

海洋气象学：大气与海洋等相关专业本科生选修课

Marine Meteorology: A undergraduate course majored in oceanography, atmosphere and other related subjects

第一章：绪论

Chapter 01: Overview of the Course

杨海军 (YANG Haijun) , 周震强 (ZHOU Zhenqiang)

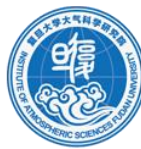
复旦大学大气与海洋科学系

Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, Fudan University

Email: yanghj@fudan.edu.cn, zqzhou@fudan.edu.cn



復旦大學 大气与海洋科学系
DEPARTMENT OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY



復旦大學 大气科学研究院
INSTITUTE OF ATMOSPHERIC SCIENCES
FUDAN UNIVERSITY

This powerpoint was prepared for purposes of this lecture and course only. It contains graphics from copyrighted books, journals and other products. Please do not use without acknowledgment of these sources.

课程目的与要求

本课程系统地介绍海洋上大气的物理属性和动力特征，是海洋科学和大气科学之间的一门交叉学科。本课程目的旨在使学生了解大气-海洋系统的基本规律和简单的海-气相互作用过程和现象，了解海洋上的主要气象灾害的物理信息，观测事实和海上天气气候预测，并初步熟悉相关的大气与海洋现象的动力机制，为后续相关高阶课程和研究奠定基础。

课程安排

课程类型：专业限选课

课程代码：ATMO130018

适用范围：大气、海洋、地理、地质、环境、航海等等相关专业

先修课程：天气学原理、动力气象学、物理海洋学等

学时学分：54学时，3学分

考核方式：考试

成绩构成：平时成绩30%+期中考试30%+期末成绩70%

参考教材及课件

1. 《海洋气象》 王彬华 1963年和1979年
2. 《海洋气象学》 周静亚、杨大升 1994年
3. 《航海气象学与海洋学》 陈家辉 2001年
4. 《海洋与气象》 沈四林 2002年
5. 《热带海洋-大气相互作用》 刘秦玉、谢尚平、郑小童 2013年
6. 《海洋气象学》 傅刚 2018年
7. 《海洋气象学》 邱春华 李春 2019年
8. 课件：南京大学、广东海洋大学（梁梅）

参考教材说明

1. 《海洋气象学》周静亚等 1994年：海洋学和气象学基础知识+海气相互作用及其对气候的影响
2. 《热带海洋-大气相互作用》刘秦玉、谢尚平、郑小童 2013年：基础知识+海气相互作用及其对气候的影响+全球变暖
3. 《海洋气象学》傅刚 2018年：基础知识+海洋上重要气象灾害
4. 《海洋气象学》邱春华 李春 2019年：基础知识+数值预报

要 点

1. 什么是海洋气象学？
2. 学习海洋气象学有什么用？
3. 海洋气象学的起源和发展历程

地球的演化

炙热的岩浆
冲出地壳



46亿年前：地球诞生，当时的地球表面是由熔融的岩浆组成。



没有水也没有
任何生命的原
始地球

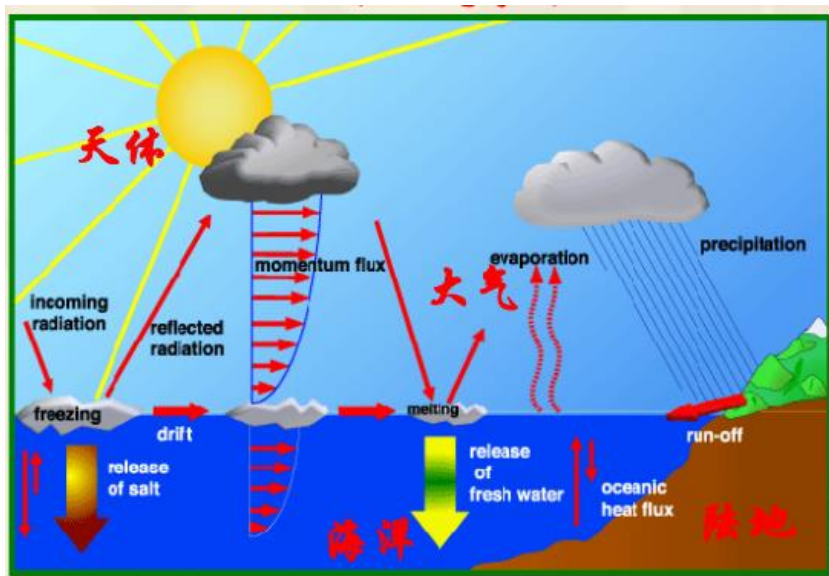
38-35亿年前：第一次在地球表面形成了一块超级大陆。在超级大陆的外面，是更为辽阔的超级大洋，并形成了早期的大气层。

形成海洋和
大气



15-6亿年前：氧气逐渐增多，在高空形成了一层臭氧层，5百万年前：人类出现，海水和大气的成分改变，初步形成圈层。

海洋气象学



- **气象学**——Meteorology, "Meteor"是大气现象, "logy"为学, 所以气象学是研究大气现象的科学。
- **天气学**——Weather, 指对流层较低层大气中不同情况的每日变化, 即短暂的气象情况, 可以看见, 可以感觉到, 变化无常。
- **气候学**——Climate, 指长时间天气的平均状态, 主要讨论各地区天气效应的长期后果, 又称为统计气象学。

应用气象学、航空气象学、农业气象学、空间气象学、城市气象学、林业气象学、大众气象学；海洋科学、海洋学、物理海洋学；地球物理流体动力学

海洋学——Oceanography，研究海洋各种自然现象并强调其与周围环境间关联性质的科学。重点是研究海洋作为一个整体环境的特征。

物理海洋学——Physical Oceanography，以数学、物理为基础，根据流体动力学和热力学原理，研究海水运动成因，变化及其规律，研究海洋物理场的形成、变化与演变规律的一门学问。

地球物理流体动力学——Geophysical fluid dynamics，研究受到地球旋转影响的流体运动动力学。地球物理流体包括大气和海洋，可充分进行物质和能量的交换。

海洋气象学(Marine Meteorology)是气象学的一个分支，是研究海上大气的物理和动力特征，以及海洋与大气相互作用规律的学科。海洋气象学既涉及大气又涉及海洋，因此它是大气科学和海洋科学共同研究的领域。

海洋气象学是应用气象学的一个分支，其基本原理与普通气象学有所不同，所不同的是海洋气象学讲述与海洋有关的气象现象，不仅有助于海洋科学工作者增进对于大气现象的了解，以保障海上航行与作业的安全，同时有助于大气科学工作者了解海洋气象灾害和海洋在天气气候变化中的作用。

海洋气象学研究内容

1. 海洋气象的观测和试验。包括海洋气象观测方法的研究、海洋气象观测仪器和装置的研制、局部或大范围海域的海洋气象的调查研究。
2. 海洋天气分析和预报。研究海上的天气和天气系统及其密切相关的海洋现象，包括海雾、海冰、海浪、风暴潮、海上龙卷、热带风暴、温带气旋的机理分析及其预报方法（见[海洋水文气象预报](#)、[天气分析](#)、[天气预报](#)）。

在大尺度海—气相互作用领域中，重点研究：

1. 大气环流与海洋环流的形成与对应关系。
2. 大洋西边界流动（湾流和黑潮）对于其邻近海区的天气，天气系统和气候的影响
3. 热带海洋对局部以及全球大气环流和全球气候变化的影响
4. 大气中二氧化碳含量的变化和海洋对此过程的作用，及其对气候变化的影响

海洋气象学应用之一：海洋影响天气现象

地球实际上为“水球”，70%以上表面为海洋所覆盖。海水质量约为大气的250倍。

1. 能平衡温度，是大气的主要热源：

- ❖ 海水巨大的热惯性：由于海水比热大，比土壤，更比空气有更大的热惯性，成为巨大的热量“储存器”；
- ❖ 海水的辐射特性：海水对太阳短波辐射吸收率高、渗透率高，海水对太阳短波辐射的吸收率在84~95%之间，比陆地高出10~20%；有利于热量的存储；
- ❖ 海水的流动性：海水是一种流体，通过水平和垂直运动，可使海洋获得的热量通过平流和乱流向其他地方和海洋深层传播。

