

海面变化与人类环境

SEA-LEVEL CHANGES AND HUMAN ENVIRONMENT

苍树溪 薛胜吉 李铁钢

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

世界海面约占地球总面积的 71%。它作为地球的基本界面,对地球各个圈层、各种自然营力的作用及其相互关系与环境的变化,具有最为灵敏的反映和表现。各个地质时期的海面变化,都曾相应地引起全球性或区域性海陆相对位置和地球环境不同程度的变迁,特别是对沿海与陆架地区的侵蚀与堆积作用,气候与生态环境的变化,各种自然资源的形成与分布等,曾产生极为深刻的影响,因而与人类社会的发展有着十分密切的关系。

自古以来,人类的生存及活动,大部分受海面变动所影响。当今,人们已经用验潮仪记录海面变化,其幅度在不同的地区存在着很大差异。而相对于海面的每一次变动,不仅伴随以局部的海岸上升,或地壳下降,而且相应发生海水对陆地的侵蚀或堆积,这无疑会使人类付出高昂的代价。

近年来,关于大气中 CO_2 与其他微量气体浓度的增加及其所造成的全球气候变暖、海面上升与其他环境条件的变化,已为多数学者所肯定,这是对世界各国,尤其是对沿海国家与地区的严重挑战。沿海地区人口稠密,经济发达,即使海平面仅有数十厘米至一、二米的微小变化,也势必会带来严重的、以至灾难性的后果。因此,研究海面变化的历史、规律、模式与机理,特别是预测未来几十年至百年海面变化的趋势及其对环境与经济的影响,以期人类适应、预防这种变化与影响,不仅在科学上有着重要的理论意义,而且对国计民生也有着重大的现实意义。

1 海面变化机理

海面变化可分两大类:其一为全球性海面变化,其二为区域性海面变化。全球性海面变化表现为同步性海进、海退,并记录在海洋沉积物中,即“全球性海平面变动”(Eustatic)。其根本原因在于大洋水体积的变化(水体积与冰原体积的相应转换),海盆深度的变化及海

底扩张率等。这一理论目前通过氧同位素分析已得到证实。但就其时间尺度而言,则是长期的,而且可能是多因素叠加的,但其宏观上的全球性已为广泛的验证。

区域性海面变化,其海进、海退则是由于区域性陆架区的升降因素造成,因而这种变化也称“构造型变动”(Tectonic)。

在陆架区域,海面变动影响强烈,其影响波及海洋物理、海洋化学、海洋生物诸因子,波浪、潮汐、海流等都会相应发生变化,尤其在潮间带区,这种影响尤为明显,因侵蚀、堆积等原因而形成相应的海岸地貌。

大尺度、全球性海面变化,则带来地面高程的变化,这种变化与气候变化有着密切的关系。因而在海面变化研究中,必然涉及古气候的研究,这不仅涉及变化规模(全球性或区域性),同时也涉及其变化的时间尺度。

目前,对于晚更新世以来的海面变化已有比较一致的认识,这主要是通过在大洋沉积物中所含有孔虫壳体记录到的氧同位素成分变化,反映出呈现同期性的全球性气候变化,其对应大洋体积与极地冰源体积的转换所造成的全球性海面变化。

氧同位素成分的变化与冰体积变化并非简单的线性关系。自从 Emiliani^[14]在氧同位素研究方面进行了开创性工作以后, Shackleton 又进一步给予了发展,即更精确地通过深海沉积物中有孔虫壳体氧同位素成分的变化,揭示全球性气候的变化^[15]。

在特定海域,从其沉积物中有孔虫壳体所测得的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录,则是全球性冰体积变化与区域性气候温度变化相互影响的结果。如果该记录测定是采用浮游有孔虫,则要考虑表面水温、盐度及其季节变化,同时还要考虑不同有孔虫属种发育过程中生活习性的变化,特别是生活深度的变化;而对于底栖有孔虫则相对简单一些。

* 国家自然科学基金资助项目(49176266)。中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2378 号。

