

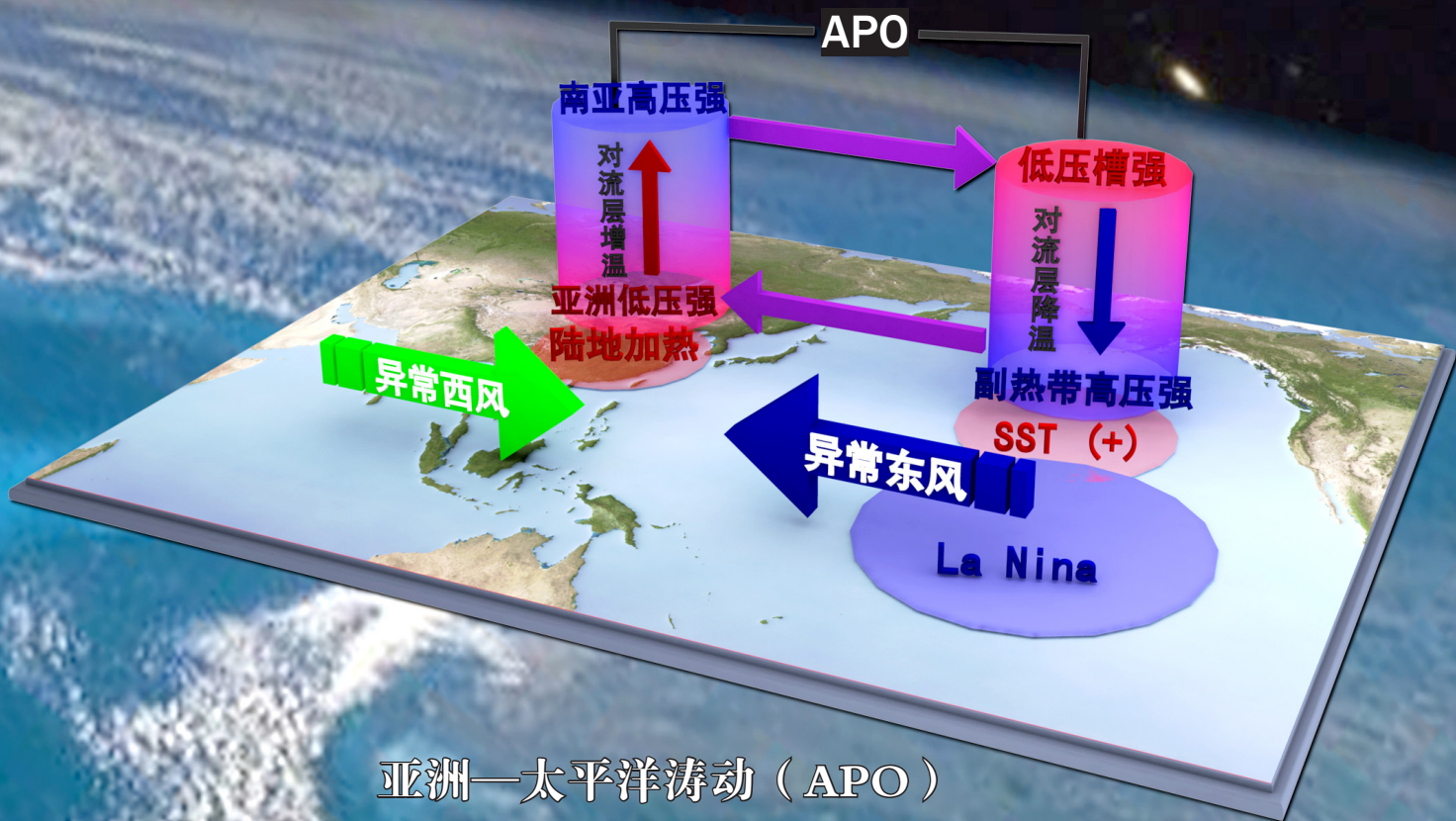
# Advances

in Meteorological Science and Technology

# 气象科技进展

# 02

2011年8月  
第1卷 第2期



亚洲—太平洋涛动 (APO)

气象科技 **进展**  
Advances in Met S&T

ISSN 2095-1973



中国气象局培训中心 主办

**主管** 中国气象局  
**主办** 中国气象局培训中心

**名誉主编** 丑纪范 中国气象局培训中心  
**主编** 许小峰 中国气象局

**副主编**

肖子牛 中国气象局培训中心  
翟盘茂 中国气象科学研究院  
罗云峰 中国气象局  
王会军 中国科学院大气物理研究所  
李维京 国家气候中心  
胡永云 北京大学  
谈哲敏 南京大学  
费建芳 解放军理工大学  
管兆勇 南京信息工程大学  
周定文 成都信息工程学院  
黄建平 兰州大学  
廖小罕 中华人民共和国科学技术部  
吕世华 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所  
贾朋群 (专职) 中国气象局培训中心

