

海洋气候声学测温计划

Project of Acoustic Thermometry of Ocean Climate

汪德昭 张仁和

(中国科学院学部委员 北京 100080)

提要 温室效应引起的地球变暖是威胁人类生存的全球性环境问题。海洋在缓解全球气候变暖的过程中起着十分重要的作用,因此,测定海洋变暖趋势受到世界的关注。大范围海洋声学测温是基于声波能在大洋中远距离传播以及海水中声速是温度灵敏函数的原理,通过测量远距离脉冲声信号的传播时间可以推算海洋温度的时、空变化。SCOR 已成立了声学监测大洋的 96 工作组,决定在全球大洋设网进行常年观测,名为海洋气候声学测温(ATOC)计划。本文着重介绍该计划及我国参加该计划的意义。

一、海洋温度变化与全球环境态势的关系

和人类生存环境密切相关的大气、水体、土壤和植被四大要素之间是有相互作用的,占地球表面积 70% 的海水对人类生存环境有不可低估的影响。最近,美、法科学家联合宣布,“厄尔尼诺”现象有再次增强的趋势,依据就是大范围海水温度反常升高时巨大暖流的扩展使海平面上升。它将破坏海洋生物的生存环境,还将导致反常的暴雨和干旱,以前最严重的两次已造成 1 500 人死亡和 80 亿美元的经济损失。70 年代发现的中尺度涡旋,其海水温度非均匀性的空间尺度约 100 公里、时间尺度约一个半月,它的动能占海流动能的 90% 以上,对鱼类的繁殖和迁徙以及台风与飓风的形成皆有强烈影响。现在虽然可以通过卫星遥感海面温度分布来观察中尺度涡旋的位置与形状,但对它的产生、演变、内部动力过程及它与周围海水的相互作用等问题仍是现代海洋研究的迫切任务。由 CO_2 浓度升高产生的温室效应将导致的冰川冻土融化、海平面上升、海岸线改变、沿海城乡遭淹没等已引起人们普遍关注。测量结果表明,自 1860 年(工业革命)以来,大气中 CO_2 浓度增加了 27%,按此估算全球表面温度应增加 1.6°C ,而实际测量仅增加了 0.5°C 。这一差别是由于海洋吸收了大气中大部分热量与温室气

体的结果(几米以内上层海水的热容量大大超过整个大气层的热容量)。所以海洋在缓解全球变暖的过程中起着十分重要的作用。

综上所述,海水温度这个重要的海洋物理参数,与许多海洋物理现象(如海洋内波、中尺度涡旋、大洋环流、海—气交换等)都有密切关系,测量大范围海洋温度对了解气候变化规律、海洋生物分布规律、远程声传播规律及其它海洋变化规律有很大帮助,对中长期天气预报、灾害性天气预报也有很大帮助。

监测大范围海水温度变化,声学手段得天独厚。现代最强大的电磁波与激光束也很难穿透深几百米的海水,而数百瓦功率的声波却可以在大洋中传播数千乃至上万公里,这是由于海水声速受海水温度与静压力随深度变化而形成天然声波导传——水下声道。海水中声速是温度的灵敏函数,声速随温度升高而增大,温度每升高 1°C ,声速增量约为 5 米/秒,在 10000 公里之间声传播时间将减少 22 秒。1978 年美国海洋声学家芒克(Munk)与旺奇(Wunch)提出海洋声学层析法(Ocean Acoustic Tomography)。在几百公里范围内布设若干个发射器与接收器,发射器定时发射低频脉冲声信号,接收器接收来自各个发射器的脉冲信号。每对发射器与接收器之间可能有 L 条传播路径,因此可以记录到 L 个脉冲到达的信号;每个脉冲到达的时间由发射器与接收器之间的几何位置以及海水声速场决定。这样,若有 N 个发射器与 M 个接收器,则可得到

