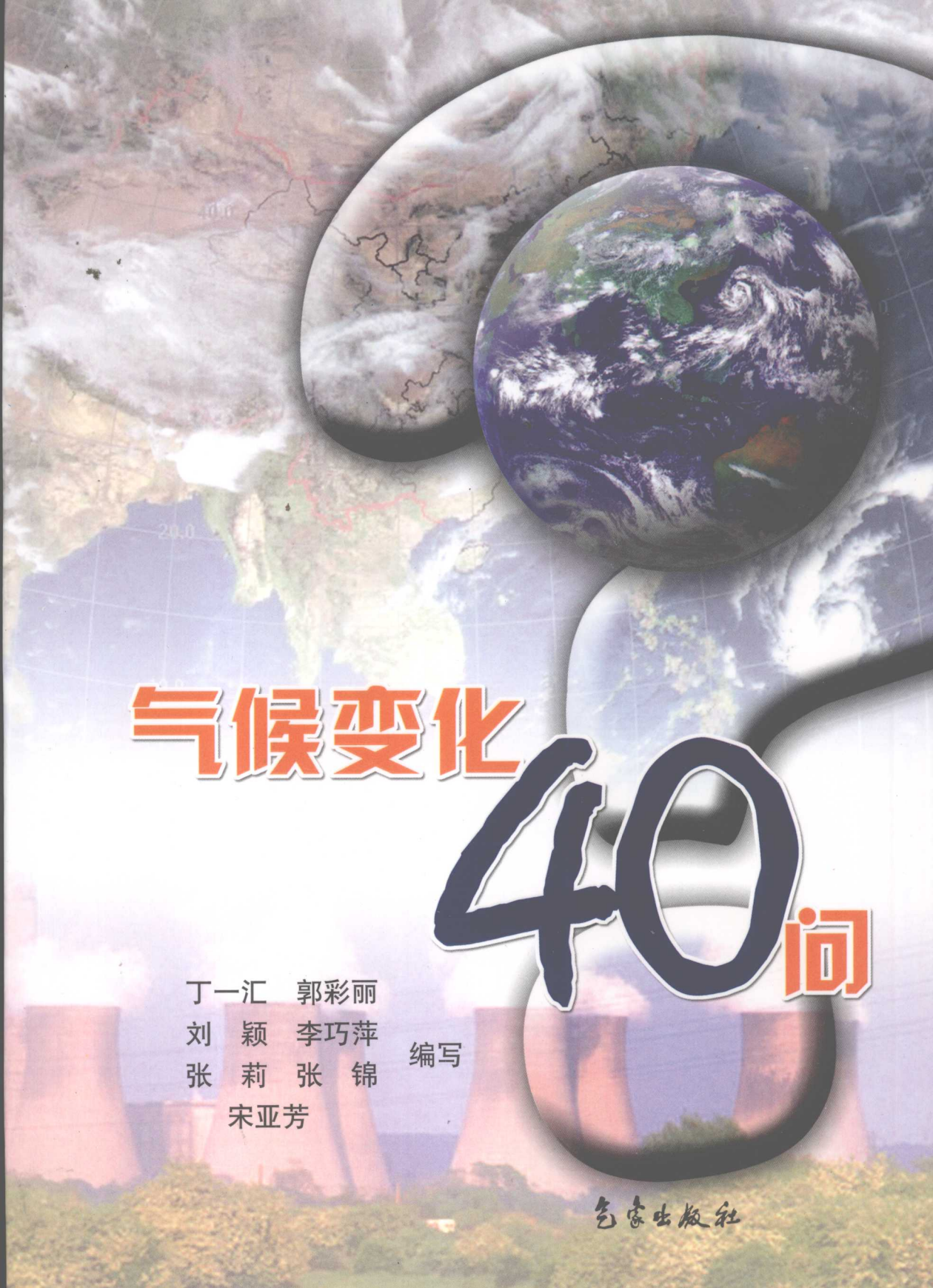


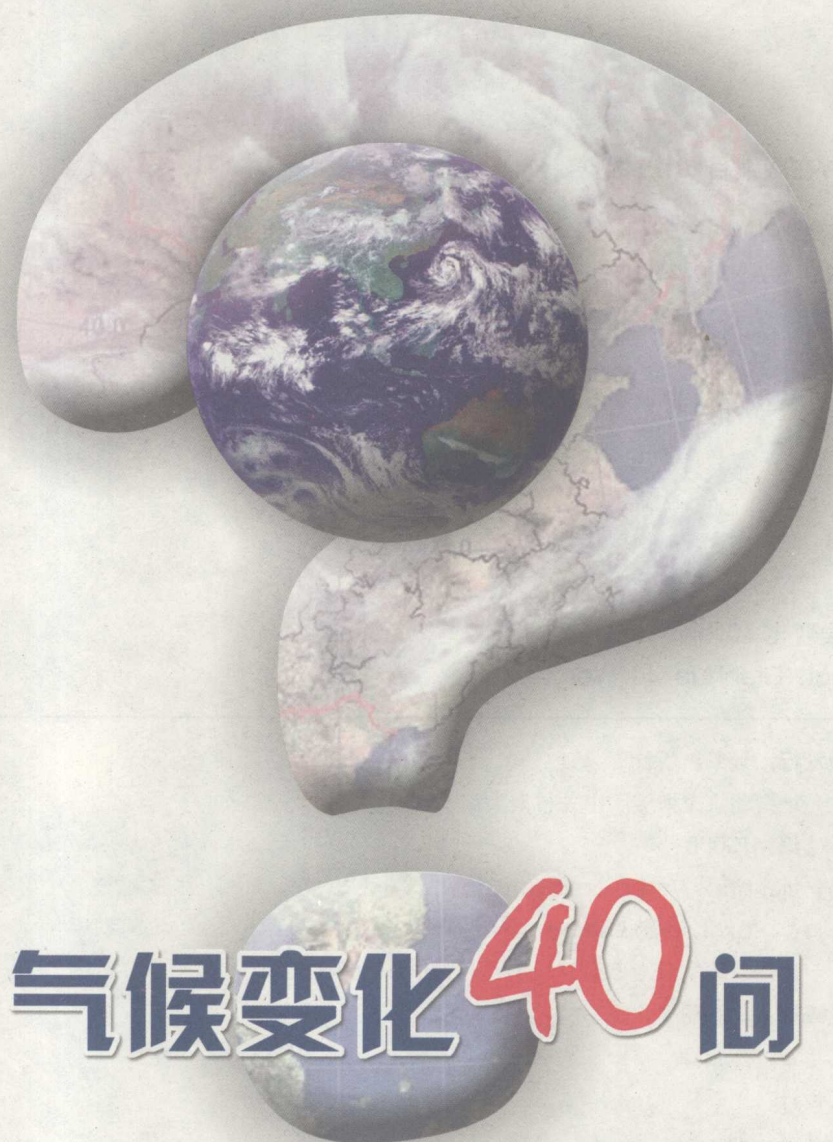


气候变化 40间

丁一汇 郭彩丽
刘颖 李巧萍
张莉 张锦
宋亚芳

编写

气象出版社



丁一汇 郭彩丽 刘 颖 宋亚芳 编写
李巧萍 张 莉 张 锦

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

气候变化 40 问 / 丁一汇等编. —北京: 气象出版社, 2008.3

ISBN 978-7-5029-4461-2

I. 气… II. 丁… III. 气候变化—问答 IV. P467-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 017624 号

气候变化 40 问

Qihou Bianhua 40 Wen

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮 编: 100081

网 址: <http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

电 话: 总编室 010-68407112, 发行部 010-68409198

责任编辑: 郭彩丽 崔晓军

终 审: 陈云峰

封面设计: 王 伟

责任技编: 都 平

责任校对: 刘祥玉