**常务编委 (按音序排名)**

成秀虎 高学浩 龚建东 郭学良 李 柏  
李国平 倪允琪 曲晓波 任国玉 任小波  
沈文海 王卫丹 武炳义 杨修群 俞小鼎  
张朝林 张 鹏 张庆云 赵 平

**编委 (按音序排名)**

毕宝贵 陈云峰 陈振林 崔春光 崔讲学  
董文杰 封国林 郭 虎 何金海 何 清  
胡 欣 胡玉蓉 胡跃文 姜 彤 雷小途  
李 慧 李集明 李良福 李耀辉 李跃清  
梁旭东 刘晶森 刘黎平 刘 实 卢乃锰  
陆日宇 罗 兵 罗亚丽 马 力 马舒庆  
马耀明 毛恒青 彭莹辉 浦一芬 石广玉  
宋 燕 汤 绪 田 红 万齐林 王 斌  
王东海 王建林 王晓云 王延青 王迎春  
王 元 王在志 王自发 温 敏 文洪涛  
吴立广 谢志辉 闫冠华 杨昭明 姚学祥  
伊 兰 翟武全 张 华 张立祥 张小玲  
张跃堂 赵广忠 周凌晞 周显信 朱定真  
朱小祥 祝燕德 邹立尧

**海外编委 (按音序排名)**

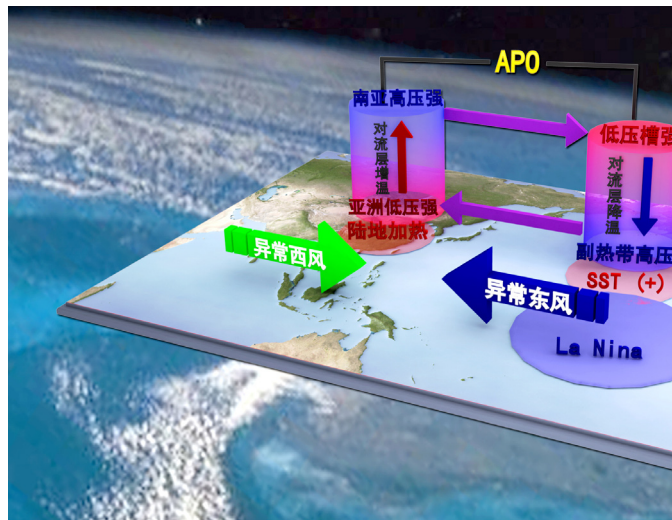
陈镜明 李 俊 刘征宇 金飞飞 王 斌  
翁富中 杨 崧 张大林 张广俊 邹晓蕾

**编辑部**

张 萌 侯美亭 胡 英 苏士坡  
陈忠美

出版: 《气象科技进展》编辑部  
地址: 北京市中关村南大街46号,  
中国气象局培训中心 100081  
电话: (010) 68409927/68409933  
邮箱: amst@cma.gov.cn  
Notes: 气象科技进展编辑部/图书馆/培训中心/CMA  
网址: <http://library.cma.gov.cn/amst>  
官方微博: <http://weibo.com/2115232930/profile>  
印刷: 北京宝昌彩色印刷有限公司

国际标准刊号: ISSN 2095—1973  
国内统一刊号: CN 10—1000/P  
定价: 20元



## 目 次

第1卷 第2期 2011年8月

### 研究论文

#### 封面报道

#### 6 赵平, 代玮, 肖子牛: 亚洲—太平洋涛动研究进展

一直以来, 夏季北半球 (特别是亚洲—太平洋区域) 的遥相关及其对区域气候的影响都是大气科学关注的热点之一, 最近针对亚洲与太平洋之间的大气遥相关取得了新进展……

#### 评述

#### 11 丑纪范: 天气和气候的可预报性

#### 研究进展

#### 15 房世波等: 气候变化对农业生产的影响及其适应

#### 20 王绍武: 古气候研究进展

#### 26 戴新刚等: Lorenz混沌吸引子发现的方法论分析

#### 32 崔春光等: 暴雨洪涝预报研究的若干进展

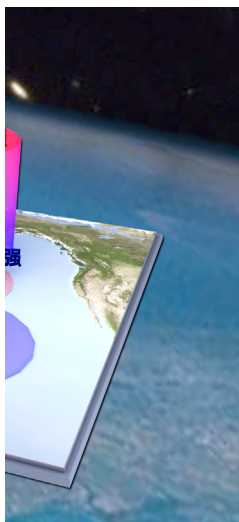
#### 38 王毅荣等: 黄土高原气候环境演变研究

#### 专题 气象文化与传播

#### 43 叶梦姝等: 天气信息大众传播的发展历程回顾

#### 46 刘立成等: 气象文化研究综述

## 主编语



P6

封面报道：亚洲—太平洋  
涛动研究进展

封面图：亚洲—太平洋  
涛动 (APO)