$N \times M \times L$ 个脉冲到达时间, 然后根据 $N \times M \times L$ 个时间数据用计算机推算出海水声速场(反演), 从而可监测大洋内部海水运动变化的规律。

大范围海洋声学测温正是基于声波能在大洋中远距离传播以及海水中声速是温度的灵敏函数的原理, 通过测量固定点之间远距离脉冲声信号的传播时间来推断海洋温度的时—空变化。

二、海洋气候声学测温计划

自人们预测温室效应将使地球变暖以来, 就通过各种方式来测量温度, 以发现地球是否逐渐变暖, 变暖的速度如何。但由于温升缓慢, 且背景温度起伏太大, 更由于海洋的巨大吸热作用, 使得测量海水温度变化显得十分重要。在海洋中测温若采取传统的定点测量方法, 即在固定点锚定温度传感器进行长期观测, 由于海洋中存在中尺度涡旋等温度起伏, 要在这种起伏的“噪声背景”中检测出温室效应引起的变暖趋势, 至少需要观测 200 年! 即使将独立测温装置增加到 100 个, 仍需 20 年。所需时间与耗资都是难以承受的。因此, 海洋声学家提出利用声波在大洋中的远程传播, 获得大范围空间平均的结果。海洋中尺度涡旋的空间尺度约为 100 公里, 对于 10 000 公里的传播路程就相当于 100 个独立观测站进行了空间平均, 若再利用多条独立的传播途径, 便可以进一步增加空间平均效果, 因而大大缩短观测时间, 且节约人力、物力。

1987 年斯皮伯格 (Spiesberger) 等人利用位于夏威夷附近的低频声源, 在 4 000 公里范围的东北太平洋进行接收, 测量了海盆尺度的温度变化。实验使用了 133 赫兹的低频声源, 声功率仅 15 瓦 (相当于雄性长须鲸求偶的叫声), 观测到数月内有 0.4 秒的传播时间变化, 传播时间测量精度为 0.03 秒。斯皮伯格分析证明, 0.4 秒的传播时间变化主要由海水温度变化引起, 并估计出海水温度变化约 0.2℃。

为了检验在更大范围内进行海洋声学测温的可能性, 在世界海洋科学委员会 (Scientific Committee of Ocean Research, 简称 SCOR) 的倡议下, 美国、加拿大、法国、俄罗斯、澳大利亚、新西兰、日本、印度与南非九国科学家组成研究组, 于 1991 年 1 月 26~31 日进行了赫德岛可行性实验 (Heard Island Feasibility Test, 简称 HIFT), 在印度洋南部的赫德岛附近的深海中放置一个频率为 57 赫兹的低频发射器, 声源级 209 分贝 (声功率约 6 千瓦), 然后在印度洋、太平洋与大西洋的 18 个站位进行接收。图 1 为赫德岛实验传播路径图。

HIFT 实验的主要目的是:

1. 检验脉冲调制声源是否具有足够大的功率,

使在全球海洋范围内能收到声信号。

2. 研究海洋声信道是否具有足够的稳定性, 使脉冲压缩技术可以用来精确测量远距离声传播时间。

3. 调查所使用的大功率声源是否对海洋动物造成危害。

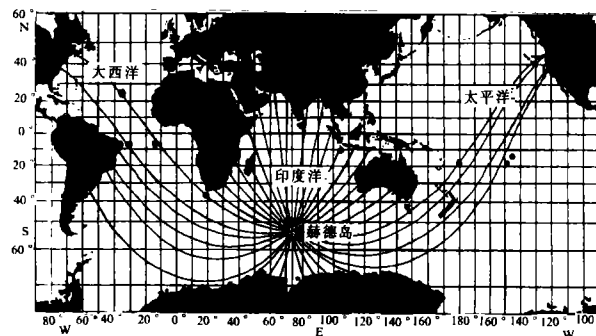


图 1 赫德岛实验传播路径图“·”表示接收站位

实验取得了满意的结果。在 16 000 公里之外以很高的信噪比记录到声信号, 用脉冲压缩技术获得了所要求的时间分辨精度, 未观测到声信号对海洋生物有明显危害。这些结果证明了用声学方法进行全球范围海洋温度测量是可行的。