海洋气象学应用之一：海洋影响天气现象

2. 提供淡水，是大气主要水源

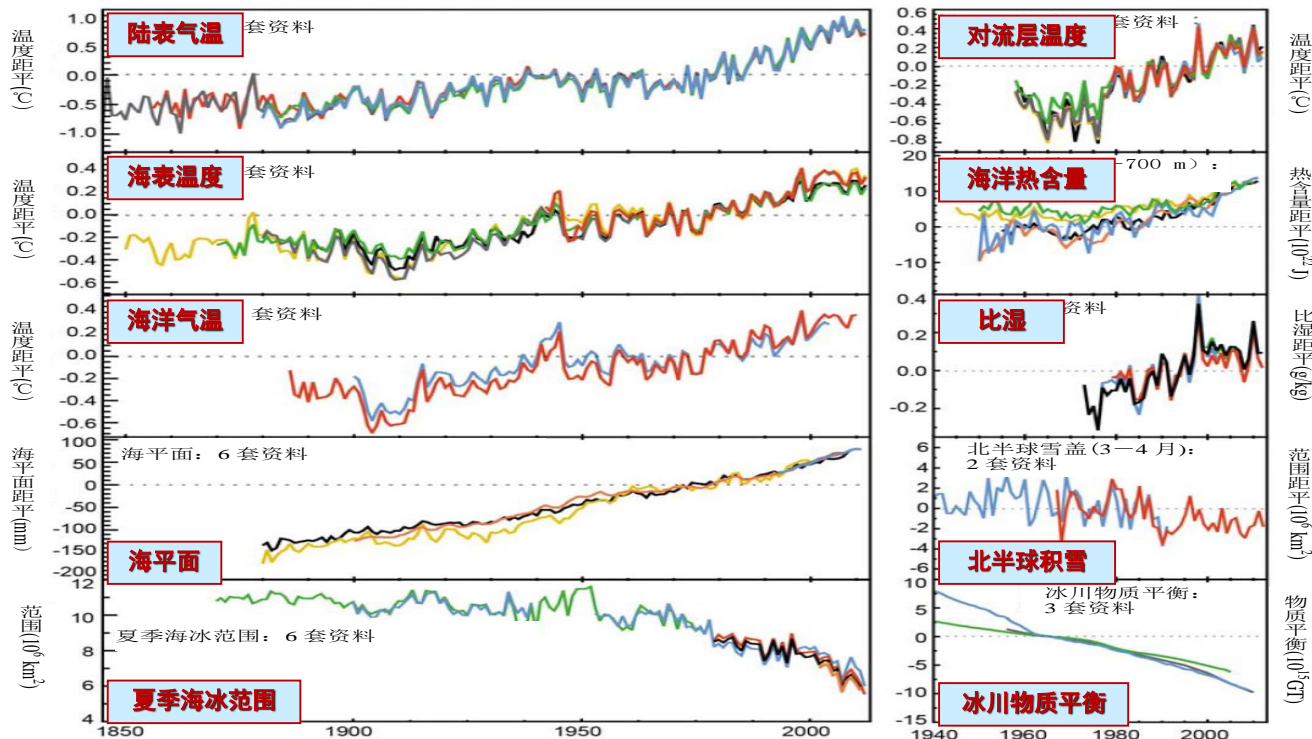
❖ 海洋蒸发的淡水有400亿t/年，其中的90%的水汽直接在海洋上空凝结，10%的水汽输送到陆地上空，凝结降落，成为地球大气的水源供应地。

3. 是CO₂最大的汇，对温室效应的有缓解作用。

4. 具有氧气再分配的作用：海洋中的植物光合作用生产的氧气300亿t/年，占大气的含氧量70%。

海洋不仅是大气的热源和水源，大气和海洋都具有流体特性，海洋和大气之间存在着广泛的物质和能量的交换，维持着大气的热量平衡和水分平衡，

海洋气象学应用之二：海洋影响气候

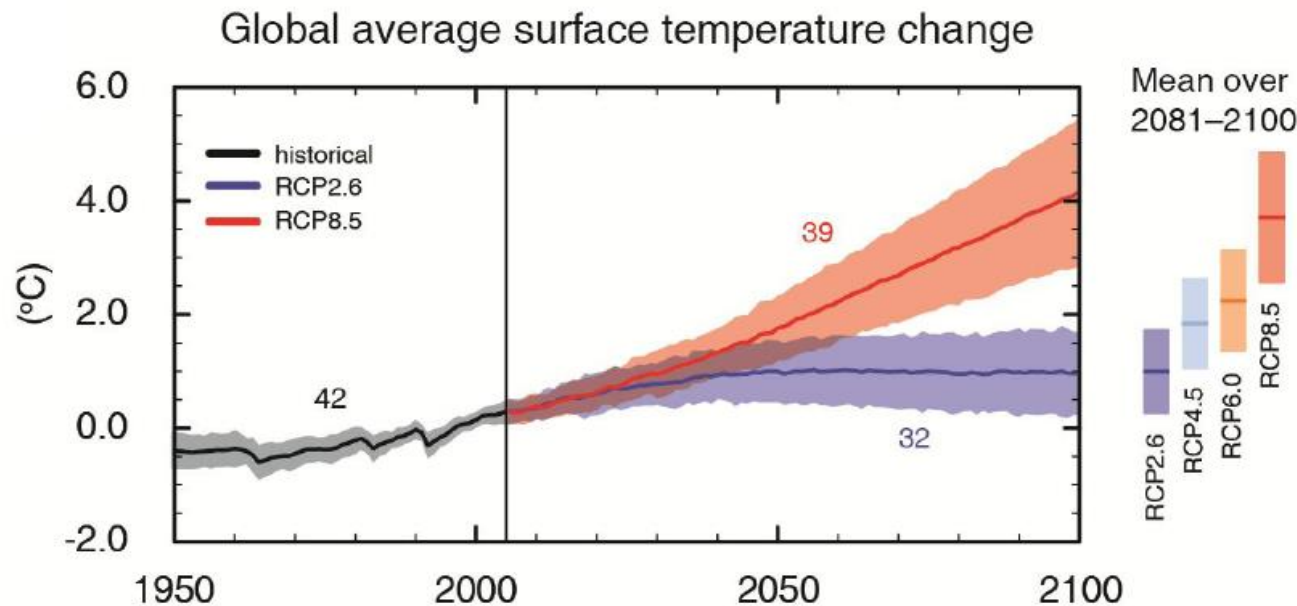


近130多年
(1880–2020年)
全球地表平均
温度升高了
0.85°C

1990—2020年
可能是北半球
过去1400年中
最暖的30年。

气候变暖、冰川融化、海平面上升 (IPCC AR5, 2015)

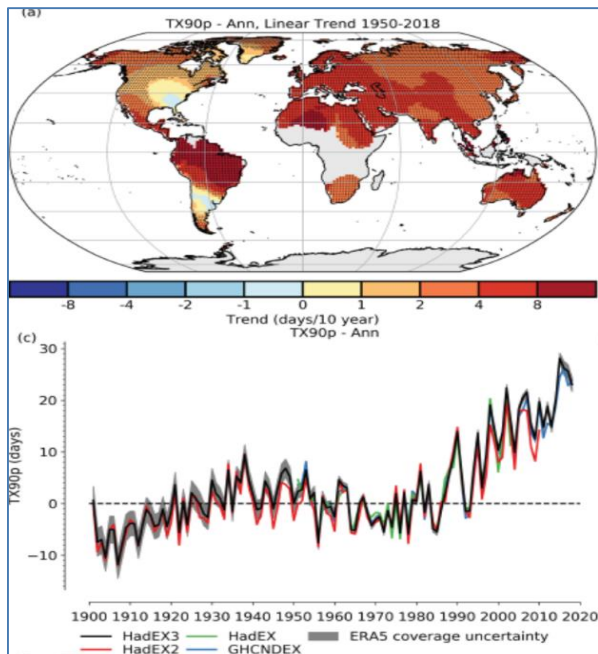
全球地表平均温度未来将继续上升



相对1986–2005年，2016–2035年期间全球平均地表温度可能升高 $0.3-0.7^{\circ}\text{C}$ 。2081–2100年可能上升 $0.3-4.8^{\circ}\text{C}$

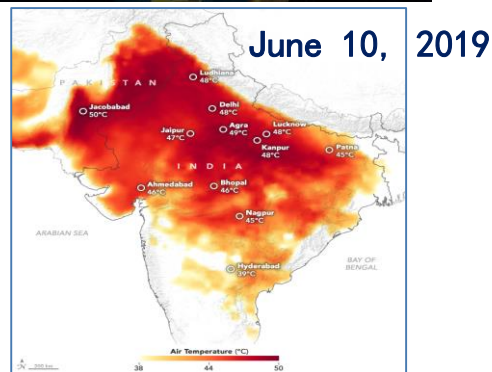
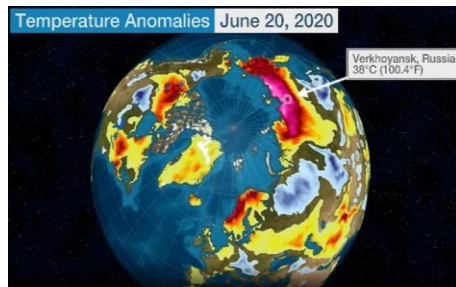
全球极端高温变化

1950-2018年全球极端暖日频率变化趋势



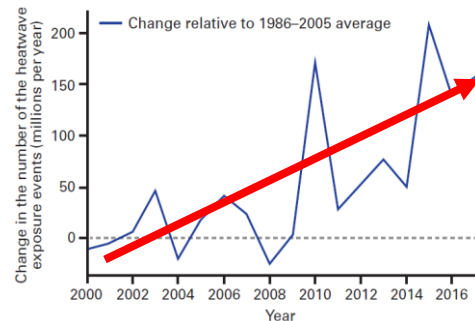
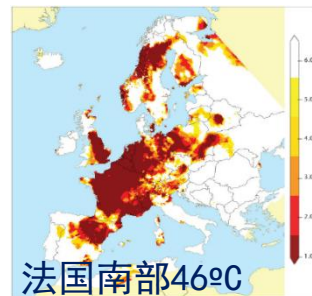
Dunn et al., 2020

