

国 / 情 / 系 / 列 / 丛 / 书 /

中国天气

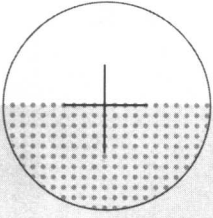
WEATHER, METEOROLOGY AND CLIMATE IN CHINA

章国材 主编

天气
气象
气候

开明出版社
kaimingpress

国 / 情 / 系 / 列 / 丛 / 书 /



中国天气

WEATHER METEOROLOGY AND CLIMATE IN CHINA

章国材 主编

天气
气象
气候

开明出版社
kaimingpress

图书在版编目(CIP)数据

中国天情/章国材主编.-北京:开明出版社,2002.6

ISBN 7-80133-513-9

I. 中… II. 章… III. 气象学—科学研究—概况—中国 IV. P4-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 071778 号

责任编辑:吕志敏

国情系列丛书

中国天情

章国材 主编

*

开明出版社出版发行

(北京市海淀区西三环北路 19 号 邮编 100089)

北京北方印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:31.125 字数:750 千字

2002 年 11 月北京第 1 版 2002 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-80133-513-9/G·447 定价:80.00 元

《国情系列丛书》编辑委员会

主 任：徐冠华

副主任：尚 勇 王志学 张晓原

委 员：（以姓氏笔画为序）

王志学	王 喆	卢良恕	石元春	任继周
江泽慧	张晓原	张新时	李 普	周秀骥
尚 勇	徐冠华	郭志伟	曾呈奎	程国栋

《中国天情》编写组

主 编：章国材

编写人员：（以姓氏笔画为序）

方宗义	方维模	王邦中	王春乙	王锦贵
邓 勇	朱福康	张德二	李小泉	李慧彬
陈万奎	祝昌汉	恽耀南	徐大海	郭建平
高素华	黄朝迎	焦佩金	薛 桁	

洞悉国情 审时度势 阔步迈向 21 世纪

——《国情系列丛书》总序

站在 20 世纪的终点，回望人类家园，心情既感自豪，也稍感沉重。千年文明，百年沧桑，为地球带来了众多机遇和挑战。

20 世纪是一个精彩纷呈的世纪，20 世纪也是一个喜悲交加的世纪。

从一万年刀耕火种的原始文明到 5000 年前传统耕作的农业文明，从 250 年前蒸汽机时代的工业文明到 10 年前初露端倪的绿色生态文明，人类文明的步伐明显加快，以至于过去一百年来所发生的变化，似乎更胜于工业革命前一千年的改变，但随之结伴同行的是人口膨胀、资源短缺和环境危机。

在纪元 2001 年到来之际，人类又一次面临着“晋千之禧”。

今日世界之图景，一是地球人口暴增，环境污染严重，大量物种灭绝，南极冰峰消融；二是北美、西欧和东亚三大经济板块基本圈定，在可以预见的时期内将保持格局稳定；三是南北差距较以前有过之而无不及，在一个不能打破贫困周期且越来越不平等的世界中，这种差距有继续扩大之势。据此推断，20 世纪留给接继者的并非一个鼓乐升平的完美地球。

世界银行的最新报告表明：集中于工业化国家 1/6 的世界人口，垄断了全球近 80% 的收入；而居住在 63 个发展中国家的 60% 的人口，仅得到世界收入的 6%。另有《1998 年人类发展报告》指出：占世界总人口 20% 的富人和 20% 的穷人收入之比，60 年代是 30:1，目前已扩大到 74:1。世界最富有的 225 人中 60% 是美国人，共有私人财产 3 110 亿美元，总资产超过 1 万亿美元，后者相当于世界总人口中 47% 最贫困之人全年收入的总和。全世界最富有的 3 个人的财产，超过了 48 个欠发达国家国内产值的总和。

世纪之交的中国，告别了计划经济的时代，开创了社会主义市场经济的新纪元；结束了持续数千年的食物短缺时代，进入了供需基本平衡的新时期，少数农产品出现结构性、地区性、季节性剩余；主要农产品已由总量不

足的矛盾，转变为优质产品数量不足、农业经济效益不高、产品结构性不合理的矛盾。生态环境问题日趋突出，已经明显制约农业乃至国民经济的持续发展。黄河断流创历史新高，淮河污染在关闭了近5万家企业之后仍然没有彻底解决，长江防洪能力差的问题在经历了1998年惊心动魄的世纪洪灾的考验之后，尚未得到根本缓解。我国耕地年均减少430多万亩，水土流失162万平方公里，土地荒漠化面积年均扩大2460平方公里。我国贫乏的水资源由于时空分布的不均衡，在北方地区的大片国土上已成为人类生存和环境改善的主要障碍。我国将近9亿的农村人口由于自身素质和经济条件的制约，正在被飞速发展的互联网所带来的数字时代和信息社会悄无声息地排斥着。

