

## 近百年世界海面上升及其原因

王珏\*

(河南大学地理系)

根据世界各地验潮资料的统计分析,全球平均海平面在过去一百年内上升了10—15cm,且在最近几十年内呈现加速上升趋势,它是全球增温导致大洋水热膨胀和山地冰川融化及大气中CO<sub>2</sub>等温室效应气体浓度增加的结果。

### 一、近百年来世界海面上升

1940年, Thorarinsson 利用冰川研究资料,提出近几年来海平面以 $>0.5 \text{ mm/a}$ 的速率上升的观点。然而,对海面变化最直接可靠的记录来自沿海的验潮站。1941年, Gutenberg 首先收集了世界各地的验潮资料进行统计分析,认为世界各地的相对海面正以每年1.1 mm的速率上升。Kuenen (1951), Lisitsin (1958), Fairbridge (1961), Клине (1978) 也得出了类似的结果。此外, Wexler (1961) 利用冰川资料的分析,也得出了同样结果。

八十年代初以来,世界海面上升问题引起了更为广泛的注意。为了消除构造因素,冰川均衡回返和气象-海洋因素引起的相对海面变化的影响, Emery (1982) 选择各地相对海面变化的中值速率估计全球平均海平面变化(eustatic change)的真正速率。他发现大陆沿岸的海平面上升速率中值为 $3 \text{ mm/a}$ , 海洋岛屿沿岸的海面上升速率中值为 $2.5 \text{ mm/a}$ 。他认为由于岩石圈的冷却引起大陆架下翘,以及大陆架受冰川融水的重压,使大陆沿岸增加了 $0.5 \text{ mm/a}$ 的海平面上升速度。Gornitz 等(1982)和 Barnett (1982, 1983) 则分别把全球划分为不同的区域,每区之中产生一个代表性海面曲线,再将各区以相等的权重合成为全球平均

海平面变化曲线。见表1。

表1 近百年世界海面上升

作者	海面上升(mm/a)
Thorarinsson (1940)	$>0.5$
Gutenberg (1941)	$1.1 \pm 0.8$
Kuenen (1950)	1.2—1.4
Lisitzin (1958)	$1.1 \pm 0.4$
Wexler (1961)	1.2
Fairbridge (1962)	1.2
Клине (1978)	1.4—1.5
Emery (1982)	2.5—3.0
Gornitz (1982)	1.2
Barnett (1982)	$1.5 \pm 0.2$
Barnett (1984)	2.3

多数作者的分析结果认为过去一百年世界平均海平面上升速率在 $1.0—1.5 \text{ mm/a}$ 之间,而 Emery 的计算结果明显偏高。这是因为首先他的结论来自对1975年以前40年资料的分析,可能反映近百年来后期海面上升的加速;其次,他在计算中排除了统计检验标准差较大的验潮站。

过去一百年后期海平面的加速上升确实存在。如 Barnett (1984) 对全球海面变化的再次检验也认为过去50年全球平均海平面上升速率为 $2.3 \text{ mm/a}$ , 高于近百年来平均上升速率。

由于世界各地海岸构造运动,均衡运动及沉积物压实作用,故对全球平均海平面变化的反映也不同。如斯堪的纳维亚、阿拉斯加和加拿大 $46^\circ \text{N}$ 以北地区,由于冰川均衡回返运动

\* 作者现在中国科学院南京地理与湖泊研究所攻读博士学位。

而出现海平面的相对下降。美国东海岸平均相对海面上升速率为 1.1—1.2 mm/a, 但平均残余速率变化很大, 极值分布为 0.8 mm/a—3 mm/a; 美国西海岸构造运动活跃, 海面相对变化在均值为零的周围散布很宽; 美国的墨西哥湾沿岸, 由于三角洲沉积物的压实作用, 相对海面上升可达 5.5 mm/a; 日本则由于构造上升, 平均相对海面上升仅为 0.3 mm/a。我国验潮资料序列较短, 近三十年来的平均相对海面上升速率, 赵明初 (1986) 的计算结果为 2.3 mm/a; 各站之间差别很大, 闸坡和葫芦岛可达 4.3 mm/a, 而青岛站相对海面以每年 0.8 mm 的速率处于下降之中; 于道永 (1986) 的计算结果为 2.1 mm/a, 而尤芳湖 (1979) 等认为我国沿岸平均相对海面上升速率可达 5.5 mm/a。

