地判断沉积物中有机质的多少与氧化还原状态。

楚科奇海的沉积物颜色有浅黄色、棕色、浅灰色、灰色、深灰色、灰黑色等。深色沉积物出现的站位一般离岸较近,所处纬度较低,沉积物表层一般为浅黄色或浅灰色薄层沉积物所覆盖,往下为灰黑色或深灰色沉积物样品,并伴有浓烈的 H_2S 臭味。这表明来自陆源的有机质先在近岸处沉降,造成近岸沉积物中有机质的富集,尔后有机物分解,消耗了沉积物中大量的氧,使沉积物显深黑色并具浓臭味。随着离岸距离的

增加,纬度增加,沉积物中的有机质含量逐渐降低,沉积环境也逐渐由还原环境向氧化环境演变。沉积物的颜色也逐渐变浅,表层与下部沉积物颜色的差别缩小,并趋一致而呈浅灰色、浅黄色或灰色。楚科奇海靠波弗特海一侧,由于纬度较高,无论是来自陆源的有机物还是海洋自生的有机物均明显减少,沉积物中还原作用减弱。表层为浅黄色,下部为灰色。至加拿大海盆水深1 700 m的P7站沉积物主要为棕色软泥,具有远洋沉积特点,而明显区别于其他各站。

白令海沉积物颜色主要为浅黄色、浅灰色,只有2个样品为灰色,而与楚科奇海沉积物明显不同。这一方面是因为本区水动力条件较强,太平洋流向北冰洋的海流在这里受地形条件影响,流速增加,使含有机物质的细粒沉积物被搬运走,残剩含有机质少的粗粒物质。另一方面由于本区测站水深较深,有机质在沉降过程中被不断氧化,含量减少,使沉积物具有弱氧化或弱还原环境下的特点。

本次调查样品中,楚科奇海大部分样品有H_2S气味,而白令海沉积物则几乎没有H_2S气味。在楚科奇海中西侧样品H_2S气味浓于东侧;离岸近的样品或低纬度样品中H_2S气味浓于远岸的或高纬度样品,采自深水站位的样品H_2S气味较轻,甚至无H_2S气味,如P5,P5′,P7站位。

2.2 沉积物的粒度与砾石分布

本次北极考察所采样品从砾石到黏土都有,以黏土质粉砂或粉砂质黏土为主。楚科奇海从低纬度向高纬度,由近岸向远岸沉积物呈由粗变细的分布趋势,沉积物由泥质细砂、泥质粉砂向粉砂质泥、软泥过渡,分选性较好。由于受赫雷德浅滩(Herald shoal)影响,在70~71°N附近(水深浅于40 m的站位)沉积物粒度变粗,分选性相对较差。Grantz等[12]对这一海区的沉积物研究后,认为这些沉积物可能是经冰川和海流簸选后的残留沉积物。在波弗特海一侧近加拿大海盆的站位,尽管P1站有较多的漂砾,但沉积物主要为黏土或软泥,到两个深水站位处沉积物变为硅质软泥为主。表明调查区西侧沉积物由于受海流的影响,陆源物质经白令海流入楚科奇海,并在此沉降,沉积物中陆源组分较多,而东侧由于受来自白令海的物质影响小,陆源组分含量相对较少,表现出以细粒沉积物为主的特征。从沉积物的分布情况看,楚科奇海调查区是一个以水动力条件相对较弱的稳定的沉积环境为主,兼有局部区域为冲刷环境及残留沉积区的海区。

白令海调查区调查站位的水深大于楚科奇海区,但由于其坡度大、水动力作用强,海底稳定性差,沉积物的颗粒明显粗于楚科奇海。表现为沉积物以细砂、粉砂为主,仅2个站位出现泥质沉积。据McManus等1970年研究,在白令海北部陆架区存在有混浊的底层水流,表明海底存在较强的冲刷作用。由于水流的冲刷,本区沉积环境处于冲刷环境,局部地区甚至基岩裸露,如在水深2 240 m的B5-7站取到基岩就是一例证。

