

# 破冰之旅:北冰洋今昔谈

汪品先

中国科学院院士,同济大学海洋地质国家重点实验室,上海 200092

关键词 北冰洋 综合大洋钻探 302 航次 海底石油 俄罗斯插旗 西北航道

2004年,综合大洋钻探 IODP 302 航次在北冰洋的深海钻探发现:五千万年前的北冰洋曾是个亚热带淡水湖泊,沉积物具有优越的生油条件。2007年俄罗斯“和平-1”号深潜器将俄国旗插到北极的 4 000 m 深海海底,引起了北冰洋资源归属的国际之争。这些“破冰之旅”的气候背景,是使得北冰洋海冰迅速减少的全球变暖,因此北极“西北航道”开启的前景逐渐逼近,北冰洋的国际竞争正在升温。

## 1 冰海惊雷

2007年8月2日,俄罗斯科考队员乘“和平-1”号深潜器,将一面约1 m 高的钛合金制俄罗斯国旗,插到了4 261 m 深的北冰洋洋底(图1,见封二)。这无疑是一次海洋科技的创举,人类第一次下潜到北冰洋的深海海底采样、观测,可惜没有发现肉眼可见的大型生物;但是此举的主要影响却在于政治。航次由俄国知名北极专家、现任国家杜马副主席奇林加罗夫带队,由“俄罗斯号”破冰船开路,两艘深潜器先后从冰封的海面下水,是一次名副其实的破冰之旅;然而远远超过航次的学术价值、引起举世瞩目的着眼点,还在于北冰洋大片海域的国际归属。

事情要从十多年前说起。1997年通过联合国海洋法公约之后,俄罗斯在北冰洋的权益局限在200海里的专属经济区里,比1920年苏联地图上的范围小了许多。2001年俄国提出:北冰洋海底的罗蒙诺索夫海脊并非国际海底,而是其西伯利亚大陆架的自然延伸,这就意味着以北极为顶点、东起楚科奇半岛、西抵科拉半岛的三角形海区,海底资源权应属俄国(图2,见封二)。这块120万 $\text{km}^2$ 面积的海区,论面积和黄、东海的总和相近,论资源其石油储量估计可能有上百亿桶。

俄罗斯此举,犹如平静的北冰洋上一声惊雷,引起周围各国的强烈反响。加拿大外长说得干脆:现在不是15世纪了,你不能在世界到处插上自己的国旗,就声称“我们拥有这片领土”。加拿大派遣巡逻舰、修建深水港,加强其在北冰洋的军事存在。北冰洋周围美、加、俄、丹麦和挪威五国外长加紧开会,磋商北冰洋资源的分享问题。德国提出了最大破冰船的计划,建议由欧盟

联合建造。虽然北冰洋在世界各大洋中最小、最浅,约1 300万 $\text{km}^2$ 的面积,只相当于太平洋的1/14,水深平均只有1 201 m,大陆架占据面积52.9%<sup>[1]</sup>。但是世界各国都不会小看北冰洋:预计它蕴藏着超过90亿吨的油气,大约占世界未开发油气储量的25%,加上全球变暖带来的通航前景,一个繁荣的北冰洋可能正在逐渐向我们走近,而那里国际风暴的序幕可能也正在拉开之中。

