

## 渤海地区近20万年以来的海面变化\*

赵松龄 张宏才

(中国科学院海洋研究所)

早在1888年,狄格尔(De Geer)曾提出,斯堪的纳维亚半岛是典型的冰川均衡区,冰川负荷的消失引起了当地地壳的均衡抬升,形成了具有椭圆形的穹形隆起区,并用实际测量的资料进一步证明了杰米逊(Jamieson, 1865)所阐述过的“冰川均衡”论。自那时以来,冰川均衡论几乎统治了一个世纪,直到现在还有不少追随者。近20年来,随着海洋地球物理学的发展、资源卫星和遥感技术的出现,使人类直接或间接地对地球内部的构造与性质有了较为深入的了解。现已查明,洋底的地壳系由不同的粘滞性、不同密度、不同岩性、不同厚度的同心壳层所组成。显然,这些同心壳层任何明显的变化,都可能引起上伏水圈的变化,导致世界洋面的升降变动。事实上,卫星测量资料已发现,地球上的水面不是均一的水准面,而是重力均衡面。就世界洋面的表面形态而言,它由若干起伏不平、大小不等的凸凹部份所组成,如新几内亚和马尔代夫群岛之间的水面差可达180米。如果洋底地壳的某一部份,或者软流圈的某一部份在地球旋转过程中,发生部份重力调节,就会打破洋面上的均衡,引起洋面变化,在当地会形成局部海侵或海退。值得注意的是:布隆(Bloom, 1967)在冰川均衡论的影响下,又进一步提出了融水均衡调节论。他认为:随着间冰期的到来,大量冰川融水回归海洋,增大了海水量,扩大了海水的体积,在一些陆架地区会引起海盆的加深和沿岸地区的抬升,布氏将其称为融水均衡调节作用。

在上述背景下,莫尔尼(Mörner)把世界洋面变动成因的研究归纳为三类:即冰川型、构造型和重力型(若按布隆的意见,还应加上融水

调节型)。我们认为:影响世界洋面变动的因素很多,如气温的变化、冰期/间冰期的交替出现、地磁场的周期性变动、太阳黑子活动状况、火山活动的频度、二氧化碳含量的变化,以及地球旋转轴的周期性颤动等。而这些因子间往往又互相制约、互相影响。所以要将它们的作用分开,至少在目前来说是不可能的。除了上述那些共同性的因素影响以外,一个地区还有其区域性的地质特征,也会影响到当地的海面变化,这也是不可忽视的因素。

根据我们对中国东部沿海海相地层的系统研究,我们发现中国东部沿海主要发育一些埋藏式海相地层,在大范围内可进行横向对比,它们是海侵与海退的记录,也是世界洋面变动的可靠记录。每一海侵与海退构成一个轮回,在地层中留下一期海相地层。据此,我们认为,冰川均衡说与融水均衡调节说都不能很好地解释中国陆架海区海水的进退史。只有用长期持续而稳定的区域性下沉(沉速可以不同)与冰期/间冰期气候的交替出现,这两者结合起来,才能较完整地解释中更新世末期以来中国东部沿海地区的海侵与海退史,也是这段时期内的海面变化史。

本文主要根据渤海Bc-1孔和渤海湾西岸沧州孔、辛集孔、高湾孔和南排河孔第四纪沉积岩芯中所包含的海相地层的垂直分布与水平分布特征,来讨论近20万年以来的海面变化。

### 一、海陆相地层的划分与对比

一般来说,海洋沉积环境均含有大量海洋

\*中国科学院海洋研究所调查研究报告第1156号。

生物化石，它们往往是划分海相与陆相地层的重要依据（在海洋沉积物中，常见的生物化石群，主要有各种浮游与底栖生物的遗壳、微体与超微体化石的钙质或硅质壳体、脊椎动物的遗骨，以及各种海洋环境中的软体动物壳等）。大量的分析资料已证明，海洋沉积物中所含有的海生化石群具有下述两个显著的特征：其一为海洋生物化石群具有数量大、种属多、便于保存和易于寻找；其二是大量海生动物化石群都属于低等生物，生态变异性强，对环境变迁反应灵敏，而具有特殊的指相性。由于海洋生物化石群具有上述特征，所以在任何海洋环境中，或者任何与海有关的沉积环境中都可找到它们的踪迹；此外，沉积物中所含化石群的组合变化，还能反映海侵、海退的过程，以及水温、水深和盐度的变化。由此还可进一步推算距海之远近、古岸线的变迁和当地的海面变动。而要获得这些资料的第一步，必须首先着手于海、陆相地层的划分。