面对如此严峻的环境和形势，农业和农村经济的可持续发展，必须要采用符合中国国情的发展模式，走持续高效的发展道路，提高资源利用率和利用效率，保护并逐步改善生态环境，根本出路在于科技的发展和进步，用先进的科学技术支撑未来农业的发展。为此，科技部专门组织了一批专家学者，就我国涉农领域的基础资源状况编写了这套《国情系列丛书》，使大家对我们享有的“财富”心中有数，为未来的发展规划提供决策依据。

站在21世纪的起点，瞻望生存前景，脚步坚毅而豪迈。千年轮回，百年创业，为中华民族的繁衍留下一片绿色家园。

当我们到达第三个千年终点之时，人类能否无愧地道一声：地球，你好！

江泽民

2000年10月

前言

《中国天情》是《国情系列》丛书中的一部，讲的是有关天气、气候的事情。大气科学是一门既古老又年轻的科学。古时候，人们观测星辰的运动来预测天气，观云以测天。但是，真正科学意义上的大气科学应该从 19 世纪初开始算起，科学家用已经发明的气压表测量一些地方的气压，并将测量的气压、风、温度等绘制在一张图上，形成了最初的天气图，并用它来外推未来天气的变化。人类生活在大气之中，大气的活动与人类的经济和社会活动息息相关，因而推动着大气科学的进步。180 多年来，大气科学获得了迅速的发展，并在许多方面获得了应用。特别是 20 世纪 80 年代以来，气候变化引起了人们的广泛关注，因而刺激各国科学家对气候的研究。气候是大气科学问题，但它是大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈、生物圈复杂的相互作用的产物，因此，不仅引起了大气科学家的研究兴趣，其它领域的科学家也加入研究的队伍，研究领域大大拓宽了。《中国天情》试图向读者介绍天气学、气候学及其应用情况。

本书分上、中、下三篇，上篇“气象万千”共五章，第一章“地球大气”由章国材撰写；第二章“气候资源”由薛桁撰写；第三章“大气探测”中第一节由章国材撰写，第二节由方宗义撰写，第三节由邓勇撰写；第四章“气象灾害”由李小泉撰写；第五章“人工影响天气”由陈万奎撰写。中篇“风云可测”共五章，第六章“天气预报”由朱福康撰写；第七章“气候预测”由王锦贵、祝昌汉撰写；第八章“气候影响评价”由黄朝迎撰写；第九章“气候变化”由张德二撰写；第十章“履约路漫漫”由王邦中撰写。下篇“天工人代”共六章，第十一章“农业气象”除第二节由高素华、郭建平撰写之外，其余由王春乙撰写；第十二章“航空与交通气象”第一、二、三节由李慧彬撰写，第四节由焦佩金撰写；第十三章“海洋气象”由方维模撰写；第十四章“生物气象”和第十六章“城市气象”由恽耀南撰写；第十五章“污染气象”由徐大海撰写。

由于本书涉及的内容繁多，编写的时间又紧，错漏之处一定不少，恳请读者予以指正。

本书不仅适合大气科学工作者阅读，而且适合各级领导、地学工作者阅读，对于他们了解大气科学不无补益。

章国材
2002 年 6 月

目 录

上篇 气象万千

第一章 地球与大气	3
第一节 宇宙中的地球.....	3
第二节 地球大气.....	5
第三节 大气运动的奥秘	11
第四节 天气的创造者	13
第五节 气 候	18
第二章 气候资源	22
第一节 气候区划	24
第二节 农业气候区划	32
第三节 太阳能风能资源	53
第三章 大气探测	59
第一节 观云测天	59
第二节 千里眼——气象卫星	61
第三节 顺风耳——天气雷达	85
第四章 气象灾害	103
第一节 气象灾害概述.....	103
第二节 干 旱.....	106
第三节 雨涝灾害.....	110
第四节 风雹灾害.....	114
第五节 寒潮与冷害.....	118
第六节 扬沙与沙尘暴.....	121
第七节 雷电灾害.....	124
第八节 雾 害.....	127
第九节 次生灾害.....	129
第五章 人工影响天气	132
第一节 云水资源.....	133
第二节 我国的云和云量分布.....	135
第三节 我国的降雨和降雨分布.....	137
第四节 人工增雨.....	139