## 2 海冰大战

北冰洋规模更大的一次“破冰”壮举,发生在4年之前,这就是北极的深海钻探。深海钻探已经有四十多年的历史,从1968年起,深海钻探(DSDP)、大洋钻探(ODP)和综合大洋钻探(IODP)三大计划先后在各大洋深海海底打钻,包括1999年在南海的ODP184航次,揭示了深海的奥秘、证实了板块学说、引起了地球科学革命;但唯独没有能够到冰封的北冰洋底下打钻。2004年8—9月,综合大洋钻探IODP302航次进军北冰洋,在水深~1 300 m、离北极点250 km处钻井4口,最深一口钻入海底428 m。这是海洋科技史上的一次创举,因为在深海打钻要求位置固定,而深海大洋无法抛锚,只能依靠动力定位的高技术;而北极周围的海面有2~4 m厚的海冰,以1/2节的速度流动着,要顶住海冰的推力、保持位置固定,就成了难题。实现北极钻探的欧洲联合体,用三条破冰船协同作战:先由俄国的原子能破冰船“苏联号”把大片的海冰压破开路;再由瑞典破冰船“澳登号”把破开的大冰块进一步破碎;然后才能保证挪威破冰钻探船“维京号”保持原位、进行钻探<sup>[2]</sup>。这场“海冰大战”在技术上是个创新,在科学上是个突破:原来今天的北冰洋,五千万年前是个生物繁茂、温暖宜“人”的

湖泊。

北极钻探的位置是打在罗蒙诺索夫海脊上,这条穿越北极点的海脊水深 800~1 300 m、延绵 2 000 km,大体沿着 45°W—135°E 一线把北冰洋分成两半,钻井就在 88°N 的北极点附近(图 3,见封二)<sup>[3]</sup>。钻井打穿沉积层进入大陆壳的基岩,取得了 5 600 万到 4 450 万年和 1 820 万年至今的两段沉积记录,可惜中间有 2 600 多万年的地层缺失,这是因为罗蒙诺索夫海脊当时水深过浅,接近海平面而遭受剥蚀<sup>[4]</sup>。在这沉积间断之上的地层,记录了 1 800 万年来北冰洋的历史;而间断面之下,4 500 万年前的地层则完全是另一回事:那时北冰洋还没有形成,而这段地层的发现就是北极钻探最大的亮点。

### 3 北极古湖

原来五千万年前,北冰洋竟是个淡水湖泊!间断面之下的地层基本上都是半咸水的沉积,而化石表明在五千万年前大约长达 80 万年的时期里,水面大量生长满江红(*Azolla*)<sup>[5]</sup>。满江红是一种水生蕨类植物,现在分布在热带、亚热带的淡水里,而满江红的孢子化石居然在北极出现,岂不惊人!的确,有机地球化学的标志显示当时表层水温总在 10℃ 以上,约 5 500 万年前曾经高达 23℃,简直是亚热带环境<sup>[6]</sup>。当时北冰洋还没有形成,只是一个封闭性的水盆,由图尔盖海、北海等与外海相通。满江红是淡水植物,最多只能容忍 1‰~1.6‰ 的盐度,其孢子在罗蒙诺索夫海脊钻井中的大量出现,并且有淡水藻类伴生,说明当时极地因大量降水而水体变淡,变成一个暖水的湖泊,应当叫成“北极湖”。满江红孢子也在同时期周围海区发现(图 4,见封二),推想就是从这个北极湖搬运而来<sup>[5]</sup>。格外令人注意的是当时北极湖的生产力极高,沉积物中有机碳常在 5% 以上,甚至高达 14%<sup>[3]</sup>,这种非凡的生油潜力具有极大的政治和经济吸引力。可以猜想,2007 年北冰洋海底的插旗之举,与 2004 年这趟破冰之旅的发现不无关系。

北冰洋从封闭型的盆地变为开放,从“湖泊”型变为“大洋”型,那是后来的事。从今天的地图看,北冰洋的“前门”开向大西洋,“后门”开在太平洋。与大西洋的通道宽,仅 Fram 海峡便有 450 km 宽,海槛深达 2 500 m;而通向太平洋的白令海峡只有 85 km 宽、55 m 深(图 3),而且在地质历史上长期关闭。从地质构造上讲,北冰洋三条海脊,只有一条 Gakkel 海脊是活动中的大洋中脊,而它正是北大西洋洋中脊的北段,穿过冰岛之后向北伸入北冰洋的。从水文上讲,格陵兰与斯瓦尔巴德群岛之间的 Fram 海峡就是北大西洋与北冰洋的深水通