熟悉气象科技发展历史的人都会了解，气象科学最初的几次跨越式发展，都与人类认识海洋上的天气变化密切相关。人类很早就开始造船在水上航行，先是在江河或近海活动，可以依靠人工划桨提供动力。进入帆船时代后，就有了向远海进军甚至环球航行的条件。而要掌握好帆船的远海航行，就必须知晓风的变化规律，人们对海上信风变化的认识就是在航海的实践中不断加深的。

地球上的大气是一个整体，陆地上与海洋上的天气气候变化自然是密切相关的，本期的重点文章是通过对比海气相互作用的研究，介绍ENSO, PDO和APO的发生及变化规律，以及在中国乃至更大范围气候预报中的应用。而丑纪范院士的评述文章，则是从预报规律的角度，探讨了天气气候的可预报性问题。本期“研究进展”栏目中关于古气候、方法论、农业、暴雨和高原气象等领域的研究成果的介绍，对改进气象预报和服务能力问题做了系统阐述。

2011年，Nature出版集团参与主办的科学电影节，提出了一句招牌式

的Logo广告词：科学与艺术融合并形成文化的佳境 (Where Science Meets Art and Becomes a Culture)。本期“专题”栏目给出了两篇气象文化与传播方面的研究成果，似乎就是那句Logo语在气象领域的诠释。中国乃至全球气象人敢于向“天有不测风云”的古训发出挑战，很多文化上的“底气”，可能源自公元前340年前后亚里士多德撰写的《气象学》。

在“论坛”和“往事钩沉”栏目，有两篇文章和英国气象局(UKMO)有关：UKMO气象服务最新动态，以及该局隆重庆祝全球首次利用媒体发布天气预报150周年。虽然《泰晤士报》是否是第一个发表大众天气预报的媒体可能还存有争议，但150年前英国著名报纸开始发布逐日天气预报，促进了大众对天气的认识和UKMO的发展，确是媒体乃至社会文化与气象交融的一个很好的例子。

从不同角度介绍气象科技的最新进展，是本刊的办刊宗旨，欢迎广大读者能向我们及时反馈你们的看法和意见。

## 论坛

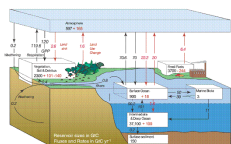
- 51 孙健等：英国气象服务
- 55 罗晓勇等：我国古代直观经验气象服务特征

## 科学观察

- 2 读图 数字 榜单

### 特写

- 58 戴洋：在困境中寻找曙光  
——全球可持续性高级别小组介绍
- 59 张云荣等：ECMWF预报系统对2010年夏  
极端天气事件的预报检验



P2

## 阅读

### 书评

- 60 侯美亭：《土壤健康与气候变化》评介
- 60 吴灿：《全球变暖》丛书：《化石燃料  
及其污染——空气质量展望》评介



P60

## 信息

- 14 会议信息
- 19 下期要目
- 31 新书架
- 61 文摘 (中文文献)
- 63 文摘 (英文文献)
- 封3 媒体扫描



封3

## 往事钩沉

### 事件

- 64 贾朋群：英国气象局庆祝全球首次  
媒体发布天气预报150周年



P64

读图

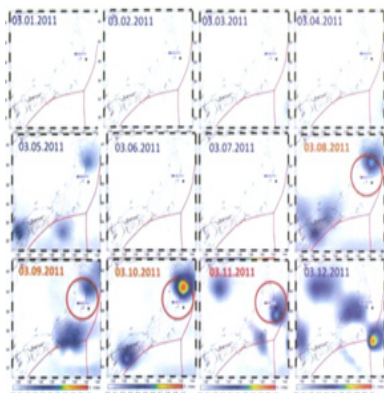
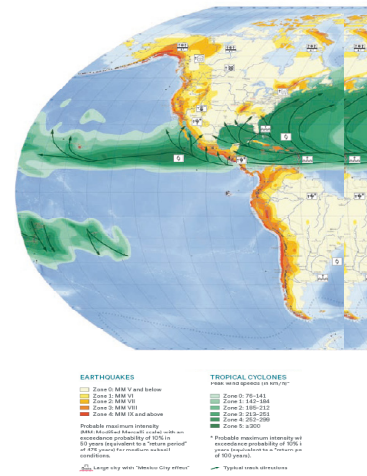