第五节 人工防雹·····	143
第六节 人工消雾·····	145
第七节 人工抑制闪电·····	147
第八节 人工防霜·····	149

中篇 风云可测

第六章 天气预报 ·····	153
第一节 天气分析·····	153
第二节 天气系统·····	159
第三节 东亚天气系统·····	168
第四节 东亚季风·····	174
第五节 中小尺度天气系统·····	177
第六节 天气预报·····	184
第七节 数值天气预报·····	188
第七章 气候预测 ·····	193
第一节 气候系统·····	193
第二节 气候可预报性·····	200
第三节 气候预测·····	201
第四节 影响我国夏季降水的主要物理因子·····	209
第五节 厄尔尼诺/拉尼娜与中国降水的关系·····	218
第六节 气候变化与气候异常·····	226
第八章 气候影响评价 ·····	233
第一节 气候对经济建设的影响·····	234
第二节 气候对社会的影响·····	243
第九章 气候变化 ·····	254
第一节 古气候变化(地球气候演变史)·····	254
第二节 中国历史气候变化·····	260
第三节 人类活动与气候变化·····	270
第十章 履约路漫漫 ·····	285
第一节 联合国气候变化框架公约(UNFCCC)·····	285
第二节 政府间气候变化专业委员会(IPCC)·····	292
第三节 与气候有关的其它国际公约和国际计划·····	302

下篇 天工人代

第十一章 农业气象 ·····	309
第一节 农业气候资源·····	309
第二节 农业与气象·····	320

第三节	农业气象灾害·····	329
第四节	农业气象预报·····	338
第十二章	航空与交通气象·····	348
第一节	影响飞行的气象条件·····	348
第二节	航空气候·····	353
第三节	航空气象预报·····	355
第四节	交通气象·····	357
第十三章	海洋水文气象·····	362
第一节	海洋水文气象测报·····	363
第二节	海洋水文气象现象·····	366
第三节	海洋水文气象预报·····	370
第四节	海洋气象服务·····	373
第十四章	生物气象·····	376
第一节	生物气象学·····	376
第二节	医疗气象·····	377
第三节	医疗气象预报·····	383
第十五章	空气污染气象·····	388
第一节	大气边界层·····	388
第二节	城市边界层大气污染、排放标准·····	395
第三节	大气污染的气象条件·····	413
第四节	城市空气质量管理系统与空气污染预报·····	419
第五节	建立烟雾警报系统与污染烟雾事件防治措施·····	425
第十六章	城市气象·····	434
第一节	城市气候的基本特征·····	435
第二节	城市天气预报·····	454
第三节	城市建筑气象·····	458
第四节	气象条件与城市规划·····	472

上 篇

气 象 万 千

地球与大气

第一节 宇宙中的地球

一、太阳与地球

地球是太阳系中的一颗行星。茫茫宇宙之中有一个银河系，它的形状像一个铁饼，在这个铁饼靠近边缘处有一个太阳系，我们生存的地球就是太阳系的一员。太阳系共有九颗行星：金星、木星、水星、火星、土星、地球、天王星、海王星、冥王星，行星都围绕太阳转，太阳是太阳系的中心。从太阳往外数，地球排在第3轨道，这是一个恰当的位置：地球既不被太阳光照射得过热，又不至于过冷，是形成地球生机勃勃的一个重要原因。

太阳，天气的创造者在太阳系中心已经燃烧了几十亿年。在它的核心，温度高达一千五百万摄氏度，无数氢核相互碰撞发生热核反应，形成氦核，并产生巨大的能量，其中的大部分以每分钟 6×10^{27} 卡路里热量的速度从太阳中被释放出来。

太阳释放的总热量非常大，地球仅仅得到其中的大约二十亿分之一。这是由于地球相距太阳一亿五千万千米，同时地球表面

积比较小的缘故。太阳剩余的能量则散失在宇宙中。那些到达地球的能量，尽管很少，但足够加热地球，它维持了地球生命的繁荣，为大家提供能量，形成我们所知道的天气。

太阳怎样使地球发热呢？

地球吸收不同波长的太阳光谱，一些是来自可见光的短波，一些是植物通过光合作用生长所必须的紫外线，一些是红外线。到达大气外界、直接面对太阳的地球面积上的太阳辐射能约为 1 370 瓦，相当于一个普通家用电炉所辐射的功率。然而，地球表面只有一小部分面对太阳，而且还总有一半时间（夜间）背向太阳，因此，到达大气外层一平方米面积的平均能量仅是该值的四分之一，即 343 瓦。当它通过大气时，一小部分 6% 被大气分子散射返回空间，平均 10% 由陆地和海表反射到空间，剩下的 84%（平均为 288 瓦/平方米）真正用于加热地表，相当于三个大型的白炽灯泡的功率。