WMO: 2019年6月世界最冷地区之一北极圈小镇气温达38°C



新德里6月史上最高温记录 (48°C)

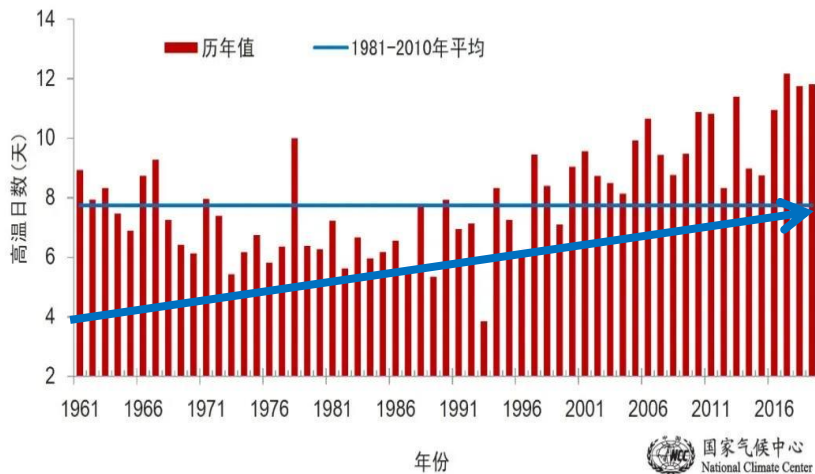
2019年6-7月气温破1950年以来记录 (最深色)



热浪影响的人口数量变化

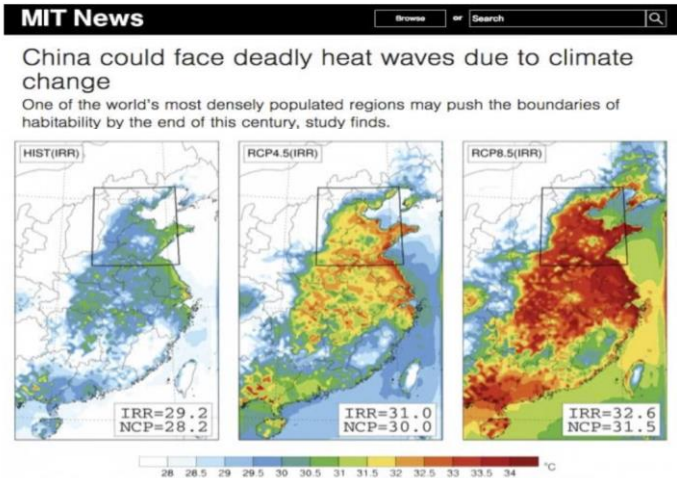
WMO, 2019

中国高温日数变化



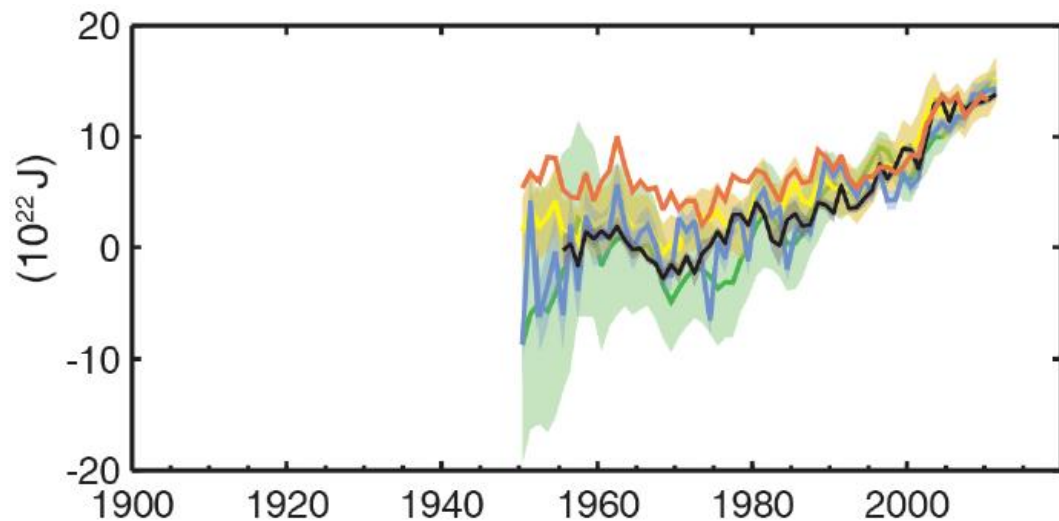
MIT在《自然-通讯》(2018)论文

2070-2100年华北平原或因极端热浪不再宜居



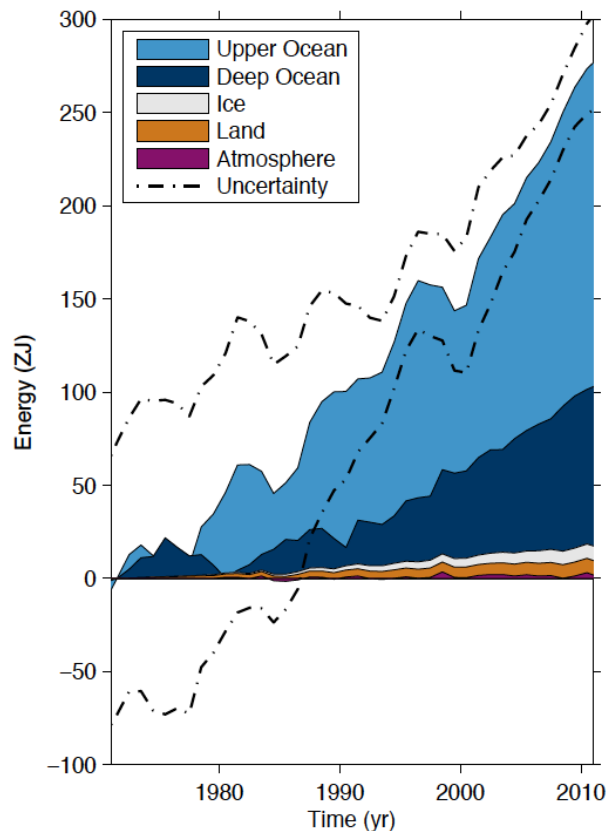
(Kang and Eltahir, 2018)

海洋热含量变化



- 1971–2010年，海洋上层热含量可能增加 17×10^{22} 焦耳；
- 与1993–2002年相比，海洋上层热含量在2003–2010年间的增速较为缓慢；
- 1970年之前的资料不确定性较大；采用了五套数据，可弥补资料的缺失。

海洋热含量变化



海洋变暖:

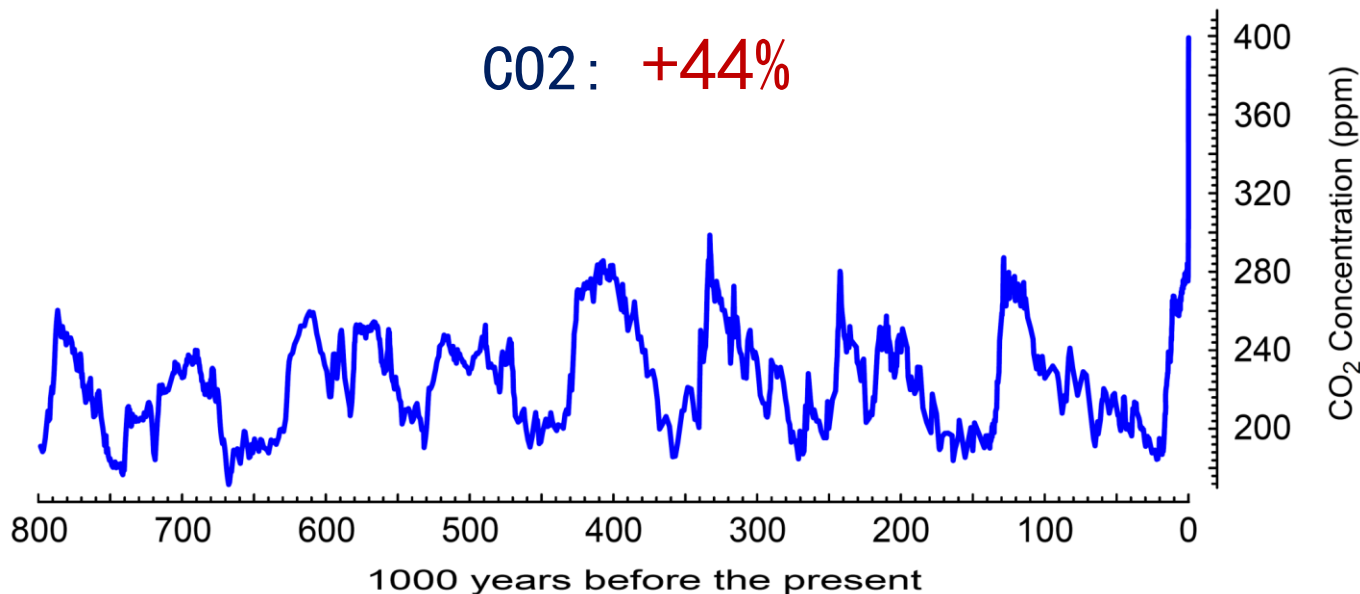
- **93%** of the increase in energy in Earth's climate system (*high confidence*)
- **3%** go into warming the land
- **3%** into melting of ice (glaciers, ice sheets)
- **1%** into warming the atmosphere