道,也是北冰洋的咽喉(图 3)。距今 1 750 万年前的构造运动导致 Fram 海峡开放,使得北冰洋深层水终于摆脱了封闭盆地特有的低氧条件,变为大洋型的富氧环境<sup>[7]</sup>,这时候北冰洋才能晋级而跻身于世界大洋之列。

### 4 冰盖溯源

今天的地球,两极都有冰盖。虽然北极现在仅存格陵兰冰盖,拿来和南极的大陆冰盖相比显得过于寒酸,但两千万年前大冰期时大半个北美和西欧都压在几千米厚的大陆冰盖底下,北极与南极的冰盖难分伯仲。其实地球历史大部分时间里并没有极地的大冰盖,现在这种两极都顶个大冰盖的时期不过二百年,五六亿年来只有一次,恐怕人类之所以能够演化产生,也正是“得益于这种特殊条件。然而长期困惑学术界的一个问题是,南、北两极冰盖的产生时间为什么相差如此悬殊:南极冰盖在三四千万年前已经出现,北极冰盖长期以来认为是三百来万年前方才出现。现在北极的钻探根据岩芯证据,纠正了以往的认识。道理很简单:如果北极有冰盖发育,就会有大小不规则的冰积物,随着冰盖破碎产生的冰筏带到海里。北冰洋的冰筏沉积最早出现在 4 500 万年前,与南极冰盖的出现基本上同时;到 1 400 万年前,北冰洋钻孔中的冰积物显著增加,这又与南极东冰盖在 1 450 万年前的迅速扩大相对应<sup>[2]</sup>。这样,北冰洋的新发现澄清了南、北极冰盖的历史:虽然南极位在陆上、北极位在海里,两者发育冰盖的条件不同,冰盖历史也不会一样,但是重大的变化期相互对应,说明有共同的原因在起作用,比如说大气 CO<sub>2</sub> 浓度的下降可以使得两极同时降温。关于南北极差别的另外一项长期以来的误会,是以为只有北极冰盖才有反复的消融和增长,而南极冰盖一旦形成就不再融化。可是最近南极罗斯海冰架的钻探,发现三四百万年前北半球气候暖湿时,西南极冰盖也一度融化<sup>[8]</sup>,进一步强调了“两极相通”的道理。这些新认识,对我们在“全球变暖”条件下预测两极冰盖的命运,至关重要。

应当承认,关于当代地球上为什么形成极地冰盖,其原因至今还只有种种猜想,没有公认的理论。有的说是因为高原隆升,有的说是温室气体减少,还有的说是高原隆升使得温室气体减少,也有的说原因在于银河系的大周期、“宇宙的冬天”。其中有一种说法是南、北美之间的巴拿马海道关闭,使得墨西哥湾湾流加强,于是由大西洋向欧亚输送的水汽增多,因而西伯利亚河流注入北冰洋的淡水增多,终于导致北冰洋结冰,而海冰形成后提高反照率,促成大陆冰盖<sup>[9]</sup>。换句话说,美洲的

通道和大西洋的洋流,决定着北冰洋和北极冰盖的历史。但是,北冰洋边上有着世界最大的大陆和最大的大洋,这亚洲和太平洋对于北极冰盖的演化难道就不起作用吗?当然不是。

## 5 白令断桥

北极冰盖的出现,的确与淡水注入北冰洋相关,因为盐度降低会提高海水的冰点,使北冰洋容易结冰,当代北冰洋上层 150 m 海水偏淡,是大片海冰形成的前提。现在进入北冰洋的淡水 1/2 靠河流,1/4 靠通过白令海峡进来的太平洋水,而来自大西洋的水盐度偏高。北冰洋周围河流入海流量 3 300 km<sup>3</sup>,占全球河流总流量的 10%,但是主要来自亚洲,来自美洲的不足 1/5<sup>[10]</sup>。因此,西伯利亚大河注入北冰洋的淡水,对北极冰盖的形成起着关键作用。但是西伯利亚的大河都是河床老、河口新,更大的可能是蒙古、青藏高原的隆升导致河系改组,原来向西、向南的西伯利亚大河改向北流注入北冰洋,因而是亚洲形变的结果<sup>[11]</sup>,不一定都取决于美洲的地理变化。另一个因素是白令海峡,有人假设一旦白令海峡关闭,北冰洋淡水层消失,就会破坏北冰洋海水分层的稳定性,加剧大西洋水上层水的注入而使得海冰融化<sup>[12]</sup>,因此白令海峡在冰期旋回中可能起着关键作用。