陆相环境与海相环境有明显不同。通常，在陆相环境中只见有少量淡水介形类化石和为数不多的陆生软体动物化石，其他陆相生物化石则更为罕见。

在海、陆相地层划分过程中，首先对所获得的沉积岩芯采取逐层取样的方法，使取样间距保持在1米左右。在样品处理过程中，尽力排除了样品自身的“污染”，以防造成假象，给地层对比带来困难。在样品逐层分析的基础上，将富含海洋微体生物化石群（主要为有孔虫和介形类化石）的层位，就近予以合并，从而获得各埋藏海相地层的厚度。而对于那些只含有少量淡水介形类或陆生软体动物群，以及无生物的哑层，均归并为陆相。

根据渤海湾西岸、下辽河地区、苏北平原东部，以及上海市的第四纪沉积岩芯的生物化石群分析结果，在上述地区都含有数层被埋藏了的海相地层（由于历次海侵规模不同，各孔所见海相层数各异）。在沉积岩芯中，这些不同时期形成的海相地层，均被陆相地层所分开，它们是中更新世末期以来海面变化的可靠

记录，也是冰期/间冰期气候变化的有力佐证。

现就渤海湾西岸沧州孔、辛集孔、高湾孔和南排河孔，以及位于渤海中部的 Bc-1 孔海相地层的分布特征作如下讨论。

1. 沧州孔：位于津浦线上的沧州市区，孔深720米，经逐层分析结果，仅在岩芯上部的20—31米和53—58米找到两处海相地层。按照过去的研究，位于孔深20—31米的海相地层，相当于玉木冰期中的上亚间冰期海侵沉积；位于孔深53—58米的海相地层，相当于玉木/里斯间冰期海侵沉积。

2. 辛集孔：位于沧州以东的海兴县附近，孔深600米，经微体生物化石群的系统分析，全岩芯只有三期海相地层，它们的埋藏深度分别为：0—14米，相当于全新世海侵沉积；25—28米，相当于玉木冰期中的上亚间冰期海侵沉积；48—56米，相当于玉木/里斯间冰期海侵沉积。

3. 高湾孔：位于海兴县以东，属黄骅县境，孔深600米，和辛集孔一样，也见有三期海相地层，其埋藏深度分别为0—12米、30—44米和54—71米，各海相层形成时代同辛集孔。

4. 南排河孔：位于黄骅县最东部（高湾孔以东），于现代渤海海岸附近。孔深700米，海相地层分布在100米以上的地层中。位于最上部的海相地层，埋藏深度在0—14.72米之间，其下为15公分厚的泥炭沉积，经 $^{14}\text{C}$ 测年结果为 $8590 \pm 170$ 年。自上而下算起的第二海相层，其埋藏深度为23.9—40.5米，岩芯40.5—41.5米为泥炭沉积，经 $^{14}\text{C}$ 测年结果为 $>32000$ 年；位于孔深最下部的海相地层，埋藏深度为56—74米。从层位关系上看，它与辛集孔的48—56米的海相层相当。辛集孔的古地磁测量结果表明，在距今114000—108000年的布莱克（Blake event）短期反极性事件结束后，渤海湾西岸开始了大范围的海侵，形成了范围十分辽阔的海相地层。

由此看来，渤海湾西岸自第四纪以来，只发生了三次大范围的海侵，最早的海侵发生在

距今108000年左右。根据沉积速度进行过推算,海水到达渤海湾西岸的时代,可能从距今102000年开始,结束于距今70000年。这次海侵的范围,在西部曾到达沧州以西,故被称为沧州海侵。位于中部的第二海相层,曾到达河北献县一带,故将这次海侵称为献县海侵;位于顶部的海相地层,分布范围可达河北黄骅一带,故将其称为黄骅海侵。

5. 渤海Bc-1孔: 位于渤海中部,水深约27米处(东经119°54′、北纬39°9′)。孔深240.5米,实际岩芯累计长度156.85米,岩芯提取率为65%。渤海Bc-1孔全岩芯显示为灰色,主要由粉砂质粘土、粘土质粉砂和粉砂所组成,在室内进行了有孔虫、介形类分析、软体动物群鉴定和古地磁测量。按照室内分析的结果,渤海Bc-1孔共有七期海相地层和介于其间的陆相地层。

第一海相层位于孔深0—8.6米,富含孔虫和海相介形类化石群,以及海生软体动物群,为距今约8600年前海侵后所沉积的地层,属全新世海侵沉积。对全新世海相层以下与第二海相层上部之间的地层作了<sup>14</sup>C测年<sup>1)</sup>,其结果列于<sup>14</sup>C测年结果表。

<sup>14</sup>C测年结果表

序号	深度(米)	年龄(年)
1	12.95—13.10	13490±150
2	22.7—22.8	15145±610
3	37.2—37.3	23190±340
4	41.8—41.9	26840±1200
5	42.35—42.40	27860±870