收稿日期:1995 年 1 月 12 日

一般假定深海大洋底层处于相对恒温条件下,因而用深海底栖有孔虫测定的 $\delta^{18}\text{O}$ 变化,可以认为完全是由于海洋水体与冰原水体交换的结果。但目前的研究已经说明即使是深海大洋的底栖有孔虫记录,也同样存在着温度变化的影响,据研究,大西洋深海海水温度要比太平洋高 2°C 左右,而在冰期时,大西洋要比现在明显地冷。问题复杂性还在于不可能找到一个保存完整、记录连续的标准岩芯,其原因在于选择做为同位素分析的有孔虫样品本身,需考虑其在大洋生活过程中的温度变化;另外,在沉积过程中生物扰动也不可能不影响地层记录的准确性。Ninkovitch 和 Shackleton^[16]发表了第一篇记录数据充分的底栖有孔虫同位素记录,可做为理想的冰原体积恢复计算的有利根据,其前提是温度变化小到可以忽略不计。1977年 Shackleton 通过底栖有孔虫记录发现氧同位素第 1 期与第 2 期高分辨率的氧同位素分析记录,揭示其结果相差 1.6‰,说明在冰期时海面低于现今 160m,与 Denton 和 Hughes 计算结果一致^[13]。

在对比一系列由深海大洋岩芯的氧同位素测定记录与海相阶地测定结果时,出现一些差异,这即是需要解释的氧同位素值变化与海面变化的关系。Chappell 和 Shackleton 通过太平洋 V19~30 孔氧同位素测定结果与新几内亚 Huoa 半岛的海面变化进行对比,可明显反映出尽管趋势相近,但差异部分仍相当大。Shackleton 认为底栖有孔虫测定的氧同位素值是反映海洋水体与冰原体积变化造成的水体交换的结果,应能正确反映海面变化。他认为这种差异是由于深海大洋海水快速变冷造成的^[17]。

2 海面变化的模式区划

Clark 将全球海洋划分为 6 个模式区(图 1):^[12]

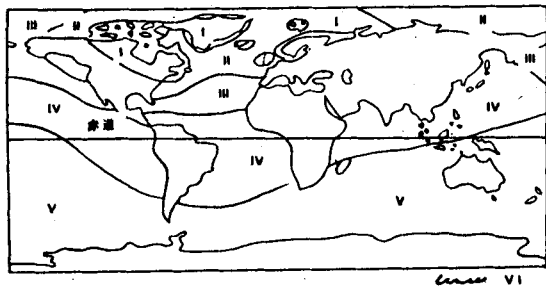


图 1 相对海面的模式区划(据 Clark, 1980)

I 冰原区:末次冰期以来为冰原覆盖,处于弹性和滞

性式上升,从而引起大幅度陆地对海面的快速上升。

I 和 II 带间的过渡带:属于冰前缘区,其特征是开始表现为上升,随后又开始下沉。

II 前缘膨胀崩塌下沉区:处于冰原区(I 带)前缘,因为前缘膨胀崩塌造成下沉(全新世时期为下降)。

III 属时间性上升区:在该区域内,相对海面曲线的特征是近 3ka 以来轻度上升(一般小于 75cm)。

IV 大洋型下沉区:该区域内海面在全新世没有明显上升,自 5ka 以来轻微下沉约 1m 左右。夏威夷岛属于该地带,中国邻近海域也属于该区。

V. 大洋上升区:包括整个南大洋的大部分,全新世以来处于上升地位,上升大约 2m,高出现今的海面(距今约 5ka 以前)。

VI 大陆边缘区:当溶水流入大洋盆地时,这种增加的负载使得地壳内部的物质从洋底滚入大陆底,这样使得大陆对大洋表面相对抬升,海岸上升。这种上升集中在大陆边缘,只是除去与 II 带相邻的下沉区域。这反映了岩石圈活动对全球性海面变化的影响。

在上述各带中,I, III, V 和 VI 带均存在较现今海面为高的全新世海面。这一模式已得到全球 13 个地点观察资料的证实,即 16ka 以来海面变化是对陆地的不均衡变化,系地球表面的不均衡变形,其变形原因是由于冰和水体的负载变化造成的。

3 晚更新世以来中国沿海海面变化

中国大陆沿海地区构造运动比较活跃,既有断块隆起的山地丘陵,也有沉降的堆积平原和三角洲。因此,中国沿海与邻近海域的古海面标志多种多样,各地相对海面变化曲线也有比较明显的差别。^[5,6]

我国晚更新世时期的海面变化,主要是根据沿海平原与陆架岩芯的海相层的生物化石组合特征与沉积特征、海相层的 C 年龄测定及其他手段的测年与磁性地层学研究以及地层所处的高程确定的。晚更新世海相层的层数及其分布的海拔高度,主要决定于它们的地理分布与所处的地貌部位,也取决于当地的地壳运动的性质、幅度与速率。