说到白令海峡,就得从白令说起。直到三百年前,亚洲和美洲是否在北冰洋南岸相连并不清楚。彼得大帝派遣俄籍丹麦航海家白令去探查,1728 年发现两者中间确有个海峡相隔,后来就被称作白令海峡,是北冰洋连接太平洋的唯一通道。太平洋水从白令海峡进入北冰洋的流量虽然不大,只相当于从大西洋流入水量的 1/10,但是由于北太平洋水盐度低、温度高,对于北冰洋海冰的形成至关重要。然而从地质历史的长河看来,太平洋水进入北冰洋是一种短暂现象,大部分时间里亚洲与美洲在这里相互连接,这就是所谓“白令陆桥”。北冰洋的早期向太平洋一侧并不开口(图 4),白令海峡要到大约 500 万年前方才出现<sup>[13]</sup>,但是此后并不稳定,至少在冰期旋回中会随着海平面下降而出露,成为时隐时现的“断桥”。

白令海峡很浅,今天只有 55 m 深,但在冰期时出露形成的陆地却不小,这是一条南北宽达千余公里的地带,为两大洲动物和人类的迁徙提供了通道。如此规模的大片陆地,叫做“桥”有点委屈,叫“白令古陆(Beringia)”更确切些;但在生物地理和人类文明的历史上,它确实起过“桥梁”的作用,而且对于北美尤其重要,因为这

是美洲原著民的由来。据现在的考察,白令陆桥的最后出现大约始于 75 000 年前,到 11 000 年前随着冰盖的融化、白令海峡的贯通,再度变“断”<sup>[14]</sup>。同样,冰期时白令海峡的关闭,对白令海、对北太平洋边界流与中层水都会产生影响<sup>[15]</sup>,这些都是有待新的大洋钻探加以揭示的新题目。通过白令海峡研究北冰洋与太平洋的关系,也是我国极地科学的一个重要命题。

## 6 极地春光

当世界各地为温室气体和全球变暖担忧的时候,北冰洋却别具前景,因为升温正可以解除百万年来的冰封雪罩,重返春光。果然,北冰洋海冰融化,是当代全球增温最显著的证据之一。北冰洋海冰的分布范围历来冬进夏退,有着强烈的季节变化,近几十年来冬季海冰面积比较稳定,夏季海冰退缩明显,每十年面积减少 10% 左右<sup>[16]</sup>。到了近几年海冰融化进一步加速,甚至连冬季海冰面积和厚度也都在急剧减少:2007 年夏季海冰面积竟然比 2005 年缩小 23%<sup>[17]</sup>,海冰减少的面积和西藏差不多大,减少的速率远远超过以往的估计。如果这种趋势继续下去,北冰洋的开发利用就不再是在遥远的未来,而摆在眼前的首先是航运和矿产资源。

开辟穿越北冰洋的航道,是西方世界五百多年来的梦想。哥伦布发现新大陆不是他的本意,他在西班牙女王面前许下的愿是寻找捷径,开辟去亚洲的新航道,以致于到了中美洲还以为是印度,这才闹出个“东印度群岛”的名字来。五百年过去了,从西欧到亚洲之间的短线航道始终没有开辟,其实最短的路线是穿越北冰洋(图 5,见封二)。具体有两种走法,一种是沿西伯利亚北岸走的“东北航道”,但这条航线几乎全在俄国的辖区之内;另一条是从加拿大东北穿过一系列深水海峡通到美国阿拉斯加,叫做“西北航道”,全长才 1 500 km。商船从欧洲到亚洲的 3 条主要航线,无论是经过苏伊士运河、巴拿马运河或者非洲好望角到达太平洋,航程都在 2 万 km 以上,而走“西北航道”就可望缩短 9 000 km 的航程。