美国国会：NOAA气候局听证

2011年6月22日，美国国家海洋和大气管理局（NOAA）局长卢布琴科在国会山举行的由美国众议院的科学、空间和技术委员会主持的NOAA气候局听证会上，试图说服国会同意NOAA重组，将不同的气候研究和预报机构合并后，组成类似国家天气局的NOAA气候局，并批准新气候局2012财年总计3.46亿美元预算。但是，国会方面就重组的效果，特别是重组可能对NOAA研究力量的削弱表示了极大关注，NOAA改革步履蹒跚。

来源：美国国会网站

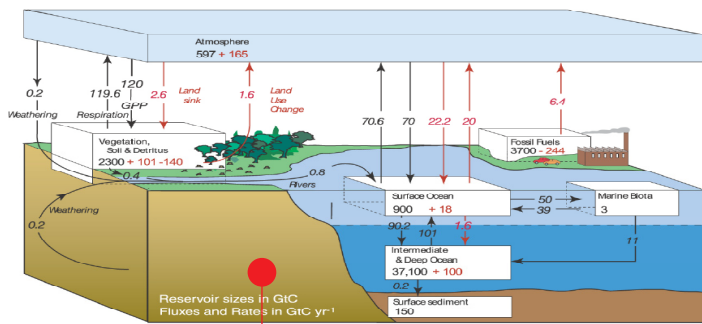
NATHAN WORLD MAP OF NATURAL HAZARDS 'AR



NASA：日本大地震可能与大气变化密切相关

NASA的一项研究，揭示了日本“3·11”大地震与大气层状况之间的关系。图中给出3月1—12日地震震中上空大气电离层热量变化。震前大气高层总电子量急剧增加，地震发生前3天达到最大值。科学家们相信，震前地壳中地质断层上的压力导致大量氢气释放，引起空气离子化，进而导致空气中水分子凝聚，释放出热量。

来源：NASA



全球碳循环

在美国科学院（NAS）最近发表的一份研究报告草稿中，给出了1990年代全球碳循环结构图。在这份结构图中，碳通量被表示为工业化前“自然”分量和“人类活动”分量，较好地诠释了人类活动对全球碳循环的影响。

来源：NAS

数字

50

美国科学院最近公布了最新美国大学博士学位项目统计及评估报告。根据报告提供的数据，目前美国在“海洋、大气和气象”领域博士研究生项目（即学位授予机构）数为50，2000—2006年这些项目的教师年均发表论文0.58~2.93篇，论文被引用1.86~3.11次。

2.94亿

著名智库Brookings研究所针对2010年自然灾害给出的一份分析报告指出，2010年堪称多自然灾害之年，全年主要自然灾害为洪涝和地震，受影响人数达2.94亿人，死亡人数超过39万人，其中地中海地震死亡31.6万人。

3140

欧洲气象卫星组织（EUMETSAT）最新年报披露，截至2010年12月31日，其用户数量达到3014个。其中会员用户2609个，合作国家用户13个，其他类型用户392个。会员用户中，意大利、法国和英国分别有715、663和414个用户，位列三甲。

榜单

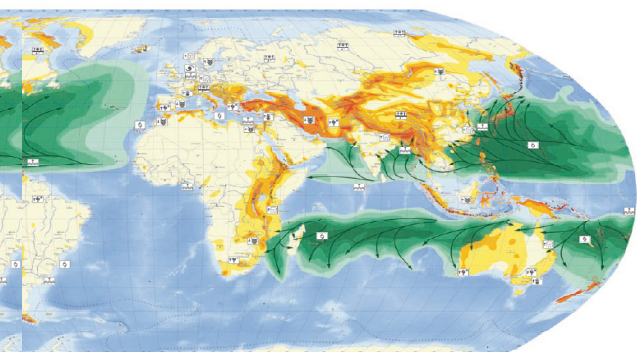
国际“海气相互作用”主题被引频次最高的前10篇论文

| 排名 | 篇名  | 第一作者          | 来源   | 被引频次 |
|----|---|---------------|--|------|
| 1  | A dipole mode in the tropical Indian Ocean  | Saji, NH      | Nature, 1999, 401(6751)                                      | 853  |
| 2  | Observations of the 40-50-day tropical oscillation - a review   | Madden, RA    | Monthly Weather Review, 1994, 122(5)                         | 691  |
| 3  | Toga coare - the coupled ocean atmosphere response experiment   | Webster, PJ   | Bulletin of the American Meteorological Society, 1992, 73(9) | 579  |
| 4  | An air sea interaction theory for tropical cyclones: 1. Steady-state maintenance                            | Emanuel, KA   | Journal of the Atmospheric Sciences, 1986, 43(6)             | 445  |
| 5  | Computations of surface-energy flux and annual air-sea interaction cycles of North-Atlantic Ocean           | Bunker, AF    | Monthly Weather Review, 1976, 104(9)                         | 426  |
| 6  | The Pacific decadal oscillation   | Mantua, NJ    | Journal of Oceanography, 2002, 58(1)                         | 388  |
| 7  | Bulk parameterization of air-sea fluxes: Updates and verification for the COARE algorithm                   | Fairall, CW   | Journal of Climate, 2003, 16(4)                              | 342  |
| 8  | Southern Ocean fronts from the Greenwich meridian to Tasmania   | Belkin, IM    | Journal of Geophysical Research-Oceans, 1996, 101(C2)        | 317  |
| 9  | An air-sea interaction-model of intraseasonal oscillations in the tropics                                   | Emanuel, KA   | Journal of the Atmospheric Sciences, 1987, 44(16)            | 286  |
| 10 | The atmospheric bridge: The influence of ENSO teleconnections on air-sea interaction over the global oceans | Alexander, MA | Journal of Climate, 2002, 15(16)                             | 273  |