中国东海大陆架及其邻近地区,在近 100ka 以来曾发生过 3 次海侵,意味着世界洋面曾发生过 3 次高海面阶段介于其间的低海面阶段,高海面与晚更新世的间冰期或亚间冰期相对应,而低海面则于冰期或亚冰期相对应。在更新世末期,当玉木冰期处于最盛时期,东海海面要低于现代平均海面 130m 左右。距今 18ka 始,玉木冰期结束,气候转暖,海面回升而逐渐进入全新世高海面阶段,重新淹没“东海大平原”。在距今 8ka 左右,海水侵

入渤海,大约在距今 5~6ka 海水已达天津-黄骅一带,后来又略有降低;在距今 2ka 时达到目前位置,而处于相对稳定状态;距今 6ka 左右,为全新世最高海面时期,这时海水可到达太湖地区。在距今 4.6~3.1ka 海面较目前高 1~2m。自那时以来,东海及其邻近地区的海面仍随着世界洋面的变化而变化,时有升降,但总的幅度都在+2m 以内^[8]。

晚更新世以来,南黄海西岸也相应发生了 3 次海侵,这时的黄海已接近现代黄海的范围,现代黄海形成于全新世海侵^[9];渤海中部共发生了 7 次海侵^[1]。根据渤海岩芯古地磁系统测量结果,在近 200ka 以来,存在 5 次短期反极性游移,都与海侵的发生、世界气候的转暖、洋面的抬升存在密切关系^[2]。

通过第四纪海侵层划分与对比,磁性地层、C 测年与海侵时代讨论,以及与黄土、深海岩芯氧同位素曲线对比中可以看出,晚更新世海侵层有从沿海向陆架和由上升区向下沉区层数增加的趋势。这反映了新构造运动对于区域海陆变迁的影响和海面本身的波动^[9]。

4 人类活动对海面的影响

人类活动对海面变化的影响已日趋严重。人类的活动影响全球性水文变化的平衡,或者是合理的开发利用,或者是造成破坏。例如:在滨海平原,人们从地面以下深处抽取地下水以及油气资源,以解决人类的生活需要,同时也造成地下水趋向枯竭,导致地面下沉,从而发生相对海面上升。倘若发生全球性的海面上升,其后果不堪设想。地下水位下降,也会导致海水渗入陆地。

目前我国北方沿海的海水入侵直接影响农业生产,已引起严重后果。许多沿海城市因为大量开采地下水或油气资源,已造成地面下沉和海水入侵。如上海市 1921~1965 年沉降中心的最大沉降量达到 2.63m,1966~1986 年又累计沉降 36.7mm;天津市 1959~1979 年沉降区面积达 7.300km²,最大累计沉降量为 1.73m;宁波截至 1986 年最大沉降量达 59.63mm^[8]上述问题影响到的区域包括辽宁、天津、河北、山东、江苏、上海等临海省市。甚至出现灾害性事件,如山东省莱州市,80 年代初,海水入侵速度为 90m/a,1987 年增加到近 300m/a,1988 年已超过 400m/a,入侵面积超过 200km²,直接影响到 300 个村庄的人、畜饮水及农业生产^[7]。

近几十年来,我国东部沿海大部分区域海面呈上升趋势,渤海湾西岸、长江三角洲等地区平均海面上升率为 3~8mm/a,预计今后海面如果再上升 20~50cm,不仅将大大加剧潮水侵袭,也将发生海水倒灌和盐碱化面积扩大等。近年来我国滨海城市、矿区不断发生海水入

侵地下事件。如大连市自 70 年代以来,有 8 处地下水源相继发生海水入侵,总面积超过 250km²,海水自地下向陆地扩侵距离达 10km 以上,同时使地下水氯离子含量高达 7 000μg/L,含盐量由原来 1 g/L 猛增到 8 g/L 以上,最高达 18.98 g/L,海水入侵还在不断扩大,平均每年扩展 3.47km。因为水质恶化,有 12 280 眼水井报废,45 000 人缺少饮用水,53 000 亩耕地无水灌溉。

近几十年来,由于海面变动,也使我国沿海地区海岸产生侵蚀和淤积。渤海秦皇岛、海州湾西岸、杭州湾北岸、湄州湾沿岸、北部湾北岸等部分区域发生明显的蚀退现象,滨岸建筑、土地资源及旅游资源遭到破坏;长江、黄河、滦河、珠江等大河河口及附近地区海岸不断淤涨,一些港口严重回淤。沿海地区是我国经济发展战略地区,这些问题对于我们是一个严峻的挑战。