为了开辟“西北航道”,历史上早就付出过血的代价。1845 年英国海军派遣两艘船探索西北航道,第二年这两艘船被海面结冰围困,队员全部丧生。1903 年挪威探险家罗尔德·亚孟森率领六个人乘小船从大西洋进入西北航道,3 年后到达阿拉斯加,成为第一个探险成功的人,但这反过来也证明了西北航道只能探险、不能商用。现在随着全球变暖的“天赐”良机,五百年来“西北航道”的梦想可望实现。原来估算到 21 世纪中叶才可

以通航的“西北航道”,现在看来有望大大超前,已经成为航运界的热门话题。

## 7 北极探宝

一旦海冰减少到通航成功,北冰洋就不再是个宁静世界,一个北极探宝的高潮必将兴起。这里首先是海底的油气资源,早就估计北冰洋海底蕴藏的油气资源当占全球储量的1/4,而极地深钻井揭示出富含有机质的地层,又进一步展示了北冰洋能源宝库的前景。除了石油之外,最近的海底探测,又揭示了北冰洋新的资源潜力:洋中脊的热液系统。

世界洋底连绵伸展着8万km的大洋中脊,这是大洋的板块分界,是新生大洋壳形成的地方,也是地球深部的物质和能量通过热液活动进入地球表层系统的窗口。北冰洋洋底现在还活动的洋中脊,就是前面说到的Gakkel海脊(图3)。大洋中脊产生新洋壳,也就是海底扩张的过程,但是扩张有快慢之别:快的如东太平洋,每年扩张10~20cm,是深海热液首次发现的地方;而北冰洋的Gakkel海脊扩张特别慢,一年不过0.6~1.3cm,但是这个“超慢速扩张”的中脊也有热液活动的迹象<sup>[18]</sup>。2008年8月初,瑞士科学家在北冰洋73°N处水深2400m的洋中脊,发现了热液活动形成的“黑烟囱”,有300高温的热液喷出。这是世界上最高纬度海底发现的热液喷出口,也是从“超慢速扩张”洋中脊第一次找到黑烟囱。

热液口的“黑烟囱”附近,是金属硫化物大型矿床的形成地,其中有铁、铜、锌、铅、汞、钡、锰、银等硫化物矿产,甚至还有原生的自然金。热液口附近还是特殊的“黑暗食物链”发育地,其中的生物依靠的能量不是太阳光,而是地球内部能量,是新一代生物资源、基因资源的探索对象。北冰洋洋底就像一个正在打开的龙宫宝藏,石油、热液……种种资源,等待着人类的勘探、开发。

和几百年前不同,今天海上的国际之争通常以科技竞争的形式出现。北冰洋的前景,正在吸引不少国家提出科技计划,而2007—2008年的第四次国际极地年,更将北极的探测推向高潮。一个实例是德国提出的“北极之光(Aurora Borealis)”号超大型破冰钻探船,这条190m长,可以在水深5000m处钻进海底1000m的钻探船专门用来探测北冰洋海底资源,建议由欧盟联合建造,2007—2011年准备,2012年建造,2014年使用。

可以设想:一个汽笛争鸣、商机盎然的北冰洋,有可能在一二十年里出现。无论北冰洋周围的国家如何在海上划界,总会有一大片国际海底留出来归全人类所

有、供世界共同开发。自从1999年以来,我国已经多次组织北冰洋考察,2004年又在斯瓦尔巴德地区建立北极科考站——黄河站,我们的“雪龙”号现在也正在北冰洋执行第三次北极考察。正在“振兴华夏”声中的中华儿女,能不能大幅度加强北极探测,在人类开发北冰洋的历史性壮举中做出自己的贡献,这是当代中国面临的挑战之一。

(2008年9月9日收到)