## 二、近百年世界海面上升的原因

近百年来世界平均海平面的上升, 目前一般认为是全球气温增高导致海水热膨胀及山地冰川和小冰盖 (small ice cap) 融化的结果。格陵兰和南极冰盖则大致处于平衡状态, 对海面上升的贡献为 0 或呈负值。

工业革命以来, 由于煤、石油和天然气等矿物燃料的广泛利用, 排入大气的  $\text{CO}_2$  日益增多, 目前年排放量已达 5 Gtc。排入大气的  $\text{CO}_2$  大约有一半被海洋所吸收, 绿色植物对吸收和转化  $\text{CO}_2$  也起到了积极作用。然而由于森林和草原植被的破坏, 在一定程度上降低了自然生态系统对  $\text{CO}_2$  的自净能力, 对流层大气  $\text{CO}_2$  浓度持续上升。据南极冰盖冰岩芯气泡测定, 1800 年前大气  $\text{CO}_2$  浓度只有 280 ppm 左右; 夏威夷冒罗尼亚岛的观测表明, 大气  $\text{CO}_2$  浓度 1958 年约 315 ppm, 1985 年达 345 ppm, 即对流层大气  $\text{CO}_2$  浓度自 1800 年以来增加了 25%。由于  $\text{CO}_2$  具有很强的温室效应, 能够有效地提高地面气温。同时, 其它具有温室效应的痕量气体, 如甲烷、氟利昂 (CFC) 和氧化氮在过去 20 年中也呈上升趋势, 它们对近地面大气层的增温作用也不可忽视。近百年来全球气候变化, 虽然由于火山活动及太阳常数的变化等原因而存在着 40 年代和 70 年代的两次明显波动, 但总趋势呈现上升特征, 变温幅度约 0.4—0.5 $^{\circ}\text{C}$ , 它是大气  $\text{CO}_2$  等温室效应气体明显增加的结果。