1971-2010年，气候系统增加的净能量中有**60%**以上储存在海洋上层（0-700米），另有约**33%**储存在700米以下。

海洋的变化

- 在所有RCP情景下，全球海洋都将变暖。变暖幅度最大的海洋位于副热带和热带海洋表面。深海区变暖以南大洋最为明显。
- 由于长时间从海表向深海传热，即使温室气体排放量减少或浓度保持不变，海洋变暖也将持续数个世纪。
- 在一些地区，到21世纪末在海洋上层几百米的区域，预计变暖将超过 0.6°C （RCP2.6情景）至 2.0°C （RCP8.5情景），在1km深的海区预计为 0.3°C （RCP2.6情景）至 0.6°C （RCP8.5情景）。
- AMOC(大西洋经向翻转环流)在21世纪*很可能会*减弱，但*很不可能*发生突变或者崩溃，对21世纪之后AMOC演变的评估具有*低信度*，也不能排除21世纪之后由于长期持续升温而使AMOC崩溃的可能性。

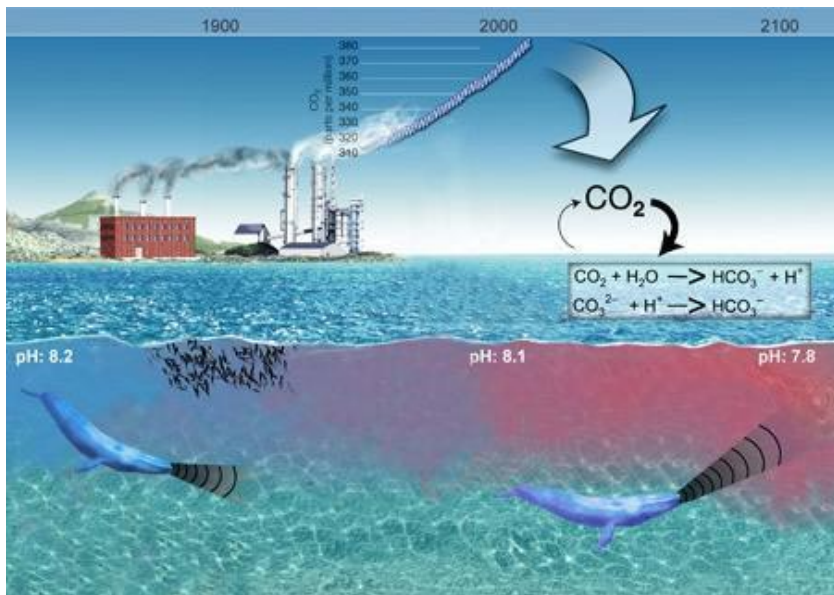
大气中温室气体浓度在增加



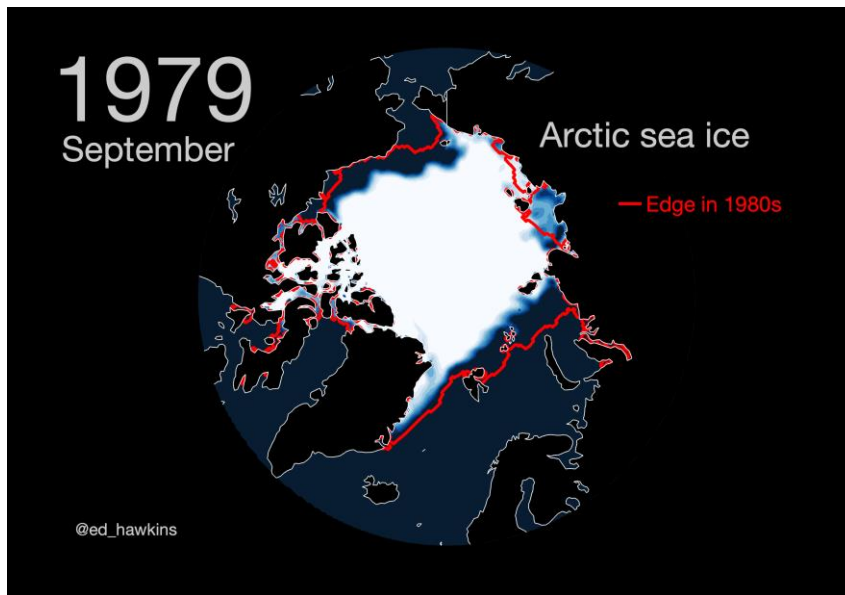
2020年，全球CO₂、CH₄和氧化亚氮年均浓度分别达到414ppm、1874ppb和334ppb，分别比工业革命(1750年)前增加了44%、162%和22%，达到历史的最高值。

温室气体的影响

海洋酸化



海冰融化



海洋气象学应用之三：减轻气象灾害

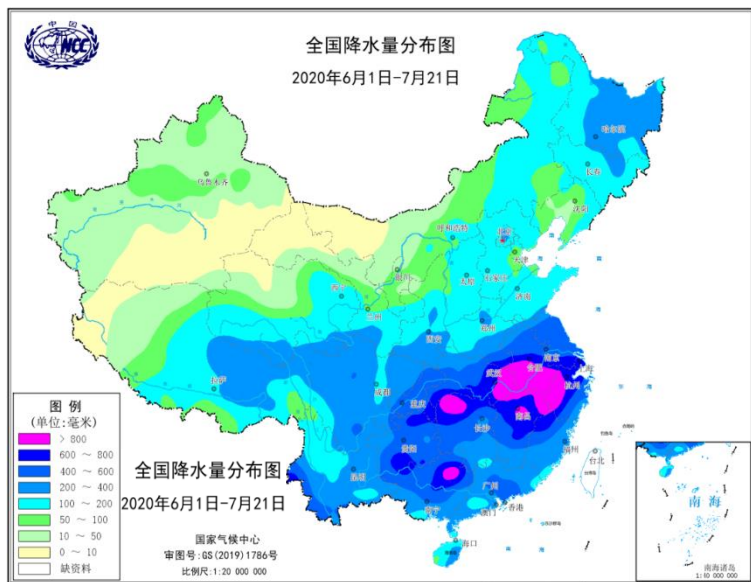
1. 发生在海洋上的重要气象灾害天气如海雾、台风和极地涡旋等是海洋气象学的重要研究内容，减轻海洋气象灾害将是一个永恒的主题，关键措施在于加强对海上灾害性天气产生和发展机理的研究，提高海洋气象的预报能力。
2. 海洋天气预报的提供有赖于从全球海洋范围获得准确、及时的天气现象、海浪、海温等要素的观测资料。如热带气旋在温暖的热带水域上形成，它们从洋面热量和水汽的向上转移中获得能量。
3. 其他如近海强风，强低压和天文大潮条件的结合会造成大范围的沿海降水。

中国是气象灾害的高发区

20世纪全球天气、水文、气候事件排行榜——中国占20%

- 1907年、1928-1930, 1936, 1941-1942, 中国干旱
- 1912年和1922年中国台风
- 1931年中国长江洪灾
- 1998年夏季长江-淮河流域特大洪水
- 2015年夏季南方暴雨
- 2020年夏季长江流域、四川盆地（乐山大佛、重庆）、安徽

洪 涝



1998	358 mm
2016	395 mm
2020	403 mm

热带气旋

1522号台风“彩虹”