根据验潮站资料,总结过去 100a(1881~1981)以来的全球性海面变化,做为区域性平均,以线性关系计算海面升高 14.3±1.4cm/100a。总趋势是在 1881~1920 年曾有小的变化,1920 年以后相对稳定上升。许多学者从各自研究领域运用不同方法计算出有差异的结果,具有代表性的为 12cm/100a,11.2cm/100a,12cm/100a,15.1cm/100a,30cm/100a。从全球角度加以综合分析,多数学者认为平均海面的上升率为 10~15cm/100a,只有 Emery 得出上升率较其他人大 1 倍以上。Robock 等(1982)认为这是一个过高的估计,是由于 Emery 在统计时任意地排除了 80%以上基本上不反映海面变化趋势的站,以及排除了海面呈下降趋势的所有测站所造成的^[10]。

近百年来我国海平面平均年增率为 0.14cm/a。在过去 100a 中平均上升 14cm。其中渤海海平面上升 5cm,黄海海平面下降 2cm,东海海平面上升 19cm,南海海平面上升 20cm^[8]。这说明近百年来中国海平面变化与全球海平面变化趋势一致。

Pirazzoli^[17]对分布于世界各地的 1 178 个验潮站资料的统计(图 2),其中 229 个站的记录超过 30a,据其结果得出了海面升降的趋势,即:平均海平面上升大于 2mm/a 的有 65 个站(28.5%),处于 1~2mm/a 的有 52 个站(22.5%),小于 1mm/a 的 47 个站(20.5%),平均海平面下降有 65 个站(28.9%)。

另外,大气中 CO₂ 含量增高而产生的温室效应,导致地球表面温度增高、冰原溶化,从而造成海面升高。对于影响全球性气温的大气中所含的气体,除 CO₂ 外,还包括 CH₄、N₂O 以及 CFC₃ 等。而这些气体的含量变化,又与人类活动密切相关。工业革命给人类带来了文明与发展,同时也给人类赖以生存的大气圈添入了许多新的成