印 刷 者: 北京中新伟业印刷有限公司

开 本: 710×1000 1/16

印 张: 8.5

字 数: 148 千字

版 次: 2008 年 3 月第 1 版

印 次: 2008 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 1—5000

定 价: 25.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等, 请与本社发行部联系调换

前言

近年来,由于气候变化的事实及其影响越来越显著,构成了对自然系统和人类经济社会可持续发展的现实性威胁,气候变化引起国际社会的高度关注。特别是随着2007年政府间气候变化专门委员会(IPCC)三个工作组第四次评估报告及综合报告的陆续发布,从科学上进一步阐明了人类活动是导致全球气候变化的主要原因,气候变化问题急剧升温,已经远远超出气候变化科学范畴本身,涉及到气候与环境变化、能源安全和经济社会可持续发展,成为国际环境外交和政治经济领域的热点问题。

重视应对气候变化,积极采取适应和减缓气候变化的措施,不断提升生态环境的层次和水平,既是各级政府的责任,也是社会公众的责任。应努力促进提高社会各界对气候变化问题的认识,普及气候变化方面的科学知识,充分认识和理解应对气候变化中我国所面临的压力,增强在社会经济活动中应对气候变化的意识,更全面地理解和接受国家在承担减排义务时可能采取的措施,同时有意识地在行业发展、商业活动以及日常生活中关注气候变化。