在进行表层采样时,除了用塑料袋分层采集表层样品外,对于25个站位的沉积物样品进行了的筛选,采集了砾石样品。在楚科奇海选取20个站位进行筛选,有17个站位采得砾石样品,最大的砾石为扁平状,磨圆度差,尺寸为14.4 cm×8.5 cm×2 cm,重333 g。该站一次取得砾石样品达752 g,是本次调查取得砾石最多的站位,同时该站位沉积物又以粉砂质泥为主,具有与砾石不同的来源,显示典型的冰海沉积物特征。砾石形状以棱角状、次棱角状为主,也有混圆状和半圆状,一般尺寸大的砾石磨圆度较差,砾石尺寸小者磨圆度较好,部分砾石表面可见擦痕,有的表面附有藻类植物,属于来自阿拉斯加或楚科奇半岛的冰携沉积物。白令海沉积物中砾石主要有次棱角状,在筛洗的5个站位中均有砾石出现,最大的砾石长径为2.4 cm。与楚科奇海相比,白令海的砾石数量较少,且体积也较小。

2.3 沉积物中的生物及贝壳样品

楚科奇海虽然纬度较高,温度较低,但沉积物中的底栖生物仍相当丰富,在所采样品中有多毛类、虫管(管栖多毛类)、纽虫、红色蠕虫、蛇尾、齿吻沙蚕、竹节虫、笔帽虫、螠虫、海饼、海鞘、海燕、海星、海参、星虫、小蟹、端足类、单壳类、双壳类等。楚科奇海中大部分站位含丰富的生物,但水深大于1 700 m的3个站位底栖生物较少。白令海则是大部分站位底栖生物较少,个别站位较多,主要为海星、蛇尾、海参、单壳类及双壳类。

在楚科奇海筛洗的20个站位中,有18个站位可见生物贝壳,贝壳所在站位的水深大部分在47~58 m之间。在水深为92 m的站位也见少量贝壳,贝壳在沉积物中的埋藏深度以5~10 cm深为主,贝壳种类较多,分属17个种,大部分贝壳的尺寸为4.0 cm×3.0 cm左右,最大的贝壳为一双壳类贝壳,尺寸为7.7 cm×6.4 cm。各站位因水深、离岸距离不同,贝壳数量不同,一次取贝壳最多的站位为J2站,共采得贝壳140 g。白令海进行筛选的5个站位中,有4个站位筛得贝壳,但贝壳数量较少,且保存得不如楚科奇海所采贝壳那样完整。

3 沉积物的室内分析

3.1 地球化学特征

用多种分析方法(等离子质谱法、火焰原子吸收法、催化比色法、氢化物原子荧光法、冷蒸汽原子荧光法、发射光谱法、X射线荧光光谱法、石墨炉原子吸收

法、离子选择电极法)对36个表层沉积物样品进行了分析测试,分析项目达到66项,与中国浅海沉积物中元素含量[1]进行比较表明,楚科奇海及白令海沉积物中的Si,S,P,Br,I,B,Cd,Cr,V,Ba,Se,Sb,Mo,Ag含量高于中国浅海沉积物;Al,Fe,Ca,Mg,Na,K,Mn,Cl,Pb,Sn,Co,Sr,Zr,Hf,Rb,Cs,Nb,Ta,Li,Be,U,Th,Ga,W,Bi,Tl,Y,La,Ce,Nd,Sm,Tb,Yb,Lu,$CaCO_3$等含量低于中国浅海沉积物,Ti,Cu,Zn,Ni,As,Eu,Hg,Sc含量与中国浅海沉积物相近。另外Pr,Gd,Dy,Ho含量高于中国大陆架海底沉积物,而Er,Tm含量低于中国大陆架海底沉积物。

北极海洋地质研究的开展,使我们有了从南极经南大洋、中国近海、白令海到北冰洋的资料。为我们从宏观的角度认识一些海洋地质过程提供了条件。例如,通过对I的分布所作的研究表明:楚科奇海及白令海沉积物中碘的含量为98.1×10^{-6},73.8×10^{-6},高于中国边缘海沉积物中碘的含量,同时也高于中国黄土及西南大洋沉积物中碘的含量,从宏观上显示出由低纬度地区向高纬度地区,碘含量呈增加趋势,即碘的纬向分布特征。

3.2 其他分析项目

除了地球化学分析外,室内分析还进行了有机碳、有机氮、碳-13同位素、铅-210同位素、粒度分析;碎屑矿物、黏土矿物、微体古生物、生物贝壳鉴定;硫酸盐还原菌、沉积物含水量、沉积物液限、塑限、古地磁、磁化率等的分析测定工作,目前资料正在进行整理中。

