

未来世界海平面上升问题

王 珏

(河南大学地理系, 开封)

根据目前的研究,未来大气 CO_2 和其它温室效应气体的继续增加,势必造成全球气候进一步变暖和海平面较大幅度的上升。海平面的上升将给海岸带工业、农业、渔业、航运及城市建设造成严重影响,因而受到了社会各方面的密切关注。目前我国对未来海面变化的预测尚处于准备阶段,因此有必要介绍一下国外有关未来海面上升预测的方法和成果。

的情况下,取决于人类活动中 CO_2 的排放速度及其在大气中的残留比例。目前 CO_2 的年排放量约 $50 \times 10^8 \text{ t}$ 。未来 CO_2 排放的估算必须考虑与人口和生产力变化相关的经济增长,能源结构的变化(如核能的利用)及单位国民生产总值的能耗等因素。按照最高值估计,矿物燃料利用仍按照1973年以来每年2%的速率增加,至2050年 CO_2 的年排放量将达到每年 $200 \times$

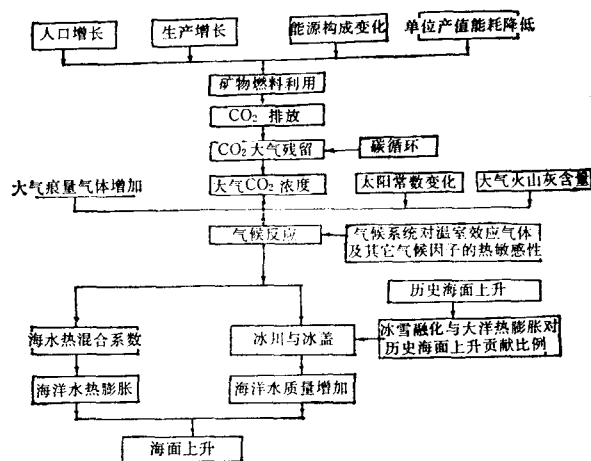


图1 未来海面上升的形成机制与预测途径

一、未来海面上升的形成机制与预测途径

预测未来海面上升需要全面地考虑社会和自然界所有能够对气候与海面变化产生影响的各种因素的变化。未来海面上升的形成机制与预测途径如图1所示。

二、未来气候变化的预测

目前已知的气候变化的三个主要因素中,火山活动尚难以预测,太阳常数变化具有稳定周期且不呈现趋势性变化,故对未来气候变化的研究主要考虑人类活动造成的大气成分的变化,其中主要是大气 CO_2 浓度的变化。

大气 CO_2 浓度的增加,在自然界碳循环保持稳定

10^8 t ;按照最低值估计,即矿物燃料利用增加速率呈线性降低,以至在五十年后返回到目前的消费水平,即使如此,2050年 CO_2 的年排放量最低不低于 $20 \times 10^8 \text{ t}$ 。 CO_2 排入大气后,有相当部分由于海洋的吸收作用和地球生态系统的净化作用而消耗。未来 CO_2 在大气中的残留比例,最乐观的估计是与历史水平相似,平均约53%。但是,未来全球增温引起海水温度的上升,将降低海水对 CO_2 的溶解能力。R.雷维尔(Revelle)估计表层海水升高 1°C 时,大气 CO_2 将因此增加6%。同时,燃烧矿物燃料使更多的 CO_2 从大气进入海洋,会使海水酸化,对 CO_2 的吸收能力也将减弱。美国奥里克季国家实验室对 CO_2 循环的模拟结果认为,未来输入大气的 CO_2 的残留比例将随时间从60%增长至80%。按照 CO_2 排放和残留的保守估计,大气 CO_2 将在2085年增倍,而大胆的估计则认为 CO_2 增倍时间

在 2055 年。

其它同样具有温室效应的痕量气体在大气中的增加很快,也不可忽视。它们的排放量年增加速率的低、中、高值预测分别为:氟、氯、烃(CFC's)0.7%, 2.5%和 3.0%;氧化氮 0.2%, 0.45%和 0.7%;甲烷 1.0%, 1.5%和 2.0%。