利用问答形式阐明深奥的科学理论与成果是一种很好的科普形式。在气候变化领域中,这种形式和应用始于IPCC于2001年发布的第三次评估报告。后来加拿大气象部门也编写了公众最常提出的若干气候变化问题和回答,取得了良好的效果,为此,IPCC第四次评估报告(2007年)专门撰写了19个公众常常有疑问的问题和解答。受这些做法的启示,根据上述材料,并结合中国气候变化的具体研究成果,我们编写了《气候变化40问》一书。

在编写这本书时,我们通过媒体和各种其他渠道,对中国公众经常可能问到的问题作了初步的调查和整理,在本书中做出了更有针对性的回答,但由于水平和篇幅有限,本书中的有些回答并不是最完善的,请读者根据自己的兴趣,再从目前出版的众多专著中深入了解,寻找最满意的回答。

本书有不少编写材料取材于《中国气候变化科学概论》(丁一汇等 2007) 中的问题与解答一章, 也归纳了IPCC第四次评估报告中的问题与解答, 在此表示由衷的感谢。在本书的编写和出版过程中, 气象出版社的领导十分关心, 责任编辑郭彩丽同志花费了很多时间进行编辑, 并撰写了若干新条目, 在此一并表示感谢。另外, 还要感谢国家气候中心宋亚芳同志在收集图片和其他材料等方面所给予的支持。

丁一汇

2008年2月

目 录



-
- | | | |
|------|-------|-------------------------------------|
| (1) | 问题 1 | 地球气候是由哪些因子决定的? |
| (6) | 问题 2 | 气候变化和天气有什么关系? |
| (9) | 问题 3 | 什么是温室效应? |
| (12) | 问题 4 | 人类活动如何造成气候变化? |
| (18) | 问题 5 | 全球温度是如何变化的? |
| (22) | 问题 6 | 降水是如何变化的? |
| (27) | 问题 7 | 热浪、干旱、洪涝和飓风等极端事件是否发生了变化? |
| (31) | 问题 8 | 地球上的冰雪总量是否正在减少? |
| (34) | 问题 9 | 海平面在升高吗? |
| (37) | 问题 10 | 在工业化时代到来之前是什么原因引起冰 期的到来和其他重要的气候变化? |
| (41) | 问题 11 | 与地球历史上的早期变化相比,当前的气候变化是异常的吗? |
| (44) | 问题 12 | 全球气候演变中,自然因素的作用究竟有多大? |
| (53) | 问题 13 | 工业化时代中大气二氧化碳和其他温室气体浓度的增加是由人类活动造成的吗? |
| (59) | 问题 14 | 用于预估未来气候变化的模式,其可靠性有多大? |
| (63) | 问题 15 | 单个的极端事件是否能用温室增暖来解释? |
| (66) | 问题 16 | 20 世纪的变暖是否能用自然变率来解释? |
| (70) | 问题 17 | 热浪、干旱或洪水等极端事件会随着地球气候变化而发生变化吗? |
| (72) | 问题 18 | 气候有可能发生重大的或突然的变化吗,比如冰盖消失或全球洋流变化? |

- (76) 问题 19 如果温室气体排放减少了, 它们在大气中的浓度下降得会
有多快?
- (79) 问题 20 预估的气候变化有地区差别吗?
- (81) 问题 21 中国气候变化的主要特征是什么?
- (85) 问题 22 中国地区的气候变化与全球相比有什么异同点?
- (86) 问题 23 中国应对气候变化的政策是什么?
- (88) 问题 24 中国在应对气候变化中采取的基本立场是什么?
- (90) 问题 25 气候变化对中国农业有何影响? 中国将采取哪些应对措施?
- (92) 问题 26 气候变化对中国水资源有何影响? 中国将采取哪些应对措施?
- (94) 问题 27 气候变化对中国林业有何影响? 中国将采取哪些应对措施?
- (95) 问题 28 气候变化对中国有关重大工程有何影响?
- (96) 问题 29 气候变化对人类健康有何影响? 中国将采取哪些应对措施?
- (97) 问题 30 气候变化对自然生态系统有何影响?
- (98) 问题 31 气候变暖是否会影响青藏高原的多年冻土? 是否影响到青藏
铁路的长期安全运营?
- (100) 问题 32 中国是一个季风国家, 影响中国的亚洲和东亚夏季风发生
了什么变化? 对中国的气候有什么重要影响?
- (103) 问题 33 中国经济的迅速发展(包括城市化)对中国乃至全球气候变
化有什么影响?
- (106) 问题 34 青藏高原的环境变化对中国气候的影响如何?
- (108) 问题 35 适应与减缓气候变化的措施有哪些?
- (111) 问题 36 中国参与了哪些应对气候变化的国际行动? 这些国际行动是
谁发起的?
- (115) 问题 37 在全球气候变暖的背景下, 为什么某些时段和地区的温度反
而有所下降, 甚至会有严寒?
- (117) 问题 38 未来的全球变暖会发生怎样的变化? 未来气候会像美国电影
《后天》中所描绘的那样突然变冷吗?
- (120) 问题 39 未来气候将变暖多少? 科学家是如何预测未来气候的?
- (123) 问题 40 全球几度增温的潜在后果是什么?
- (128) 主要参考书目



