



根据政府间气候变化专门委员会第一工作组接受  
但未经详细批准的报告

---

## 常问的问题

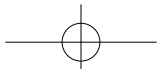
---

### 常问的问题的引用:

这些常问的问题直接摘自主报告的有关章节并汇集于此。当涉及具体问题时，请参阅常问的问题原引报告中的相关章节。

### 当引用这套常问的问题时，请按以下方式引用:

IPCC，2007：气候变化 2007：自然科学基础，政府间气候变化专门委员会第一工作组第四次评估报告 [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor 和 H.L. Miller等]。英国，剑桥，剑桥大学出版社和美国，纽约。



## 常问的问题1.1

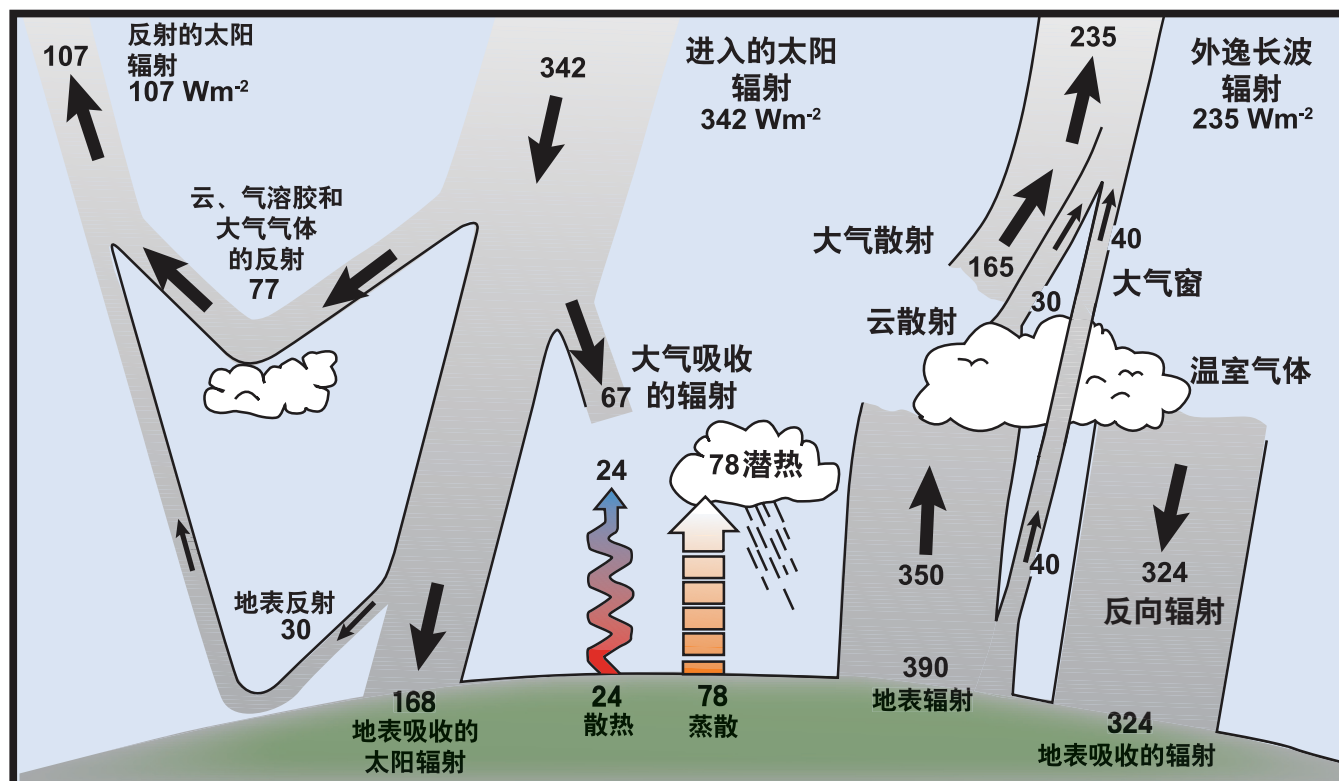
## 哪些因子决定地球的气候？

气候系统是一个复杂的、各部分相互作用的系统，包括大气、陆地表面、雪和冰、海洋和其它水体以及生物。气候系统中的大气部分决定了气候最明显的特征；气候常常被定义为“天气的平均状态”。气候通常被描述为从数月到数百万年的一段时间内(通常采用30年的时间段)的气候、降水和风的平均值及变率。由于其内在动力作用的影响，以及影响气候的外部因子(称为强迫)的变化，气候系统随着时间而逐渐演变。外部强迫包括诸如火山爆发、太阳变化等自然现象以及人为引起的大气成分的变化。太阳辐射为气候系统提供了动力。改变地球的辐射平衡有三种最基本的方法：1)改变入射的太阳辐射(例如由于地球轨道发生了变化或太阳本身的变化)；2)改变被反射的那部分太阳辐射(称为反照率；例如由于云量、大气微粒或地表植被的变化)；和3)改变地球向空间的长波辐射(例如由于温室气体浓

度的变化)。反过来，通过各种反馈机制，气候直接和非直接地对上述变化做出反应。

在白天，每一秒钟内，到达面向太阳的地球大气顶层表面的能量为每平方米1,370瓦特，而均摊到整个地球，每秒钟内到达每平方米表面的能量只有上述数值的四分之一(见图1)。到达大气顶层的太阳光中约有30%被反射回太空。而被反射的太阳光中约有三分之二是由于云和大气中被称为“气溶胶”的小微粒反射的。剩下的三分之一是由地球表面上浅色的地区—主要是雪、冰和沙漠—反射的。当发生大规模的火山爆发时，爆发物被喷入大气中非常高的地方，这就会使气溶胶反射的太阳光量发生十分显著的变化。

(接下页)



FAQ 1.1,图1. 地球年度和全球平均能量平衡估算。从长期来讲，地球和大气吸收的入射太阳辐射的量与地球和大气向外辐射的长波辐射的量是持平的。入射的太阳辐射中约有一半被地球表面吸收。通过加热与地表接触的空气(上升暖气流)、蒸发和被云以及温室气体吸收的长波辐射，能量被传导到大气中。大气反过来又以长波辐射将能量反馈给地球，和向外辐射到太空。出处：Kehl和Trenberth(1997年)。

一般而言，降雨能在一到两周内清除大气中的气溶胶，但是如果剧烈的火山爆发产生的物质被喷送到比最高层的云还要高得多的地方，这些气溶胶会在影响了气候一到两年之后，才会降至对流层，然后由降水将其输送回地表。因此，大规模的火山爆发能够让全球表面平均气温下降约半摄氏度，并且持续数月甚至数年的时间。一些人为产生的气溶胶也反射了大量的太阳光。

没有被反射回太空的能量被地球表面和大气吸收了。每平方米约吸收 $240\text{Wm}^{-2}$ 。为了与入射的能量保持平衡，地球本身也必须向太空辐射出平均起来等量的能量。地球通过向外释放长波辐射来实现这种能量的平衡。地球上的每一样东西都不停地释放出长波辐射。这就如同一个人感受到火辐射出的热能一样；一个物体的温度越高，它辐射出的热能就越多。要释放出 $240\text{Wm}^{-2}$ 的能量，物体表面温度必须达到 $-19^{\circ}\text{C}$ 。这比地球表面的实际温度要低得多（全球平均表面温度约 $14^{\circ}\text{C}$ ）。然而，在地球表面以上5公里高处，温度为 $-19^{\circ}\text{C}$ 。

地球表面之所以如此温暖是由于温室气体的存在，它们包裹住了部分地球表面发出的长波辐射。这种包裹效应被称为自然的温室效应。最重要的温室气体是水汽和二氧化碳。而大气中最主要的组成部分——氮气和氧气——不具备这样的温室效应。另一方面，云也会发挥类似于温室气体的包裹作用；但是这种作用被云的反射作用抵消，而且从平均而言，云往往对气候产生冷却的作用（然而局部地区会感受到云的增温效应；有云的夜晚往往比无云的夜晚要温暖，因为云向地表辐射长波能量）。人类活动释放的温室气体增强了包裹效应。例如，在工业化时代，大气中的二氧化碳含量增加了约35%，现在被公认为是由于人类活动造成的，主要是燃烧化石燃料和毁林。因而，人类已经显著地改变了全球大气的化学成分，进而对气候产生了实质的影响。

因为地球呈球形，到达热带地区的太阳能量比到达较高纬度地区的能量多，因为在纬度较高的地方，太阳通过大气和海洋环流，包括风暴系统，

能量从赤道地区输送到高纬度地区。从海洋或陆地表面蒸发水也需要能量，当水蒸气在云中凝结的时候，这种称为潜热的能量被释放出来（见图1）。大气环流主要是通过这种潜热的释放来驱动的。反过来，通过风作用在海洋水体的表面，以及通过降水和蒸发来改变海洋表面的温度和盐度，大气环流又驱动了许多海洋环流。

由于地球的旋转，大气环流型态更偏东西向，而不是南北向。大尺度的天气系统嵌在中纬度西风带中，向两极地区输送热量。这些天气系统是十分常见的移动低压和高压系统，以及与之相伴随的冷锋和暖锋。由于陆地-海洋温差和山脉以及冰盖等障碍，环流系统中的行星尺度大气波的地理位置往往会被大陆和山脉固定住，但是它们的振幅会随着时间改变。因为波的型态使然，在北美洲出现一个特别冷的冬季的同时，在地球的另一个地方会出现一个特别暖的冬季。气候系统中各个部分的变化，如冰盖尺度的变化、植被类型和分布的变化、大气或海洋温度的变化都会影响大气和海洋的大尺度环流特征。

气候系统中有许多反馈机制能放大（“正反馈”）或缩小（“负反馈”）气候强迫变化的效应。例如，温室气体浓度的增加使地球气候变暖，雪和冰就会开始融化。雪和冰融化后，原来藏在雪和冰下面的深色的地面和水面露了出来，这些深色的表面吸收更多的太阳热量，就会造成进一步增温，进而又造成更多的雪、冰融化，周而复始，愈演愈烈。这种反馈循环被称为“冰-反照率反馈”，放大了最初由于温室气体的增加而造成的变暖。试图破解复杂的地球气候系统的科学家们一直把探测、认识和精确地量化气候反馈作为其大量研究工作的重点。

## 常问的问题1.2

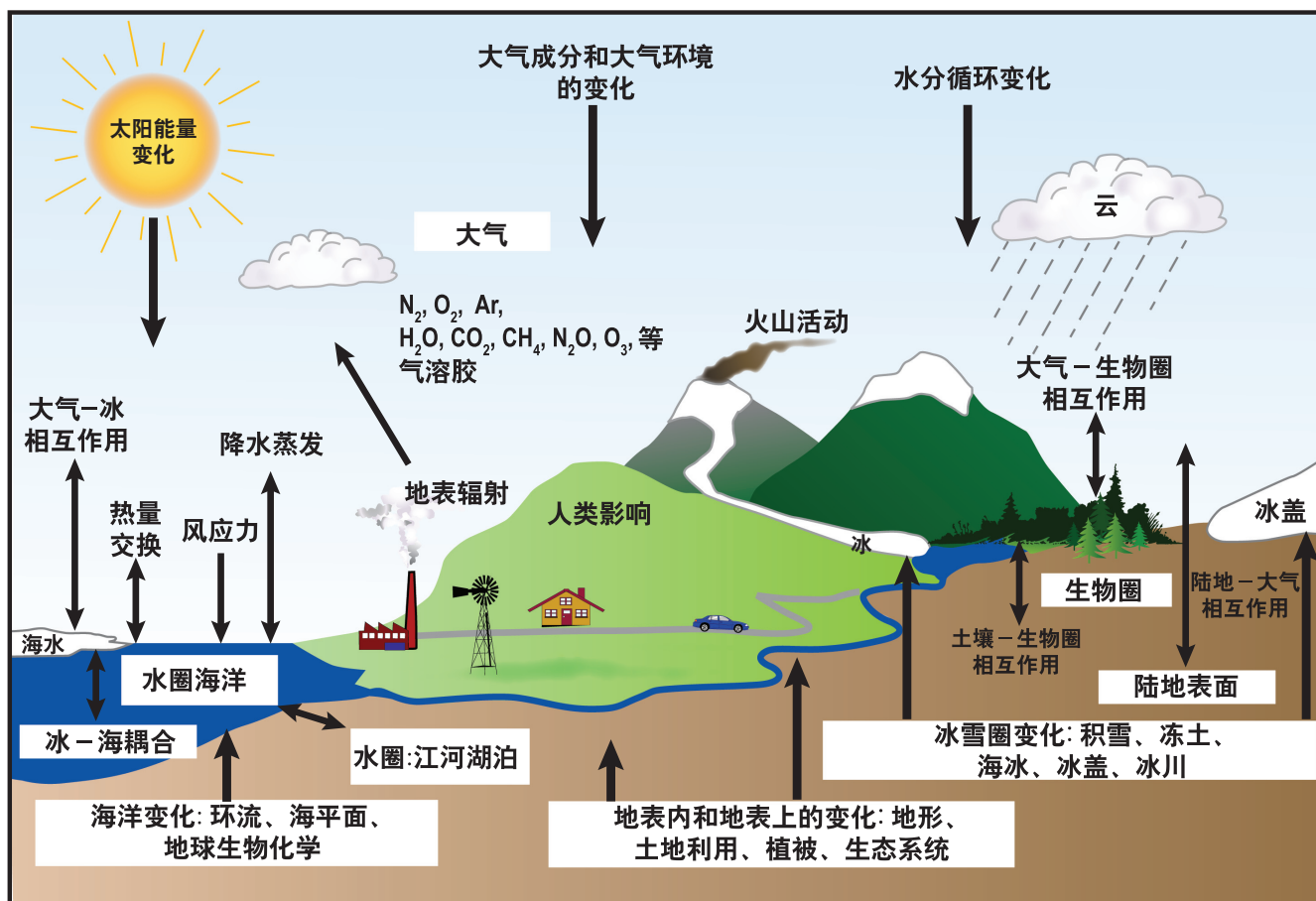
气候变化与天气之间  
有何关系？

气候通常被定义为平均天气，因此，气候变化和天气是相互交织的。观测显示天气一直处于变化之中，而一段时间内天气变化的统计数据反映出气候变化的特征。虽然天气和气候密切相关，但二者之间也存在重要的区别。科学家们常被问到这样的问题：如果他们连从现在开始数周之后的天气都无法预测，他们又如何预测从现在开始50年后的气候？这实际上是常见的一种把天气和气候混为一谈的现象。天气的混沌状态使得数天之后的天气难以预料。然而，根据大气成分或其它要素的变化来预估气候的变化（也就是长期的平均天气）是非常不同且相对而言较易解决的问题。譬如，我们不可能预测某人的具体死亡年龄，但是我们可以很有把握地说工业化国家人们的平均死亡年龄大约是75岁。

另外一种常见的混淆天气和气候的现象是仅凭一次寒冬或是地球上某个地区温度较低就否认全球变暖极热和极冷的现象始终是存在的，尽管它们的频率和强度随着气候的变化而变化。但是，如果把天气状态作了空间和时间平均后，数据清晰地显示了全球在变暖的事实。

气象学家投入大量的工作来观测、认识和预测天气系统逐天的演变。应用决定着大气运动、增温、冷却、降雨、降雪和水分蒸发过程的物理学概念，气象学家基本上已经能够成功地预测未来数天的天气。制约数天之后天气可预测性的一个主要因素是大气的基本动力特性。在二十世纪六十年代，气象学家Edward Lorenz发现初始状态的细微差别能

(接下页)



FAQ 1.2,图1, 气候系统各组成部分、其过程和相互影响的示意图。



使最终的预报结果出现很大差异这就是所谓的蝴蝶效应；一只蝴蝶在某个地方扇动翅膀(或某个其它微小的现象)，在理论上，可以随后改变远方异地的天气状况。这种效应的核心是混沌理论，即研究某些变量的微小变化如何使复杂系统呈现显而易见的随机结果。

然而，混沌理论并不意味着完全无序。例如，风暴系统发展过程中的各种条件如果出现细微的差别，也许会改变风暴系统到达的日期或者它的确切路径，但是那个区域和那段时间的平均温度和降水(也即气候)仍将保持不变。因为天气预报面对的一个重要问题是如何获知预报期初始的全部状况，所以气候可以被看作是与天气的背景状况有关的。更确切的说，气候可以被视为是与整个地球系统的状态有关的，包括大气、陆地、海洋、雪、冰、和生物(见图1)，它们共同形成全球背景状况，决定着天气的状态。例如，影响秘鲁沿海地区天气的厄尔尼诺。厄尔尼诺确定了无序效应所产生的天气状态发展变化的限度范围。而拉尼娜确定的是另一种不同的限度范围。

又例如，人们熟悉的夏季和冬季之间的鲜明对比。季节的更替是由于地球系统吸收和辐射的能量

在地理分根据地球系统热能的基本变化来确定的，特别是使热量滞留在地表附近的温室气体效应不断增强，这是由大气中二氧化碳和其它温室气体的量决定的。与预报未来数周的天气状况相比，预估未来50年由于温室气体的变化而造成的气候变化是非常不同的问题而且解决起来要容易得多。换句话说，预测由于大气成分的变化而发生的长期变异比预测单独的天气事件要容易得多。举个例子，我们无法预测投掷一枚硬币或一粒骰子的结果，但是我们能够预测多次投掷的统计结果。

虽然有许多要素不断影响着气候，科学家已经确定人类活动已成为一个主要的作用力，而且是过去50年里观测到的大部分变暖的成因。人为引起的气候变化主要是由于大气中温室气体含量的变化造成的，此外大气中微粒(气溶胶)的变化，以及土地使用的变化等也是气候变化的原因。随着气候发生变化，某些类型的天气事件的概率受到影响。例如，随着地球平均温度升高，一些天气现象的发生频率和强度也在增加(如热浪和强降雨)，而另外一些天气事件的发生频率和强度在减少(如极端寒冷的天气事件)。