目前对未来温度上升的预测多考虑大气 CO_2 浓度增倍的情况。根据稳态模型辐射转换的计算, CO_2 增倍时全球平均辐射增强(radiative forcing)为 $4\text{W}/\text{m}^2$, 它所引起的初始升温值为 1.2°C 。由于气候系统内部的一系列反馈作用,如水汽的增加可以有效地吸收红外辐射,云量和地表冰雪覆盖比例的变化会影响反射率,故初始升温值必然受到改变,净效果是显著放大。美国国家科学院 1979 年的报告认为, CO_2 增倍时地球均衡温度至少增加 1.5°C , 并且不多于 4.5°C 。其它一些研究机构或个人的结论也都在这一范围之内。

CO_2 之外的其它温室效应气体的增长速度很快,迄今它们的等价 CO_2 浓度约 40—50ppm,其温度影响占包括 CO_2 作用在内的总温度影响的 1/3。1985 年威拉赫(Villach)国际会议认为,在未来 50 年内 CO_2 之外的温室效应气体的等价 CO_2 浓度可达 150ppm,对全球温度变化的贡献可达 50% 左右。1983 年世界气象组织也认为它们可使 CO_2 本身造成的升温值增加 1 倍,当 CO_2 增倍时,地球升温范围是 $3-9^\circ\text{C}$ 。

应该指出,未来世界各地的气候升温并不是均一的。一般说来,赤道和热带地区由于云量增加的负反馈作用而升温幅度较小;而高纬地区,尤其是北半球,由于冰雪覆盖面积减少且大气层更加稳定,升温幅度有加倍的可能,这对极地冰盖的物质平衡具有重要意义。

三、未来海面上升形成因素的贡献

在全球气候变化预测的基础上,对未来海面变化的研究,主要考虑海洋水的热膨胀和冰川冰盖的物质平衡两个因素。

1. 海洋水的热膨胀

由于海洋水循环需要很长时间,故深层水升温在目前的预测中一般忽略不计,而主要考虑海洋表层水的升温膨胀。

在气温上升幅度已知时,海水的升温取决于海水热量的传播速度,而目前这方面争论较大。与放射性化学物质示踪观察较高估计相应的热混合系数为 $1.9\text{cm}^2/\text{s}$, 而与保守的示踪观察研究结论相应的热混合系数为 $1.18\text{cm}^2/\text{s}$, 其中值为 $1.54\text{cm}^2/\text{s}$ 。据预测,未来海洋表层水的温度上升随纬度和深度的变化而变化,一般在 $0.2-1.8^\circ\text{C}$ 之间。

利用海洋水层已知压力、盐度和温度条件下的膨胀系数,便可以进行海水的热膨胀计算。虽然海水的

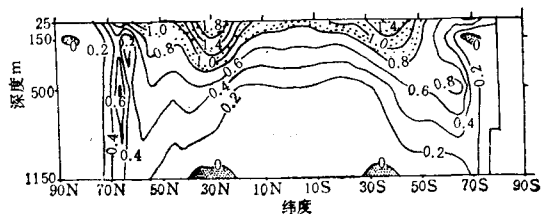


图 2 未来 CO_2 增倍条件下海洋表层水的温度随纬度与深度的变化

热膨胀系数与海水基础温度密切相关,如百米厚的水层基础温度为 25°C 时,温度升高 1°C 大约膨胀 3cm,而基础温度为 0°C 时同样升温值则只膨胀 0.5cm,这意味着同样的升温幅度热带地区海水膨胀要超过温带和极地区域,但由于高纬地区海水混合作用强,温度变化讯号下传较深,计算表明两个不同区域未来海水膨胀值非常近似,故事实上没有必要按地理分区作加权平均。