问题 1

地球气候是由哪些因子决定的？

地球气候系统包括大气圈、陆地表面、冰雪圈、海洋和其他水体，以及生物圈，各个因子之间存在着复杂的相互作用，从而使气候系统的变化非常复杂。气候系统中的大气圈最能明显地显示气候的特点；气候通常被描述为“平均天气”，即用一段时间内（从数月到数百万年，但典型时段是30年）温度、降水量和风的平均状况及其变化（称为变率）来描述气候。受其内部动力作用以及外部因子（称为“外强迫”）变化的影响，气候系统随时间而变化。外强迫既包括自然现象（如火山爆发和太阳的变化），也包括由人类引起的大气组成的变化。气候系统的根本能源是太阳辐射。有三种基本的途径可以改变地球的辐射平衡：（1）改变入射的太阳辐射（如地球轨道或太阳本身发生变化）；（2）改变反射的太阳辐射[即改变地球的“反照率”（指地球表面反射到太空的辐射通量与入射的太阳通量之比。例如，通过云量的变化、大气中粒子的变化或植被的变化可使反照率发生变化）]；（3）改变从地球向太空发射的长波辐射（例如，通过改变温室气体浓度来实现）。而气候也会直接地或者通过一系列反馈机制间接地对这些变化产生响应。

在白天正对着太阳的一面，到达地球大气顶部每平方米上的能量^①约为1370瓦，对整个地球平均来说，平均每平方米获得的能量就是这个数

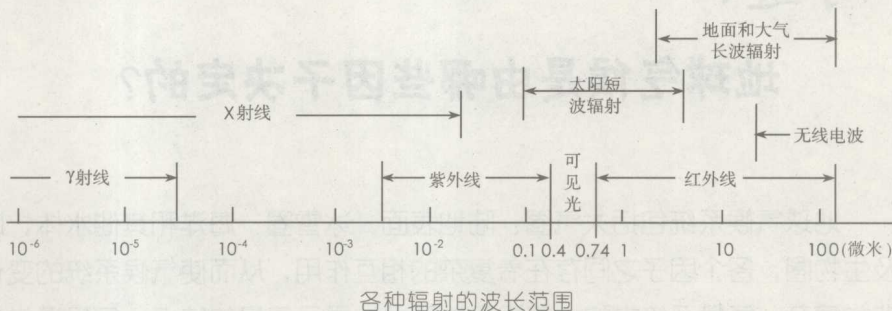
^①单位面积上单位时间内发射的（或通过的）能量应称为能量通量，常简称为能量，后文提到的太阳能量实质上是能量通量（瓦/米²）。

专栏 1.1 地球的辐射平衡

自然界的一切物体，都以电磁波的形式时刻不停地向外传送能量，这种传送能量的方式就称为**辐射**。而物体通过辐射所放出的能量称为**辐射能**，也简称**辐射**。电磁波是由不同波长的波组成的合成波。太阳、地球、大气都在不停地向外发射和吸收辐射。

太阳辐射就是太阳发射出的电磁能，包括X射线、紫外线、可见光、红外线等。太阳的总辐射中大约有9%位于紫外光区，45%位于可见光区，其余位于更长的波段。

红外辐射是指波长比可见光长的辐射。部分太阳辐射是红外辐射，但是大量的红外辐射是由地球表面、大气和云发射的，这部分辐射称做**地球辐射**或**长波辐射**。



从根本上说，地球系统的运转是由太阳辐射驱动的，而地球气候系统中的各种过程都和**地球的辐射平衡**有关，即与地球吸收了多少太阳能，以及这些能量是怎样以地球红外辐射的形式被重新发射回太空的问题有关。