## 常问的问题1.3

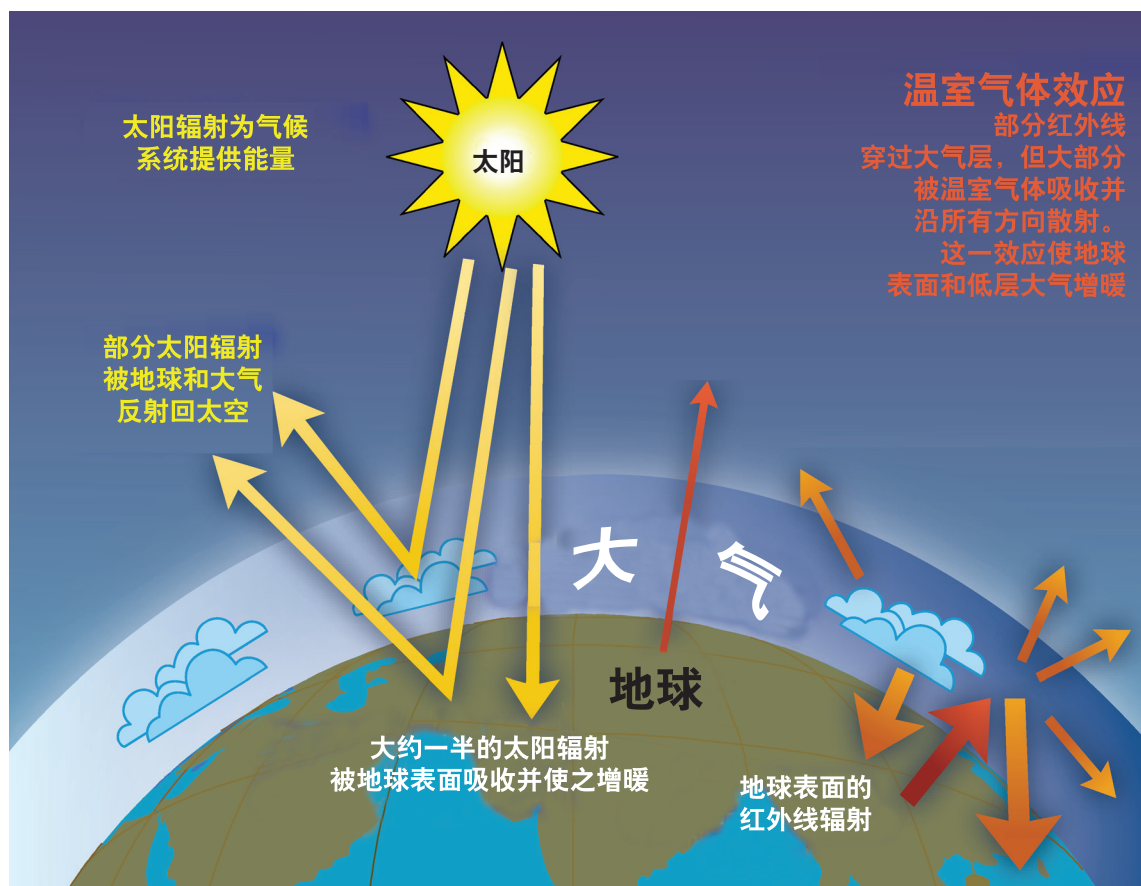
## 什么是温室效应？

太阳为地球的气候提供动力，它以甚短波的形式辐射能量，主要是可见光或近可见光(如紫外线)。到达地球大气层顶的太阳能中大约有一被直接反射回太空。余下的三分之二主要被地球表面，其次被大气吸收。为了平衡被吸收的入射能量，地球本身也必须向太空辐射出平均起来等量的能量。因为地球比太阳的温度要低得多，它辐射的波长要长得多，主要是红外光(见图1)。陆地和海洋释放的热辐射中有很多被大气，包括云吸收了，然后又被辐射回地球。这就是所谓的温室效应。温室中的玻璃墙减少了空气流动，提高了温室内的气温。与之类似，地球的温室效应使地球表面的温度升高，但是其物理过程不同。如果没有自然的温室效应，地球表面的平均温度会降到水的冰点以下。因此，没有地球的自然温室效应，就不可能有我们现在的生活。但是，人类的活动，主要是燃烧化石燃料和毁林，大大地加强了自然温室效应，引起全

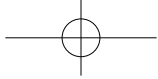
球变暖。

大气中含量最高的气体是氮气(干燥大气中的含量为78%)和氧气(含量为21%)，它们没有温室效应。温室效应来自于那些更加复杂而且不太常见的分子。水汽是最重要的温室气体，其次是二氧化碳(CO<sub>2</sub>)。甲烷、氧化亚氮、臭氧和少量存在于大气中的若干其它气体也具有温室效应。在潮湿的赤道地区，空气中的水汽含量非常高，以致于温室效应已经很强，因此增加少量的CO<sub>2</sub>或水汽对射向地表的红外辐射量只有很小的直接影响。但是在冷而干的极地地区，增加很少量的CO<sub>2</sub>或水汽会产生大得多的效应。但是在冷而干的极地地区，增加很少量的CO<sub>2</sub>或水汽会产生大得多的效应。同样，冷而干的大气上层中增加少量水汽所产生的影响比在近地表增加同量水汽的影响要大得多。

(接下页)



FAQ 1.3,图1, 自然温室气体效应的理想模式。详情见文中。



气候系统中的某些组成部分，特别是海洋和生物，影响着大气中温室气体的浓度水平。最重要的一个部分是植物吸收大气中的CO<sub>2</sub>，然后通过光合作用将其(和水)转化成碳水化合物。在工业化时代，人类活动增加了大气中的CO<sub>2</sub>含量，主要是通过燃烧化石燃料和毁林造成的。

向大气中增添更多的CO<sub>2</sub>会增强温室效应，从而使地球气候变暖。变暖的量取决于各种反馈机制。例如，由于温室气体浓度水平增高，大气变暖，大气中的水汽含量也随之增加，进而又增强了温室效应。这反过来又引起了进一步的变暖，而水汽含量又接着增加，这是一种不断自我强化的循环。水汽反馈的效应非常强，由它所引起的温室效应增强的量是增加CO<sub>2</sub>所引起的温室效应增强量的

两倍。

其它重要的反馈机制包括云。云能有效地吸收红外辐射，因此产生较大的温室效应，从而使地球增温。云也能有效地反射入射的太阳辐射，从而使地球降温。云的几乎任何方面的改变，诸如云的类型、位置、水含量、云高度、微粒大小和形状、云的存续时间等等都会影响云对地球的增温或降温效应的程度。有些变化放大了增温效应，而其它变化减弱了增温效应。目前正在开展很多研究，以便更好地认识云如何随着气候变暖而发生变化，以及这些变化又如何通过各种反馈机制来影响气候。

## 常问的问题2.1

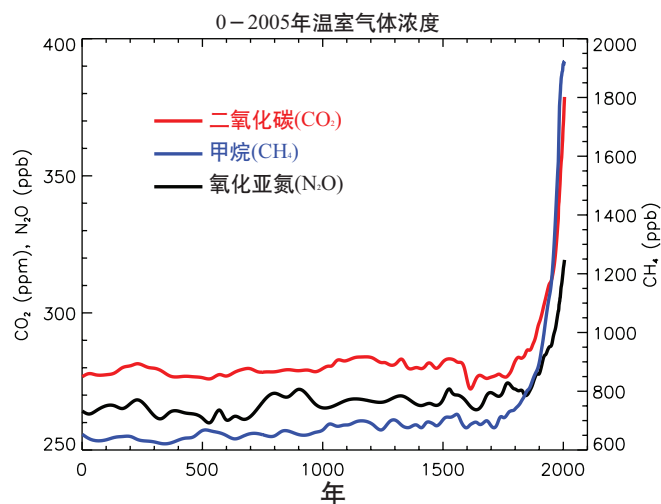
## 人类活动如何引起气候变化及其与自然影响相比如何？

人类活动通过改变大气中温室气体、气溶胶(微小颗粒物)和云的量对气候变化做出贡献。最大的贡献源是燃烧化石燃料，向大气中释放二氧化碳气体。温室气体和气溶胶影响气候的途径是改变入射的太阳辐射量和向外的红外(热)辐射量，它们都是地球能量平衡的一部份。改变这些气体和微粒在大气中的含量或特性能够导致气候系统的增温或冷却。自从工业化时代(大约1750年)开始以来，人类活动对气候的总体影响是变暖的。在这个时代，人类对气候的影响超过了太阳活动、火山爆发等自然过程的变化带来的影响。

## 温室气体

人类活动导致了四种主要气体的排放：二氧化碳(CO<sub>2</sub>)，甲烷(CH<sub>4</sub>)，氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)和卤烃(一组含氟、氯和溴的气体)。这些气体集聚在大气中，导致浓度随着时间而增长。在工业化时代，所有这些气体都在大气中有重大增长(见图1)。所有这些增长都归咎于人类活动。

- 二氧化碳的增长是交通、建筑物取暖和制冷、生产水泥和其它产品使用化石燃料的结果。毁林释放出CO<sub>2</sub>，并减少了植物吸收的CO<sub>2</sub>量。二氧化碳也会通过一些自然过程释放，如植物腐烂。
- 甲烷的增长是与农业、天然气输配和垃圾填埋有关的人类活动造成的。自然过程也释放甲烷，例如发生在湿地的自然过程。目前，大气中甲烷浓度不处于增长状态，因为在过去的二十年里增长率下降了。
- 氧化亚氮也是人类活动排放的，例如使用肥料和燃烧化石燃料。土壤和海洋里的自然过程也释放N<sub>2</sub>O。
- 卤烃气体浓度的增长主要是人类活动的结果。自然过程也是一个小的排放源。主要的卤烃气体包括氯氟烃(如CFC-11和CFC-12)，在人们发现它进入大气后会破坏平流层臭氧前，它已被广泛地用作制冷剂和用于其它工业过程。由于旨在保护臭氧层的国际规则的实施，氯氟烃气体的浓度正在下降。
- 臭氧是一种温室气体，它在大气中经由化学反应不断产生又不断被破坏。人类活动增加了对流层



FAQ 2.1图1. 过去的2000年里，重要的长寿命温室气体在大气中的浓度。自1750年以来的增长归咎于工业化时代的人类活动。浓度单位是百万分率(ppm)或是十亿分率，分别表示在大气采样的每一百万个或每十亿个空气分子中所含的温室气体分子数目。(对本报告第6和2章中的数据作了综合和简化。)

中的臭氧含量，因为活动排放出一氧化碳、碳氢化合物和氧化亚氮经过化学反应产生出臭氧。如上所述，人类活动释放的卤烃破坏平流层中的臭氧，在南极上空造成了臭氧空洞。

- 水汽是大气中含量最高和最重要的温室气体。但是，人类活动对大气中水汽含量的直接影响是很小的。但是，通过改变气候，人类能对水汽含量造成很大的非直接影响。例如，大气温度越高，它能容纳的水汽就越多。人类活动排放出的甲烷也影响水汽含量，因为甲烷在平流层通过化学过程被破坏后会产生少量的水汽。
- 气溶胶是存在于大气中的小微粒，有各种大小、浓度和化学成分。有些气溶胶是直接排放到大气中的，有些是通过排放的其它化合物反应形成的。气溶胶包括自然形成的化合物和人类活动排放形成的化合物。化石燃料和生物质燃烧增加了含硫化合物、有机化合物、和黑碳(煤烟)。露天采矿和工业过程之类的人类活动增加了大气中的尘埃。自然气溶胶包括地表释放的矿物粉尘、海盐气溶胶、陆地和海洋的生物排放、以及火山爆发产生的硫酸盐和粉尘气溶胶。

(接下页)



## 受人类活动影响的因子的辐射强迫

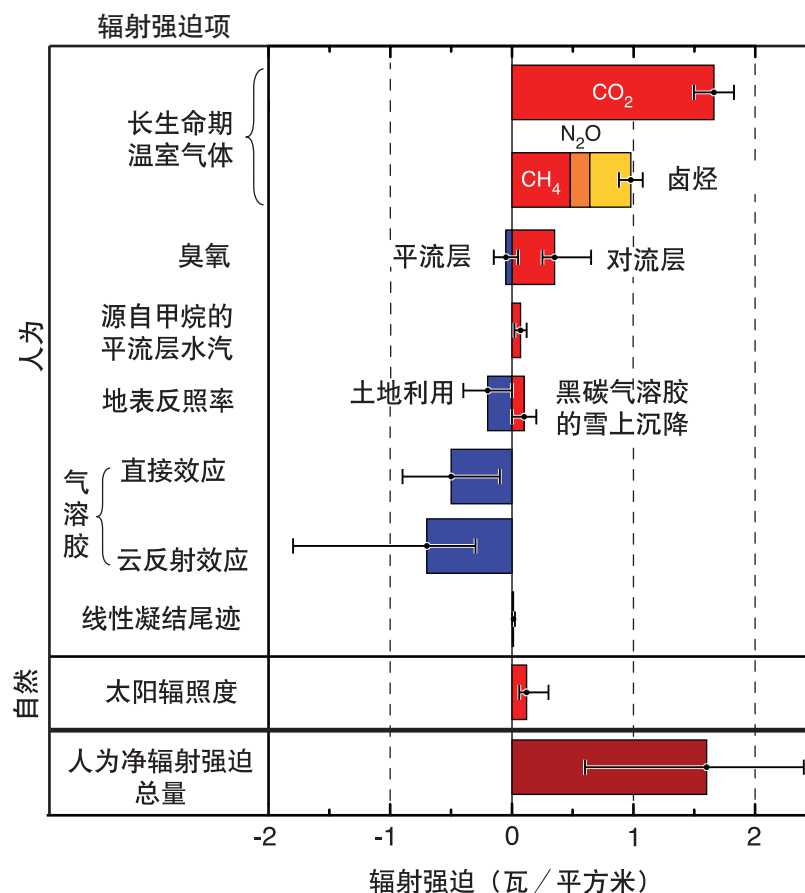
图2显示了受人类活动影响的一些因子所贡献的辐射强迫。这些数值反映了与工业化时代初(大约在1750年)相比较的总强迫。图中列出的温室气体都是我们最了解的由人类活动产生的温室气体,它们增长所带来的强迫都是正数值,因为每种气体都吸收地球向大气的红外辐射。在这段时期中,二氧化碳的增长所造成的强迫是图中所有温室气体中最大的。对流层臭氧增加也是变暖的原因之一,而平流层臭氧减少造成了降温。

气溶胶微粒通过反射和吸收大气中的太阳辐射和红外辐射来直接影响辐射强迫。一些气溶胶造成正辐射强迫而其它气溶胶则造成负辐射强迫。各种气溶胶直接辐射强迫的总和是负值。气溶胶通过改变云的属性,也会造成负辐射强迫。

工业化时代以来的人类活动已经改变了全球土地覆盖的自然状态,主要是由于农田、草原和森林的改变。人类活动还改变了冰和雪的反射特性。总体而言,结果可能是由于人类活动,地球表面现在反射更多的太阳辐射。这种变化导致了负辐射强迫。

(接下页)

1750—2005年间的辐射强迫

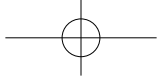


**FAQ 2.1.图2.** 气候变化辐射强迫的主要部分概述。所有这些辐射强迫都是影响气候变化的一个或多个因子造成的,它们与文中讨论的人类活动和自然过程相关联。图中的数值反映了2005年的强迫与工业化时代初(约1750年)的对比。人类活动使长寿命气体、臭氧、水汽、地表反照率、气溶胶和凝结尾迹发生了重大变化。1750年到2005年间,自然强迫的唯一重大增长是太阳辐射。正强迫导致气候变暖,负强迫导致冷却。每个彩柱上的细黑线表示每个数值的不确定性范围(本报告中的图2.20调整后得到本图)。

### FAQ2.1 什么是辐射强迫?

什么是辐射强迫?能够引起气候变化的因子,如温室气体,的影响常常用辐射强迫来计算。辐射强迫用来衡量当影响气候的因子发生改变时,地球-大气系统的能量平衡受到怎样的影响。之所以使用“辐射”一词是因为这些因子改变地球大气中入射的太阳辐射和向外的红外辐射。这种辐射平衡调节着地球的温度。“强迫”一词被用来表示地球的辐射平衡被迫偏离了它的正常状态。

辐射强迫常常用“在大气层顶测度的全球每单位面积的能量变化率”来表示,使用的单位是“瓦特每平方米”(见图2)。如果某个因子或一组因子的辐射强迫估算为正值,地球-大气系统的能量平衡最终将增加,导致系统增温。反之,如果辐射强迫为负,能量将最终减少,导致系统降温。气候学家面临的重要挑战就是找出影响气候的所有因子、确定它们施加强迫的机制、量化每个因子的辐射强迫和估算该组因子最终的辐射强迫之和。



在具备适宜的低温和高湿的地区，飞机产生持久稳固的线状凝结尾迹(凝结尾)。凝结尾是卷云的一种，它能反射太阳辐射并吸收红外辐射。全球飞机营运产生的线状凝结尾迹增加了地球的云量，估计产生少量的正辐射强迫。

### 自然变化造成的辐射强迫

自然强迫是由于太阳活动变化和火山爆发造成的。在工业化时代，太阳辐射输出逐渐增加，造成了少量的正辐射强迫(见图2)。这种变化是在11年轮回一次的太阳辐射周期变化之外的。太阳能量直接加热气候系统，还能影响大气中某些温室气体的浓度，如平流层臭氧。火山爆发能造成短期(2-3年)的负强迫，这是因为大气中的硫酸盐气溶胶暂时增加

了。自从1991年发生的上一次大规模火山爆发(皮纳图博火山)以来，平流层中目前不存在火山气溶胶。

对比当今和工业化时代初，由于太阳辐射变化和火山活动造成的辐射强迫估值的变化都比人类活动造成的辐射强迫估值的变化小得多。因此，在今天的大气中，人类活动造成的辐射强迫相对于自然过程造成的辐射强迫估值而言，会对当今和未来的气候变化产生更重要的作用。

### 常问的问题3.1

## 地球的温度正在发生怎样的变化？

过去157年的仪器观测显示全球的表面温度都已升高，但区域之间有很大差异。就全球平均而言，在上个世纪的增温分两个阶段发生，1910年代到1940年代(0.35°C)，和增温更强的1970年代至今(0.55°C)。在过去的25年里，增温呈现加速，而且在过去的12年中有11个年份位列有记录以来最温暖的12个年份。在地表以上，自从1950年代末以来的全球观测显示对流层(地表往上直到10公里高处)的增温速度稍快于地表，而平流层(10-30公里的高空)自1979年以来显著降温。这与物理学上的推断和大多数模式结果是一致的。海洋温度上升、海平面升高、冰川融化、北极海冰减少和北半球积雪减少等现象也证实了全球变暖。