- [1] JAKOBSSON M. Hypsometry and volume of the Arctic Ocean and its constituent seas[J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2002, 3(5), doi: 10.1029/2001GC000302.
- [2] STOLL M. The Arctic tells its story[J]. *Nature*, 2006, 441: 579-581.
- [3] MORAN K, BACKMAN J, BRINKHUIS H, et al. The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean[J]. *Nature*, 2006, 411: 601-605.
- [4] SANGIORGI F, BRUMSACK H J, WILLARD D A, et al. A 26 million year gap in the central Arctic record at the greenhouse-icehouse transition: Looking for clues[J]. *Paleoceanography*, 2008, 23, PA1S04, doi:10.1029/2007PA001477.
- [5] BRINKHUIS H, SCHOUTEN S, COLLINSON M E, et al. Episodic fresh surface waters in the Eocene Arctic Ocean[J]. *Nature*, 2006, 411: 606-609.
- [6] SLUIJS A, SCHOUTEN S, PAGANI M, et al. Subtropical Arctic Ocean temperatures during the Palaeocene/Eocene thermal maximum[J]. *Nature*, 2006, 411: 610-613.
- [7] JAKOBSSON M, BACKMAN J, RUDELS B. The early Miocene onset of a ventilated circulation regime in the Arctic Ocean[J]. *Nature*, 2007, 447: 986-990.
- [8] SCHOOF C. Ice sheet grounding line dynamics - Steady states stability, and hysteresis[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112, F03S28, doi: 10.1029/2006JF000664.
- [9] DRISCOLL N W, HAUG G H. A short circuit in thermohaline circulation: A cause for Northern Hemisphere glaciation? [J]. *Science*, 1998, 282: 436-438.
- [10] STEIN R (Ed.). Circum Arctic river discharge and its geological record[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2000, 89: 447-616.
- [11] WANG P. Cenozoic deformation and the history of sea-land interactions in Asia[M]. In: CLIFT P, WANG P, KUHN T W, HAYES D (Eds.), *Continent-Ocean Interactions in the East Asian Marginal Seas*. *Geophysical Monograph*, 2004, 149, AGU: 1-22.
- [12] MARTINSON D G, PITMAN W C. The Arctic as a trigger for glacial terminations [J]. *Climate Change*, 2007, 80: 253-263.
- [13] GLADENKOV A Y, OLEINIK A E, MARINCOVICH L J, et al. A refined age for the earliest opening of Bering Strait [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2002, 183: 321-328.
- [14] KEIGWIN L D, DONNELLY J P, COOK M S, et al. Rapid sea-level rise and Holocene climate in the Chukchi Sea[J]. *Geology*, 2006, 34(10): 861-864.
- [15] TANAKA S, TAKAHASHI K. Late Quaternary paleoceanographic changes in the Bering Sea and the western subarctic Pacific based on radiolarian assemblages [J]. *Deep-Sea Re-*

- search II, 2005, 52: 2131-2149.
- [16] COMISO J C. Abrupt decline in the Arctic winter sea ice cover[J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33, L18504, doi: 10.1029/2006GL027341.
- [17] STROEVE J, SERREZE M, DROBOS S, et al. Arctic sea ice extent plummets in 2007[J]. EOS, 2008, 89(2): 13-14.
- [18] EDMONDS H N, MICHAEL P J, BAKER E T, et al. Discovery of abundant hydrothermal venting on the ultraslow-spreading Gakkel ridge in the Arctic Ocean[J]. Nature, 2003, 421: 252-256.

## Ice Breaking Expeditions: the Present and Past of the Arctic Ocean

WANG Pin-xian

CAS Member, State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract In 2004, Integrated Ocean Drilling Program Expedition

302 drilled in the deep-water Arctic Ocean and discovered that the Arctic Ocean was a fresh-water lake with a subtropical climate some 50 million years ago, and its deposits are highly promising in oil production. In 2007, the Russian mini-submarine "Mir-1" planted a Russian flag on the sea bed about 4 km below the North Pole, leading to international competing claims over access to Arctic resources. Both the "ice-breaking expeditions" took place under the background of global warming when the Arctic sea-ice cover is rapidly reducing. As a result, the opening of the Northwest Passage is progressively approaching, heating up the international competition in the Arctic Ocean.