地球系统的温度就是由入射的太阳辐射和地球出射的长波辐射之间的平衡决定的。这两种辐射中的任何一个发生变化，都会影响地球的辐射平衡，即影响地球的温度。

专栏 1.2 气溶胶

空气中固体颗粒和液体颗粒的总称。其典型颗粒直径介于 $10 \sim 10\,000$ 纳米之间，在空气中的滞留时间至少为数小时，包括自然源气溶胶和人类源气溶胶两种类型。气溶胶能够以两种重要的方式改变气候：第一，它们散射*和吸收太阳辐射和红外辐射；第二，它们能够改变云的微物理性质和化学性质，还可能改变云的生命期和活动范围，从而影响水循环。

注：太阳辐射通过大气时遇到空气分子、尘粒、云滴等质点时，都要发生散射，但散射并不像吸收那样把辐射能转变为热能，而只是改变辐射方向，使太阳辐射以质点为中心向四面八方传播开来。经过散射之后，有一部分太阳辐射就到不了地面。



值的四分之一（见图1.1）。到达大气顶部的阳光大约30%被反射回太空。反射掉的太阳辐射中，约有三分之二是缘于云和大气中的细小粒子（即大家所熟知的“气溶胶”）的贡献，其余的三分之一是被地球表面颜色较浅的区域（主要是积雪、冰盖和沙漠）反射掉的。当巨大的火山爆发时，大量火山灰物质被喷射到大气层中很高的地方，这时气溶胶会导致反射率发生显著的变化。降雨通常可以在一两个星期内清除掉大气中的气溶胶，但当火山物质被喷射到远高于最高云层的大气中时，这些气溶胶就会在其降落到对流层并通过降雨带回地面之前，影响地球气候长达一两年之久。因此，巨大的火山爆发可以在数月甚至数年的时间里使地球平均表面温度降低约 0.5°C ，一些源自人类活动的人造气溶胶也会显著地反射太阳光。

没有被反射回太空而被地球表面和大气层吸收的能量大约为 $235\text{瓦}/\text{米}^2$ 。为了平衡入射的能量，平均而言，地球必须向太空发射等量的辐射。地球通过向外发射长波辐射来实现辐射平衡。地球上的所有物体都在持续不断地发射长波辐射。比如，我们从一堆火发射的辐射中可以感觉到热能；物体温度越高，它发射的热能就越多。为了发射 $235\text{瓦}/\text{米}^2$ 的能量，地球表面的温度必须维持在约 -19°C 。这比地球表面的实际状况要冷得多（地表平均温度约为 14°C ）。而实际上人们发现，所必需的 -19°C 的温度存在于地球表面上空大约5千米的高度上。

地球表面之所以如此温暖缘于大气中存在温室气体，它像一床毛毯一样阻挡住了一部分来自地球表面的长波辐射。这种毛毯作用就是大家熟知的自然温室效应。最主要的温室气体是水汽和二氧化碳，而大气中含量最丰富的两种成分——氮气和氧气——却一点温室效应也没有。另一方面，



云也具有与温室气体类似的毛毯效应；但是这种效应被它们自身对太阳辐射的反射率抵消了，这样，平均而言，云对气候的作用趋向于具有冷却效应（尽管在局地上人们可以感觉到增暖效应：有云的夜晚比晴朗的夜晚更暖和，因为云向地面发射长波辐射）。人类活动通过排放温室气体增强了毛毯效应。例如，工业革命以来，大气中的二氧化碳含量已经增加了约35%，而这个增加量是由人类活动（主要是燃烧矿物燃料和毁林）造成的。因此，人类已经显著地改变了全球大气中对气候有重要影响的化学组成。

由于地球是一个球体，所以，如果指定同样大小的面积，热带地区比高纬度地区获得的入射太阳辐射要多，这是因为太阳到达高纬度地区的大气时入射的角度较小。多余的能量通过大气环流和海洋环流（包括风暴系统）从赤道地区向高纬度地区传输。从海洋或陆面蒸发水分也需要能量，这种能量称为潜热，当水汽在云中凝结时就会释放潜热（见图1.1）。大气环流主要由释放的潜热来驱动。而大气环流又通过海洋表面风的运动以及通过降水和蒸发造成的海面温度及盐度的变化来驱动大部分海洋环流。

由于地球是旋转的，大气环流的分布型式趋向于东西方向而非南北方向。中纬度西风带的大尺度天气系统可以把能量向极地方向传输。这些天气系统就是我们熟知的不断移动的低压及高压系统以及有关的冷锋和暖锋。由于海陆温差以及山脉和冰盖的阻挡作用，环流系统中行星尺度的大气波在大陆和山脉等地理因素的影响下有相对固定的分布，尽管其振幅会随时间而变化。由于波的分布型式，北美的冷冬也许和同一个半球其他地方的暖冬是有关联的。气候系统不同方面的变化——如冰盖的面积、植被的类型和分布，或者大气或海洋的温度——都将影响大气和海洋的大尺度环流特征。