没有哪一支温度计能够测量全球温度。但是利用分布于全球陆地各区域的数千个站点的温度计获取的观测值与在全球海洋上航运的船舶采集的海表温度观测值，我们能估算出每个月的全球平均温度。为了获取随时间的连贯变化情况，实际上分析观测数据的重点是距平(每个站点的观测值与气候均值的差距)，因为距平的准确性不容易被数据到报率的变化影响。目前我们已经能够使用1850年至今的观测数据，不过在19世纪下半叶的观测远没有覆盖到全球，自1957年在南极开始观测后，数据覆盖面有了很大改善，而在1980年左右有了卫星观测后，数据覆盖是最好的。

在过去的一百年里(从1906至2005年;见图1)，地表温度的全球平均值增加了大约0.74°C。但是，增温情况随季节或地点的变化呈现不稳定和差别。从1850年到大约1915年，除了与自然变率相联系的温度起伏外，总体没有出现很大的温度变化，但这也或许部分是由于数据采集十分有限的结果。1910年代到1940年代出现了全球平均温度的上升(0.35°C)，随后稍微下降了一点(0.1°C)，这之后一直到2006年又出现了迅速升温(0.55°C)(见图1)。这其中，1998年和2005年是最暖的(这两年在统计上难分伯仲)，而在过去的12年中(1995-2006年)有11个年份位居12个最暖年之列。总体上，陆地比海洋增温多，特别是1970年代以来。从季节角度而言，冬季的增温要稍微多一点。城市和城市地区的增温更高(常被称为城市热岛效应)，但是仅局限在一定的空间范围内，而且通过尽量在全球温度数据中剔除受影响的站点以及通过增大误差范围，这种效应已被考虑(图中用灰色带表示)。

1901年以来，少数几个地区的平均温度下降了，最主要的是北大西洋北部靠近格陵兰的地区。而这段时期里，增温最强的是亚洲大陆腹地和北美洲北部。但是，上述地区具有很大的年际变率，因此最明显的增温信号还是出现在中纬度和低纬度的部分地区，尤其是热带海洋地区。在图1下方左边的图框显示了1979年以来的温度趋势，太平洋温度趋势的特点是与厄尔尼诺有关的增温地区和降温地区。

现在已经能够分析世界上许多区域(北美洲和南美洲南部的部分地区、非洲南部和澳大利亚)每日温度极值的长期变化。特别是，这些记录显示自1950年代以来非常寒冷的白昼和夜晚的数目在减少，而极热的白昼和温暖的夜晚的数目在增加(见常问的问题3.3)。在南、北半球的大多数中纬度和高纬度地区，无霜季节都变长了。在北半球，主要表现为春季提前到来。

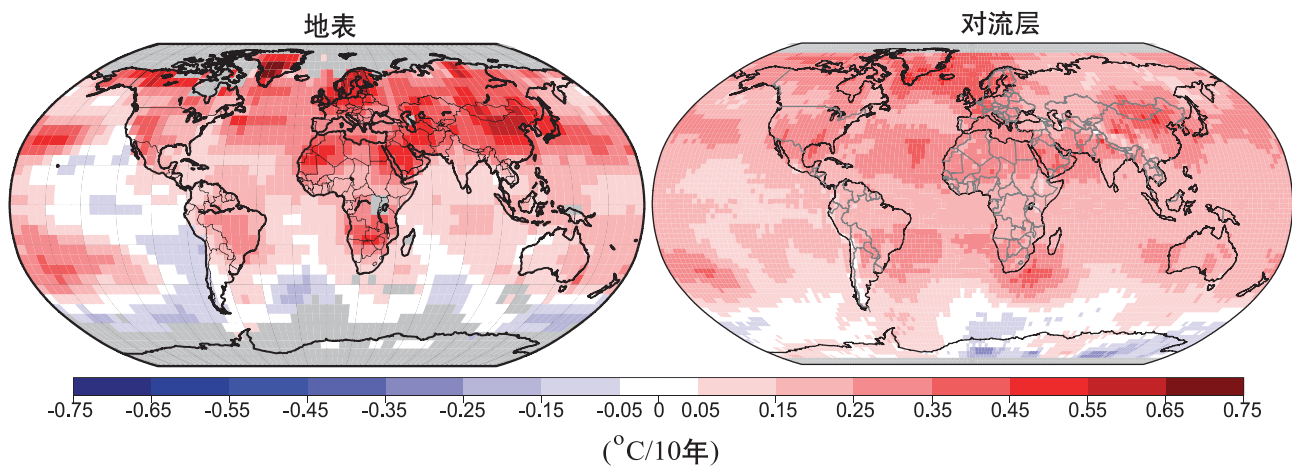
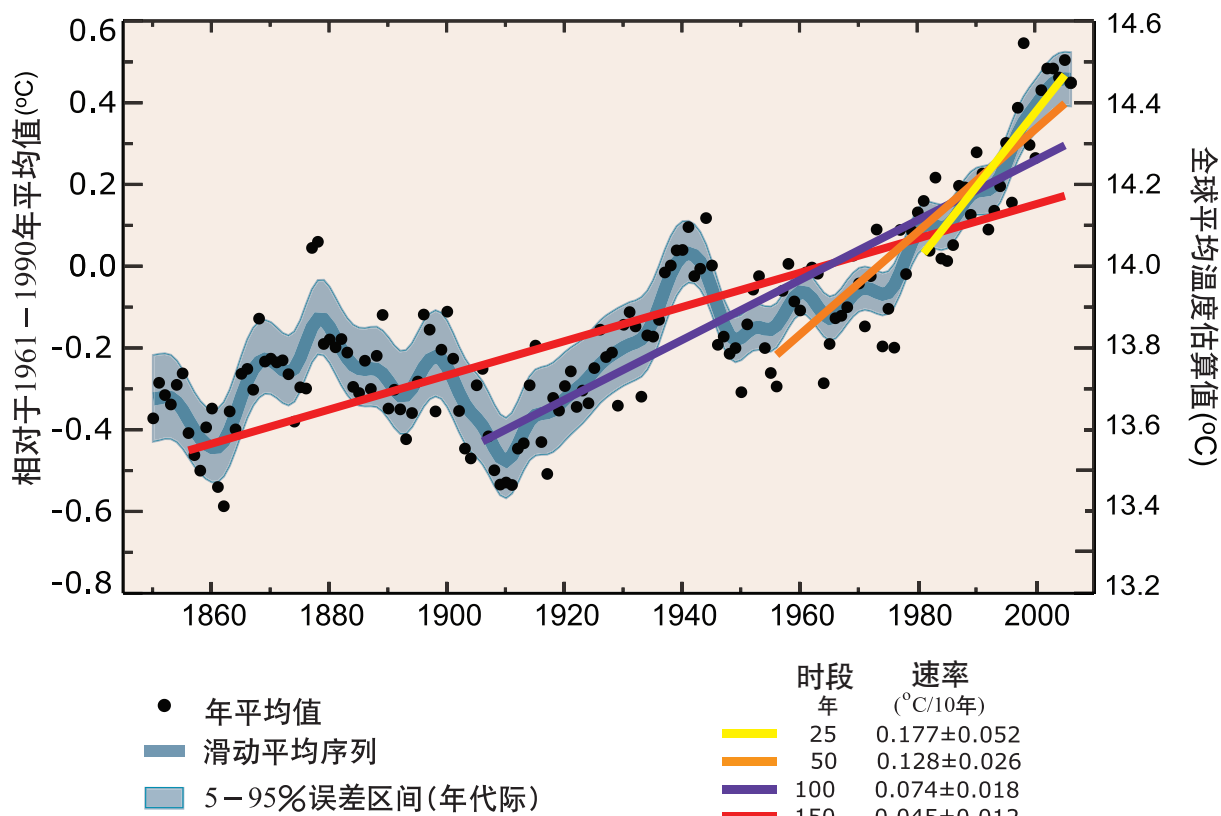
除了上述地球表面的数据外，从1958年以来，利用天气气球，对地表以上的温度也实现了较大范围的观测，而从1979年起又开始获得卫星观测数据。所有的数据都根据仪器和实际观测操作的不同做了必要调整。利用微波卫星数据，创建了关于厚厚的大气层的“卫星温度记录”，包括对流层(从地表向上约10公里)和对流层下层(大约10-30公里的高空)。尽管这些新的分析资料对不同卫星搭载的13种仪器做了交叉标定，并且对观测时间和卫星高度的变化进行了校正，温度趋势中仍存在不确定性。

就20世纪50年代末以来的全球观测来看，最近的数据集显示对流层增温速度稍快于地表，而1979年以来平流层显著降温。这与物理学上的推断和大多数模式结果一致，它们显示了温室气体浓度增加在对流层增温和平流层降温过程中起到的作用；臭氧减少也对平流层降温起了很大作用。

与观测到的地表温度增加一致的是，河流和湖泊冰期缩短了。此外，在20世纪，几乎全世界都出现了冰川质量和面积减少的现象；格陵兰冰盖融化的现象最近越来越明显；在北半球的许多地方，积雪减少了；在各个季节，北极海冰的厚度和面积都减少了，春季和夏季最为严重；海洋在变暖；由于海洋热膨胀和陆地冰的融化，海平面在上升。

(接下页)

## 全球平均温度



**FAQ 3.1,图1:** (上图): 观测到的全球年平均温度(黑点)以及与资料的简单拟合。左边的轴表示与1961-1990年平均值相比的偏差,右边的轴显示了估计的实际温度(°C)。该图表明了与过去25年(黄色)、50年(橙色)、100年(紫色)和150年(红色)的线性趋势拟合,这些时间分别对应于1981-2005、1956-2005、1906-2005和1856-2005年。请注意,最近的时间段越短,倾斜度就越大,这表明温度正在加速上升。蓝色曲线是平滑后的表述,记录了年代际的变化。为得到这些波动的意义,对该线给出了每10年5%-95%(浅灰色)的误差区间(这样每年的值都会超过这些极限值)。利用估算的20世纪辐射强迫驱动的气候模式算出的结果(第9章)表明在约1915年之前几乎没有什么变化,大部分20世纪初的变化可归因于自然界发生的影响,如太阳辐射变化、火山爆发和自然变率。从约1940-1970年期间,快速的工业化以及随后的二战增加了北半球的污染,造成了降温。而在20世纪70年代中期之后二氧化碳和其它温室气体的增加主导了观测到的升温。(下图)利用卫星记录估算的1970-2005年线性全球温度趋势图,左边是地表温度趋势图,右边是地表到约10公里高度的对流层温度趋势图。灰色区域表示资料不完整。请注意当地表温度变化时如果对流层卫星记录中存在空间上比较一致的变暖,那么这种变暖与陆地和海洋的关系就更明显。

<sup>1</sup> 摘自HadCRUT3数据集



## 常问的问题 3.2

### 降水正在发生怎样的变化?

观测显示,降水量、强度、频率和类型正在发生变化。降水的这些方面普遍展示大的自然变率,厄尔尼诺以及大气环流形势的变化(如北大西洋涛动)也具有实质性影响。在降水量方面一些地方已观测到1900-2005年期间明显的长期趋势:北美和南美的东部、北欧以及北亚和中亚明显多雨,但在萨赫勒、南部非洲、地中海和中亚则少雨。在北部区域降水偏多,但降水形式是雨而不是雪。已观测到普遍的强降水事件的增多,甚至在总降水量减少的地区也是如此。这些变化与全球海洋变暖引起的大气中水汽增加有关,尤其是在低纬度地区。在某些区域发生的旱灾和洪涝均有所增加。

降水是降雨、降雪和从云中降落的其它形式的冻结的或液态的水的总称。降水是间歇性的,降水在发生时的特征在很大程度上取决于温度和天气条件。后者决定了通过风和表面蒸发供应的水汽以及它如何在风暴中聚集在一起,如云。随着水汽的凝结就形成降水,这种凝结通常发生在空气上升而引起空气膨胀并使气温下降时。向上的运动产生于空气爬越山脉、暖气团在较冷气团的上方(暖锋)、冷气团在较暖的气团下面推动(冷锋)、地表局部加热形成的对流以及其它的天气和云系。因此,这些因素中任何一个的变化都会改变降水。由于降水图中的降水地点往往是零散的,因此我们用帕尔默干旱强度指数来表示降水的总体趋势(见图1),该指数利用降水和对蒸发变化的粗略估算来衡量土壤的湿度。

如果地表有充足的水汽(因为水汽总是存在于海洋及其它潮湿表面的上空),那么因人类活动引起的温室效应增强而造成的升温的后果则是加大了蒸发量。因此,地表水汽有效地扮演了“空调”的角色,因为蒸发所用的热量使空气变得更湿润而不是使气温升高。观测到的这种现象的后果是夏季通常要么温暖和干燥,要么凉爽和潮湿。北美和南美东部的地区多雨(图1),因此气温比其它地区上升幅度低(见常见问题3.3,图1:暖日的变化)。但是,在冬季的北半球大陆,更多的降水与偏高的温度相关,因为在较暖的条件下大气的持水能力会增加。然而,在降水通常有所增加的区域,气温升高(常见问题3.1)更加干燥,这使降水变化在图1中变得不太明显。

由于气候变化,一些直接影响改变了降水量、强度、频率和类型。变暖使地表变干加速,增加了干旱发生的可能性和强度,这在世界很多地方都已观

测到(图1)。然而,一个既定的物理规律(克劳修斯-克拉柏龙关系式)决定了气温每上升1℃大气持水量可增加约7%。对相对湿度趋势的观测尚无定论,但表明从地表到整个对流层相对湿度保持大致相同,因此气温的上升将使水汽增加。在20世纪,基于海洋表面温度的变化可以估算出海洋上空的大气中的水汽约增加了5%。由于降水主要来自于靠存贮在大气中的水汽为来源的天气系统,这就普遍增加了降水的强度以及暴雨和暴雪事件的风险。基本理论、气候模式模拟结果以及主观证据都证实由于水汽增加造成的偏暖的气候导致了更多的强降水事件,甚至在总年降水量略有减少的情况下也是如此,而且预计在总降水量增加时甚至会发生更强的降水事件。因此,偏暖的气候增加了干旱的风险(无雨的地方)和洪水的风险(下雨的地方),但会发生在不同的时间和/或地点。例如,2002年夏天欧洲普遍发生洪涝,但随后一年即2003年发生了破纪录的热浪和干旱。洪水和干旱的分布和时间在很大程度上受到厄尔尼诺事件周期的影响,特别是在热带和中纬度环太平洋的多数国家。

在气溶胶污染遮盖地表使其免受阳光直接照射的地区,蒸发的下降减少了供给大气的总体水汽。因此,即使由于水汽量增加会产生更强降水的可能性,但降水的持续时间会缩短,降水的频率会减少,因为大气中的水汽需要较长时间补充。

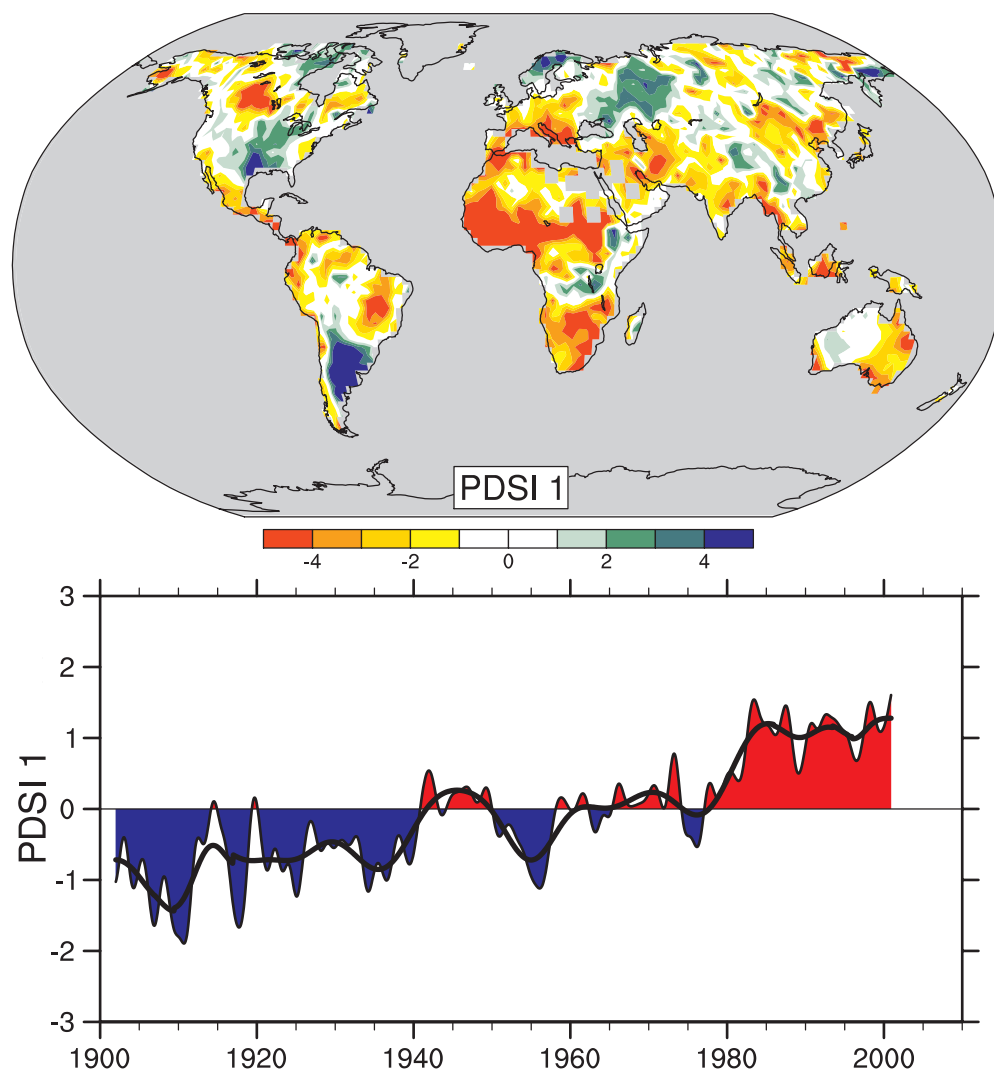
降水特征局地 and 区域的变化也在很大程度上取决于大气环流形势,而这些大气环流形势则取决于厄尔尼诺、北大西洋涛动(NAO;用来衡量北大西洋冬季西风带的强度)以及其它形式的变率。其中一些观测到的环流变化与气候变化相关。一个相关的风暴路径的改变使一些地区多雨,而使另一些地区(经常在附近)少雨,这就造成复杂的变化形式。例如,在欧洲,20世纪90年代的一次活跃的NAO使北欧雨水增多,而地中海和北非地区的天气条件变得干燥(图1)。从20世纪60年代末到80年代末在萨赫勒地区发生了持续干旱(见图1)目前仍在持续,但没有以前那样强。通过大气环流的变化,这次旱情已与太平洋、印度洋和大西洋洋盆的热带海洋表面温度形势相关。非洲大部分地区普遍发生干旱,在热带和亚热带地区更为普遍。