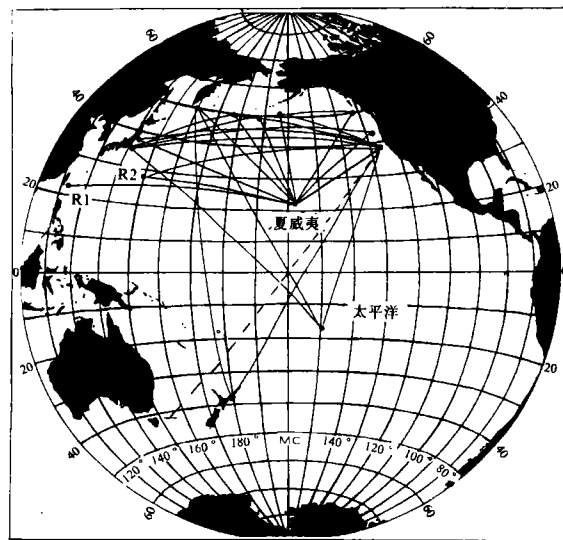


图 2 太平洋声学监测网络图, R_1 、 R_2 为中国接收点

赫德岛实验的成功受到各国科学家的关注。为了促进海洋声学测温这一全球研究计划的实施, SCOR 成立了“声学方法监测大洋”的 96 工作组 (WG96), 并于 1992 年 6 月在美国圣迭戈召开了工作组第一次会议, 共有包括我国在内的 13 个国家的 57 位科学家参加。会议除讨论赫德岛实验结果外, 还建议在全球大洋建立声学监测网, 进行常年观测, 定名为海洋气候声学测温 (Acoustic Thermometry of Ocean Climate, 简称 ATOC) 计划。会议建议, 首先在太平洋建网, 计划在夏威夷附

近 1 000 米深处布放 70 赫兹低频声源,在太平洋周围设置若干个固定接收点,进行为期十年的观测。图 2 为太平洋监测网络图。在太平洋的观测计划顺利实施后即扩大到大西洋与印度洋。这一计划已获得美国政府的支持,也得到俄罗斯、加拿大、澳大利亚、法国、日本与印度等国的积极响应。会议希望我国大陆与台湾的科学家参加这一全球性研究计划(在监测太平洋的计划中我国台湾以东的接收点具有十分重要的意义)。

三、我国参加 ATOC 的意义

随着世界环发大会的召开,国际社会的环境意识空前提高,环境与发展成为当前国际社会普遍关注的重大问题。在环发大会上,我国表示愿意承担与我国发展水平相应的国际责任和义务,并为解决环境与发展问题进一步加强国际合作。我国还制定了“全球变化与我国未来的生存环境”的攀登计划,提出“利用卫星遥感技术,计算机技术和其它先进

的观测和实验手段,组织不同规模的观测分析,理论模拟及实验研究,揭示生存环境重大变化的早期信号,逐步了解变化的机理,从而建立区域环境变化的模型,预测其变化规律”的战略方针。参加 ATOC 计划是我国义不容辞的责任,也是必须承担的义务。

最近,中国科学院地学部组织的专家组调查认为,由于全球气候变暖与地壳构造沉降等原因,近几十年来我国沿海地区海平面平均以每年 1.5 毫米的速度上升,并将加剧灾害性天气的发生。因此我国参加 ATOC 计划不仅是国际合作的需要,也是了解和研究我国环境变化趋势的重要途径。我国在太平洋的 ATOC 监测网中负责台湾以东接收点(见图 2)的数据收集与分析,在整个计划中具有十分重要的意义。为了对大洋声学资料进行精确的分析与解释,还需要建立全球海洋声传播模型、理论与算法,研究大尺度空间非均匀性、地球表面弯曲以及海底山脉对超远程声传播的影响,进而发展全波海洋声学层析法。