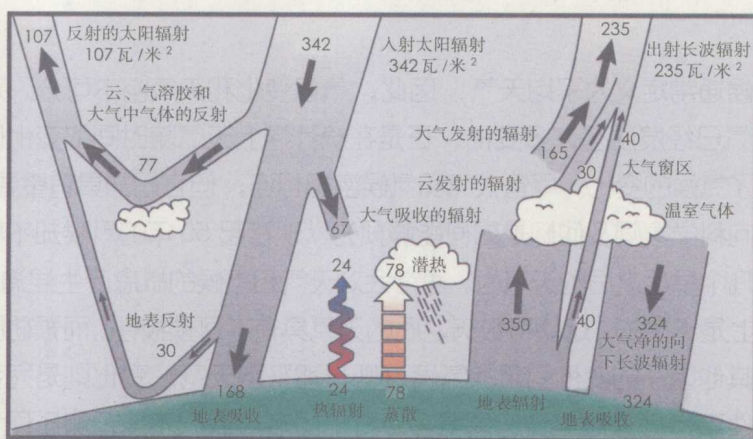


图 1.1 地球年平均全球能量平衡示意图

从长期来看，地球和大气吸收的人射太阳辐射与地球和大气释放的出射长波辐射是平衡的。约有一半的人射太阳辐射被地球表面吸收。这部分能量通过加热与地面接触的空气（形成热泡）、蒸散以及被云及温室气体吸收的长波辐射而被传输到大气层。大气层又发射长波能量，一部分返回地球，一部分出射到太空（引自 Kiehl 等，1997. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 78: 197–206.）

气候系统中有许多反馈机制，它们或者放大或者减小气候强迫变化的效应，前者称为“正反馈”，后者称为“负反馈”。例如，当温室气体浓度升高使地球气候变暖时，冰和雪开始融化。冰雪融化使冰雪覆盖下的陆地和水体表面颜色变深，继而这些表面的反照率减小，从而会吸收更多的太阳辐射，使增暖加剧，增暖加剧后使得更多的冰雪融化，从而形成自增强循环。这个反馈过程叫做“冰-反照率反馈”，它放大了由温室气体浓度升高造成的初始增暖。检测、辨识和仔细地定量研究气候反馈已经成为科学家在揭示地球气候的复杂性时重点研究的问题之一。



问题 2

气候变化和天气有什么关系？

气候通常定义为平均天气，因此，气候变化和天气密不可分。观测表明，天气已经发生了许多变化，正是在统计学上天气随时间的变化使我们辨识出了气候的变化。尽管天气和气候密切相连，但它们却具有重要差异。当人们向科学家问及他们是如何能够预估从现在起 50 年的气候却不能由今天预报几个星期之后的天气时，通常会对天气和气候的概念产生混淆。天气在本质上是无序的，这使得数天之后的天气具有不可预报性。而预估由大气成分或其他因子的变化引起的气候（即长期平均天气）变化则是完全不同的另一件事，处理起来要容易得多。打个比方，我们不能预测任何个人的寿命，但却可以很有把握地说，在发达国家，男人的平均寿命大约是 75 岁。人们容易混淆的另一点，是觉得地球上某一地点的冷冬或冷事件是反对全球变暖的证据。既然全球变暖怎么还有这些冷事件？但从全球来看，我们知道地球上一直都有极端暖事件和极端冷事件，尽管它们的发生频率和强度会随着气候的变化而变化。但是当对天气在空间和时间上都做了平均之后，全球正在变暖的事实就会从资料中清楚地反映出来。

为了观测、了解和预报天气系统的逐日演变，气象学家付出了巨大的努力。他们利用控制大气运动、冷暖变化、降水（雨、雪）和水分蒸发的物理概念，已经能够成功地预报未来数天的天气。对于数天之后的天气预报，主要的限制性因子是大气的基本动力学性质。20 世纪 60 年代，气象学家洛伦兹（Edward Lorenz）发现，初始条件中的非常小的变化可以导致完全不同的预报结果。这就是所谓的蝴蝶效应：一只蝴蝶在某个地方扇动翅膀（或其他一些小事件），原则上可以在后来改变相距



专栏 2.1 混沌运动和混沌理论

混沌运动指动力学系统由于其内在随机性而出现的不可预测的、看似无规则的运动状态。动力学系统由微分方程、偏微分方程、差分方程或一些迭代方程来描述。这些方程的系数都是确定的。对于某些非线性动力学系统，其长时间的行为或演化过程对系统状态的初值具有极大的敏感性，其行为具有随机性，演化过程实际上不可预测，只有某种统计特征。研究和分析混沌运动的理论称为**混沌理论**，亦称“混沌学”。