由于气温上升,以降雨而不是降雪形式发生降水的可能性增加,尤其是在雪季开始的秋季和雪季结

(接下页)

束的春季，以及在气温接近结冰的地区。在许多地方观测到这种变化，尤其是在北半球中高纬度的陆地上，这些变化导致降雨增加，但积雪减少，并因此减少了夏季的水资源，而这时却最需要水。然而，降水通常是零星和间歇性的，这意味着观测到的变化形势很复杂。长期记录强调降水形势每年不尽相同，长达多年的持续干旱通常会在某个年份发生暴雨，例如能感受到厄尔尼诺现象的影响。美国西南部地区2004-2005年冬季潮湿，而随后发生了6年的

干旱而且积雪低于常年平均值，这或许是一个例子。



**FAQ 3.2.图1:** 1990-2002年月平均帕尔默干旱强度指数(PDSI)最重要的空间分布形势(上图)。PDSI是一种表示干旱的主要指数，它通过把以前的降水量和大气中水汽估值(基于气温)代入一个水分统计系统，衡量地表水汽的累计亏值。下图表示这种空间分布形势的符号和强度从1990年以来发生的变化。当下图中显示的值为正(负)时，红色和橙色区域表示相对平均值少雨(多雨)，蓝色和绿色区域表示比平均值雨水偏多(偏少)。平滑的黑色曲线表示十年的变化。时间序列基本上对应一种趋势，这种降水分布形势及其变化占全球陆地地区1990-2002年间PDSI线性趋势的67%。因此它显示了非洲干旱普遍增多，如：尤其是在萨赫勒地区。还请注意雨水偏多的地区，尤其是北美和南美东部以及欧亚大陆的北部。根据Dai等整理(2004b)。

### 常问的问题3.3

## 热浪、干旱、洪水和飓风等极端事件是否发生了变化?

1950年以来,热浪数量增加,热夜的数量也普遍增多。由于陆地降水有所减少,同时由于偏暖的条件造成蒸发增加,因此受干旱影响的区域也有所扩大。总之,导致洪水的日强降水事件的数量增加了,但不是所有地方都如此。热带风暴和飓风的频率每年相差很大,但有证据表明,自20世纪70年代以来它们的强度和时间长度显著增加。在温带,风暴路径和强度的变化反映了大气环流的主要特征,如北大西洋涛动。

在世界的几个区域已发现了各种类型极端气候事件出现变化的迹象。指时间超过1%、5%和10%(一种极端)或超过90%、95%和99%(另一种极端)的值被视为极端事件。热夜或热昼(在后面讨论)是指超过90个百分点温度的昼夜,而冷夜或冷昼则是指低于10个百分点的昼夜。强降水的定义是每天的降水量大于95个百分点(或“特大降水”,99个百分点)。

在过去50年的陆地采样区,每年发生冷夜的天数显著减少,而每年发生热夜的天数却大幅增加(图1)。虽然冷夜发生的减少和热天的增多很普遍,但总体上不太明显。最低和最高气温的分布不但转向更高的值,与整体变暖一致,而且过去50年极端寒冷值的升温幅度要大于极端高温的升温幅度(见图1)。更多的极端高温意味着热浪发生的频率增加。更多的迹象包括观测到霜冻天数趋少以及伴随的绝大多数中纬度地区平均气温升高。

极端事件变化的一个主要迹象是观测到过去50年中纬度地区强降水事件增多,甚至在平均总降水量没有增加的地方(另请参阅常问的问题3.2)。关于特大降水事件,也报告有日益增多的趋势,但可提供结果的地区不多。

干旱由于持续时间长,因此比较容易衡量。虽然有许多种干旱指标和标准,但许多研究都采用月总降水量和温度平均值,并将它们综合成一种被称为帕尔默干旱强度指数(PDSI)的衡量方法。从20世纪中期开始计算的PDSI显示,许多北半球陆地区域从20世纪50年代中期以来存在很大的少雨趋势,欧亚大陆南部的多数区域、非洲北部、加拿大和阿拉斯加都普遍少雨(常问的问题3.2,图1),

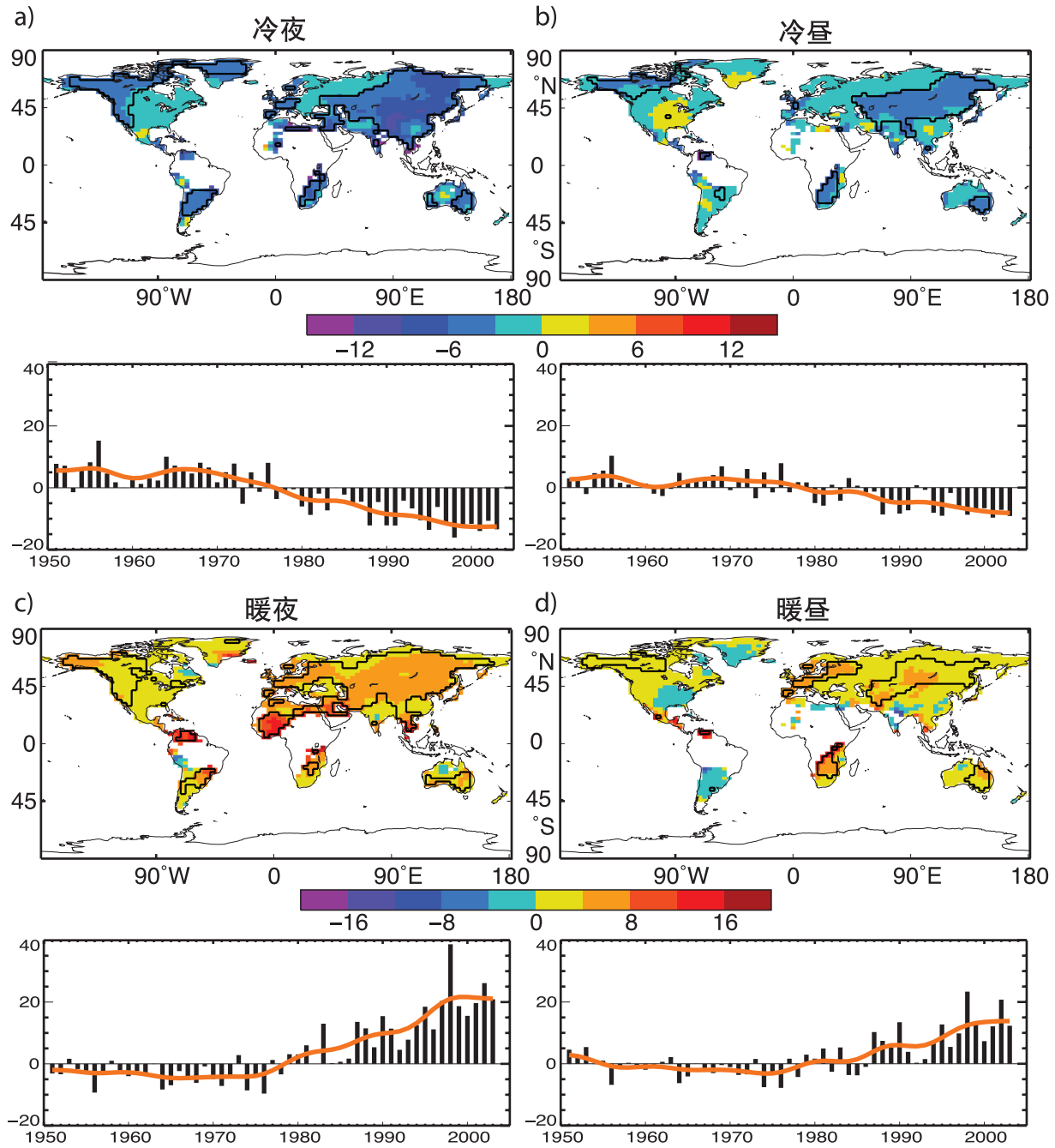
而北美和南美东部则呈现相反的趋势。在南半球,陆地表面在20世纪70年代潮湿,在60年代和90年代相对少雨,从1974年至1998年存在少雨的趋势。欧洲在整个20世纪较长时间的记录没有显示出显著的趋势。虽然过去20-30年大幅地表变暖也有可能造成少雨,但20世纪50年代以来陆地降水的减少有可能是少雨的原因。有一项研究表明,全球非常干旱的陆地地区(定义为PDSI低于-3.0的地区)自20世纪70年代以来其面积翻了一翻之多,同时,厄尔尼诺-南方涛动造成一开始的降水减少,而随后主要由于地表变暖而造成降水增多。

大的自然变率遮盖了热带风暴和飓风的频率和强度的变化。厄尔尼诺-南方涛动极大地影响了全球热带风暴的位置和活动。从全球着眼,对飓风潜在破坏程度的估测表明自20世纪70年代中期以来呈大幅上升趋势,风暴持续时间趋长,强度偏高。这种活动与热带海表温度密切相关。20世纪70年代以来全球强飓风的个数和比例大幅增加再次证实了这种关系,尽管气旋总数和气旋天数在多数海域略有减少。具体而言,20世纪70年代以来4类和5类飓风的个数约增加了75%。最大增幅在北太平洋、印度洋和西南太平洋。但是,北大西洋飓风的个数在过去11年中有9年高于常值,并终于在2005年创下破纪录的季节。

基于在地面和高空对流层的多种测量,风暴在20世纪后半叶呈向两极转移的趋势并且北半球冬季风暴路径活动增多。这些变化是与北大西洋涛动的相关的变化的一部分。从1979年至20世纪90年代中期的观测显示,每年十二月至翌年二月,整个对流层和平流层下部的极地西风带大气环流呈增强的趋势,同时急流向两极转移,风暴路径活动增多。观测到的小尺度灾害性天气现象(如龙卷风、冰雹和雷暴等)变化的证据绝大多数是局地性的,比较分散,难以得出普遍性结论;许多地区这些现象的增多主要因为公众的意识得到提高,而且收集这些现象报告的工作得到改进。

(接下页)





**FAQ 3.3, 图1:** 观测到的1951-2003年极端温度出现频率的趋势, 按1961-1990年时段的价值确定。低10个百分点的图: (a)冷夜和 (b)冷昼; 高90个百分点的图: (c)热夜和 (d)热昼。只计算格点区的趋势, 每个格点区在此时段至少有40年的资料且资料时间至少到1999年。在黑色封闭线包括的区域中, 趋势显著性达到5%。在每幅图的下方是全球年时间序列距平(1961-1990年)。红线表示年代际变化。所有全球指数都显示出5%的显著性。根据Alexander 等整理。(2006)。



## 常问的问题4.1

## 地球上的冰雪量是否正在减少？

是的。观测表明，全球尺度的冰雪量正在减少，特别是自1980年以来，而且过去十年在加速减少。当然在有些地方还有所增加，其它一些地方变化不大（图1）。大多数高山冰川面积愈来愈小。春季积雪提前退缩。北极的海冰在各个季节都在退缩，夏季尤为显著。有报告称常年冻土层、季节性冻土和河湖冰在减少。格陵兰和南极西部冰盖的一些重要沿海地区以及南极半岛的冰川正在变薄，造成海平面上升。冰川、冰帽和冰盖融化对海平面上升的总贡献估计在1993-2003年期间每年上升了 $1.2 \pm 0.4$ 毫米。

连续的卫星测量捕获到地球上大部分季节性陆地积雪，并表明自1996年以来北半球春季积雪面积每十年约减少了2%。但秋季或初冬没有多大变化。在许多地方，尽管降水增加但春季仍发生积雪减少的情况。

卫星资料尚无法对河湖的结冰情况或是季节性或常年冻土层进行类似可靠的测量。然而目前已有许多局地 and 区域的报告发表，总体上似乎揭示了常年冻土层变暖，夏季解冻的常年冻土层厚度增加，冬季季节性冻土层的厚度减少，常年冻土层的范围缩小，季节性河冰和湖冰的结冻期缩短。

1978年以来，卫星资料对两个极区的海冰范围进行了连续观测。在北极地区，海冰的年平均面积每十年减少 $2.7 \pm 0.6\%$ ，而夏季的面积每十年减少 $7.4 \pm 2.4\%$ 。南极海冰面积没有明显的趋势。目前可以获得厚度资料，尤其是从潜艇获得资料，但仅限于北极中部，这些资料表明1958-1977年和1990年海冰厚度约减少了40%。但是，这可能对整个北极地区海冰变薄估计过高。

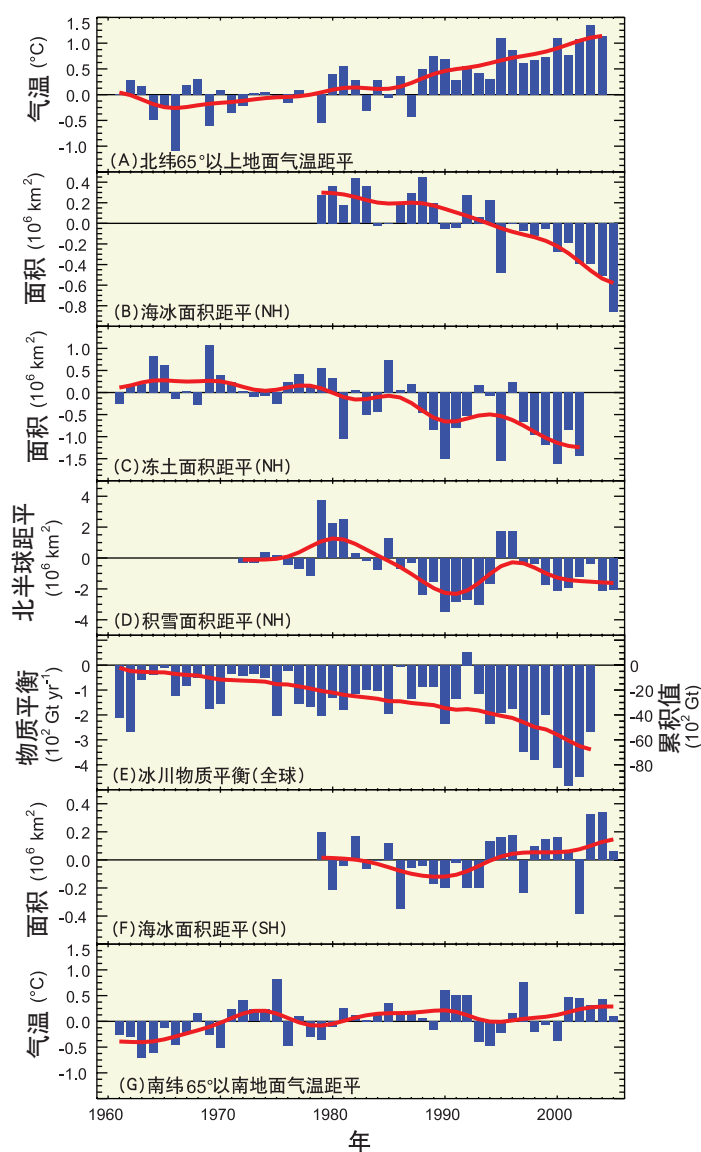
绝大多数山地冰川和冰帽一直不断退缩，退缩可能始于1850年前后。虽然许多北半球冰川在1970年左右有几年收支基本平衡，但之后退缩加快。冰川和冰帽融化使得在1991-2004年间海平面每年上升了 $0.77 \pm 0.22$ 毫米。

两者加在一起，格陵兰冰盖和南极冰盖很有可能正在退缩，1993-2003年期间，格林兰的贡献是每年使海平面约上升 $0.2 \pm 0.1$ 毫米，南极使海平面约上升 $0.2 \pm 0.35$ 毫米。有证据表明2005年加速融化。格陵兰和南极东部高纬度严寒地区的冰盖加厚有可能是因为降雪增多，高纬度冰盖的增厚远远不足以

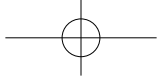
抵消格陵兰和南极西部沿海地区因冰溢出增加和格林兰表层融化而变薄的程度。

冰通过复杂的方式与周围的气候相互作用，因

(接下页)



FAQ 4.1, 图1: 极地表面气温(A、G)、北极和南极海冰面积(B、F)、北半球冻土面积(C)、北半球积雪面积(D)和全球冰川物质平衡(E)按时间序列距平(与长期平均值的差)。图E中的红色实线表示累计的全球冰川物质平衡; 其它图中的红色实线表示年代际变化(见附件3.A)。



此具体变化的原因尚不完全清晰。虽然如此，不可避免的事实是，在局地温度高于冰点温度时冰会融化。

尽管在许多情况下降雪增多，但积雪和山地冰川仍在退缩，这也就意味着气温在升高。同样，虽然积雪的变化影响冻土层和河湖冰，这似乎并不足

以解释观测到的变化，也就意味着局地气温的升高很重要。已观测到的北极海冰减少可在历史环流和温度变化驱动的模式中较好地模拟出来。在一些寒冷的中部区域观测到冰盖上的降雪增加，沿海地区表面的融化和靠近许多沿海地区的次冰架的融化都与变暖相一致。这些冰雪变化在地理上的广泛性表明普遍变暖是导致地球总冰量损失的原因。

---

## 常问的问题5.1

## 海平面在上升吗？

是的，有确凿的证据表明全球海平面在20世纪逐渐升高，在公元初和公元1900年期间变化很小之后，目前正在以更快的速度上升。预计本世纪海平面将以更快的速度上升。导致全球海平面上升的两个主要原因是海洋热膨胀（水变暖导致发生膨胀）和由于融化导致的陆地冰的损失。

全球海平面在数千年中大约上升了120米（大约在21,000年前），并在3000年前和2000年前之间的时期稳定下来。海平面指标显示，从那时起到19世纪晚期全球海平面变化并不非常明显。对现代海平面变化的仪器记录显示海平面上升始于19世纪。对20世纪的估算显示，全球平均海平面是以每年1.7毫米的速度上升。