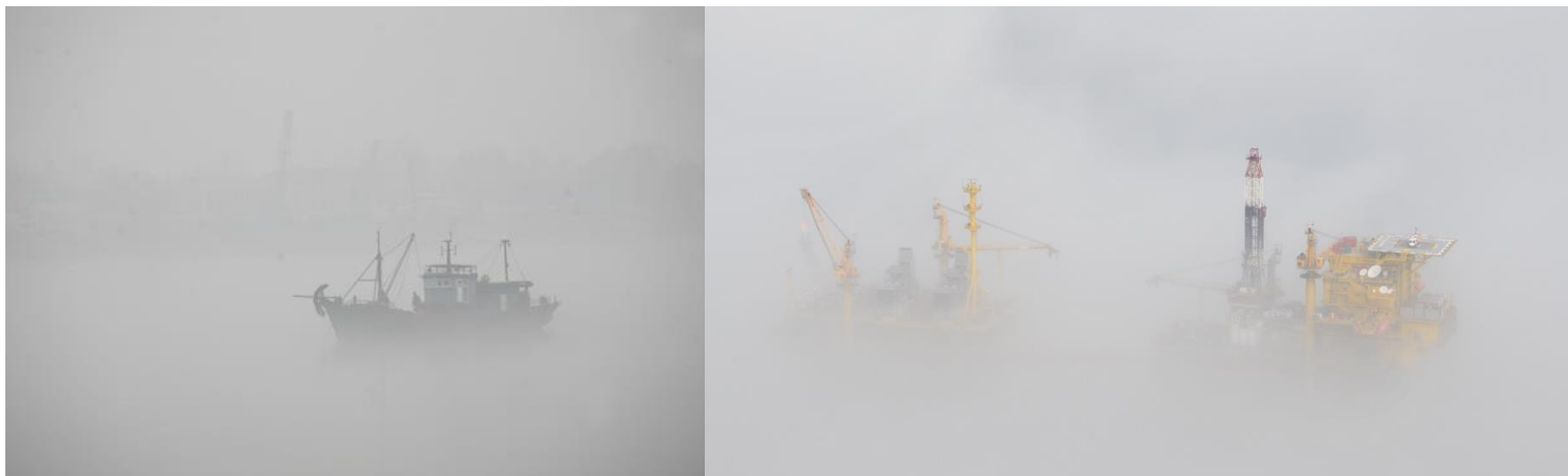
台风(Typhoon): 西北太平洋和南海一带

飓风(Hurricane): 大西洋、加勒比海、墨西哥湾以及东太平洋等地区

热带气旋(Tropical cyclone): 印度洋和孟加拉湾



海雾影响海上航行和海上作业

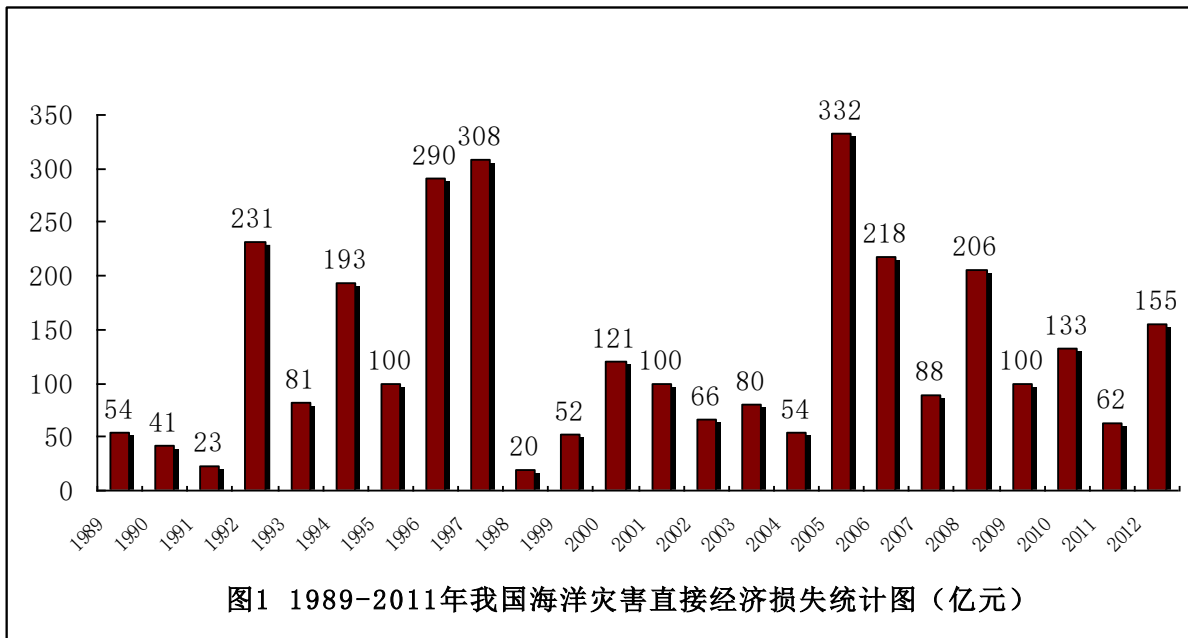


赤潮

破坏海洋渔业、水产资源，影响海洋生态平衡和人类健康



海洋气象学应用之三：减轻气象灾害



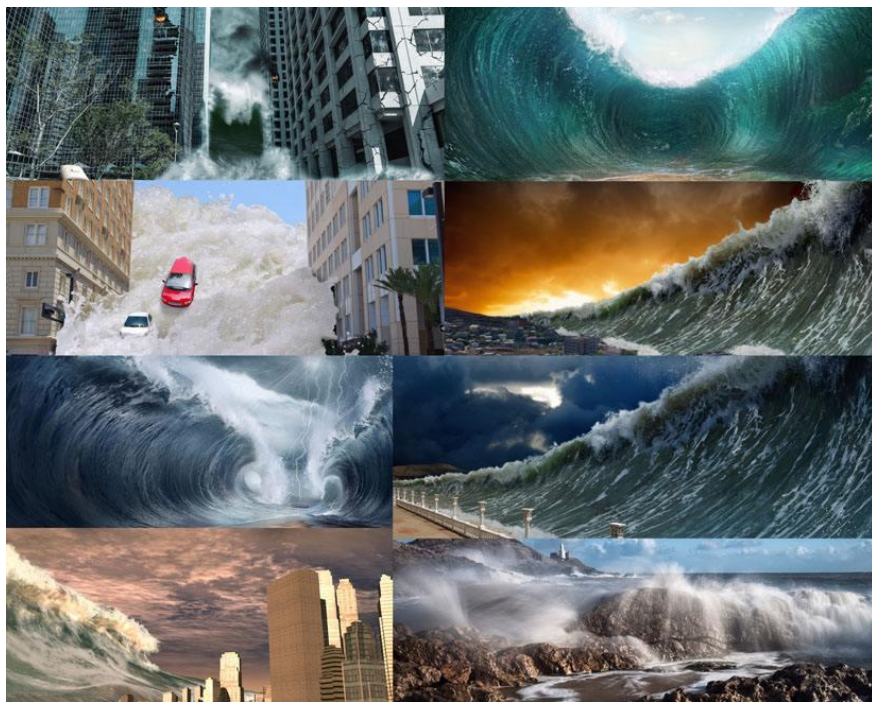
海洋灾害所造成的直接经济损失呈现一定的波动性，尤以2005年的直接经济损失最高，而且每年的海洋灾害都会造成较大的经济损失，少则20多亿元，多则数百亿元。

海啸



- 2004年12月26日，印度尼西亚苏门答腊岛附近海域发生里氏9.0级地震，并引发海啸，激起的巨浪超过30米。海啸波迅速席卷印度洋沿岸十几个国家。
- 2007年1月13日，千岛群岛附近太平洋西北海域发生里氏8.3级地震并引发海啸。
- 2007年4月2日，南太平洋岛国所罗门群岛发生里氏8级强烈地震，并引发海啸，形成5米高的巨浪。
- 2010年1月4日，所罗门群岛连续发生里氏6.5级和里氏7.2级地震以及多次余震，引发海啸，部分海域浪高2.5米，造成大约1000人无家可归。

海啸



- 2010年2月27日，智利首都圣地亚哥西南320公里的马乌莱附近海域发生里氏8.8级地震，并引发海啸。
- 2010年10月25日，印尼西苏门答腊省明打威群岛附近海域发生里氏7.2级地震
- 2011年3月11日，日本海域发生里氏9.0级地震，最大海啸波高达10米以上，造成日本2000余人丧生，超过20000人失踪。

海洋气象学的发展历程

海洋气象学早期发展源于航海事业的需要。

1. **季风**：公元前4~5世纪，希腊人利用季风航行和观察天气
2. **信风、海流和大气环流**：15世纪末，哥伦布注意到大西洋上信风和海流的存在；17世纪中叶，瑞士A. 基歇尔绘制全球海流图，指出了大洋环流和信风的关系；到了18世纪，英国G. 哈得来提出南北两半球的信风理论
3. **蒲氏风级表**：19世纪初，英国海军中将F. 蒲福总结出蒲氏风级表；美国M. F. 莫里根据航海日志绘制了风和海流图，并写出《海洋自然地理学》一书，专论海洋气象诸问题，为本门科学勾划了初步轮廓。

人类对海洋的探测历史

19世纪中叶至20世纪中叶约100年的工作，奠定了海洋气象学的基础

1. 1853年在布鲁塞尔召开的**国际气象会议**决定，航行于海上的船只必须定时进行气象观测并做出气象观测报告，从此海洋气象有了保障。
2. 随后英国“**挑战者**”号考察船对大西洋和太平洋作了全面的海洋水文气象调查；德国汉堡的海洋气象台，建立并发布了北海沿岸的暴风警报。
3. 20世纪初，挪威气象学家皮叶克尼斯等人提出气旋生成的**极锋学说**，形成气象学界独树一帜的学派；美国气象局编印的全球海洋气候图集，为研究海洋气候提供了便利。

人类对海洋的探测历史

19世纪中叶至20世纪中叶约100年的工作，奠定了海洋气象学的基础

1. 局部活动时期

15世纪之前，船只来往于亚、非、欧三大洲

2. “地理大发现”时代

1492年哥伦布发现“西印度群岛”