4 几点认识

4.1 物质来源

研究区的物质来源包括四方面。陆源物质在白令海与楚科奇海均有分布,由于水动力条件的不同,白令海的陆源物质主要为粗粒沉积物,相比之下楚科奇海的陆源物质颗粒较细。对本区沉积物来源起主要作用的河流是育空河及科策布河(Yukon and Kotzebue Rivers),此外还有一些沿岸小河。海区冰筏沉积分布广泛表明,冰川及海冰搬运在楚科奇海也有重要意义。火山源物质主要见于白令海调查区,为来自阿留申群岛及科里亚克山脉的火山喷发物,在楚科奇海相对较少。生源物质包括陆生生源物质及海生生源物质,在楚科奇海表现出随着离岸距离增加,陆生生源物质数量减少,海生生源物质增加的趋势。残留沉积物在两个海区多有出现,在白令海分布区域较广,而在楚科奇海主要见于水道及赫雷德浅滩附近。至于风尘、自生、地外物质尚需进一步研究确定,据Darby等[3]1989年估计风尘沉积约占北冰洋沉积物的1%~10%。

4.2 水动力环境

研究区水动力条件因地形不同而有较大差别,在白令海一侧,由南往北的海流因受地形条件影响,从深水区向浅水,从宽阔海域向狭窄的白令海峡流动,流速增加,冲刷及搬运能力也相应增加,使细粒物质难以沉淀,而形成不利于沉积的冲刷环境。到了楚科奇海一侧,来自白令海峡的阿拉斯加沿岸流分为2支,主支向西流,另一支向东流到巴罗角附近又折转向西,(当流速较强时,可进入加拿大海盆)。由于海域由窄变宽,海流速度变慢,使海流挟带的沉积物在此海域大量沉降,并表现出由粗向细的转变。

4.3 沉积环境

白令海调查区主要为冲刷环境,沉积物颗粒较粗,分选好,颜色浅,无H_2S气味。楚科奇海因受海流影响不同而不同,大部分为沉积环境,并因物质输入量的多少,有机质含量高低不同,而又呈氧化环境与还原环境。随着离岸距离的增加,水深变深,陆源物质量减少,生源物质及自生物质增多,由浅海陆架环境向深海环境演化;局部区域则可为冲刷环境,尤其是赫雷德浅滩附近表现为残留沉积区,而高纬度地区冰川及海冰的搬运形成的所谓冰筏沉积在调查区广泛存在。

研究区因纬度较高,风化作用以物理风化为主,化学风化较弱,具有高纬度的沉积特点,表现为沉积物中元素主要以碎屑态存在。低温环境对沉积作用、生物作用及地球化学作用影响的综合结果,对本区沉积物的地球化学组成也有一定影响。与中国近海、南大洋以及其他海区的元素地化进行对比,可发现一些新的信息。又如北极地区水温低,水中CO_2含量高,CCD深度较浅。本次调查在白令海峡以北的沉积物中所测碳酸盐含量均小于2%,而且贝壳腐蚀严重,从一个侧面表明楚科奇海碳酸盐溶解作用较强,这与Anderson提出的冰海环境中碳酸盐补偿深度较浅相一致。

参考文献

1 赵一阳 鄢明才。中国浅海沉积物地球化学。北京:科学出版社,1994,174

2 Grantz A.S. Eittreim and O.T. Whitney. Geology and Physiography of the Continental Margin North of Alaska and Implications for the Origin of the Canada Basin. In: A.E.M. Nairn, M.Churkin and F.G.Stehli. The Ocean Basins and Margins, New York and London: Plenum Press, 1981. 439~489

3 Darby D.A., A.S. Naidu, T.C. Mowatt and G.Jones. Sediment composition and sedimentary processes in the Arctic Ocean. In: Y.Herman, The Arctic Seas, Climatology, Oceanography, Geology, and Biology, New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1989. 657~720

PROGRESS IN THE STUDY ON THE MARINE GEOLOGY OF THE CHUKCHI SEA AND THE BERING SEA

GAO Ai-guo[1] CHEN Rong-hua[2] CHENG Zhen-bo[1] LI Xiu-zhu[2]

([1] *First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao*, 266061)

([2] *Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou*, 320012)

Received: Dec., 22, 2000

Key Words: Chukchi Sea and Bering Sea, Marine geology, Progress in the study

Abstract

The Arctic marine geology research in China began in 1999. During the First Chinese National Arctic Research Expedition from July 1999 to September 1999, 39 surface samples and 7 cores were obtained from the Chukchi Sea and the Bering Sea, and a large number of the first hand information *in situ*. This article introduces the properties and distribution of the sediments, resource of sediments, sedimentary environments and some results of laboratory research.

(本文编辑:李本川)