与此同时，地球本身又以热辐射的形式向外空平均辐射同样多的能量，以实现辐射收支平衡。所有物体均发射这种辐射。由于地表温度一般在 -50°C 至 50°C 之间，因此地表辐射是肉眼无法看到的，其波长位于可见光谱的红光以外，即红外辐射。但是，在晴朗、星光灿烂的冬季夜晚，我们可以明显地察觉到这种由地表发射到外空的辐射而造成的冷却效应，它经常导致结霜。

地表发射的辐射量取决于它的温度和地表吸收。地表越热，发射的辐射能就越多；地表吸收越多，辐射越多。为了平衡入射的能量，地表温度必须是 -6°C 才能产生与入射能量相当的辐射能。但是，观测得到的地球表面（海表和陆表）全年平均温度大约是 15°C ，也就是说，地球表面辐射的能量比 -6°C 要多，那么这些能量到那里去了哪？

我们知道氮气和氧气既不吸收也不发射热辐射。但是大气中含量少得多的水汽、二氧化碳和其他一些微量气体吸收一部分地表发射的热辐射，对它起到了部分遮挡作用，并造成地表实际平均温度（ 15°C ）和仅包含氧气和氮气的大气状况下地表温度（ -6°C ）之间 21°C 的差别。这种遮挡作用被称为自然温室效应，而这些气体被称为温室气体。将它称为“自然”是由于所有的大气气体（CFCs 除外）原在人类出现之前就已经存在了。下面提到的增强温室效应，指的是由化石燃料燃烧和森林破坏之类的人类活动产生的大量气体所引起的附加效应。

除了辐射外，大约有 27% 的到达地球的太阳能以传导或对流的形式传播开来。传导是当物体被加热时，物体里相对移动快的分子把能量直接传送给另一个分子的过程。土地和水就以这种方式慢慢地传播它们的热量。对流是在液体或气体里，通过分子运动进行的热量传播。地表通过吸收太阳光而变暖，近地面的空气被加热并因密度较低而上升；当热空气上升时便会膨胀冷却。当某些空气团上升时，其它空气团下沉。这样空气将不停地上下流动，直到上下运动互相平衡，达到对流平衡状态。

二、地球运动

（一）地球公转与自转

地球是一颗赤道微凸两极略扁的行星。它以每秒 29.8 千米的速度绕太阳公转，公转轨道长 193 568 147 千米，这样地球公转一周需要 365 天 5 小时 48 分 46 秒。公转轨

道是椭圆形而非圆形，太阳正位于轨道中心附近，因此，北半球在1月份比7月份更接近太阳。然而，北半球在1月份却是最冷的时期。很显然，这种椭圆形的轨道结构并不是形成各种季节的决定因素。

地球在公转的同时，还绕地轴自西向东自转。地轴是一条假想的穿过南北两极点的直线。自转周期为24小时——运行一天。赤道（行星上最宽的部分）上的任何一处都以每小时3万9千千米的速度转动，正如毛泽东诗中所写的那样“坐地日行八万里，巡天遥看一千河”。这种转动速度在向两极方向上不断减小，直到两极点线速度为零。

（二）四季形成的原因

地轴并不垂直于它椭圆形公转轨道的平面，地轴与公转轨道平面形成一个23.5度的倾斜角，正是由于这一角度及运转轨道，使地球表面的不同部分朝向太阳，形成季节的变换。

由于这个倾斜角，地球两极点始终是一个极点偏向太阳，另一个极点远离太阳。当北极偏向太阳时，北半球受太阳照射更直接，每天日照更长，热能积累的结果就形成了我们所说的夏季。与此同时，南极偏离太阳，南半球所受太阳光的时间短，以低角度照射的太阳光线强度弱，因此，南半球正值冬天。

由于地球距离太阳十分遥远，地球在公转轨道上离太阳的远近对地球得到太阳能量的多寡几乎没有影响；而地轴与公转轨道面的倾斜角不仅影响日照的长短，而且决定着太阳光的照射角，因此成为四季形成的真正原因。