Key words Arctic Ocean, IODP Expedition 302, offshore oil, Russia's flag planting, Northwest Passage

(责任编辑:方守狮)

### 自然信息

#### 揭示细胞命运之谜

细胞命运的调控,是一个十分复杂而又被了解不多的过程。这一过程主要是由基因表达的表现调控指导的,即改变基因的功能而不改变内在的DNA序列。表现调节部分通过改变染色质——DNA和蛋白质组成的复合物——来实现的。细胞核中的DNA,和组蛋白(H2A、H2B、H3和H4)相互作用,形成一个控制细胞转录的“开关”。

Homeotic(Hox)基因控制着胚胎发育和干细胞的更新。在绝大多数已分化的细胞内,Hox基因受Polycomb(PcG)族如EZH2转甲基酶的抑制。Lee等在2007年10月19日的《Science》上介绍,细胞分化过程中的这种特异地修饰作用,因UTX而降低。UTX是一种利用Jumonjic(JmjC)区催化赖氨酸去甲基的酶。最近还识别了另一种H3K27me3的专性去甲基酶jumoji3(JMJD3)。

H3K27的2和3甲基化作用,主要是位于发育调节基因(如Hox)基因簇的启动子区。Polycomb抑制的复合物I(PRCI),包含有组蛋白H2A的单泛素化活力,加入到Hox基因中,调节它们的抑制。现在, Lee等人 and Chang等人还有另外的报告,一致表明,UTX和JMJD3

都是加入到Hox启动子区里,除去H3K27me3,抗这种抑制。虽然显示UTX和JMJD3的势力范围不同,两者的独立的和结合的作用也不明确,可它们控制发育的能力是无疑的。如,特异的抑制斑马鱼的UTX和线虫的相应成分时,分别导致斑马鱼的尾部和线虫性腺发育缺失。在JMJD3缺失时,依靠细胞素刺激的骨髓前期细胞的分化遭到破坏。这暗示H3K27me3是决定细胞命运的关键。

在初始的胚胎形成和后来的分化期间,UTX和JMJD3发挥着不同作用。这两种用酶的靶位点都是H3K27me3,但UTX是组成型地表达,而JMJD3的表达,受细胞外信号的诱导。Lee等也发现,UTX加入到正分化中细胞的Hox基因内,当接到正确地发育信号时,它可以完全检测并选择地去除H3K27me3。

单纯去除H3K27me3,不足以改变细胞的性质和命运。有关UTX/JMJD3的几项研究都说明,伴随H3K27me3的去除,随之出现另外的变化,即组蛋白第四位上赖氨酸的3甲基化作用(H3K4me3)。这紧密关联着活性基因的转录。很明显,UTX和JMJD3都是加甲基到H3K4上的MLL(混合谱系白血病)蛋白质复合物的组分,这表明H3K27me3的去除和转录活性染色质的形成直接偶联。所以说,细胞命运的改

变,涉及多级修饰组蛋白活动的选择性恢复。这些活动,激活特异的发育程序,精确改变了后来的局面。这和组蛋白密码假说相吻合。就Hox基因而言,分别选择性地加入或除去H3K27me3,确定组蛋白的密码或染色质“开关”,重排控制细胞发育基因的程序。可以推测,象UTX/JMJD3-MLL的后成的开关,必将大量出现在其他染色质介导的过程中(如复制和DNA修复)。

组蛋白赖氨酸的甲基化作用是可逆的,那么,后成的状态是如何遗传的呢?难道是通过组蛋白精氨酸的甲基化作用吗?可到目前为止,已知并无精氨酸脱甲基酶存在,虽然是酶把甲基精氨酸转化为新氨基酸(瓜氨酸)。这一过程是不可逆的,而且是改变主要氨基酸顺序。Chang等人识别了第一个精氨酸脱甲基酶JMJD6。选择性地甲基化精氨酸转化为精氨酸。这就说明,可能存有表现遗传机制,有待今后的探索发现。