第二海相层位于孔深41.1—46.0米,古地磁测量结果,发生于距今大约在35000—36000年的蒙哥事件,出现在岩芯44.9—45.8米处,这次海侵相当于玉木冰期中的上亚间冰期海侵沉积。

第三海相层位于孔深79.6—104.5米。从该层所含微体生物化石群的组合特征来分析,这次海侵反映为水深较浅,温度偏低。与第二

和第四海相层的组合特征明显不同。另据沉积速度推算,这次海侵的时代为距今53500—65000年间,相当于玉木冰期中的下亚间冰期海侵沉积。

第四海相层位于孔深116.5—141.9米,这次海侵发生于距今70000—85000年间,相当于上玉木/里斯间冰期海侵沉积。

第五海相层位于孔深150.0—177.5米。值得注意的是,在第四和第五海相层中均含有暖水种软体动物群和有孔虫(如依萨伯雪蛤 *Chione isabelina*等)。若与渤海湾西岸的海相地层相比,第四、五两海相层的组合特征,显然与沧州海侵层相当,即相当于玉木/里斯间冰期海侵层(渤海Bc-1孔的玉木/里斯间冰期海侵层,由上、下两部份组成)。

第六海相层位于孔深188.0—201.0米,据沉积速度推算,发生于距今131000—150000年,属里斯冰期中最末一次亚间冰期海侵。这次海侵的范围,只限于现代渤海以内。

第七海相层位于孔深220.0—233.5米,可能发生于距今150000—163000年,也相当于里斯冰期中的一次亚间冰期海侵,海侵范围也只限于渤海。

在渤海Bc-1孔中,早于163000年的地层为

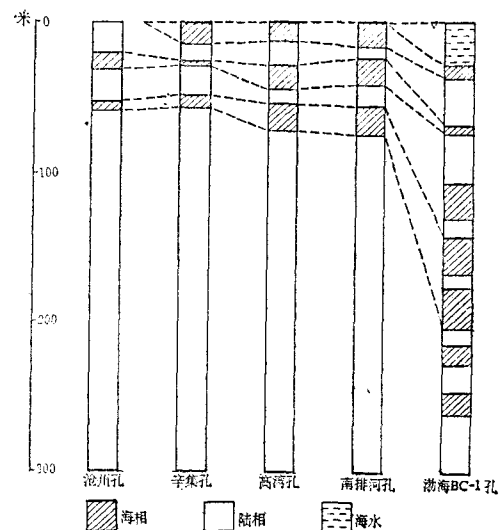


图1 渤海湾西岸与渤海Bc-1孔海相地层对比

1) 系由余家栋等提供的测年资料。

陆相地层，显然为里斯冰期沉积，下界不详。

若将渤海 B<sub>c-1</sub> 孔与渤海湾西岸的沧州孔、辛集孔、高湾孔、南排河孔相比（图 1），则不难发现，位于渤海中部的 B<sub>c-1</sub> 孔具有较快的沉积速度。

辛集孔沧州海侵层的底板为孔深 71 米，南排河孔为 74 米，而渤海 B<sub>c-1</sub> 孔的相对应层位为 177.5 米，两者相差在 100 米以上。

## 二、中国东部沿海近 20 万年以来的海面变化

渤海 B<sub>c-1</sub> 孔的研究，给我们提供了近 20 万年以来海面变化的最新分析资料。在海相地层对比中，渤海 B<sub>c-1</sub> 孔具有下述特征。

1. 在玉木冰期中（距今 70000—10000 年），渤海共发生了两次亚间冰期海侵，分别称为下亚间冰期海侵和上亚间冰期海侵；前者规模较小，只限于现在渤海范围以内，所以在渤海湾西岸的第四纪地层中，均未发现；而后者范围较广，按照我们过去的研究，这次海侵的西界可达河北献县一带，故被称为献县海侵。

2. 由于在玉木冰期中出现了两次亚间冰期海侵，构成了对玉木冰期进行三分的条件，分别称为玉木 I、玉木 II、玉木 III。在冰期时海水退出渤海，当地沉积了陆相地层。按照我们的研究，玉木 III 时，海面降低到今日海面以下 130 米处，玉木 I 和玉木 II 时的海面，可能比现在海面低 80—70 米。

3. 在玉木/里斯间冰期时（距今 108000—70000 年），世界洋面曾发生一次较大幅度的波动，使海水一度退出渤海，持续时间为 5000 年。由于从距今 90000—85000 年间这个波动期的存在，将玉木/里斯间冰期海侵分为两部份，分别称为上玉木/里斯间冰期海侵和下玉木/里斯间冰期海侵。这种现象过去在渤海湾西岸的沧州孔、辛集孔、高湾孔和南排河孔沧州海侵层的分析中，也出现过这次波动，在那里沉积了大约 2 米厚的陆相地层。