来源: SCIE数据库, 检索时间: 2011年8月6日

胡英提供

DS'ARDS



**VOLCANOES**  
 1. Last eruption before 1800 AD  
 2. Last eruption after 1800 AD  
 Particularly hazardous volcanoes

**TSUNAMI AND STORM SURGES**  
 1. Tsunami hazard (depth less than 1000 m)  
 2. Storm surge hazard  
 3. Tsunami and storm surge hazard

**ICEBERG HAZARD**  
 1. Hazard of icebergs striking shipping

**CLIMATE IMPACTS**  
 Main impacts of climate change already observed and/or expected to increase in the future  
 1. Change in average global air-sea energy flux  
 2. Increase in heavy rain  
 3. Increase in frequency  
 4. Increase in droughts  
 5. Thaw of sea level rise  
 6. Increased fire risk  
 7. Increased agricultural conditions

**POLITICAL BORDERS**  
 1. State border  
 2. State border (controversial)  
 3. International boundary and knowledge

**CITIES**  
 1. Hazard > 1 million inhabitants  
 2. Hazard > 500,000 inhabitants  
 3. Hazard > 100,000 inhabitants  
 4. Hazard > 50,000 inhabitants  
 5. Hazard > 10,000 inhabitants

**Metropolitan Areas, C. 1990s, W. 2000s, E. 2010s**  
 Metropolitan areas, C. 1990s, W. 2000s, E. 2010s  
 Metropolitan areas, C. 1990s, W. 2000s, E. 2010s  
 Metropolitan areas, C. 1990s, W. 2000s, E. 2010s  
 Metropolitan areas, C. 1990s, W. 2000s, E. 2010s

世界自然灾害全景图

慕尼黑再保险公司 (Munich RE) 日前发表了2011年版世界自然灾害风险分布图。图中给出了地震、热带气旋、火山、海啸和风暴潮以及气候变化影响 (含热带气旋变化、中纬度风暴强度、强降水增加、热浪增加、海平面上升威胁、冻土解冻、农业厉害等方面) 等风险分布情况。

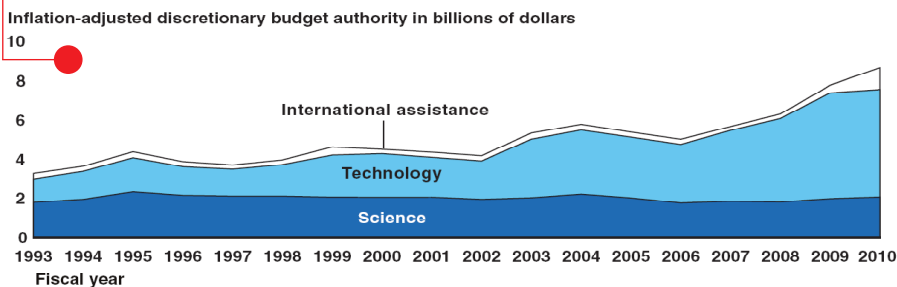
来源: Munich RE

美国联邦气候变化投入: 技术开发投入迅猛增加

美国审计总署 (GAO) 最近在一篇报告中给出1993—2010财年美国联邦在气候变化方面的投入情况。投入结构中基础研究部分变化不大, 近年来略微减少, 但技术开发最近5年大幅度增加, 最近两年, 国际协助投入也有显著增加。

来源: GAO

Figure 1: Reported Federal Climate Change Funding by Category, 1993-2010



4850亿美元

什么都有价值, 天气也是如此。NCAR最近的一项研究表明, 风雨和温度变化等日常天气事件对美国的年经济影响达4850亿美元。研究报告已在《美国气象学会公报》上发表。