基因组内的程序重排,使细胞的命运有了很大的可塑性。这可对两栖类动物的四肢再生和克隆时体细胞核的重排现象作出解释。这是一种打破终极分化状态的过程。不难看出,探索在后成基因组内所发生的关系UTX/JMJD3使组蛋白脱甲基的活动中,是否存有基本重排机制的问题,很有意义。

[范宗理摘译自Science, 2007-09-19]

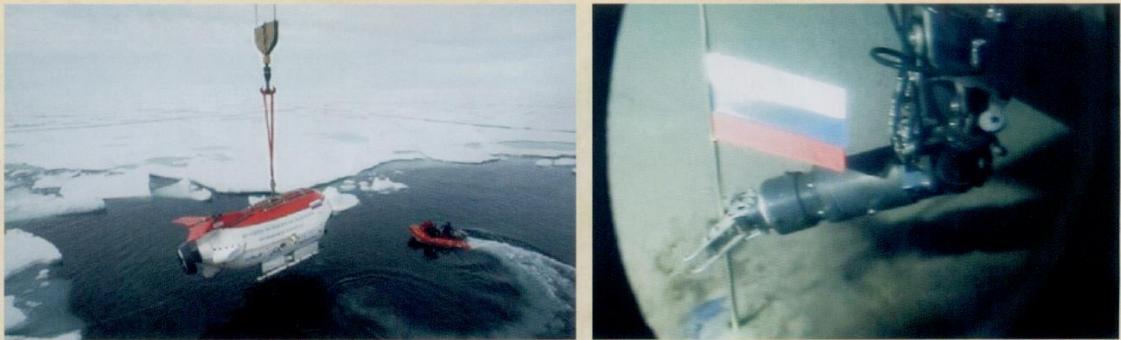


图1 俄罗斯“和平-1”号深潜器将俄罗斯国旗插到北冰洋深海底  
左：“和平-1”号深潜器；右：北冰洋底的俄罗斯国旗



图2 北冰洋海域归属之争

虚线为200海里专属经济区界限，实线为海上国界，深蓝色为俄罗斯提出主权的三角形海区，左侧紫线为航海家探索的欧亚“西北通道”

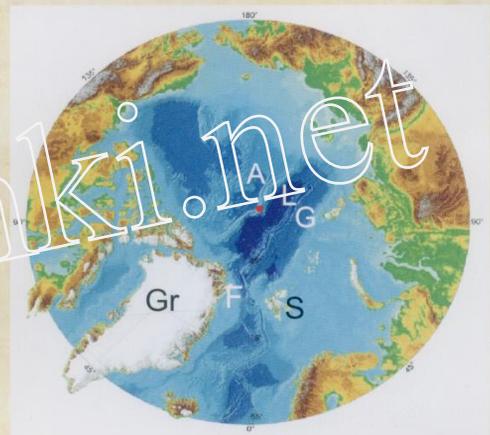


图3 北冰洋海底地形图

三条海脊：A—阿尔法海脊，L—罗蒙诺索夫海脊，G—Gakkel海脊；Gr指格陵兰，S指斯瓦尔巴德，F示Fram海峡；红点示IODP302航次钻井位置



图4 五千万年前的北冰洋和满江红孢子的发现站位(☆)

当时北极是一个湖泊型的封闭盆地，还没有形成大洋型的北冰洋，绿色示陆地，浅蓝色示浅水，深蓝色示深水，T示欧亚之间的图尔盖海，B示北海的前身，P示太平洋 (Brinkhuis et al., 2006)



图5 西欧到东亚的两种海路

通过北冰洋的(红线)途径，比通过地中海、印度洋和南海的(黄线)近得多

参见本期“破冰之旅：北冰洋今昔谈”一文