4. 位于渤海湾西岸的辛集孔和渤海 B<sub>c-1</sub>

孔都在布莱克事件结束后发生了玉木/里斯间冰期海侵，该事件的发现对当地地层划分与对比提供了依据。我们认为布莱克事件的结束，意味着中更新世的结束和晚更新世的开始，也是里斯冰期结束与玉木/里斯间冰期开始的重要分界。

5. 渤海 B<sub>c-1</sub> 孔的研究还表明在里斯冰期中，至少也存在两次亚间冰期海侵，分别发生于距今 131000—118000 年和 163000—150000 年。这两次海侵都没有越过现代渤海的范围，所以在渤海湾西岸的地层中均未发现。

6. 从距今 10000 年以来进入全新世沉积时期，大约从距今 8600 年左右，海水已到达渤海。而后，随着世界洋面的抬升，海侵的范围得到了迅速扩展，在渤海湾西部达到天津、黄骅一带，故被称为黄骅海侵。大约在距今 5000—6000 年间，海侵范围最盛。自此以后，海面又略有降低，发生了海退，结果在渤海湾西岸留下了 3—4 条贝壳堤。

7. 渤海 B<sub>c-1</sub> 孔海、陆相地层的划分，还进一步表明，不论是冰期时的海退，还是间冰期或亚间冰期的海侵，其持续时间均不超过 2 万年。

8. 自古地磁布莱克短期反极性事件结束后，渤海中部沉积速度逐渐得到了加强（从 1.6 毫米/年—2.3 毫米/年），当玉木 II 结束后，沉速明显降低。在进入玉木冰期中的上亚间冰期海侵时，沉速已降为 0.28 毫米/年。我们推测，这时的渤海地区的沉降中心向西偏移，结果在渤海湾西岸形成了近 20 万年以来的最大海侵（而深海沉积岩芯的古温度研究，证明这段时期的温度虽略有回升，但比目前的温度要低的多，不可能形成大范围海侵）。在进入玉木 III 以后，渤海中部的下沉又再度加快；自全新世以来，又趋于稳定。

根据上述分析，已经有可能对渤海近 20 万年的海面变化过程绘于图 2。

每一海相层相当于一次海侵海退轮回。每期海相地层都应当有一高海面与之对应；每一海退时期形成的陆相地层，都应当有一低海面

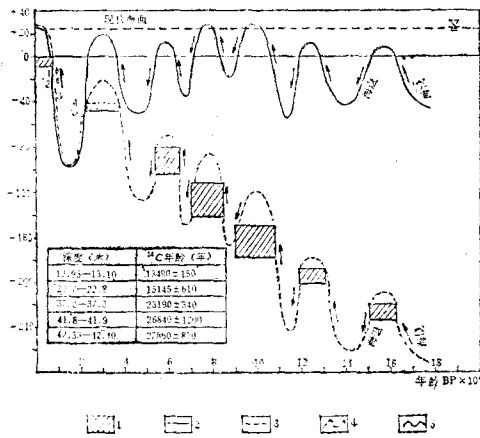


图2 渤海中部近20万年以来海面升降曲线  
1. 海相地层; 2. 海底面; 3. 现代海面;  
4. 埋藏了的海面; 5. 实际海面。

时期与之对应。渤海Bc-1孔拥有7期海相地层, 表明近20万年以来的海面变化曲线, 至少有7个峰值和介于其间的低值与之对应。我们认为, 图2可能近似地代表了近20万年以来, 中国东部沿海地区海面变化的基本趋势。

### 三、结 语

本文主要根据渤海Bc-1孔海相地层的研究, 相应地对近20万年以来海面变化的基本趋势作了初步讨论。目前, 由于在黄海和东海地区缺乏钻井资料, 所以在玉木冰期和里斯冰期中海水降低的幅度, 都只作了初步估算。历次海侵与海退中, 海面变化的细节, 本文都未予以考虑。

## SEA LEVEL CHANGES OF THE BOHAI SEA REGION SINCE 200,000 YS

Zhao Songling and Zhang Hongcai

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

### Abstract

Based on our systematic study for marine formation of the eastern coastal region in China, 3 marine formations had discovered since 100,000 years, 7 marine formations in the central region of Bohai sea had found during the last 200,000 years. Authors consider that marine facies deposit should correspond to interglacial or interstadial sediments, continent deposit should correspond with glacial sediment or sub-glacial one. So alternative occurrence of the marine formation and the continent one in Quaternary sediment were reliable record of transgression and regression, strong evidence of sea level change in the world too. We insist that glacial and postglacial isostatic adjustments could not explain the history of advancement and recession of the shelf sea in China, but could give a clear explanation for the process of transgression and regression since middle Pleistocene and for the history of sea level change during the last 200,000 years if alternative occurrence of glacial climate and interglacial one cooperate with connected emergence or submergence in that place.