从90年代初以来可获得的卫星观测资料提供了几乎全球范围的更准确的海平面高度数据。这种长达十年的卫星测高资料集显示，1993年以来海平面一直在以每年3毫米的速度不断上升，大大高于前半世纪的平均值。沿海潮汐测量站的测量结果证实了这个观测结论，并指出在前几十年中也有类似的上升速度。

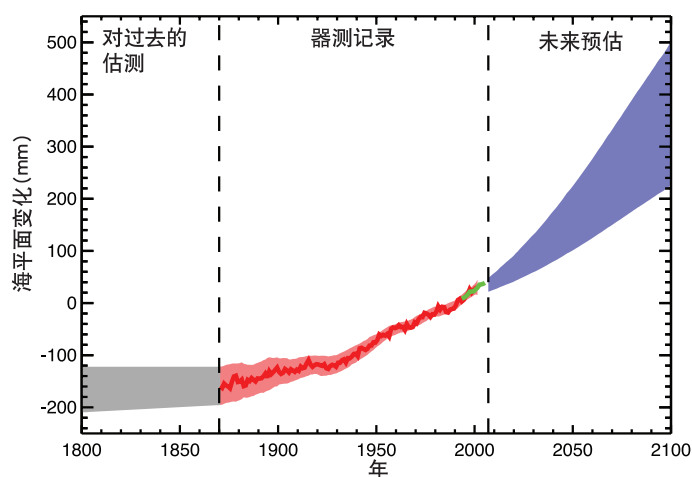
与气候模式的结论相同，卫星资料和水位图观测结果显示，世界各地的海平面上升并不均匀。在有些地区，上升的速度比全球平均上升速度快几倍，而其它一些地区的海平面正在下降。海平面变化速度的这种大的空间变化也可以从水位观测中推导出来。海平面上升速度的空间变化主要是由于不均匀的温度和盐度变化并与海洋环流的变化有关。

最近几年获得的近乎全球的海洋温度资料集能够直接计算热膨胀。人们相信，平均而言，在1961-2003年这段期间里，由于观测系统变得更好，热膨胀和陆冰融化大约各占观测到的海平面上升的一半，当然在估算中尚存在一些不确定因素。

最近几年在观测到的海平面上升速度与热膨胀及陆冰损失的合计之间取得了合理的一致，这也表明了陆地蓄水量变化幅度的上限，而人们对此仍相对知之甚少。模式结果表明，由于气候变化的驱动，在陆地蓄水量方面没有任何净趋势，但存在年际和十年的大波动。然而，在最近的1993-2003年中，在观测到的海平面上升和已知贡献的总和之间的小差异可能是由于未量化的人类引起的过程（例如：抽取地下水、水库蓄水、湿地排水和毁林）。

预计21世纪全球海平面上升的速度要大于1961-2003年的速度。例如，根据《IPCC排放情景特别报告》（SRES）中关于到21世纪90年代中期的A1B情景，全球海平面将比1990年高0.22-0.44米，每年约上升4毫米。与过去一样，未来海平面的变化在地理上不会是均一的，在典型的模式预测中，区域的海平面变化幅度在平均值上下0.15米。预计热膨胀将在海平面上升中发挥一半以上作用，但陆冰随着本世纪时间的推移冰物质将会越来越快地损失。一个重要的不确定因素涉及冰盖溢流的冰是否会因为最近几年观测到的冰流加速而继续增加。这会增加海平面上升的量，但由于对相关的过程了解有限，没有把握以量化的方式预估其增加量。

图1显示了全球平均海平面过去的演变以及按SRES A1B情景对21世纪作出的预估。



FAQ 5.1,图1: 按时间序列的过去和对未来预估的全球海平面(根据1980-1999年平均值反演)。无法获取1870年以前时期的全球海平面测量值。灰色阴影区表示在估算的长期海平面变化速度方面存在不确定性(6.4.3节)。红线是利用验潮仪重建的全球平均海平面(5.5.2.1节)，红色阴影区是指相对于平滑曲线的变化范围。绿线表示从卫星测高仪观测到的全球平均海平面。蓝色阴影区表示SRES A1B情景相对于1980-1999年平均值的21世纪模式预估范围，并单独根据不同观测进行了计算。2100年之后的预估结果越来越多地依赖于排放情景(见第10章，讨论本报告按其它情景作出的海平面上升预估)。在未来几百年或几千年内，海平面可能会上升若干米(10.7.4节)。

## 常问的问题6.1

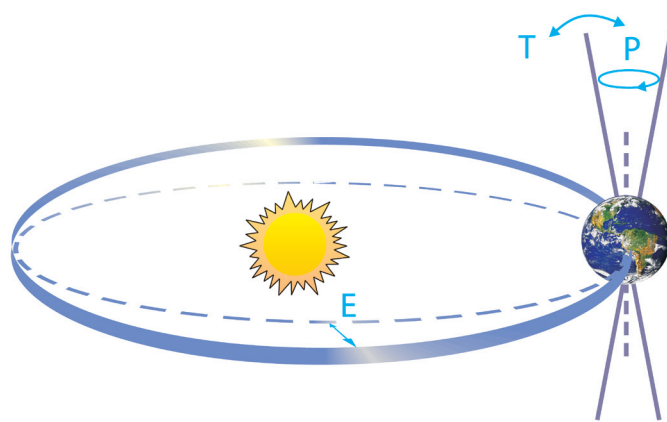
## 工业化时代之前出现冰期和发生其它重要气候变化的原因是什么？

地球的气候在所有时间尺度上都发生了变化，其中包括远在人类活动能够发挥作用之前。在认识这些气候变化的成因和机制方面取得了很大的进展。地球辐射平衡的变化是过去气候变化的主要驱动因子，但这些变化的原因各不相同。任何一种情况，无论是冰期、恐龙时代的暖期或是过去一千年中的波动，其具体原因都必须单独确定。在许多情况下，现在已经能够很有信心地确定其成因，利用各种量化模式可以重建许多过去的气候变化过程。

全球气候是由地球辐射平衡所决定的(见常问的问题1.1)。有三种基本途径可以改变地球的辐射平衡，从而导致气候变化：(1) 改变射入的太阳辐射(例如，地球轨道或太阳自身的变化)；(2) 改变太阳辐射的反射率(该反射率称之为反照率，它可以通过云层的变化、被称为气溶胶的颗粒物或陆地层等来改变)；(3) 改变辐射回空间的长波的能量(例如，通过改变二氧化碳的浓度)。此外，局地气候也取决于风和洋流如何分布热量。所有这些因素都在过去的气候变化中发挥了作用。

从冰期开始到过去近300万年的周期中，有充分的证据显示，这些变化与地球围绕太阳的轨道的周期变化有关，这些周期也即所谓的米兰科维奇周期(图1)。这些周期改变了每个纬度每个季节接收的太阳辐射(但几乎对全球年平均值没有影响)，我们可以以天文精度计算出这些周期。目前仍就冰期具体从何时开始和结束进行讨论，但有许多研究表明，北半球各大洲夏季日照至关重要：如果低于某个阈值，过去冬季的雪在夏季就不会融化，随着越来越多的雪积累下来，冰盖就开始增厚。气候模式的模拟结果证实冰期的确可以这样开始，同时还利用一些简单的概念模式在轨道变化的基础上成功地“后报”了过去冰期的开始。与前几个冰期的开始相类似，下一次北半球夏季日射的大幅减少将在30,000年后开始。

大气中的二氧化碳(CO<sub>2</sub>)虽然不是首要原因，但它在冰河期也起到重要的作用。南极冰芯资料显示，二氧化碳在寒冷的冰川时代浓度很低(~190 ppm)，在温暖的间冰期浓度要高(~280ppm)，大气CO<sub>2</sub>随着南极气温的变化而变化，滞后期约有几百年。由于从冰期开始到结束的气候变化持续数千年，这些变化多数是受到



FAQ 6.1, 图1。驱动冰期的周期(米兰科维奇周期)的地球轨道变化示意图。“T”表示地轴倾斜度的变化，“E”表示离心力的变化(由于椭圆轨道短轴的变化引起)，“P”代表岁差，即以轨道上某一特定轨道位置上，地轴倾斜方向的变化。出处：Rahmstorf 和 Schellnhuber (2006)。

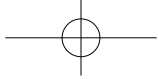
二氧化碳正反馈的影响；即：由于米兰科维奇周期最初引发的小幅冷却随着二氧化碳浓度下降而被放大。只有在考虑到二氧化碳作用的情况下，冰期气候的模拟(见第6.4.1节的讨论)才能产生令人满意的结果。

在上个冰期发生了20起突变的和剧烈的气候变迁，在北大西洋周边的记录中尤为突出(见6.4节)。这些变迁不同于冰川间冰期的周期，在此周期内没有大的全球平均温度变化：格陵兰和南极的变化不同步，在南大西洋和北大西洋呈相反方向。这意味着已经不需要全球辐射平衡的重大变化就能引发上述变迁；在气候系统中的热量重新分布就足以触发变迁。事实上有确凿的证据表明，海洋环流和热输送的变化可以解释很多这些突发事件的特征；沉积物资料及模式模拟显示其中一些变化可能是由那个时代环绕大西洋的冰盖不稳定性及与之相关的淡水释放到海洋所触发的。

在过去的5亿年期间，气候历史上也曾发生过偏暖的时期，地球可能完全没有冰盖(地质学家可从岩石上的冰叶标迹予以判别)，而不像今天的格陵兰和南极被冰盖覆盖。追溯到过去一百万年以上的有关温室气体的资料，即超过南极冰芯年代的数据，仍有相当大的不确定性。但对地质采样分析表明

(接下页)



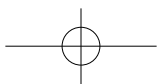
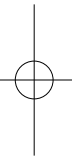
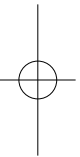


无冰暖期与大气中二氧化碳高浓度相吻合。在百万年时间尺度上，二氧化碳浓度的变化是由于地壳构造活动引起的，它影响到海洋和大气与固体地球的CO<sub>2</sub>交换。如欲了解这些古代气候的更多详情，请参阅文框6.1。

过去气候变化的另一个可能的原因是太阳能量输出的变化。最近几十年的观测表明太阳能量输出在11年的周期中有略有变化(接近0.1%)。太阳黑子观测(可追溯到17世纪)以及从宇宙辐射产生的同位素资料证明了太阳活动的长期变化。数据相关性和

模式模拟结果均表明，在工业化时代开始前的一百万年中，太阳变化和火山活动有可能是导致气候变异的首要原因。

这些例子说明过去不同的气候变化都有不同的原因。自然因子在过去引起气候变化的事实并不意味着目前的气候变化是自然的。如此类推，森林火灾长期以来一直是自然界雷击造成的，但并不意味着火灾不可能是一位粗心的露营者引发。常问的问题2.1讨论了与自然影响相比，人类如何引起最近的气候变化。



## 常问的问题6.2

## 与地球历史上的早期变化相比, 当前的气候变化异常吗?

气候在整个地球历史中和所有时间尺度上一直在变化。当前的气候变化在某些方面并非异常, 但在另外一些方面则属异常。与过去50多万年相比, 大气中CO<sub>2</sub>的浓度现已经达到创记录的高值, 并且还在以异常快的速度继续这种趋势。与至少过去五百年、甚至可能超过一千年相比, 目前的全球温度是偏暖的。如果这种变暖持续下去, 所引起的本世纪气候变化, 用地质术语来说将是极端异常的。当前气候变化的另一个异常方面是它的成因: 过去的气候变化源于自然原因(参见FAQ6.1), 而过去50年的大部分变暖是因人类活动所致。

在对当前的气候变化和早期的自然变化进行比较时, 必须区分三点不同。首先, 必须明确是在对哪些变量进行比较: 是温室气体浓度, 或者温度(或者其它气候参数), 是它们的绝对值, 还是其变化速率? 其次, 切勿把局地变化同全球变化相混淆。局地气候变化通常比全球气候变化大得多, 因为局地因子(如海洋或大气环流的变化)能够把热量和水汽从一个地点转移输送到另一个地点, 局地反馈会产生影响(如海冰反馈)。相比之下, 全球平均温度的较大变化需要某种全球强迫(如温室气体浓度的改变或太阳活动)。第三, 必须区分时间尺度。与一百年的时间尺度相比, 几百万年的气候变化可能要大得多, 并且有不同的成因(如大陆漂移)。

当前关注气候变化的主要原因是大气二氧化碳(CO<sub>2</sub>) (和其它一些温室气体)浓度的增加, 这种增加在第四纪(过去约两百万年)中是十分罕见的。过去650,000年间的CO<sub>2</sub>浓度是从南极冰芯准确获知的。在这段时期内, CO<sub>2</sub>浓度在冷冰川期的低值180 ppm和暖间冰期的高值300ppm之间变化。在过去一个多世纪里, 浓度值快速增加而大大超出了这一范围, 现在为379ppm(参见第2章)。相比之下, 在上一个冰期结束时, CO<sub>2</sub>浓度约80ppm的上升花费了5000多年的时间。高于当前值的浓度值仅在几百万年以前出现过(参见FAQ 6.1)。

温度是一个比CO<sub>2</sub>(全球充分混合气体)更难重建的变量, 因为它在全球各个地方的意义不尽相同, 因此单一的记录(如冰芯)只具有有限的价值。局地温度的变化, 即便是短短几十年的变化, 都可能达到几摄氏度, 这远远大于过去一个世纪中约0.7℃的全球变暖信号。

大尺度(全球或半球)平均分析对于全球变化更有意义, 在这种尺度下, 大部分局地变化达到平均值, 变异较小。有足够覆盖范围的仪器记录仅能追溯约150年。在时间上做进一步追溯, 对来自树木年轮、冰芯等代用资料进行汇编使得追溯时间超过一千年, 其空间覆盖有所减少(参见第6.5节)。尽管在那些重建结果中存在差异, 以及存在明显的不确定性, 但所有已发表的重建结果表明, 中世纪时期的温度是温暖的, 17、18和19世纪降到低值, 此后迅速变暖。中世纪的温暖水平是无法确定的, 但在20世纪中期可能再次达到了这一水平, 只是从那时起才有可能超过这一水平。这些结论也得到气候模拟的支持。在二千多年以前, 温度变化没有被系统地汇编成大尺度的平均值, 但它们也并未提供追溯到全新世(过去近11,600年; 参见6.4节)的比当前全球年平均温度偏暖的证据。有强烈的迹象表明, 直到约3百万年以前, 一直盛行着偏暖的气候, 使得全球冰盖大大缩减, 海平面更高。因此, 目前的变暖从过去几千年的时间范围内看似是异常的, 但站在更长的时间尺度上看则并非异常, 在这种尺度上, 构造活动的变化(可能由温室气体浓度自然、缓慢的变化所驱动)变得有关系了(见框6.1)。

一个不同的问题是目前的变暖速率。代用资料中记录的全球气候变化是否较快? 过去一百万年间最大的温度变化发生冰川期, 在这段时期, 全球平均温度从冰期的4℃变化为暖间冰期的7℃(局部变化要大得多, 如在大陆冰盖附近)。然而, 资料表明冰期结束时的全球变暖是一个渐进的过程, 历时近5000年(参见第6.3节)。因此很明显, 根据以往的变化, 目前全球气候变化的速率要快得多, 且十分异常。经常讨论的冰期气候突变(参见第6.3节)绝不是反例, 因为这种突变大概是由海洋的热量输送所至, 它们不太可能影响到全球的平均温度。

进一步沿时间追溯到冰芯资料以前的时代, 沉积物和其它档案资料的时间分辨率分辨不出当前这样快速的变暖。因此, 尽管过去发生过较大的气候变化, 但没有证据显示这些变化是以比当前气候变暖更快的速率发生的。如果认识到对本世纪变暖的预估约为5℃(范围的上限), 则地球将如其在上一个冰期结束时那样, 可能经历相同大小的全球平均增温; 没有证据显示过去5000万年时间里的任何全球增温能比得上这一未来可能的全球变化速率。

## 常问的问题7.1

## 工业时代大气中二氧化碳和其它温室气体的增加是人类活动引起的吗？

是的，工业时代大气中二氧化碳(CO<sub>2</sub>)和其它温室气体的增加是由人类活动引起的。事实上，观测到的大气中CO<sub>2</sub>浓度的增加并不反映人类排放的总量，自1959年起，它仅占人类活动所释放的CO<sub>2</sub>的55%。其余部分已被陆地上的植物和海洋吸收。在所有情况下，大气中温室气体的浓度及其增加是由源(来自人类活动和自然系统的气体排放)和汇(大气中的气体通过变换转化为不同的化合物)确定的。人类活动产生的CO<sub>2</sub>排放量有75%以上是由化石燃料的燃烧(加上水泥生产的少部分影响)产生的。其余部分则是由土地利用变化(主要是毁林)引起的。关于甲烷—另一种重要的温室气体，在过25年里由人类活动产生的排放已经超过了自然排放。关于氧化亚氮，人类活动产生的排放等于对大气的自然排放。大多数长生命期的含卤气体(如氟利昂)是由人类产生的，工业化时代以前它们在大气中是不存在的。平均而言，自前工业化时期以来，现在的对流层臭氧增加了38%，这种增加是由人类活动排放的短生命期污染物在大气中的反应产生的。CO<sub>2</sub>的浓度现在为百万分之379(ppm)，甲烷大于十亿分之1,774(ppb)，二者很可能远远高于过去至少650 kyr间任何时候的浓度值(在这一期间，CO<sub>2</sub>维持在180-300ppm，甲烷维持在320-790ppb)。最近的变化率是惊人的和空前的；CO<sub>2</sub>的增加在1kyr中从未超过30ppm而今天，在刚刚过去的17年里CO<sub>2</sub>就上升了30 ppm。

## 二氧化碳

燃烧化石燃料产生的CO<sub>2</sub>排放(图1a)再加上水泥制造的贡献，占到自前工业化时期以来大气中CO<sub>2</sub>浓度增加的75%以上。其余部分的增加来自森林砍伐(和相关的生物量燃烧)占主导的土地利用变化，以及改变农业规范的影响。所有这些增加都是由人类活动引起的。自然碳循环无法对过去25年间大气中的碳以CO<sub>2</sub>形式从3.2增加到4.1GtC / 年做出解释(一个GtC等于10<sup>15</sup>克碳，即十亿吨碳。)