1497年 达伽马-开辟东方航线

1519年9月到1522年9月麦哲伦等-环绕地球航行

3. 科学海洋考察时代

从“挑战者一号” (Challenger 1, 1873-1876) 开始

表层海洋学时期
Era of surface
oceanography

人类对海洋的探测历史



明朝郑和 航海图

由江苏太仓南下经过台湾海峡、南海、马六甲海峡、孟加拉湾、阿拉伯海，最远到达非洲东岸的索马里一带。

郑和七下西洋，最多时率船200多只，人员达两万七千多人，主要航线多达40多条，总计航程16万海里，是世界古代航海史上人数最多、行动范围最广的远洋航行活动。郑和1405年首下西洋，比哥伦布发现美洲新大陆早87年，比达伽马经过好望角早92年，比麦哲伦环球航行早114年。

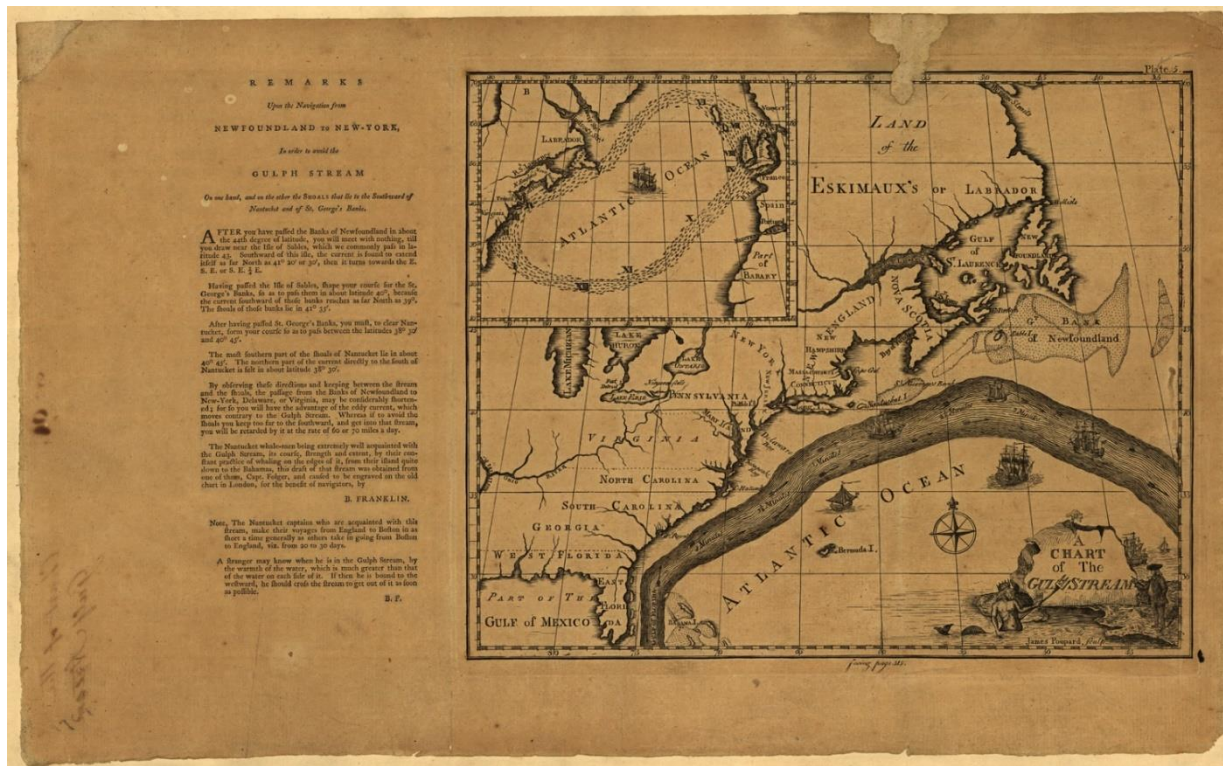
人类对海洋的探测历史



麦哲伦环球航行，由西班牙出发，三年的时间完成了人类第一次环球航行

人类对海洋的探测历史

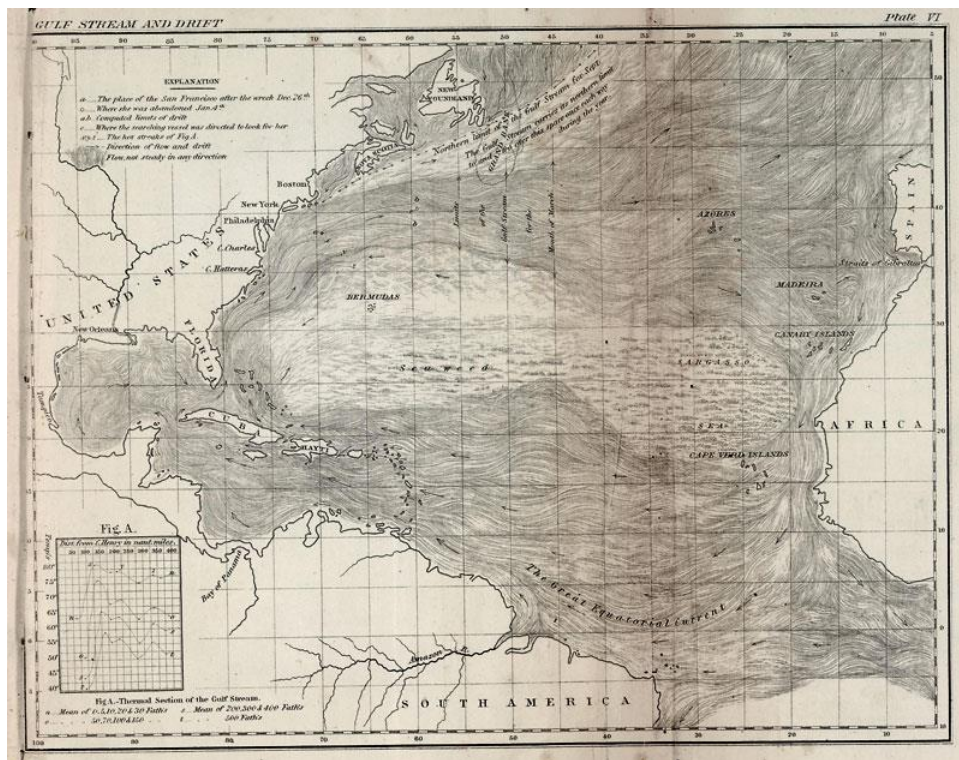
富兰克林1786年发表的湾流图



近代海洋学研究



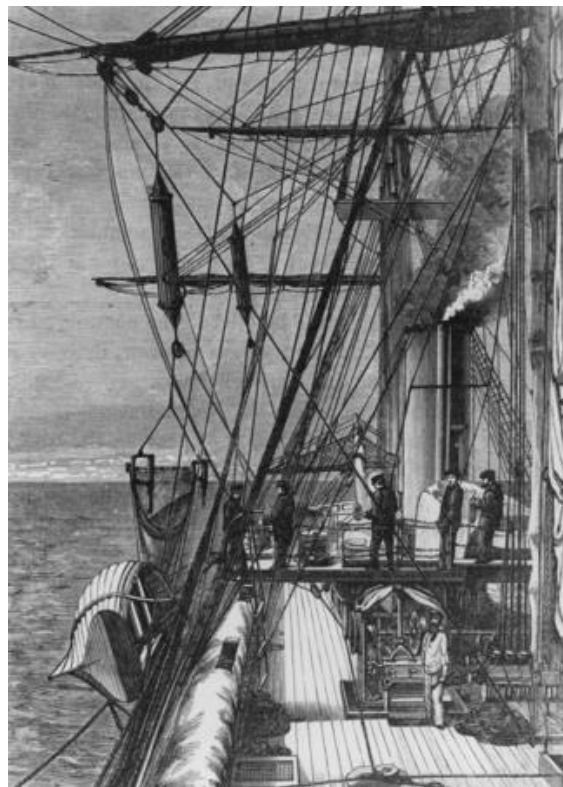
美国海洋学家Maury 1855年著
The Physical Geography of the
sea书中所刊印“湾流与漂流”图