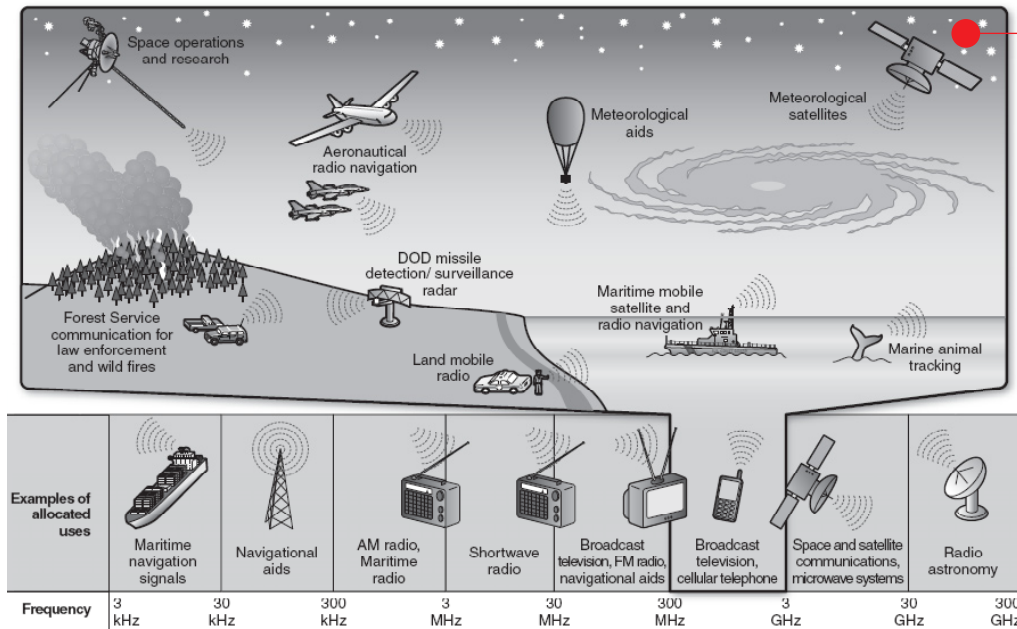
2.1毫米

宾夕法尼亚大学的科学家研究了去2100年海平面上升的情况, 发现从100 BC到950 AC之间, 全球海平面稳定, 之后直到1400年每年上升0.6毫米。1400年后因全球变冷, 海平面维持稳定, 从19世纪末开始, 以平均每年上升2.1毫米的速度升高。

9.39亿

国土资源部给出2011年上半年我国地质灾害统计: 全国发生以滑坡、崩塌、泥石流为主的地质灾害10710起, 造成97人死亡、13人失踪, 直接经济损失9.39亿元。

读图



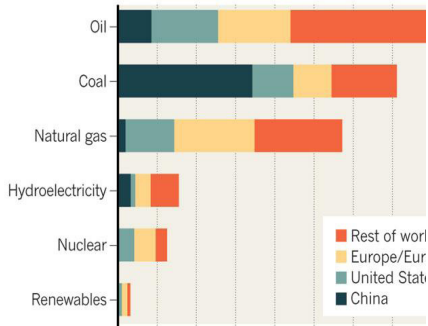
美国审计总署：频谱管理需加强

最近，美国审计总署 (GAO) 在给国会的报告中，敦促美国管理机构制定和更新频谱管理的战略，同时频谱作为一种珍贵的资源，应对其分配过程进行审视和加以改进，建立控制机制确保联邦各部门报告数据的准确性。

来源：GAO

WORLD ENERGY USE 2010

World energy consumption rose by 5.6% from 2009; fossil fuels contribution remained almost static, at 87% of the total.



2010年全球能源消耗结构

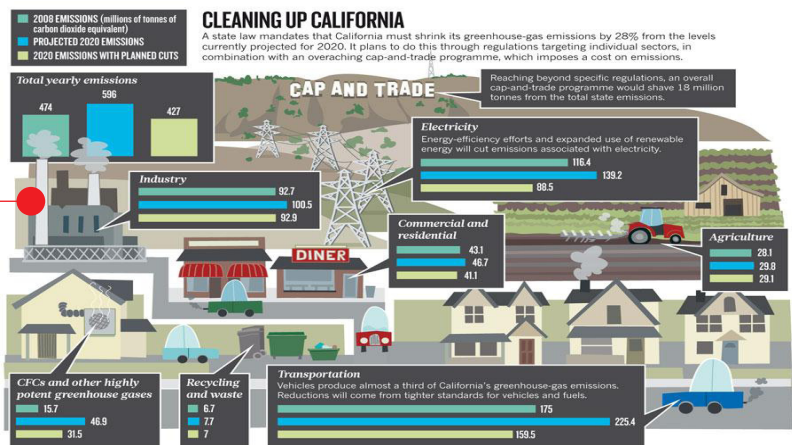
英国石油公司 (BP) 最近发表的2010年全球能源统计表明，中国能源消耗刚刚超过全球的五分之一，其中煤消耗占将近全球一半；48.2%。2010年全球能量消耗仍以石油比例最大 (占33.6%)，其次是煤和天然气，可再生能源仅占1.3%。