自然过程，如光合作用、呼吸作用、衰变和海表气体交换，导致陆地与大气(估计~120GtC / 年)，以及海洋与大气(估计为~90GtC / 年；参见图7.3)间CO<sub>2</sub>源和汇的大规模交换。在过去15年里，自然过程，如光合作用、呼吸作用、衰变和海表气体交

换，导致陆地与大气(估计~120GtC / 年)，以及海洋与大气(估计为~90GtC / 年；参见图7.3)间CO<sub>2</sub>源和汇的大规模交换。在过去15年里，自然碳汇导致约3.3GtC / 年CO<sub>2</sub>的少量净吸收，部分抵消了因人为因子引起的排放。如果过去15年里不是因自然汇吸收了将近一半的人类活动产生的CO<sub>2</sub>，其在大气中浓度的增加可能会更加明显。

根据大气中CO<sub>2</sub>的特性可知，大气中CO<sub>2</sub>浓度的增加是由人类活动引起的，特别是重碳原子与轻碳原子的比率发生了变化，这种变化可归结为化石燃料碳的增加。此外，在CO<sub>2</sub>增加的同时，大气中氧和氮的比率有所下降；这是预料之中的，因为化石燃料燃烧时会消耗氧。有一种形式的重碳-碳-13同位素，在植被中，以及在从过去的植被形成的化石燃料中并不丰富；在海洋所含的碳中，以及在火山或地热的排放中则较为丰富。大气中碳-13同位素的相对数量一直在下降，这表明增加的碳来自化石燃料和植被。碳还有一个稀有的放射性同位素-碳-14，它存在于大气的CO<sub>2</sub>中，但不存在于化石燃料中。在大气核武器试验前，碳-14相对量的减少表明有化石燃料碳增加到大气中。

## 含卤气体

大多数长生命期的大气含卤气体的浓度是由人类活动引起的。在工业化以前，只有少量自然发生的含卤气体，如甲基溴化物和甲基氯化物。在20世纪的后50年里，化学合成新技术的发展导致化学生产的含卤气体激增。人类生产的主要含卤气体的排放如图1b所示。图中绘制出氯氟碳化物(CFC)的大气生命期为45-100年，氢氯氟碳化合物(HCFC)的大气生命期为1-18年，氢碳氟化合物(HFC)的大气生命期为1-270年。全氟化碳(PFC，未标出)可以在大气中存留数千年之久。作为关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书及其修正案的结果，包括CFC在内的一些主要含卤气体的浓度目前正在地球表面趋于稳定或者减少。HCFC的浓度(其生产准备在2030年停止)，以及京都议定书中的气体HFC和PFC的浓度目前还在增加。

(接下页)



## 甲烷

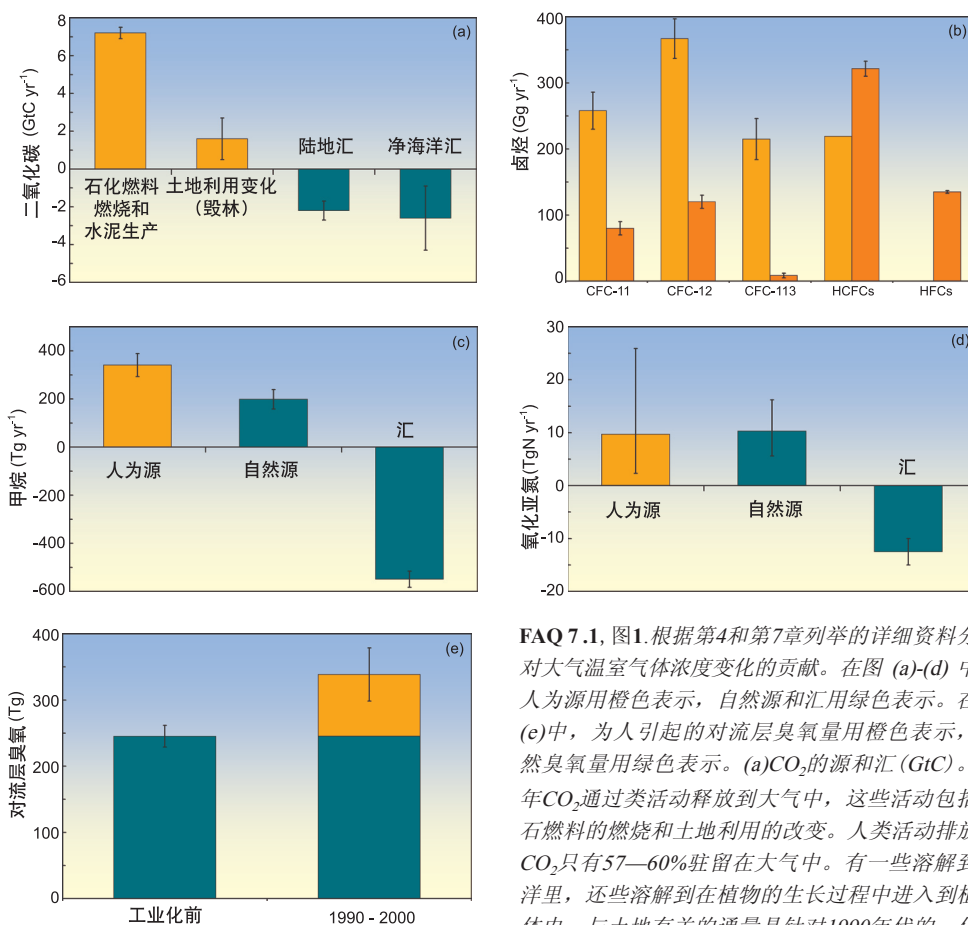
由人类活动产生的甲烷( $\text{CH}_4$ )源超过了自然系统的 $\text{CH}_4$ 源(图1c)。1960年至1999年期间,  $\text{CH}_4$ 浓度的增长与1800年以前的二千年间任何40年周期相比, 平均至少要快六倍, 尽管从1980年起增长率几乎为零。向大气排放 $\text{CH}_4$ 的主要自然源是湿地。其它自然源包括白蚁、海洋、植被和甲烷水合物。产生甲烷的人类活动包括使用煤和天然气生产能源、垃圾填埋、饲养反刍动物(如牛、羊等)、稻作农业, 以及生物量燃烧。 $\text{CH}_4$ 一旦排放后, 在其被清除之前可能在大气中存留约8.4年, 清除主要通过通过对流层中的化学氧化完成。 $\text{CH}_4$ 的小的汇包括土壤的吸收, 以及最后在平流层中的毁灭。

## 氧化亚氮

由人类活动排入大气的氧化亚氮( $\text{N}_2\text{O}$ )源近似等于自然系统的排放源(图1d)。1960年至1999年期间,  $\text{N}_2\text{O}$ 浓度的增加与1800年以前的二千年间任何40年周期相比, 平均至少要快二倍。 $\text{N}_2\text{O}$ 的自然源包括海洋、大气中氨的化学氧化, 以及土壤。热带土壤是一个向大气排放 $\text{N}_2\text{O}$ 的特别重要的源。排放 $\text{N}_2\text{O}$ 的人类活动包括肥料中的氮转化为 $\text{N}_2\text{O}$ , 以及随后从农业土壤中的排放; 生物量燃烧; 养牛; 以及某些工业活动, 包括尼龙的生产。 $\text{N}_2\text{O}$ 一旦排出, 在其被清除之前可能在大气中存留约114年, 它主要在平流层中毁灭。

## 对流层臭氧

对流层臭氧是由大气中的光化学反应产生的, 反应涉及一些先导化学物质, 如一氧化碳、 $\text{CH}_4$ 、挥发性有机化合物, 以及氮氧化物。这些化学物质通过自然生物过程排放, 以及通过人类活动排放, 包括土地利用变化和燃烧燃料。由于对流层臭氧的生命期相对较短, 仅能在大气中持续几天到数周, 因此其分布是高度可变的, 且与其先导化合物的丰度、水汽和日光有关。



**FAQ 7.1, 图1.** 根据第4和第7章列举的详细资料分析对大气温室气体浓度变化的贡献。在图(a)-(d)中, 人为源用橙色表示, 自然源和汇用绿色表示。在图(e)中, 人为引起的对流层臭氧量用橙色表示, 自然臭氧量用绿色表示。(a)  $\text{CO}_2$ 的源和汇( $\text{GtC}$ )。每年 $\text{CO}_2$ 通过类活动释放到大气中, 这些活动包括化石燃料的燃烧和土地利用的改变。人类活动排放的 $\text{CO}_2$ 只有57—60%驻留在大气中。有一些溶解到海洋里, 还些溶解到在植物的生长过程中进入到植物体内。与土地有关的通量是针对1990年代的; 化石燃料和水泥通量, 以及海洋的净吸收是针对2000-2005年这一时期的。所有的数值和不确定性范围均取自表7.1。(b) 1990年(浅橙色)和2002年(深橙色)CFC及其它含卤化合物的全球排放。这些化学物质全部是由人类生产的。这里, “HCFC”包括HCFC-22、-141b和-142b, “HFC”包括HFC-23、-125、-134a和-152a。1Gg=109g(1,000吨)。大部分资料来自第2章列举的报告。(c) 1983-2004年期间 $\text{CH}_4$ 的源和汇。 $\text{CH}_4$ 的人为源包括能源生产、垃圾填埋、反刍动物(如牛、羊等)、稻作农业, 以及生物量燃烧。1 Tg=1012g(100万吨)。数值和不确定性为表7.6中 $\text{CH}_4$ 相应合计值的平均值和标准差。(d)  $\text{N}_2\text{O}$ 的源和汇。 $\text{N}_2\text{O}$ 的人为源包括肥料中的氮转化为 $\text{N}_2\text{O}$ 以及随后从农业土壤中的排放、生物量燃烧、饲养牛, 以及某些工业活动, 包括尼龙制造。源的数值和不确定性为表7.7的中点和限定范围。 $\text{N}_2\text{O}$ 的损耗取自第7.4章。(e) 19世纪和20世纪初, 以及1990-2000年期间的对流层臭氧。对流层臭氧生成的增加是人为所致, 是燃烧化石燃料或生物燃料时排放的污染物在大气中发生化学反应所产生的。工业化前的数值和不确定性范围取自IPCC第三次评估报告(TAR)的表4.9, 是根据重建的观测资料估算的。现在的合计值及其不确定性范围是本报告表7.9中引用的模式结果的平均值和标准差, 未考虑TAR中的数据。

在城市的空气中、城区的下风方, 以及生物量燃烧地区的对流层臭氧浓度明显偏高。自工业化前时代以来, 对流层臭氧中38%(20-50%)的增加是由人类造成的(参见图1e)。

1960年至1999年期间,  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ 综合辐射强迫的增加, 与1800年以前的二千年间任何40年周期相比, 很可能至少要快六倍。



## 常问的问题8.1

## 用来预估未来气候变化的模式可靠性如何？

气候模式提供有关未来气候变化，特别是大陆及其以上尺度的气候变化的可靠量化估算具有相当高的可信度。这种可信度源于模式是建立在获得公认的物理原理基础之上的，以及它们再现观测到的当前气候和过去气候变化的特征的能力。某些气候变量(如温度)的模式估算可信度高于其它变量(如降水)。在几十年的发展中，模式始终提供一幅因温室气体增加而引起气候显著变暖的稳固而明确的图像。

气候模式是气候系统的数学表达式，用计算机代码表示，并在功能强大的计算机上运行。模式可信度的一个来源在于以下事实：模式的基本原理是建立在物理定律基础之上的，如质量守恒定律、能量和动力定律，同时还有大量的观测资料。

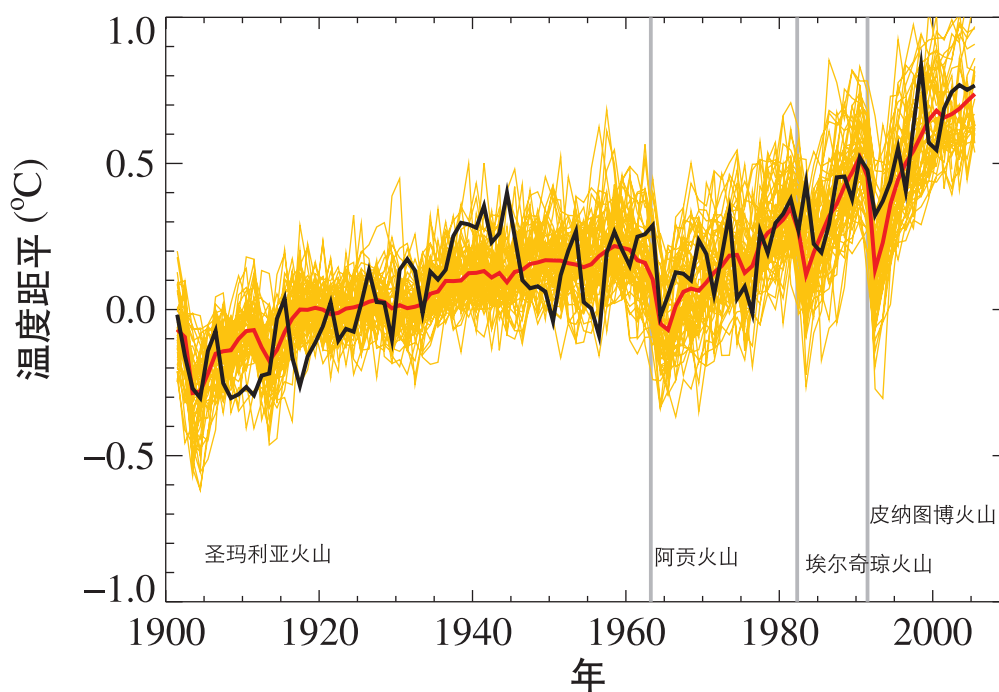
模式可信度的第二个来源是模式模拟当前气候重要方面的能力。通过把模式的模拟结果与大气、海洋、冰雪圈和地表的观测结果比对，可以对模式进行定期和广泛的评估。在过去十年里，通过组织过多模式的“相互比对”，对模式的评估达到空前的水平。在表示许多重要的平均气候特征方面，如大

气温度、降水、辐射和风的大尺度分布，以及海洋温度、海流和海冰覆盖的大尺度分布，模式表现出重要的和不断提高了的技巧。模式还能对许多跨越不同时间尺度观测到的气候变异分布形态的重要方面进行模拟。实例包括重要季风系统的前进与后退、温度的季节性偏移、风暴路径和雨带，以及温带地面气压的半球尺度起伏变化(北半球和南半球的“环状模”)。对一些气候模式，或与之有密切关系的变形，还可以通过用它们预测天气和制作季节预报来对其进行测试。这些模式在此类预报中证明它们的技巧，表明能够在较短的时间尺度上表述大气环流的重要特征，以及季节和年际变异的各个方面。模式表述这些特征和其它重要气候特征的能力增强了我们的信心，即它们能够表述对于模拟未来气候变化十分重要的基本物理过程。(注意，气候模式在预报几天以上天气的能力方面存在的局限性并不能限制它们预测长期气候变化的能力，因为这是完全不同的预测-参见FAQ 1.2)

模式可信度的第三个来源是模式再现过去气候和气候变化特征的能力。模式已用于模拟古气候，

(接下页)

**FAQ8.1, 图1.20世纪全球平均近地表温度**，它们是根据观测值得出(黑色的)，以及根据由影响气候的自然和人为因子驱动的14个不同气候模式产生的58个模拟结果得出(黄色的)。同时给出这些运行结果的平均值(粗红线)。温度距平是相对于1901—1950年平均值的。竖直灰线表示较大火山喷发的时间(本图改编自第9章的图9.5。更多细节可参阅相应的插图说明)。



如6,000年前温暖的中全新世,或21,000年前的末次冰盛期(参见第6章)。它们可以再现许多特征(在重建过去气候时允许有不确定性),如上一个冰期中海洋变冷的大小和主要尺度分布型态。模式还能够对遍及仪器记录中的气候变化的诸多观测方面进行模拟。一个实例是能够以很高的技巧模拟过去一个世纪的全球温度趋势(如图1所示),其中即包括人为因子,也包括自然因子对气候的影响。模式还可以再现其它观测到的变化,例如温度在夜间比白天增加得更快、北极的变暖程度较大,以及在重要火山喷发后出现的小规模、短时期的全球变冷(和随后的恢复),如1991年皮纳图博火山的喷发(参见FAQ8.1,图1)。模式做出的对过去二十年全球温度的预估也在总体上与其后对该时期进行的观测相一致(第1章)。

不过,模式仍然表明存在重要的误差。尽管这些误差通常在较小尺度上会更大一些,但仍然存在重要的大尺度问题。例如,在模拟热带降水、厄尔尼诺-南方涛动,以及Madden-Julian振荡(在30-90天时间尺度上观测到的热带风和降雨的变化)时存在不足。大部分这类误差的最终原因是许多重要的小尺度过程不能够在模式中显式地表达,因此,当它们与大尺度特征相互作用时,就必须纳入到一种近似的表达形式中。其部分原因是受到计算能力的限制,但它也是由于在科学认知方面、或者在对某些物理过程进行详细观测的有效性方面存在局限性所造成的。尤其是,重要的不确定性与云的表述,以及最终得出的云对气候变化的响应有关。因此,在对特定温室气体强迫做出响应时,模式继续显示出大范围的全球温度变化(参见第10章)。不过,尽管存在这些不确定性,对温室气体增加过程中会出现气候明显变暖的预测仍在增加,且这种变暖在数量上与受其它来源(如观测到的气候变化和过去气候重建的结果)驱动的独立估算是一致的

由于全球模式预估的气候变化的可信度减少,

为了研究区域和局地尺度的气候变化,专门开发了其它技术,如利用区域气候模式,或顺尺度方法(参见FAQ 11.1)。然而,由于全球模式仍在发展,其分辨率继续得到改进,它们对于研究重要的较小尺度特征(如极端天气事件中的变化)正变得越来越有益处,预计随着计算能力的提高,在区域尺度的表述方面会有进一步的改进。模式在处理气候系统时正变得更具有综合性,从而可以显式地表示更多的被视为对气候变化有潜在重要性的物理和生物物理过程及其相互作用,尤其是在较长的时间尺度上。一些实例包括:在最近的一些全球气候模式中纳入了植物响应、海洋生物与化学的相互作用,以及冰盖动力学。

总之,模式的可信度来自它们的物理基础,以及它们表现观测到的气候和过去气候变化的技巧。模式已经证明是模拟和了解气候的极为重要的工具,它们有相当高的可信度,能够提供可靠和量化的对未来气候变化的估算,尤其是在较大尺度上。模式仍然存在重要的局限性,例如对云的表述,这种局限性导致预测的气候变化在大小、时间,以及区域细节上存在不确定性。然而,在几十年的模式发展中,它们始终提供一幅因温室气体增加而引起气候显著变暖的确凿而清晰的图像。

## 常问的问题9.1

## 温室效应变暖能解释个别极端事件吗？

随着人类活动(如使用化石燃料)引起大气温室气体的增加使得气候变暖,预期将会发生气候变化的极端事件。不过由于两个原因,要想确定某一特定的单一极端事件是否由某一特定原因引起(如温室气体增加),即便不是不可能的,也是相当困难的:

1) 极端事件通常是由组合因子造成的,以及2)即便在一个不变的气候中,各种极端事件也是经常发生的。不过,对过去100年观测到的变暖的分析表明,发生某些极端事件(如热浪)的可能性由于温室效应变暖而增加了,其它一些极端事件(如霜冻或极端寒冷的夜晚)的可能性则减少了。例如,最近的一项研究估计,人类的影响已使欧洲发生2003年那样极其炎热的夏季的风险增加了一倍以上。

经常受到极端天气事件影响的人们会问:人类对气候的影响是否应在一定程度上对这些事件负责。近年来看到过很多极端事件,一些评论家把它们与温室气体的增加联系起来。这些事件包括澳大利亚的持续干旱、欧洲2003年极端炎热的夏季(参见图1)、2004和2005年强烈的北大西洋飓风季节,以及2005年7月印度孟买的极端降雨事件。人类的影响,如大气中温室气体浓度的增加,是否“引发”了这些事件”?