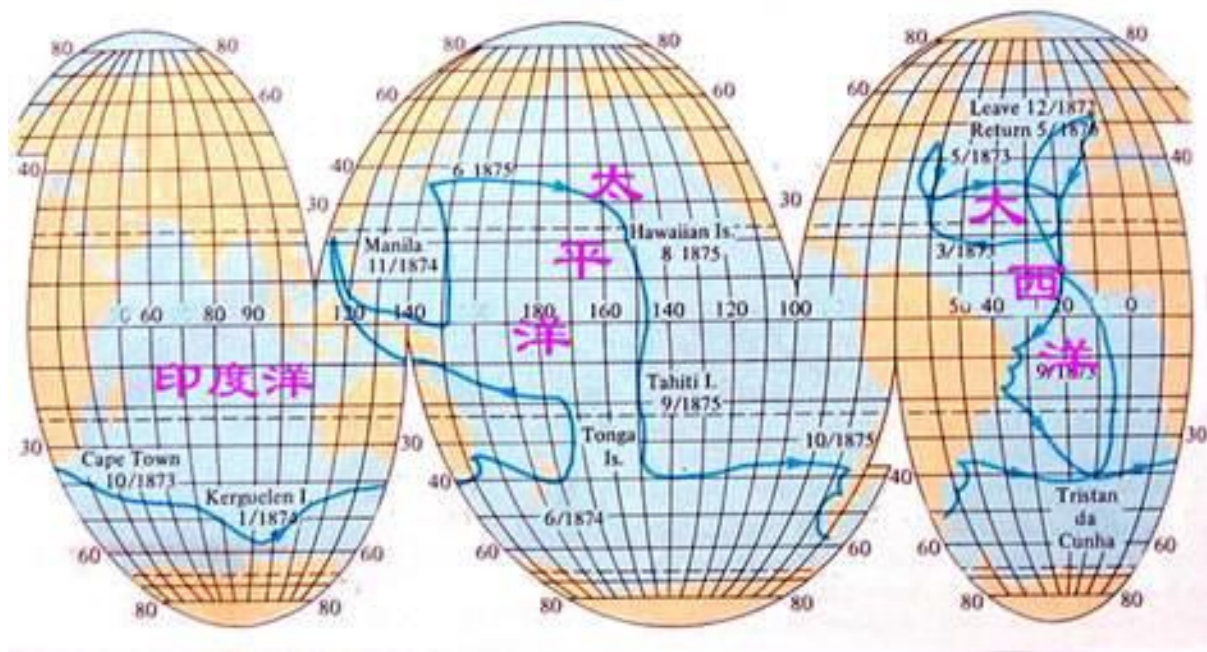


挑战者号外貌

(木质调查船，长68米，排水量
2306吨，风帆和蒸汽机作动力)



近代海洋学研究



挑战者号的环球航线：
三年半1873-1876，航程68890海里。进行了水文和气象观测，第一次使用了海水颠倒温度计观测水温。

二战后的海洋气象观测技术和手段不断进步

1. **海洋气象观测与试验**：观测方法的研究、观测仪器和装置的研制、局部或大范围海域的调查研究。海洋观测分为常规观测和非常规观测。常规观测按国际统一规定的时间和内容进行观测并发布天气报告。非常规观测包括海洋调查，海上观测实验和其他非特约船只的观测。
2. **卫星遥感技术和大型电子计算机发展，开创了海洋气象学发展的新纪元**。二战后，北大西洋和北太平洋先后设立了十多个定点天气船；加上日益增加的自动浮标气象站，可以获得高质量连续观测资料，但还不能满足分析和预报的需要。
3. 联合国还专为海洋气象设立了政府间的协商机构(IMCO)和国际气象中心(IMC)，世界气象组织也设立了海洋气象委员会。这些组织措施，有效地保证了国际间的大力协作，促使海洋气象学得到迅速的发展。

海洋气象学的发展历程

20世纪60年代以来，探测技术有了很大的进步，进行了海上定点和非定点观测，开展了大规模的海洋气象现场试验

大规模的海上立体观测实验的开展：

- 巴巴多斯海洋学和气象学实验 (BOMEX)
- 全球大气研究计划 (GARP)
- 气团变性实验 (AMTEX)
- 世界气候研究计划 (WCRP) 等

除此以外，还开展了海洋环流、大气环流和海洋与大气的相互作用的数值试验研究，使海洋气象学从以描述为主的定性阶段过渡到定量的试验研究阶段。

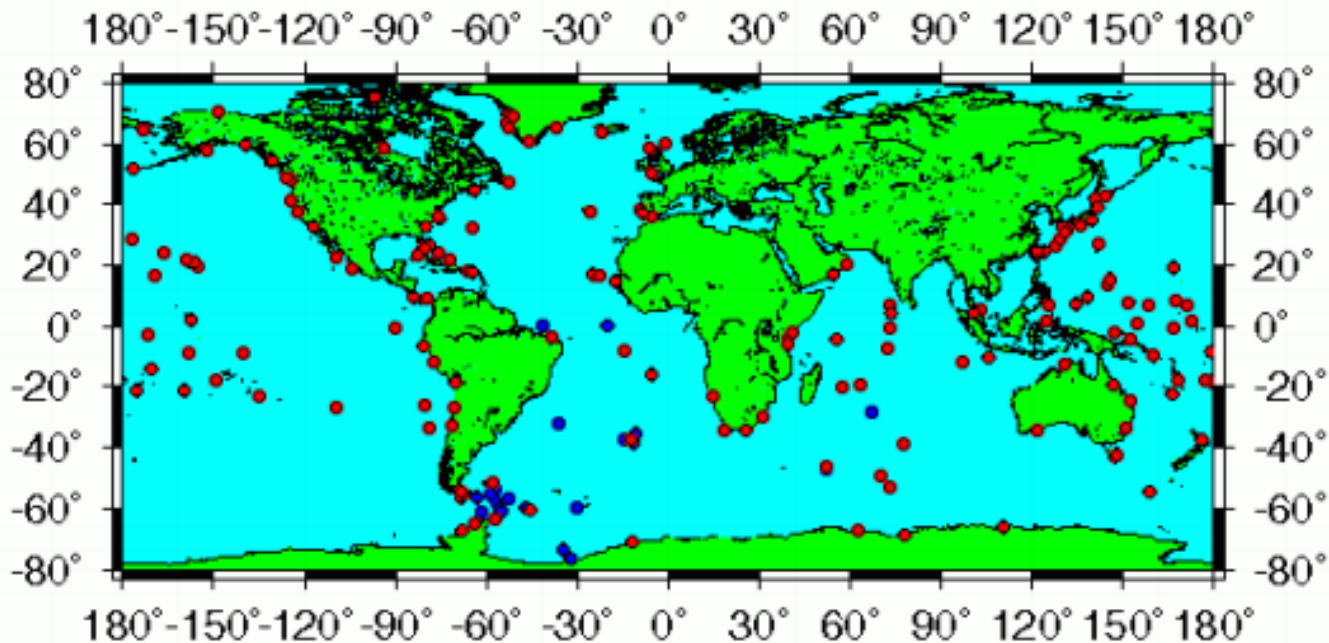
海洋气象学的发展历程

1980年以后多项为期10年的海洋考察计划

1. **世界大洋环流试验 (WOCE)**：采用多种手段研究全球尺度的大洋环流及其所输送的热量对气候的影响, 以获得建立海洋-大气系统总环流模式所需的资料。
2. **热带大洋及其与全球大气的相互作用 (TOGA)**：观测热带大尺度海-气相互作用, 以求改进气候预报。
3. **“大洋钻探计划” (ODP)**：钻进洋底更大的深度, 为大洋岩石圈和古海洋学研究提供更多资料。
4. **Argo全球海洋观测网建设**：美国日本等国家大气、海洋科学家于1998年推出的一个全球海洋观测试验项目

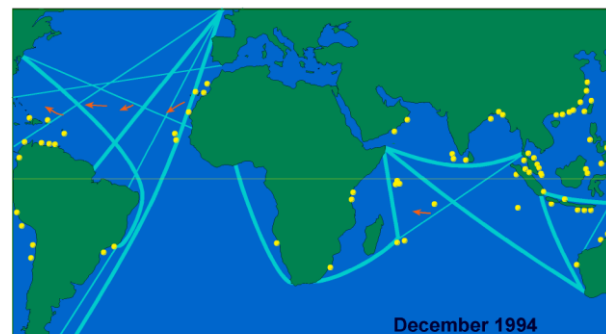
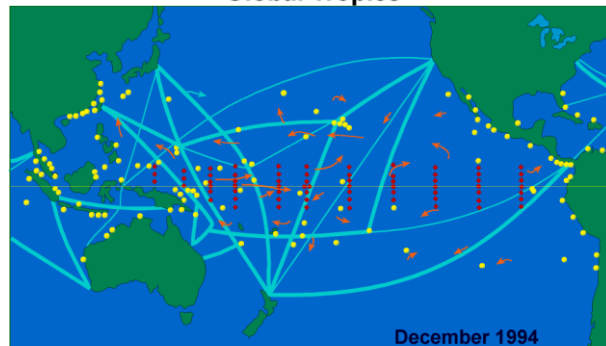
海洋气象学的发展历程

WOCE是一个全球范围的海洋调查

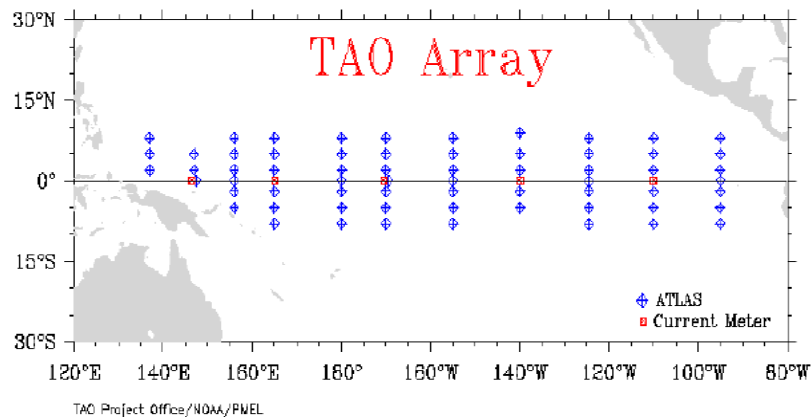


海洋气象学的发展历程

TOGA In Situ Ocean Observing System
Global Tropics



热带海洋全球大气计划(TOGA) (Tropical Ocean & Global Atmosphere)