2. 冰川和小冰盖的融化

未来气候变化将通过温度变化 (ΔT), 降雪积累变化 (ΔC)、云量变化 (ΔCl) 和水汽压变化 (ΔE) 来影响冰川雪线高度。据推算,当 $\Delta T = +1^\circ\text{C}$, $\Delta C = +150\text{mm}/\text{a}$, $\Delta E = +1$ 百帕, $\Delta \text{Cl} = +0.1$ 时,雪线将上升 $+190\text{m}$ 。根据简单水文气象数据和经验模式推算,气温上升 $1.5-4.5^\circ\text{C}$ 时,冰川消融所产生的海面上升速率为 $1.3-6.6\text{mm}/\text{a}$,其中 $1.7-5.2\text{mm}/\text{a}$ 最为可能,它对下世纪海面上升的贡献为 $9-26\text{cm}$ 。按照 1900—1961 年气温上升与冰川消融量的相关关系推算,上述升温条件下冰融导致的海面上升为 $8-25\text{cm}$ 。迈耶(Meier)的计算也认为气温上升 $2.5-4.5^\circ\text{C}$ 时,所有小冰川对海面上升的贡献为 $14-25\text{cm}$ 。

世界冰川和小冰盖体积总和的海面上升当量为 $0.3-0.6\text{m}$, 是其所引起海面上升的上限。如果气温随时间呈线性增加的话,冰川消融可能在最近几十年内达到一个最大值,尔后消融量随着冰川面积的减少而降低。

3. 格陵兰与南极冰盖

格陵兰冰盖气温的上升,一方面使雪线上升,融化区面积增加,同时积累区年积累量也将相应提高。安贝奇(Ambach, 1985)利用国际冰川组织赴格陵兰探险队的剖面和本森(Benson)剖面的资料计算了雪线高度随气温、云量和积累速率增加的变化,计算结果认为气温上升 6.5°C , 降水增加 10% 时,雪线高度将上升 500m。利用已观测到的温度,随高度的递减率与下世纪 $3-6^\circ\text{C}$ 的温度变化相适应,格陵兰雪线将从 1500m 上升至 2000m,与上述安贝奇的计算结果是一致的。若融水全部流入海洋,新的净质量平衡值为

$-460\text{km}^3/\text{a}$, 相应的海面上升为 $1.3\text{mm}/\text{a}$ 。但由于粒雪融水的再冻结和重叠冰的形成, 实际数值可能低于上述的估计。若大气变暖过程保持稳定, 雪线稳定上升 500m 时, 引起海面上升总量约 0.10m 。极值估计为雪线上升 1000m , 相当于海面上升总量 0.26m , 但发生的可能性很小。

南极冰盖情况最特殊也最复杂, 同时由于观测资料的严重缺乏, 故预测的误差很大。由于南极区域温度很低, 按照温度—高度关系计算的雪线高度远在海平面之下, 未来气温上升尚不能使雪线“出露”海面; 相反, 由于较高温使极地大气携带水分的能力增加, 冰盖表面积累量反而有增加趋势。据估算, 南极区域 3°C 的增温可使冰盖表面积累增加 10% , 即年积累量增加 180km^3 。虽然随着温度的升高, 冰盖表面消融量增加, 但年质量平衡仍将呈上升趋势。