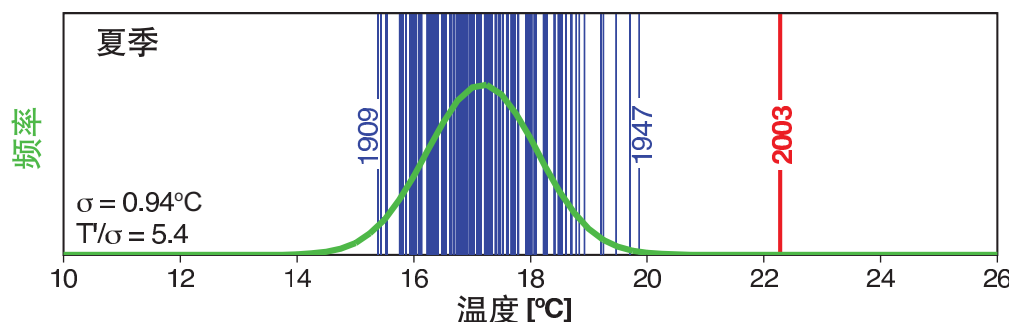
极端事件通常是由组合因子造成的。例如,有几个因子促成了欧洲2003年极端炎热的夏季,包括与晴朗天空相联系的持续的高压系统,以及干燥的土壤,由于土壤蒸发只消耗很少的能量,因此使得有更多的太阳能量用来加热大地。同样,飓风的形成需要温暖的海面温度和特定的大气环流条件。由于某些因子,如海面温度,可能受人类活动的强烈影响,其它因子则可能不受影响,因此检测人类活动对单一、具体的极端事件的影响不是一件简单的事情。

不过,还是有可能利用气候模式来确定:人类影响是否改变了某些类型极端事件发生的可能性。例如,在欧洲2003年

热浪的个例中运行了一个气候模式,它只包括那些影响气候的自然因子(如火山活动和太阳辐照度的变化)的历史变化。然后,再一次运行该模式,这次既包括人为因子,也包括自然因子,运行得出一个对欧洲气候演化的模拟,它与实际发生的情况非常接近。根据这些试验,估计20世纪人类的影响使欧洲出现2003年那样炎热夏季的风险增加了一倍以上;如果没有人类影响,这种风险在几百年当中或许只发生一次。需要更细致的模拟工作,以便对特定热影响事件(例如在巴黎这样的都市地区出现一连串温暖的夜晚)的风险变化进行估计。

这种基于概率方法的价值(“人类的影响能改变某个事件的可能性吗?”)在于它可以用来估算外部因子(如温室气体的增加)对于特定类型事件(如热浪或霜冻)发生频率的影响。但是需要仔细的统计分析,因为个别极端事件(如晚春霜冻)的可能性是能够因气候变率的变化,以及平均气候状况的变化而改变的。这种分析依赖于建立在气候变率估算基础上的气候模式,因此所使用的气候模式应当能够充分地表述这一变率。

基于可能性的相同方法可以用来研究强降雨或洪水的变化。气候模式预测人类的影响会导致许多类型极端事件的增加,包括极端雨量。已有证据显示,最近几十年里,某些区域的极端降雨一直在增加,从而导致洪水的增加。



FAQ 9.1, 图1. 从1864年至2003年, 瑞士夏季的温度平均约为17°C, 如绿色曲线所示。在2003年酷热的夏天, 平均温度超过了22°C, 如红色竖条线所示(竖线表示对应137年记录中各年的平均温度)。拟合高斯分布用绿色表示。1909、1947和2003年加以标记是因为它们代表记录中的极值年。左下角的数值表示标准差( $\sigma$ ), 以及根据1864—2000年标准差归一化的2003年距平( $T'/\sigma$ )。资料出处Schär等(2004年)。



## 常问的问题9.2

## 能用自然变率解释20世纪的变暖吗？

很不可能用自然原因来解释20世纪的气候变暖。20世纪末期已呈现异常变暖。古气候重建结果表明，20世纪后半叶可能是最近1300年间北半球最暖的50年。这种快速的变暖与气候如何对过去一百年间发生的温室气体快速增加做出响应的科学认知相一致；但这种变暖与气候如何对外部自然因子(如太阳辐照度变率和火山活动)做出响应的科学认知不一致。气候模式为研究对地球气候的各种影响提供了合适的工具。当把温室气体增加的影响以及外部自然因子的影响纳入模式时，模式可做出对过去一百年间发生变暖的很好模拟。当仅使用自然因子运行时，模式不能再现观测到的变暖。当把人为因子纳入其中时，模式还可以模拟出类似于最近几十年间发生的全球温度变化的地理分布型态。这种空间分布具有北半球高纬度变暖较大的特征，它不同于最重要的自然气候变率的分布型态，后者与内部气候过程(如厄尔尼诺)相关。

地球气候在一段时间内的变化是由内部的自然过程(如厄尔尼诺)，以及外部影响的变化造成的。这些外部影响在来源上可能是自然的，如火山活动和太阳辐照度的变化，或者是由人类活动造成的，如温室气体排放、人为源的气溶胶、臭氧破坏，以及土地利用的变化。内部自然过程的作用可以通过研究观测到的气候变化，以及通过运行气候模式而不改变任何影响气候的外部因子来进行估算。外部影响的作用可以通过改变这些因子，以及通过利用对所涉及过程的物理认知来进行估算。内部自然变率和外部自然因子的组合影响还可以根据树木年轮、冰芯，以及工业时代以前其它类型的自然“温度表”中记录的气候信息进行估算。

影响气候的外部自然因子包括火山活动和太阳辐照度的变化。爆发性火山喷发有时会从高空向大气中喷射出大量的尘埃和硫酸盐气溶胶，暂时遮蔽住地球，以及返回太空的反射太阳光。太阳辐照度具有11年的周期，可能还有更长期的变化。过去100年间的人类活动，尤其是燃烧化石燃料，造成了大气中二氧化碳和其它温室气体的迅速增加。在工业时代以前，这些气体始终保持在一个接近稳定的浓度上，时间长达数千年之久。人类活动还造成大气中细微反射颗粒，或“气溶胶”的增加，尤其是在20世纪50年代和60年代。

虽然内部自然气候过程(如厄尔尼诺)可能在相

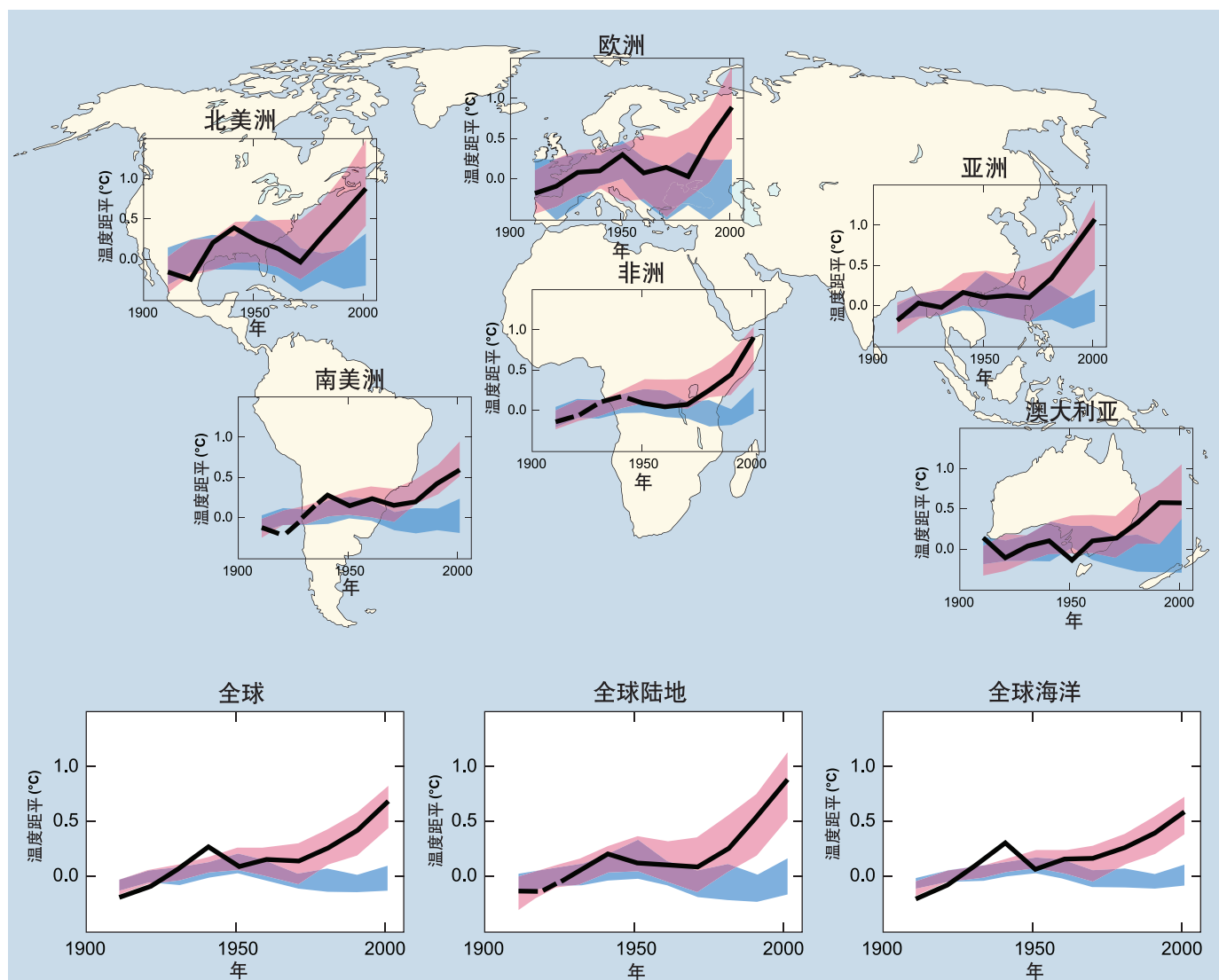
对较短的时期内引起全球平均温度的变化，但分析表明，这种变化中的相当大一部分是由外部因子造成的。短暂的全球变冷发生在较大的火山爆发之后，如1991年的皮纳图博火山。在20世纪初期，全球平均温度上升，在这段时间里温室气体的浓度开始上升，太阳辐照度或许有所增加，有过小规模火山活动。在20世纪50年代和60年代，全球平均温度平缓，这是因为来自化石燃料和其它来源的气溶胶的增加使地球变冷。1963年阿贡火山也曾向高层大气喷发过大量的反射尘埃。自20世纪70年代起观测到的快速变暖发生在一个以温室气体增加为主的时期，其主导地位超过了所有其它因子。

利用气候模式进行了多次试验，以确定20世纪气候变化的可能原因。这些试验表明，当模式仅考虑太阳辐照度的变化和火山活动时，它们不能再现最近几十年里观测到的快速变暖。然而，如图1所示，当模式中采用了所有最重要的外部因子时，包括诸如温室气体和外部自然因子等来源的人类影响，它们能够模拟出观测到的20世纪的温度变化。模式估算的对这些外部因子的响应在20世纪的全球气候中，以及在每块大陆上都是可检测的，南极洲除外，那里的观测资料不足。在过去半个世纪中，人类对气候的影响在全球平均地表温度方面很可能超过了所有其它变化原因。

不确定性的一个重要来源是由于对某些外部因子(如人为源的气溶胶)的认知不足。此外，气候模式本身还不完善。尽管如此，所有模式模拟出的对人类活动引起温室气体增加的响应型态与观测到的变化型态相似。这种分布型态包括陆地的变暖大于海洋的变暖。这种变化型态不同于与内部自然变率(如厄尔尼诺)相关的温度变化的主要型态，它有助于把对温室气体的响应与对外部自然因子的响应区分开来。模式和观测结果还表明，大气的较低部分(对流层)变暖，而大气的较高层变冷。这是另一个变化的“迹象”，它揭示出人类影响对气候的作用。例如，如果太阳辐照度的增加是最近气候变化的主要原因，则对流层和平流层都应当变暖。此外，人类影响和自然外部影响在时间上的差异有助于区分气候对这些因子的响应。上述考虑提高了以下结论的可信度：人为因子、而非自然因子是过去50年里观测到的全球变暖的主要原因。

(接下页)





**FAQ 9.2, 图1.**地球各大洲, 以及全球、全球陆地和全球海洋(下方三个图)从1906年至2005年每十年相对于1950—1955年间对应平均值的温度变化(°C)。黑线表示观测到的温度变化, 彩色带表示90%最新模式模拟结果覆盖的组合区域。红色表示包括自然和人为因子的模拟, 蓝色表示仅包括自然因子的模拟。黑色虚线表示各个十年和只有很少观测资料的大陆区域。有关本图的详细说明和制作所使用的方法可参见附录9.C的补充材料。

根据自然“温度表”(如树木年轮, 其宽度或密度随温度的变化而变化)和历史天气记录对过去一到二千年北半球温度所做的估算提供了更多的证据, 表明20世纪的变暖不能仅用内部自然变率和外部自然强迫因子来解释。这些估算的可信度有所增加, 因为在估算所表明的工业时代以前北半球平均温度的变化中, 有大部分可以用大规模火山爆发造成的阶段性变冷, 以及太阳辐照度的变化来解释。其余部分的变化大体上与气候模式中不含自然因子和人为诱发的外部因子时模拟出的变率相一致。尽管在估算过去温度方面存在着不确定性, 但估算结果表明, 20世纪后半叶很可能是最近1300年间最温暖的50年周期。估算的由自然因子引起的气候变率小于

20世纪的强势变暖。

## 常问的问题10.1

**热浪、干旱或洪水这类极端事件会因地球气候变化而变化吗？**

是的；预计极端事件的类型、频率和强度将随着地球气候的变化而变化，这些变化甚至对于相对较小的平均气候变化也可能发生。已经观测到某些类型的极端事件的变化，例如，热浪和强降水事件的频率及强度有所增加（参见FAQ 3.3）。

在未来偏暖的气候中，出现更强烈、更频繁和更持久的热浪的风险可能增加。2003年的欧洲热浪就是一个持续数天至一周以上的这类极端热事件的实例，它很可能在未来偏暖的气候中变得更加普遍。温度极端事件的一个相关方面是大部分地区的日较差（昼夜）温度较差可能减小。未来偏暖的气候还可能只有很少的霜日（即温度骤降至冰点以下的夜晚）。生长季节的长短与霜日数有关，预计它将随着气候的变暖而增加。北半球大部分地区冬季冷空气爆发的频率（即持续数天至一周以上的极端寒冷的周期）可能减少。一些地区会出现例外，如在北美洲西部、北大西洋、南部欧洲和亚洲，由于大气环流的变化，极端寒冷事件的减少幅度却很小。

大部分大气-海洋环流模式预估，在未来偏暖的气候中，在北半球中、高纬度的大部分地区，夏季的干燥和冬季的潮湿将增加。夏季干燥表明存在更大的干旱风险。由于偏暖的大气具有较高的持水能力，因此在存在干旱风险的同时，出现强降水和洪水的机遇也将增加。这种情况已为观测所证实，且预估将会持续下去，因为在一个偏暖的世界里，降水趋于集中成为更加强化的事件，少量降水的间隔周期会变得更长。因此，猛烈的倾盆大雨可能与相对较长的干旱期交替出现。这些预估变化的另一个方面是：在许多预期平均降水量会增加的地区，预估湿极端事件将变得更加严重；在预期平均降水量减

少的地区，预估干旱端事件将变得更加严重。

与强降水极端事件增加的结果相呼应的是，即便未来气候中风暴的强度不变，极端降雨的强度也可能增加。尤其是在北半球陆地，由于风暴事件中强降水的增加，预估在中部和北部欧洲的大部分地区出现异常潮湿冬季的可能性会增加，这预示着，由于较强的降雨和降雪产生较多的径流，在欧洲和其它中纬度地区发生洪水的机会也将增大。类似的结果同样适用于夏季降水，可以推断出在亚洲的季风区和其它热带地区将发生更多的洪水。在未来偏暖的气候中，许多主要江河流域洪水风险的增大与河流流量的增加有关，这增大了与未来强风暴有关的降水事件和洪水的风险。上述变化中的一部分可能是目前发展趋势的延伸。

模拟研究的证据表明，未来的热带气旋可能变得更加猛烈，伴有更高的风速和更强的降水。研究认为这种变化可能已经发生；有迹象表明，在过去30年里，每年4类和5类飓风的平均数量有所增加。一些模拟研究预估全球热带气旋的数量将会减少，这是因为在较暖的气候中热带对流层的稳定性增加，其特征是弱风暴的数量较少，强风暴的数量较多。许多模拟研究还预估，总的趋势是热带以外的风暴更加强烈，但数量较少；发展趋势是，在一些与加深气旋有关的区域中会出现更多的极端风事件和更高的海浪。模式还预估两半球的风暴路径会向极地方向偏移几个纬度。