遥远的某地的天气。蝴蝶效应的核心是混沌理论，该理论可以处理某些变量中的微小变化是如何在复杂系统中引起明显的无规则变化的。

无论如何，混沌理论并不意味着大气完全是无秩序的运动或变化。例如，在其发展过程中，早期条件的微小差异有可能改变风暴系统到达的时间或其原有的发生路径，但是对这个地区来说，在这个时间段中，平均的温度和降水量（即气候）依然相同。天气预报中一个很重要的问题是要知道预报阶段的所有初始条件，所以，在处理天气的背景条件时考虑当地的气候条件非常有用。更确切地说，可以把气候看做是关于整个地球系统——包括大气、陆地、海洋、冰和雪，以及生物（见图 2.1）——的情形，它们都是决定天气类型的全球背景条件。如影响秘鲁海岸带天气的厄尔尼诺（El Nino）事件，厄尔尼诺把可能发生的天气类型的变化限制在一定的特征上。而拉尼娜（La Nina）事件则会有不同的限制作用。

另一个例子是冬夏季节的对比。季节转换是由于地球系统吸收和放射能量的地理分布发生变化所致。同样，未来气候的预估受地球系统热能的基本变化的影响，特别受到在地球表面捕获热量的温室效应强度增

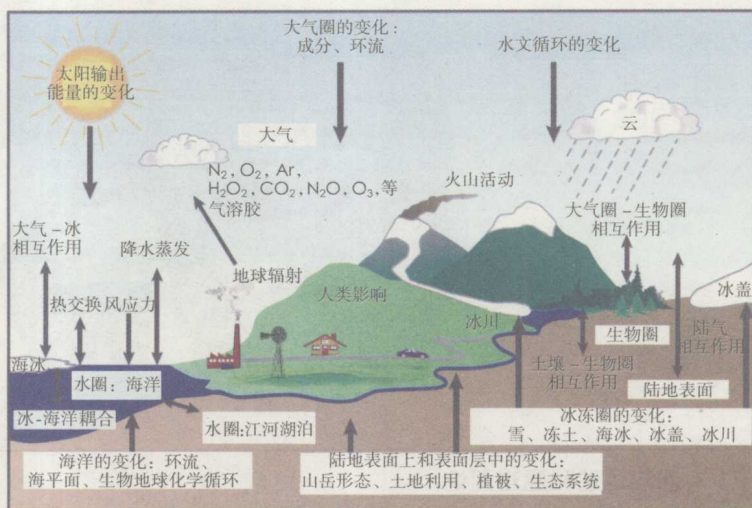


图 2.1 气候系统各组成因子及其过程和相互作用示意图

加的影响，而温室效应是由大气中的二氧化碳和其他温室气体的数量决定的。从现在开始预估未来 50 年温室气体的变化引起的气候变化与从现在开始预报几个星期之后的天气类型的变化是完全不同的问题，前者解决起来要容易得多。换言之，大气成分变化所带来的长期变化比起单独的天气事件的可预报性要大得多。比如，尽管我们预报不出抛掷单个硬币或掷骰子的结果，但却能够预报出大量同类过程的统计表现。

尽管有许多因子都在持续不断地影响气候，但科学家已经确定，人类活动已经变成一支主要的驱动力，而且作为主要原因引起了过去 50 年观测到的大部分增暖现象。例如，人类引起的气候变化主要源自大气中温室气体浓度的变化，不仅如此，还源自悬浮于空气中的微小颗粒物（气溶胶）的变化以及土地利用的变化。随着气候的变化，某些类型天气事件的发生概率受到影响。例如，随着地球平均温度的升高，有些天气现象（如热浪和强降水）发生得更加频繁，强度也更大，而有些天气事件（如极端冷事件）的发生频率则在降低，强度也在减弱。