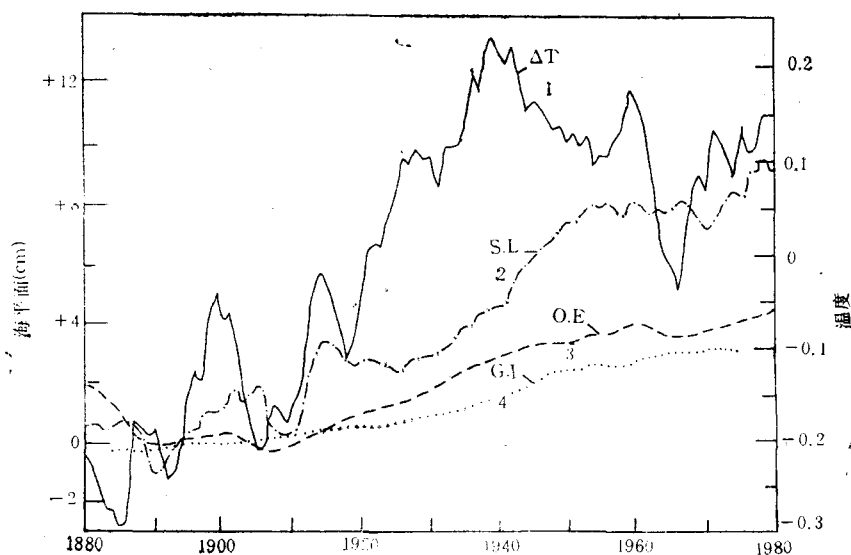


图 1 远百年海平面变化及相关因素

- (1) 全球平均温度变化的五年滑动平均; (2) 海平面变化的五年滑动平均;  
(3) 海洋热膨胀; (4) 冰川与小冰盖融化对海面上升的贡献。

全球气温上升必然地通过热量转移而引起海洋水温度的升高。据观测,本世纪初以来海洋表面温度上升了  $0.6 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 。利用简单混合模型和大洋表面温度变化的计算认为过去 30—40 年中,因海洋表层水热膨胀导致的海面上升速率为  $0—0.7 \text{ mm/a}$ ,而深层水的温度变化也可能导致  $1 \text{ mm/a}$  的海面上升,但来自海洋深层水的资料很少。Roemich 和 Wunsch (1981) 等利用 1955—1981 年百慕大附近的固定观测资料和 1957 年,1981 年从美国到西班牙的北大西洋剖面重复观测资料进行了对比,发现深度为 100—1000 m 的斜温层处于降温过程之中,最大降温值可达  $0.6^\circ\text{C}$ ,平均  $0.4^\circ\text{C}$  的降温值可使 900 m 厚的海水层收缩 6 cm;然而 1970—1978 年,百慕大附近 500—1000 m 深度的海水层温度曾上升  $1^\circ\text{C}$ 。北大西洋 1000 m 以下至 3000 m 或更深的海水层,1957—1981 年相当均匀地上升了  $0.2^\circ\text{C}$ ,它可使 2000 m 厚的海水层产生 4 cm 的膨胀。Roemich 认为该层海水的增温可能是本世纪前半期较北纬度表层水增温影响的结果,而斜温层则经受着 1940 年以前降温过程的影响。Barnett (1983) 也比较了 1920—30 年代及 1960—70 年代太平洋 200 m 及 1000 m 深度的海温,发现热带西太平洋变暖而赤道太平洋变冷。Gornitz 等根据过去气温和海洋热吸收率资料认为近百年来海水热膨胀造成的海面上升为 4—5 cm。

由于气温的升高,过去一百年来世界各地的山地冰川和小冰盖均处于退缩状态,其中温带或中纬度地带冰川退缩最为明显。Meier (1984) 利用 25 条冰川 1900—1961 年的体积变化资料推算了所有冰川和小冰盖对海面变化的贡献,认为该时期它们的融化退缩造成的全球平均海面上升的平均速率为  $0.46 \pm 0.26 \text{ mm/a}$ ,总量为  $2.8 \pm 1.6 \text{ cm}$ 。说明冰川和小冰盖在已观测到的海面变化中起到了重要作用。占本世纪以来海面上升的  $1/2$  到  $1/3$ 。也有人认为,近百年来 10—15 cm 的海面上升之中,除去计算较为可靠的海水热膨胀作用外,冰川和小冰盖

对海面上升的贡献为 5—10 cm,占  $1/2—2/3$ 。根据 Meier 的计算,冰川和小冰盖对海面上升的贡献,有  $1/3$  以上来自阿拉斯加湾沿岸山地,同时亚洲中部和巴塔哥尼亚安第斯高山冰川也起了重要作用。

近年来国内外很多文献中把格陵兰和南极冰盖的融化作为海面上升的一个主要原因,这与实际观测资料不符合。事实上,极地区域过低的气温限制了水汽的输送和冰雪的积累,气温一定幅度的升高在使消融量增加的同时,也使冰盖表面积累量增加。