TOGA是一个气象学和海洋学的联合计划，即详细调查热带海洋海况变化对全球气候影响的计划。是世界气候研究计划的组成部分，从1985年1月1日开始，连续实施10年。

- 主要任务是研究 $20^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{S}$ 范围内的热带海洋和全球气候的逐年变化，从而确定这些变化的机理以提高中、长期天气预报的准确性；
- 研究建立几个月至几年时间尺度海洋与大气耦合系统变化的预报模式的可行性，研究厄尔尼诺现象的响应机制。

TOGA计划的目标

- 获得对热带海洋和全球大气的描述，以确定地球系统按月至年的时间尺度的可预测性的程度，认识这种可预测性所包含的机理和过程；
- 预测月至年时间尺度的海洋和大气变化，模拟海洋和大气耦合系统；
- 为观测系统和数据传输系统，为业务预报的设计提供了科学依据。为实现第三个目标，应澄清的科学问题包括：热带海域存在暖池区（海面温度高于 28°C ）的特殊问题；暖池区热收支的科学解释；海洋模式对暖池温度估算偏高问题；大气模式对海面温度较高、海域水温的极小变化也很敏感的问题。

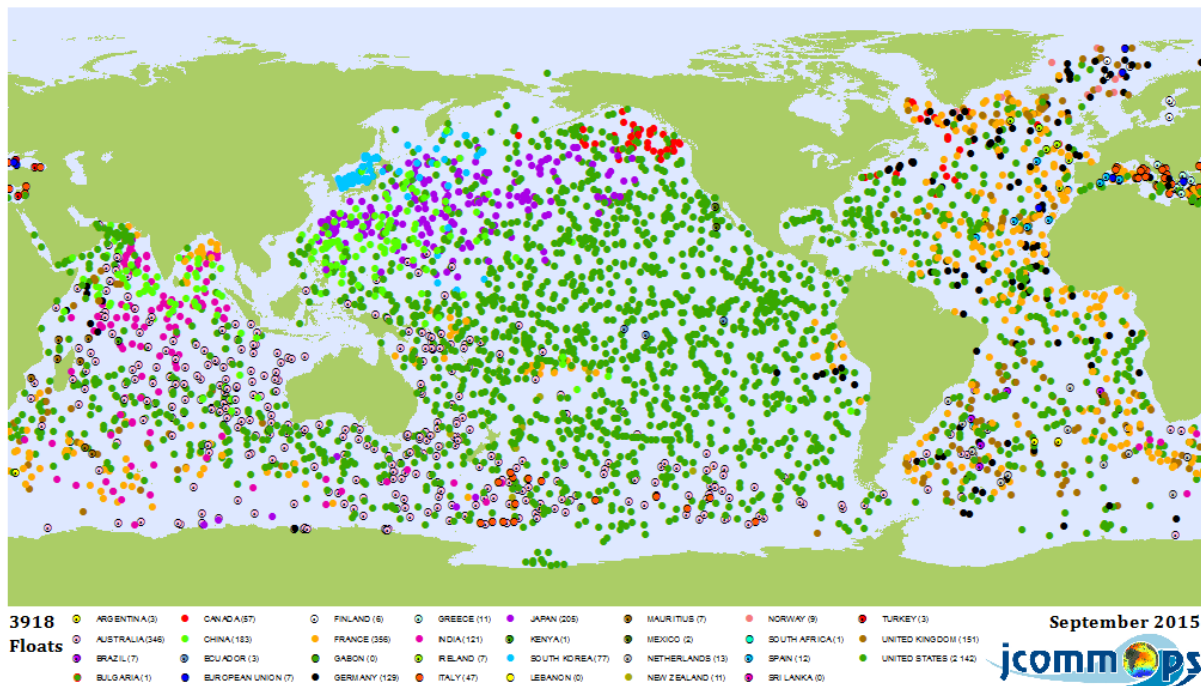
TOGA的科学目标

- 把热带海洋-大气看作是一个随时间变化的系统，并且确定其预测性机制
- 研究建立海洋大气耦合系统的可行性。
- 如果这种预测系统性能得到证实，为制定适用的预测系统提供科学背景资料。

这个系统是过去数年内厄尔尼诺现象的主要早期预警系统。

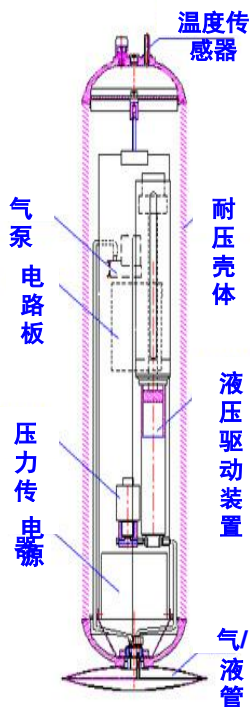
海洋气象学的发展历程

Argo计划及全球浮标概位（至2015年9月底）



海洋气象学的发展历程

Argo剖面浮标

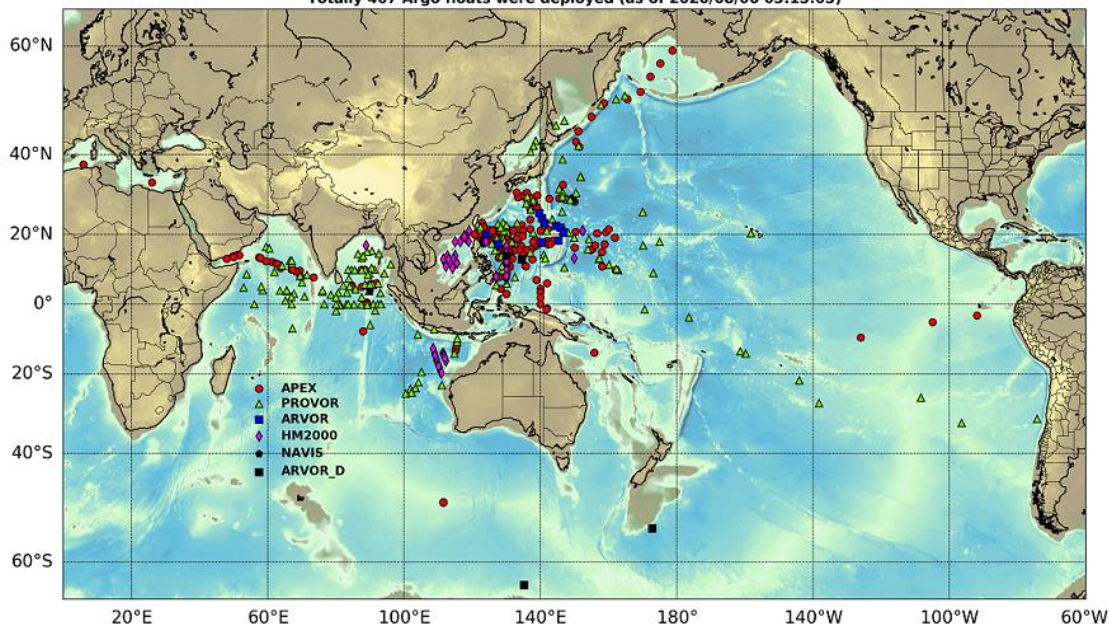


任务是由下沉、水下漂流、上浮和发送数据的重复性周期构成。浮标在执行这些任务的过程中，不断地用液压系统控制自身的浮力。并通过调节浮标密度使浮标下沉、上浮或在某个恒定的深度悬浮和漂流。（通过编程设定）

<http://www.argo.org.cn/index.php?m=content&c=index&f=show&catid=17&contentid=453>

中国Argo计划实施概况

Totally 467 Argo floats were deployed (as of 2020/08/06 03:15:05)



<http://www.argo.org.cn>

我国2001年10月经国务院批准正式加入全球Argo海洋观测网，正式成为Argo计划成员，计划在3-5年内在太平洋，印度洋，南太平洋投放Argo浮标100-150个。中国Argo计划自2002年初组织实施以来，已经在太平洋、印度洋等海域投放了352个Argo剖面浮标。目前有183个浮标仍在海上正常工作。其中，西北太平洋海域布放了51个Argo剖面浮标

海洋气象学的未来发展方向

1. **观测研究**：改进探测系统，通过现场调查和试验，提高观测的精度，根据获得的信息资料，继续研究探测海洋-大气间尚未被发现的现象，从而从理论上阐明其内在本质，将结果应用到实际的海上天气和海况的分析及其预报。
2. **理论研究和数值模拟**：继续健全海洋-大气理论，建立合理的海洋-大气流体动力学模式，阐明海洋在大气环流的形成、演变和气候变迁过程中所起的重要作用，大气对海洋环流和海浪的形成和演变及其它海洋要素。

作业（2周后上交）

1. 什么是海洋气象学？说明海洋气象学研究的主要内容
2. 说明海洋气象预报的基本内容
3. 请简述海洋和气象的关系以及海洋在天气和气候变化中的作用？
4. 海洋气象学未来的发展方向



LaCOAS

北京大学气候与海洋—气实验室

Learning about the Ocean, the Climate and the Nature