来源：BP

净化加州

虽然美国拒绝了全面的温室气体减排承诺，但是占美国排放量7%的加州试图先走一步：到2020年前加州温室气体排放较目前减少28%。为实现这一目标，减排的数字化指标已经在各个领域制定。

来源：Nature



数字

23 澳元

2011年7月10日，澳大利亚总理吉拉德宣布，向该国前500排放企业收取每吨二氧化碳排放税23澳元。新税种将在2012年7月开始实施。

2650 亿美元

慕尼黑再保险最近发布的2011年上半年全球自然灾害的经济损失达2650亿美元，较前十年最严重的2005年的2200亿美元还要高。高损失主要来自日本大地震，而美国上半年有记录的龙卷风接近1600起，经济损失约150亿美元，起到推波助澜的作用。

7500 万美元

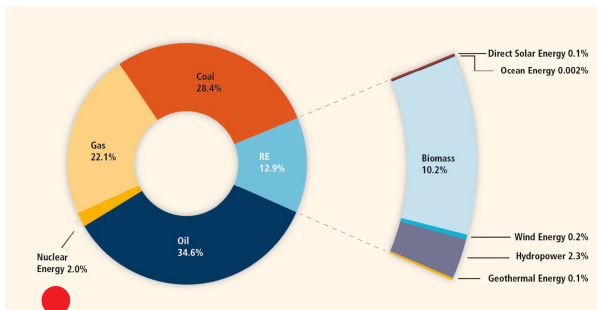
2011年6月结束的世界气象大会，189个国家的代表通过了“气候服务框架计划”。该项旨在提高全球，特别是发展中国家的天气和气候服务水平的计划，在其实施阶段每年经费预算将达7500万美元。

## 榜单

## 中国“海气相互作用”主题被引频次最高的前20篇论文

| 序号 | 篇名                                    | 作者  | 来源                      | 被引频次 | 下载次数 |
|----|---------------------------------------|-----|-------------------------|------|------|
| 1  | 登陆热带气旋研究的进展                           | 陈联寿 | 气象学报, 2004/05           | 162  | 746  |
| 2  | 赤道印度洋—太平洋地区海气系统的齿轮式耦合和 ENSO 事件 I 资料分析 | 吴国雄 | 大气科学, 1998/04           | 112  | 183  |
| 3  | 印度洋和南海海温与长江中下游夏季降水的相关分析               | 罗绍华 | 大气科学, 1985/03           | 98   | 155  |
| 4  | 我国重大气候灾害特征、形成机理和预测研究                  | 黄荣辉 | 自然灾害学报, 2002/01         | 85   | 356  |
| 5  | 对气候变暖问题争议的分析                          | 王绍武 | 地理研究, 2001/02           | 80   | 536  |
| 6  | 厄尔尼诺/南方涛动现象与年际气候变化                    | 符淙斌 | 大气科学, 1987/02           | 76   | 87   |
| 7  | 北太平洋海温异常与东亚夏季风相互作用的年代际变化              | 李峰  | 热带气象学报, 2000/03         | 74   | 231  |
| 8  | 新仙女木期沙漠/黄土过渡带高分辨率泥炭记录——东亚季风气候颤动的实例    | 周卫建 | 中国科学 (D辑:地球科学), 1996/02 | 69   | 224  |
| 9  | 热带气旋强度变化研究进展                          | 端义宏 | 气象学报, 2005/05           | 68   | 455  |
| 10 | 东亚季风指数及其与大尺度热力环流年际变化关系                | 祝从文 | 气象学报, 2000/04           | 64   | 461  |
| 11 | 跨季度气候距平数值预测试验                         | 曾庆存 | 大气科学, 1990/01           | 64   | 35   |
| 12 | 马斯克林高压的强度变化对大气环流影响的数值试验               | 杨修群 | 气象科学, 1989/02           | 59   | 38   |
| 13 | 热带气旋的登陆及其与中纬度环流系统相互作用的研究              | 雷小途 | 气象学报, 2001/05           | 56   | 188  |
| 14 | 近百年东亚冬季风与 ENSO 循环的相互关系及其年代际异常         | 徐建军 | 大气科学, 1997/06           | 54   | 229  |
| 15 | 广东省汛期旱涝成因和前期影响因子探讨                    | 梁建茵 | 热带气象学报, 2001/02         | 54   | 169  |
| 16 | 南海季风试验与东亚夏季风                          | 丁一汇 | 气象学报, 2004/05           | 53   | 527  |
| 17 | 热带印度洋海温的年际异常及其海气耦合特征                  | 谭言科 | 大气科学, 2003/01           | 52   | 217  |
| 18 | 国外关于年代际气候变率的研究                        | 王绍武 | 气象学报, 1999/03           | 52   | 247  |
| 19 | 长江黄河源区水文和气象序列周期变化分析                   | 杨建平 | 中国沙漠, 2005/03           | 49   | 238  |
| 20 | 长江三角洲夏季海陆风与热岛环流的相互作用及城市化的影响           | 苗曼倩 | 高原气象, 1998/03           | 44   | 279  |