格陵兰冰盖每年的冰雪积累量约  $500 \pm 100 \text{ km}^3$ ,融化量  $295 \pm 100 \text{ km}^3$ ,冰山崩解入海  $205 \pm 60 \text{ km}^3$ ,大致处于平衡状态。但上述质量平衡数据的误差很大,不能作为冰盖质量保持恒定的根据。格陵兰中西部 1948—1959 年表面高程计算表明,融化区表面以每年 30 cm 的速率降低;Seckel 也发现该地冰盖表面 1959—1968 年以每年 24 cm 的速率下降。据国际冰川组织赴格陵兰探险队在格陵兰中部偏南  $70—72^\circ\text{N}$  的断面观测,1959—1968 年积累区平均增高速率为  $8.5 \text{ cm/a}$ ,积累区西部边缘稍有降低;同一断面上西部格陵兰融化区表面降低速率为  $20—30 \text{ cm/a}$ ,地质资料分析认为西格陵兰边缘减薄速率为  $30—50 \text{ cm/a}$ ,二者彼为吻合。另据格陵兰南部 Dye-3 孔址处观测资料,冰盖增厚速率为  $30 \text{ cm/a}$ 。格陵兰冰盖表面高度变化总的说来,积累区在增高、相应导致的海面下降速率为  $0.3—0.4 \text{ mm/a}$ ;而消融区在减薄,相应的海面上升速率为  $0.2—0.3 \text{ mm/a}$ 。

南极地区情况较为复杂,由于  $1/3$  以上的大陆区域和一半以上的海岸线缺乏观测资料,故目前的质量平衡估算是很不精确的。南极冰盖平均每年表面积累量约  $2,000 \text{ km}^3$ ,南极冰盖本身蒸发和融化量极少,质量输出的 99% 以固体形式越过海岸线,其中 84% 补给浮冰架或浮冰舌,其余 15% 通过冰壁 (ice wall) 入海。周围冰山崩解量每年约  $1,300 \text{ km}^3$ ,冰架融化每年约  $700 \text{ km}^3$ 。但误差范围很大。

表2 世界冰川及冰盖物质平衡与海平面高度变化

冰 体	观测期 (年)	面积 (km <sup>2</sup> )	体 积 (km <sup>3</sup> )	海面当量 (m)	质量平衡 (等量水深 m/a)	相应海面变化 (mm/a)
冰川与小冰盖	1900—1960	0.54	0.24	0.3	-1.2±0.7	+0.5±0.3
格陵兰冰盖	1929—1984	1.73	2.7	7	+0.02±0.08	-0.1±0.4
南极冰盖	1970—1984	11.97	28.0	70	+0.02±0.02	-0.6±0.6

根据目前的野外观察,认为末次冰期时南极冰盖表面高程低于目前,它是当时气候寒冷、水汽输送能力差而使积累量降低的结果。末次冰期盛冰期以来,由于气温的上升,积累量增加,冰盖表面可能处于上升过程之中。

在南极海岸带,根据目前观测,除绿色地区外,冰盖接近平衡。罗斯冰架、费尔希耐尔-龙尼冰架、帕恩岛冰盖和 Thaites 冰川等的质量平衡均处于零值状态或略呈正值,只有南半岛上的沃第 (Wordie) 和乔治 6 号 (George VI) 冰架最近几年已在缩减,但目前不能确认是冰川消退。Budd 和 Smith (1984) 总结了有关质量平衡的资料认为冰盖质量积累超过输出。近年来 Doppler 卫星的定位观测提供了一系列限定区域的大量高精度观测资料, Budd 和 Smith 对此进行了分析和总结,认为南极冰盖

每年  $2 \times 10^3 \text{ km}^3$  的冰量积累,大致可以被输出所平衡,差值大约为 0—+20%,相当于海面每世纪 0—11 cm 的下降而不是上升。1985 年美国能源部组织编写的有关综合报告也认为南极冰盖整体平衡接近于零,变动幅度为 -20—+50%,相应的海面变化速率为每年 +1.2—-3 mm。

值得一提的是, Munk 和 Revelle (1952) 认为现代地球真极移动和非潮汐原因的地球自转速度变化是极地冰盖融化造成地球质量重新分布的结果,这一结论曾被广泛引用。但 W.R. Peltier 利用现代地球结构模式的模拟分析,认为它是距今 6,000 年以前更新世冰盖损失的结果,而南极和格陵兰冰盖质量大致处于零平衡。显然后者的结论与野外实际观察资料是一致的。