## 常问的问题10.2

## 像冰盖损失或全球海洋环流变化这类重大气候变化或气候突变的可能性有多大？

根据目前获得的模式结果，认为21世纪不可能发生突变的气候变化，如南极西部冰盖的崩塌、格陵兰冰盖的快速消失，或者海洋环流系统的大尺度变化。然而，随着气候系统扰动的发展，出现这种变化的可能性正变得越来越大。

对格陵兰的冰芯、北大西洋和其它地方的海洋沉积物的物理、化学和生物学分析，以及许多其它过去气候的档案都表明，局地温度、风系和水分循环可以在短短几年之内迅速变化。对世界不同地点的记录结果进行的比对表明，过去曾经发生过从半球到全球范围的重大变化。这导致提出了过去气候不稳定的概念，即气候经历过突变阶段。因此，一个重要的关注点是，大气中温室气体浓度的持续增加可能构成强大得足以引发气候系统突变的扰动。这种对气候系统的干扰被认为是危险的，因为它可能造成重大的全球性后果。

在讨论这种变化的几个实例之前，对术语“突变”和“重大”作出定义是有益的。“突变”表达的意思是变化发生得比引起变化的扰动要快得多；换言之，响应是非线性的。“重大”气候变化是这样一种变化，它涉及到超过当前自然变率范围的变化，具有从几千公里到全球的空间范围。在局地和区域尺度上，突然变化是气候自然变率的一个共同特征。在这里，不考虑对那些通常被较为恰当地称作“极端事件”的孤立、短生命期事件，而只考虑那些演化迅速、持续数年至数十年的大尺度变化。例如，20世纪70年代中期东太平洋海面的温度变动，或者从20世纪80年代中期开始的拉布拉多海上层1000m的盐度减少，与本文重点考虑的较大尺度和较长期的事件不同，它们是具有从局地到区域后果的突然事件的实例。

一个实例是墨西哥湾流有可能中断，或者停止，这一问题已受到公众的广泛关注。墨西哥湾流是西北大西洋中由风驱动的主要的水平方向的洋流。尽管海洋环流具有稳定的特征，但湾流北部的延伸——它为格陵兰-挪威-冰岛海域的深水层供水，从而把大量热输送到这些海域及其附近的陆地——仍受到这些地区表层水密度变化的强烈影响。这部分海流构成了沿大西洋流域西侧边界建立起的流域尺度的经向翻转环流(MOC)的北端。气候模式模拟的一

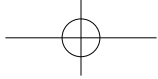
致结果是，如果北大西洋表层水的密度因气候变暖或盐度的下降而减小，MOC的强度将减弱，于是把热量输送到这些地区。在所有气候模式的预估中，盐度的大幅度持续下降甚至可能导致MOC大大减弱，或者完全中断。这种变化在遥远的过去的确实发生过。

现在的问题是，人类对大气影响的增加是否构成对MOC足够强的扰动，以致有可能引起这样的变化。大气中温室气体的增加导致变暖和水分循环的加强，后者使得北大西洋表层水的盐度进一步降低，因为降雨的增加导致有更多的淡水径流从该区域的河流流向海洋。变暖还促使陆地上的冰融化，从而增加了更多的淡水，并进一步降低海洋表层水的盐度。这两种效应都将使表层水(为了驱动MOC，它必须有足够的密度和重量，使之下沉)的密度减少，导致21世纪MOC的减弱。预测这种减弱将紧随着变暖而继续下去：目前还没有一个模式模拟出在本世纪会出现突然(非线性)的减弱或者完全中断。在模式模拟的MOC减弱中仍存在很大的离散性，范围从实际上没有响应到截止21世纪末减少50%以上。这种跨模式的变化是由于模式模拟大气和海洋反馈强度不同而产生的。

有关MOC的长期命运也存在着不确定性。许多模式指出，一旦气候稳定，MOC将会恢复。但有些模式设有针对MOC的阈值，当强迫足够强并持续足够长时间时，这些阈值是可以超过的。此类模拟结果表明MOC是逐渐减弱的，即便气候稳定后仍会继续减弱。在现阶段对发生这种情况的可能性进行量化是不可能的。不过，即便这种情况可能发生，欧洲仍将经历变暖，这是因为温室气体增加所产生的辐射强迫会大大超过与MOC减弱有关的变冷。因此，认为MOC的中断将引发一次冰期的开始这种灾难情景的假设仅仅是一种猜测，还没有气候模式已经得出这样的结论。事实上，对导致冰期的过程已经有充分的认知，它们与这里的讨论是完全不同的，因此，我们可以有把握地排除这一情景。

如果不考虑MOC的长期变化，模式的模拟结果则一致认为，变暖及其造成的盐度下降可能在今后几十年内明显减少拉布拉多海深层和上层水的形成。这将改变北大西洋中层水体的特征，并最终影响到

(接下页)



深海。这种变化的长期影响尚不清楚。

其它广泛讨论的有关气候突然变化的实例有格陵兰冰盖的迅速解体，或南极西部冰盖的突然崩塌。模型的模拟结果和观测结果表明，北半球高纬度的变暖正在加速格陵兰冰盖的融化，因水分循环加强而增多的降雪不能弥补这一融化。其结果是，格陵兰冰盖有可能在今后几个世纪里出现相当大的退缩。此外，各种结果表明存在一个临界温度阈值，一旦超过该值，格陵兰冰盖将被迫完全消失，这一阈值有可能跨越当前整个世纪。不过，格陵兰冰盖的完全融化是一个缓慢的过程，可能需要几百年的时间才能完成，它将使全球海平面升高约7米。

最近对冰架崩塌后的冰流进行的卫星和实地观测，把主要的注意力集中在冰盖系统的某些快速反应方面。这引起对南极西部冰架整体稳定性的新的关注，冰架的崩塌有可能引发另一次五到六米的海

平面上升。尽管这些冰流在其前方似乎受到冰架的支撑，但目前还不知道，如果在相对有限的区域内冰盖的这种支撑减少或者破坏，能否实际上引发众多冰流的大范围溢流，从而导致整个南极西部冰架的不稳定。冰盖模式仅仅是开始捕捉这些小尺度的动力过程，这些过程涉及与冰川底基以及冰盖周围海洋的复杂的相互作用。因此，尚不能从目前这一代的冰盖模式获得有关这类事件的可能性或发生时间的量化信息。



## 常问的问题10.3

## 如果温室气体减排，温室气体在大气中的浓度下降得有多快？

通过减少排放实现对大气中温室气体浓度的调整取决于从大气中清除各种气体的化学和物理过程。在对减少排放做出响应时，有些温室气体的浓度几乎立刻减少，而另一些温室气体，即便减少了排放，其浓度实际上可能在数百年内继续增加。

大气中温室气体的浓度取决于气体进入大气的排放速率以及从大气中清除该气体过程的速率二者之间的竞争。例如，二氧化碳(CO<sub>2</sub>)是通过各种过程在大气、海洋和陆地之间进行交换的，这些过程如大气-海洋间的气体输送，以及化学过程(如风化作用)和生物过程(如光合作用)。尽管目前排放的CO<sub>2</sub>中有一半以上可以在一百年内从大气中得到清除，但排放的CO<sub>2</sub>中有一部分(约20%)会在大气中存留几千年。由于清除过程缓慢，即便CO<sub>2</sub>的排放已经从当前水平上显著减少，它仍然会长期增加。甲烷(CH<sub>4</sub>)是通过大气中的化学过程得到清除的，而氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)和一些卤化烃则通过太阳辐射在高层大气中消亡。这些过程各自以不同的时间尺度进行，跨度从几年到几千年不等。为此进行了一项有关大气中气体生命期的测量，生命期定义为扰动减小到气体初始量的37%时所花费的时间。对于CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O和其它微量气体，如氢氟氯烃-22(HCFC-22)一种制冷剂，其生命期能够合理地确定(CH<sub>4</sub>约为12年，N<sub>2</sub>O约为110年，HCFC-22约为12年)，但CO<sub>2</sub>的生命期无法确定。

任何微量气体浓度的变化部分取决于其排放是如何随时间变化的。如果排放量随时间增加，则其大气浓度也将随之增加，无论该气体在大气中的生命期如何。不过，如果采取行动减少排放，则微量气体的浓度将不仅取决于排放的相对变化，而且取决于它的清除过程。以下我们将说明，当减少排放时，不同气体的生命期和清除过程如何决定其浓度的演化。

例如，图1给出了几个试验个例，用以说明三种微量气体未来的浓度将如何对例出的排放变化做出响应(这里表示对排放中的施加脉冲变化的响应)。我们考虑的微量气体包括生命期没有明确定义的CO<sub>2</sub>；一种有明确定义的量级为一百年的长生命期微量气体(如N<sub>2</sub>O)，以及一种有明确定义的短生命期、量级为十年的微量气体(如CH<sub>4</sub>、HCFC-22，或其它卤烃)。对每种气体提供五个未来排放的示例：稳定在当前的排放水平，以及稳定在直接减少排放10%、30%、50%和100%的水平。

CO<sub>2</sub>的行为(图1a)完全不同于有具体生命期的微量气体。CO<sub>2</sub>排放稳定在当前水平可能造成整个21世纪及其以后大气中的CO<sub>2</sub>持续增加；而对于生命期数量级为一百年(图1b)或十年(图1c)的气体，排放稳定在当前水平可能导致其浓度分别在数百年或数十年内稳定在高于今天的水平。事实上，只有在基本

(接下页)

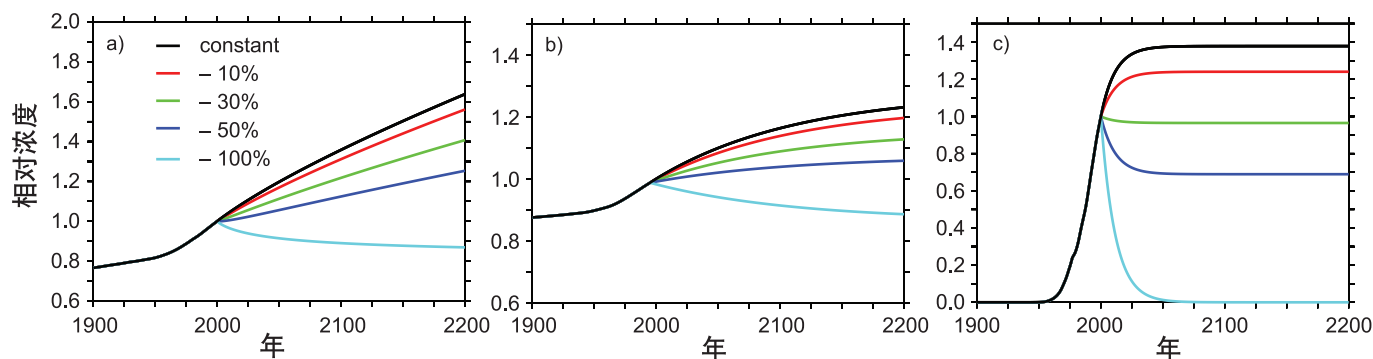


图1. (a) 相对于现在排放水平的模拟的大气CO<sub>2</sub>浓度变化，排放稳定在当前水平(黑色)；或者低于当前水平10%(红色)、30%(绿色)、50%(深蓝色)和100%(浅蓝色)；(b) 同(a)，针对的是具有120年生命期、由自然和人为通量驱动微量气体；(c) 同(a)，针对的是具有12年生命期、仅由人为通量驱动的微量气体。

上完全消除排放的示例中，大气的CO<sub>2</sub>浓度才能够最终稳定在一个恒定的水平上。所有其它CO<sub>2</sub>适度减排的示例都表明，因其特有的与气候系统中碳循环有关的交换过程，CO<sub>2</sub>浓度会增加。

更具体而言，当前的CO<sub>2</sub>排放速率远远超过它的清除速率，缓慢和不完整的清除意味着从少量到中等程度的减少排放不会导致CO<sub>2</sub>浓度的稳定，而只能在未来几十年内减少其增长速率。预期减少10%的CO<sub>2</sub>排放将使增长速率减少10%，同样，减少30%的排放量可能使大气CO<sub>2</sub>浓度的增长速率减少30%。减少50%的排放有可能使大气中的CO<sub>2</sub>处于稳定水平，但不会超过十年。此后，由于众所周知的化学和生物学调节作用，随着大陆和海洋汇的减少，预期大气中的CO<sub>2</sub>将再次上升。估计CO<sub>2</sub>排放的完全消除可以使大气中的CO<sub>2</sub>在21世纪缓慢下降约40 ppm。

对于生命期有明确定义的微量气体，情况则完

全不同。对于所列示的有百年量级生命期的微量气体(如N<sub>2</sub>O)，为了使浓度稳定在接近当前的水平上，需要减少排放50%以上(图1b)。稳定的排放可以使浓度在几百年内保持稳定。

在所列示的短生命期气体的个例中，目前的消失率约占排放的70%。在这一个例中，小于30%的减排仍将导致浓度在短期内增加，但与CO<sub>2</sub>相比，它可以使其浓度在几十年内达到稳定水平(图1c)。这类气体的浓度有可能稳定在某一水平上，该水平的下降程度直接与减排成正比。因此，在这个示例中，为了把浓度稳定在明显低于当前的水平上，可能需要把该微量气体的排放减少30%以上。完全停止排放有可能使具有生命期数量级为十年的微量气体在不到百年的时间内回到工业化前的浓度水平。

## 常问的问题11.1

## 能够预估不同区域的气候变化吗？

气候的变化因区域而异。这种变化受到太阳加热过程的不均匀分布、大气、海洋和地表的单独响应及其相互作用的驱动，以及受到区域物理特性的驱动。导致全球变化的大气成分的扰动影响这些复杂的相互作用的某些方面。一些影响气候的人为因子（“强迫”）具有全球性，另一些因子则因区域不同而异。例如，引起变暖的二氧化碳均匀分布于全球各地，不论其排放源自何处；但能够抵消部分变暖趋势的硫酸盐气溶胶（微小颗粒物），其分布则往往呈区域性。此外，对强迫的响应部分受到来自强迫最强区域的反馈过程的支配，而这种反馈过程会出现在不同区域。因此，预估的气候变化也会因地区的不同而改变。

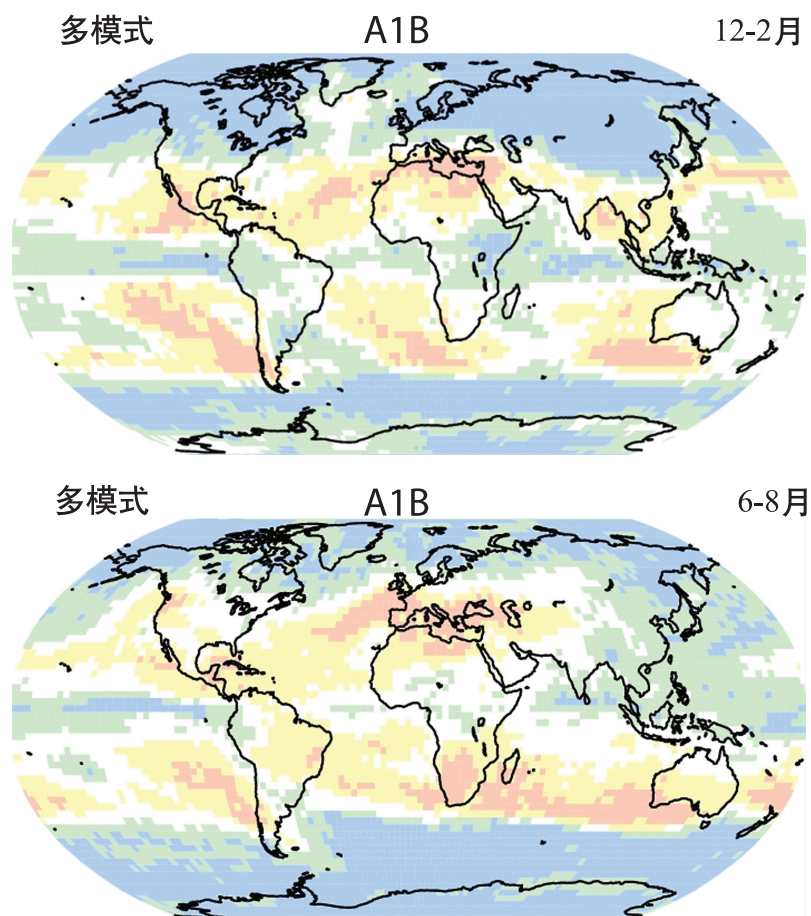
为了考虑气候变化将如何影响一个区域，最好从纬度入手。例如，尽管预期地球各地都会变暖，但预估的变暖量通常是从热带向北半球的极地增加。降水较为复杂，但也具有一些依赖纬度的特点。在与极区相邻的纬度，预估降水会增加，而在许多与热带毗邻的地区，预估降水会减少（参见图1）。预估在雨季（如季风）热带降水将增加，尤其是在热带太平洋地区。

相对于海洋和山脉的位置也是一个重要因子。通常，预估内陆地区比沿海地区更加温暖。降水响应不仅对大陆的几何形状尤为敏感，而且对山脉附近的形状和风向十分敏感。季风、温带气旋和飓风/台风都以不同的方式受到这些特定区域特点的影响。

认识和预估区域气候变化的某些最困难的方面与大气和海洋环流可能的变化，以及它们的变异型式有关。尽管在某些情况下可以制作出涵盖气候定性相似的各种不同区域的一般性声明，但几乎每个区域在某些方面都是独特的。无论是亚热带地中海周围的海岸带，还是依赖于墨西哥湾水汽输送的北美内陆的极端天气，或者是植被分布、海洋温度以及有助于控制撒哈拉沙漠南界的大气环流之间的相互作用，这一点都是正确

的。

尽管提高对全球和区域因子间正确平衡的认知仍然是一项挑战，但对这些因子的认知正在稳步提高，从而增强了我们对区域预估的信心。



FAQ 11.1. 图1. 预估到本世纪末，图中的蓝色和绿色区域会经历降水的增加，而黄色和粉色区域，预估降水将减少。上图表示对涵盖12月、1月和2月时段的预估结果，下图表示对涵盖6月、7月和8月时段的预估结果