无论何时，地球上半是白昼，一半是黑夜，偏向太阳的极点每年至少在一次的公转中受到24小时照射。然而由于地球的形状、地轴的倾斜以及地表凹凸不平的影响，使得在任何一个季节里，高纬度地带都会因光线入射角过低，而很难甚至得不到一点热量。另一方面，热带地区因太阳光线终年直接照射而吸收或多或少的持续太阳能。

如果地轴没有倾斜将会怎样呢？如果地轴平行于赤道面，那么长达一周白昼的最热的夏季将出现在两极；假设地轴垂直于赤道椭圆面，赤道处得到的光线会更强烈，并伴随纬度的升高而减弱，除两极外所有的地方昼夜平分，并且不会产生季节的变化。

第二节 地球大气

如果你乘坐宇宙飞船或是在宇宙空间站上观看地球，你会惊奇地发现蓝色的地球是多么美丽动人，围绕地球漂浮的云彩是何等的壮观，透过蓝色的大气，你可以看到蔚为壮观的大海、生机勃勃的陆地。本来大气是无色的，由于大气对太阳蓝色光的散射，形成了蔚蓝色的天空。

一、大气的组成

大气的主要成分是氮气和氧气，各占了78%和21%。只占大气不到1%的温室气体虽然量少，但是在天气气候中扮演了十分重要的角色。水汽虽然只占0~0.02%，但

它是雨、雪、雷、电、雾、霜等天气现象的主角；温室气体像一床盖在地球上的棉被，维持着人类生存较为适宜的气温；臭氧阻挡大部分来自太阳的紫外线，使人类处于一个比较安全的环境之中。

表 1.1 大气组成：主要成分（氮气和氧气）和温室气体（1995）

气 体	浓度：百分比（%）或百万分之一的体积比（PPMV）
氮气（N ₂ ）	78%
氧气（O ₂ ）	21%
水汽（H ₂ O）	可变（0~0.02%）
二氧化碳（CO ₂ ）	360PPMV
甲烷（CH ₄ ）	1.8PPMV
氧化亚氮（N ₂ O）	0.3PPMV
氯氟烃（CFC _s ）	0.001PPMV
臭氧（O ₃ ）	可变（0~1000PPMV）

注：PPMV 表示某成分的体积份数为 10^{-6} ，下同。

表 1.1 所列的气体中氯氟烃（CFC_s）是人造化合物。由于它们恰好在室温以下就可以汽化，而且由于它们是无毒和不可燃的，所以用于制冷器、绝缘制品和气溶胶喷雾罐是很理想的；由于它们化学特性是不活泼的，一旦释放到大气中，在它们被破坏之前会在大气中滞留很长时间（100 年或 200 年）。它的第一个作用是破坏臭氧；它的第二个作用是作为一种温室气体，它所具有的温室效应是二氧化碳的 5 000 到 10 000 倍，因此，它的浓度虽然比其他温室气体，例如二氧化碳低，但它们却具有重要的温室效应。

除了表 1.1 所列的气体之外，大气中还有一些气体，它们通过对温室气体的化学作用影响温室气体的作用。例如，机动车排放的一氧化碳（CO）和氧化氮（NO 和 NO₂）等。

悬浮在大气中的小粒子（经常被称作气溶胶）会影响大气的能量平衡，原因是它们既吸收太阳辐射又把太阳辐射散射回外层空间。大气中的粒子有多种来源。其中一部分是由自然原因产生的：或是从陆地表面被风吹起来的，特别是沙漠地区，或是来自于森林火灾以及海水浪花；火山喷发也不时将大量粒子喷发到高层大气中去，1991 年皮纳图博火山爆发就是一个很好的例子。另外，大气本身也形成某些粒子，例如火山爆发释放出的含硫气体形成的硫酸盐粒子。

其它大气粒子来源于人类活动——物质燃烧和化石燃料燃烧产生的硫酸盐和烟尘。由于这些粒子在大气中平均分解存留 5 天左右，因此它们的影响基本上局限于粒子的排放源附近，即主要工业区。这些粒子的辐射效应在北半球的某些地区可以与人类活动产生的温室气体效应相比拟，但其效应与温室气体相反。

据估计，全球平均而言，人类活动产生的大气粒子将大约 0.6 瓦/平方米的人射太阳能散射回外空，其吸收的太阳能大约是 0.1 瓦/平方米，因此，全球平均的净直接辐