(责任编辑 冷远猷)

彩图说明

电化学沉积金属铜的分形结构

骆桂莲 艾竹铭 韦 钰

(东南大学吴健雄实验室, 南京 210018)

在用电化学沉积方法研究凝聚体生长形态的实验中,金属锌是最常用的材料。为了进行二维空间中金属的凝聚生长,以便和相应的 DLA 模型比较,早期的实验是在金属锌盐溶液中加入另一种与之不相容的材料(如 n -醋酸丁基)制成界面。把阴极端面固定在界面附近,这样,在一定条件下凝聚体便可沿界面进行生长,其结构是分形的“树枝”状。

近年来,随着凝聚体电化学生长实验研究的不断深入细致,上述的结构已被专门设计的一种极薄的“三明治”结构(生长空间夹在间隔约 0.1 毫米的两层玻璃之间)所取代。利用这种结构人们进行了在不同条件控制下金属锌凝聚体生长规律和形态的定量研究。有关金属铜的电化学沉积分形生长虽有报道,但却是在特定生长空间进行的(如用化学滤纸作为生长支撑面)。我们在应用 L-B 膜技术通过控制生长条件成功地在界面生长出具有宏观分形结构的银膜后,又应用这一技术进行了金属铜膜的二维生长,发现铜膜的生长规律和形态与银膜不同(见封二图 1)。银膜生长后很稳定,而且较易生长;铜膜的形成不仅较难,而且生长后的铜膜在短期内会发生结构变化(见封二图 2)。在恒电位控制条件下,铜膜生长开始时是沿阴极周界向外进行快速凝聚,颜色是淡绿色且膜层较薄,有明显的树枝状纹路。随后生长速度渐慢,边界处铜膜变厚,逐渐呈现深红色,同时膜内铜凝聚体开始沿生长纹路逐渐增大并且具有明显的分形形态,这众多的自相似小颗粒会不断长大直至沉入溶液中。

考虑到溶液中电场分布对生长形态的影响之后,我

们又进行了无液面 L-B 膜材料诱导的铜电化学沉积实验。在较薄的一层(约 2~3 毫米)硫酸铜溶液(圆形玻璃皿,周围是一圈铜片作为阳极)中心置入一阴极(铂丝),观察在不同条件下金属铜的凝聚形态。在较低浓度和电压下,铜的生长与 DLA 模型类似(图 3,见封面),对图象进行处理,测得其相关维数约为 1.84。在较高浓度和电压下,其生长形态是“长树枝”状,其相关维数约为 1.55(见封二图 4)。我们在改变条件情况下又获得了不同的生长形态(见封二图 5、封三图 6)。在上述实验中我们又观察到一个有趣的现象,当溶液较高(约 3~4 毫米),阴极沿竖直方向刚刚接触液面(无 L-B 膜)时,在一定浓度和电压范围内,铜粒子可沿液面下侧进行快速二维生长,图 7~11(见封二和封底)是几种生长结构。我们认为,由于阴极是以一个“点”接触液面,所以溶液中电场分布发生改变,沿液面的电场强于体内电强,这使得铜离子更易首先在界面处凝聚;由于生长后的铜膜对其范围内的体内溶液有屏蔽作用,所以液面的铜膜可迅速生长,而其二维空间中的结构和生长动力学过程及液面情况有关。

电化学沉积金属凝聚体生长规律和形态的研究是一个热点,其生长动力学过程也是计算机模拟的主要目标。从晶体学角度考虑,铜膜的生长本身就是一种晶体生长过程,生长条件的变化对晶体结构也必然会产生影响,所以铜膜的固态特性也是很有研究价值的。

(责任编辑 肖庆山)