问题 3

什么是温室效应？

太阳是地球气候的根本能源，它在电磁波谱波长很短的谱区——主要是可见光区或近可见光区（如紫外谱区）——发射能量。到达地球大气顶层的太阳能量中，大约三分之一被直接反射回太空。其余三分之二被地球表面以及大气（所占份额很小）所吸收。为了平衡所吸收的入射能量，平均而言，地球必须也向太空发射同样数量的能量。地球的温度比太阳要低得多，因此，地球是在电磁波谱波长长得多的谱区——主要是红外谱区——发射辐射（见图 3.1）。陆地和海洋所发射的大部分热辐射被大气圈（包括云，以及 CO_2 等痕量气体）所吸收，并重新将其发射回地球，这种热辐射使其下大气层和地面加热。这称做温室效应。但是仅从热辐射输送过程来理解温室效应还不够，还必须考虑大气温度垂直分布的作用。前面已经指出，大气中的水汽和温室气体吸收了地表发射的长波热辐射，并同时以自身的温度向外空发射热辐射。在大气高层，由于温度比地表低得多，这些气体发射的热辐射量比较小。这些高层的温室气体吸收了大量或全部（看做黑体）由地表发射的长波辐射，但其向外发射的长波辐射却相对少得多。因此这些水汽和温室气体的存在使大气损失于外空的热辐射大大减少。这些温室气体的作用犹如覆盖在地表上的一层棉被，棉被的外表比里表要冷，使地表热辐射不至于无阻挡地射向外空；从而使地表比没有这些温室气体时更为温暖。由上可见，地球上如果没有温度随高度减小的温度垂直分布，就不会有温室效应。温室效应之所以得名是由于上述辐射过程类似于玻璃温室的辐射过程。温室的玻璃可以减少

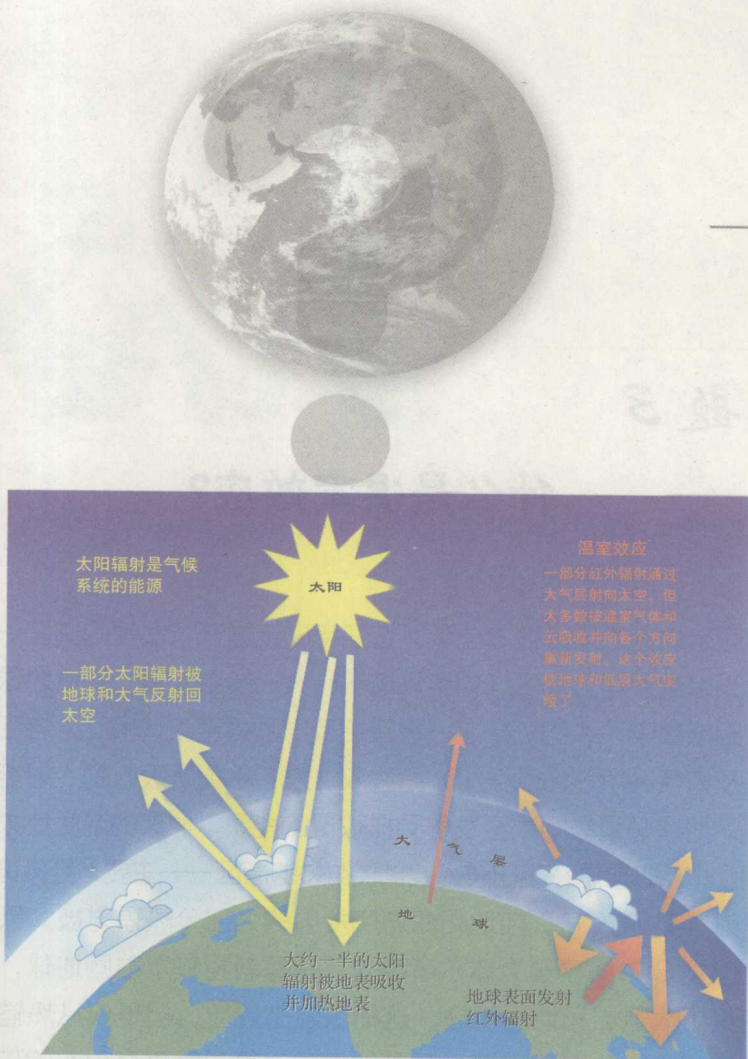


图 3.1 自然温室效应的理想化模型 (解释见正文)

空气的流动,并使太阳辐射射入以及阻挡了温室内长波热辐射的外逸,这些作用使温室内部的温度升高。与此类似,地球的温室效应也能使地球表面变暖,只不过它们的物理过程不同罢了。如果没有地球的自然温室效应,地球表面的平均温度将低于冰点。因此,地球的自然温室效应使我们现在已知的所有生命活动成为可能。但是,人类活动(主要是矿物燃料的燃烧和毁林使 CO_2 含量增加)大大增强了自然的温室效应,引起全球变暖。

大气中含量最多的两种气体——氮气(占干空气的 78%)和氧气(占 21%)——几乎没有温室效应。而温室效应来自那些结构更复杂、含量却少得多的分子。水汽是最重要的温室气体,二氧化碳(CO_2)次之。大