目前南极冰盖, 尤其是南极西部冰盖的稳定性讨论最为激烈。这个问题首先是由默瑟 (Mercer, 1968, 1978) 提出的。他指出, 南极湖泊沉积和非活动性融冻泥石流研究表明, 更新世某些时期当地夏季温度高于目前 $7-10^\circ\text{C}$, 南极西部冰盖曾一度消失是距今 120000a 前桑加门 (Sangaman) 间冰期海面高于目前 6m 的最好解释。他认为, 如果未来气温上升达到上述幅度, 罗斯冰架和菲尔希内尔-龙尼冰架将不复存在。南极西部冰盖是一个海上冰盖, 许多地方的冰床远低于海面, 周围被漂浮冰架所包围。正是由于冰架对冰盖的反向压力及海面下牵制点的控制作用, 才使冰盖能够保持稳定。全球气候变暖时, 大陆架上的海水循环发生变化, 使较暖的海水能够深入到冰架之下, 冰架底部的融化量便相应增加, 结果冰架减薄, 基线 (grounding line——冰架与陆地接触线, 即冰架与冰盖的界线) 后退, 反向应力减小, 引起冰盖上冰川 (ice stream) 向海的排放速度增加, 最终有可能导致冰盖的崩溃。南极西部冰盖的全部崩溃可能导致海面上升 $5-6\text{m}$ 。然而野外观测证明罗斯冰架现在没有减薄现象, 在基线附近反而正在增厚, 所以托马斯 (Thomas) 把公元 2000 年作为冰架底部融化增加的开始时期。至于南极西部冰盖可能发生崩溃的最早时间, 本特利 (Bentley) 和休 (Hugh) 的预测分别在 500a 和 200a 之后。

表 1 CO_2 浓度增加条件下冰川冰盖消退对海面上升贡献的极值范围 (a, 最可能范围为 $0-0.3$)

冰川冰盖	年贡献 (mm/a)	至 2100 年总贡献 (m)
冰川和小冰盖	2—5	0.1—0.3
格陵兰冰盖	1—4	0.1—0.3
南极冰盖	—3—10	—0.1—1 ^a

总的说来, 在下一世纪, 南极陆冰排放速度的增加

可能导致海面的轻微上升, 但可能被冰盖降雪积累的增加所抵消。南极冰盖对海面上升的贡献很小且或正或负。

四、未来海面上升的预测方案

目前由于对未来大气成分的变化, 气候系统内部的反馈机制及直接影响海面上升的各种因素的响应过程了解不够, 还不能对未来海面上升幅度作出准确的预测。美国环保局根据对影响未来海面变化各因素的最保守估算、中值估算和最大胆估算, 相应提出了未来海面在 5 个年份的低值、中值和高值三种预测方案; 又根据未来冰川冰盖对海面上升贡献的低值和高值估计, 将中值方案进一步划分为中值偏高和偏低两个方案。他们认为, 未来的海面变化最有可能落在中值偏高和偏低两方案之间, 但海面按高值和低值方案出现的可能性也不能排除。

表 2 未来海面上升预测方案

上升值 (cm)	预测 方案	高值	中值	中值	低值	目前趋势
年份		方案	偏高	偏低	方案	
2000		17.1	13.2	8.8	4.8	2.0—3.0
2025		54.9	39.3	26.2	13.0	4.5—6.8
2050		116.7	78.9	52.6	23.8	7.0—10.5
2075		211.5	136.8	91.2	38.0	9.5—14.3
2100		345.0	216.6	144.4	56.2	12.0—18.0

为了对上述预测方案作出横向检验, 他们还利用过去 100a 气温与海面的相关关系进行推广延伸。近百年海面上升值为 $10-15\text{cm}$, 地表温度上升 0.4°C , 二者比率为 $25-27\text{cm}/^\circ\text{C}$ 。包括 CO_2 和其它痕量气体在内的所有温室效应气体将在 2100 年以前使地表温度升高 $3-9^\circ\text{C}$, 海面相应上升幅度为 $75-333\text{cm}$, 与上述复杂的分析计算结果相似。此外, 查利克 (Chylek) 和凯洛格 (Kellogg) 应用时间序列回归方法对历史上海面气温关系进行计算, 认为地表增温 1°C 可使海面升高 $10-25\text{cm}$, 在上述预测的气温升高幅度上, 海面上升量为 $33-225\text{cm}$ 。说明未来海面上升预测在一定程度上是可靠的。

需要指出的是, 上述海面上升的预测是针对全球平均海面变化而言, 具体应用到某一地区, 还必须考虑到当地的构造运动、均衡调整和沉积物压实等因素, 以及未来气候变化导致的气象与海洋水文因素变化的影响, 对上述预测方案进行校正, 从而得出区域相对海面上升的预测值。

参考文献 (略)