分。大量的稀有气体,如 CO_2 , CH_4 等,在太阳放射效应的影响下,迅速地在大气中增加,从而导致了温室效应的加剧。

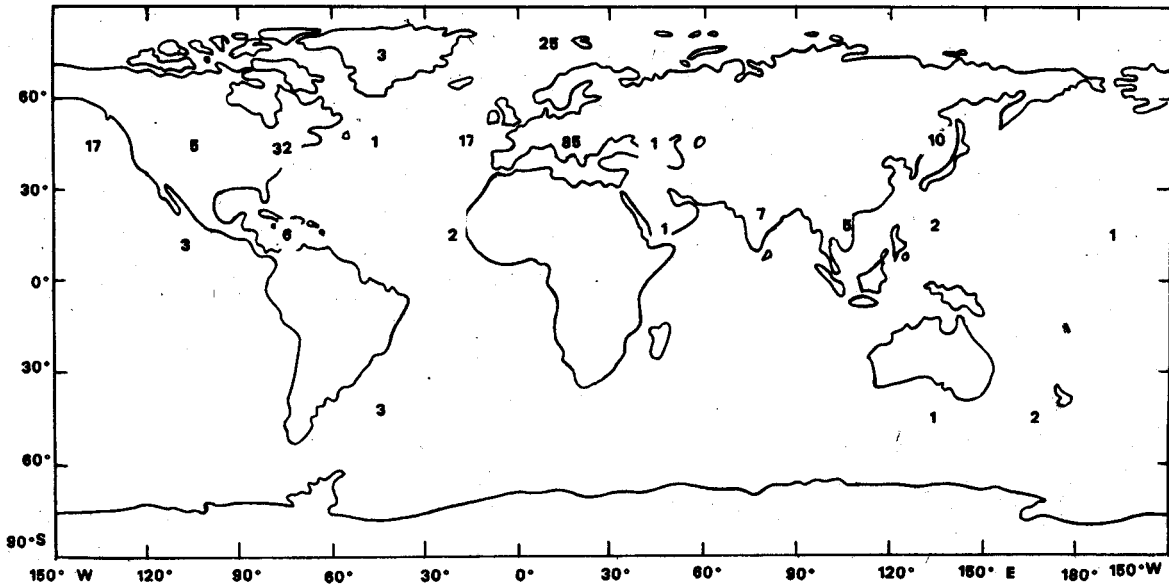


图2 世界各地沿海验潮站准确记录超过30a以上的站位分布网

现今的温室气体浓度比工业革命前的浓度有了相当大的变化,这些变化主要来自于人类活动。19世纪以来,燃料煤的燃烧和毁林,已经导致了 CO_2 在大气圈中上升了26%。粗略地估计,人类活动对引起全球气候变暖负有一半责任。 CFC_3 的扩散,主要来自于航天推进器燃烧等大型航天工业的燃料。上个世纪,很少有这些物质扩散到大气中,仅仅在20世纪30年代,这些物质才大量侵入大气圈中。这些物质的24%是人类活动产生的,主要是来自人类大量种植水稻,牲畜的大量繁殖和陆地的充填(即土壤化),使得自然界 CH_4 含量增加了2倍。 CH_4 吸收热量高于 CO_2 20~30倍。而其中的15~20%是人类活动引起的。氮的氧化物尤其是 N_2O 气体,自工业革命以来,已经增加了大约8%,它们可以在大气中持续65a。 N_2O 吸收热量是同等体积 CO_2 吸收热量的200倍,而人类提高了大约6%的 N_2O 的产量^[10]。

与这种全球气体变化最直接最明显的结果是海面的上升。其变化高度很难确定,但这一事实终究会发生。Hoffmann (1983) 计算了温度变化与海面的关系,认为大气层(下层)增加 $1.5\sim 4.5^\circ\text{C}$,到2050年海面高度将上升 $24\sim 117\text{cm}$,到2100年大约上升 $56\sim 345\text{cm}$ ^[15]。

据联合国开发计划署(UNDP)所做的估计,到2030

年,全球海面的高度将高于现今 $8\sim 29\text{cm}$,最大可能是 18cm 。到2070年可达 $21\sim 71\text{cm}$,最大可能是 44cm 。这些预测是来自大洋热膨胀和南极大陆冰川和小冰盖的溶化量增大估算出的。

关于温室效应对未来气候的影响,学者们尚存在不同意见的争论。即使是温室效应,也仍将是缓慢、多因素影响的过程。从不同时间尺度来研究地球的未来究竟是变热还是变冷,都应考虑温室效应问题。最近几十年的资料表明,全球温度变化并非持续上升,而是有升有降。但这并不减少温室效应对海面变化的重要性。海面变化作为全球变化的一种结果,各种事实与证据都相当复杂。但海面上升的速度($1\sim 2\text{mm/a}$)已为各国学者所接受。作为解释这一结果的最好理论,为“大陆冰川溶化说”和“大洋热膨胀说”。如果这种效应持续地发生,即使对温室效应起主要作用的气体的扩散量有较大的减小,海面仍将以一定的速度上升。即到下个100a,上升速度是过去100a上升量的3~6倍。

尽管我们简述了影响全球气候及海面变化的因素,以及海面变化与人类环境的相关性,但究竟未来气候及海面向何种趋势发展,这只能取决于不断的监测和及时的分析,不断探索新理论,这也是未来对人类的挑战。

海洋科学

参考文献

- [1] 秦蕴珊等,1985.渤海地质.科学出版社。
- [2] 苍树溪等,1986.中国海平面变化,海洋出版社。
- [3] 秦蕴珊等,1987,东海地质,科学出版社。
- [4] 秦蕴珊等,1989,黄海地质,科学出版社。
- [5] 杨子庚等,1989,中国近海及沿海地区第四纪进程与事件.海洋出版社。
- [6] 杨子庚等,1991.中国海陆第四纪对比研究.科学出版社。
- [7] 严 恺等,1991.水利学报 4:56~59。
- [8] 郁 彰等,1991.论沿海地区减灾与发展.地震出版社。
- [9] 赵希涛等,1992.全球海平面变化.科学出版社。
- [10] 李 浩等,1993.海洋地质与第四纪地质 2。
- [11] Chappell, J. and Shackleton, N. J., 1986. *Nature* 324: 137-140.
- [12] Clark, J. A., 1980. *Earth Geology, Isostasy and Enstasy*.
- [13] Denton, G. H. and Hughes, T. J., 1981. *The last great ice sheets*. John Wiley, New York.
- [14] Emiliani, C., 1955. *J. Geol.* 63: 538-578.
- [15] Hoffman, J. S. *et al.* 1983. Washington D. C. Government Printing Office, 21.
- [16] Niakovich, D. and Shackleton, N. J. 1975. *Earth and Planctary Science Letters* 27: 20-34.
- [17] Pirazzoli, P. A. *et al.*, 1986. *Quaternary Res.* 25: 350-368.
- [18] Shackleton, N. J., 1973. *Quaternary Res.* 3: 39-55.