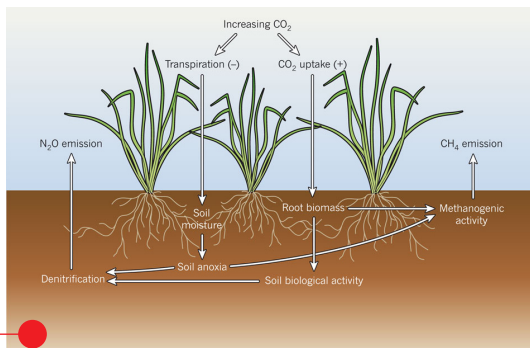
来源: CNKI 中国学术期刊总库, 检索时间: 2011年7月25日 胡英提供



## 全球能源: 煤、石油、天然气仍占主流

IPCC在2011年5月的一份关于可再生能源的报告中, 给出了全球2008年原始能源供给分布。当年全球提供的492 EJ ( $10^{18}$ 焦耳) 能源中, 可再生能源仅占12.9%, 而且主要是生物质能。

来源: IPCC

大气CO<sub>2</sub>密度增加导致土壤N<sub>2</sub>O和CH<sub>4</sub>排放上升

美国和爱尔兰学者一项最新研究表明, 人类活动导致大气CO<sub>2</sub>增加, 其间接作用是使得高原土中的N<sub>2</sub>O排放和稻田及湿地中CH<sub>4</sub>排放上升, 上升的比例分别相当于每年增加0.57 pg CO<sub>2</sub>和0.56 pg CO<sub>2</sub>。

来源: Nature

20%~38%

德国马普化学研究所科学家, 通过对比非洲、爱尔兰、南极以及大西洋海上观测资料, 发现全球大气中汞含量自1996年以来降低了20%~38%。但大气汞排放源过去15年里基本维持平衡, 因此这种下降可能归因于1990年代前土壤和海洋汞沉淀物再排放的减少, 加之气候变化和海洋酸化进一步改变了全球汞循环。

30亿美元

2011年5月下旬, 发生在美国中西部“龙卷风带”的龙卷风灾害, 仅在乔普林市就造成116人死亡, 各家保险公司在本次灾害中支付的保险赔偿金额超过30亿美元。

630万千瓦

到2011年7月, 接入内蒙古电网运行的风电厂68座, 装机容量630万千瓦, 这一容量占电网最高发电负荷的31%, 规模和电网消纳比例全国第一。

# 亚洲—太平洋涛动研究进展

赵平<sup>1</sup> 代玮<sup>2</sup> 肖子牛<sup>3</sup>

(1 中国气象局国家气象信息中心, 北京 100081; 2 中国气象科学研究院, 北京 100081;

3 中国气象局培训中心, 北京, 100081)

**摘要:** 一直以来, 夏季北半球(特别是亚洲—太平洋区域)的遥相关及其对区域气候的影响都是大气科学关注的热点之一, 最近针对亚洲与太平洋之间的大气遥相关取得了新进展, 特别是关于亚洲—太平洋涛动(APO, Asian-Pacific Oscillation)的一系列研究, 系统地揭示了亚洲—太平洋之间大气的联系以及对大气环流、季风降水和气旋活动的影响, 讨论了亚洲—太平洋涛动的影响因子及其作用机理。这些研究表明APO是亚太地区大气系统一种独立的基本振荡特征, 普遍存在于各个季节, 但其结构和性质有所不同, APO起到了联系太平洋和亚洲大陆大气环流的重要作用。夏季APO与太平洋年代际涛动(PDO)和ENSO关系密切, 对东亚地区的降水也有重要的影响。总结了APO研究的最新进展, 试图促进对亚洲—太平洋海陆气耦合关系及其气候效应的认识, 进一步推动亚洲—太平洋区域气候研究工作及其成果在气候诊断和预测中的应用。

**关键词:** 亚洲—太平洋涛动, 大气环流, 遥相关

## 1 亚洲—太平洋涛动(APO)的基本特征

### 1.1 APO指示的亚洲—太平洋大气遥相关现象

夏季, 亚洲和太平洋中纬度对流层扰动温度之间存在着“跷跷板”现象, 当亚洲大陆中纬度对流层偏冷时, 中、东太平洋中纬度对流层偏暖, 反之亦然; 平流层中也存在这种“跷跷板”现象, 只是其位相与对流层的相反<sup>[1, 2]</sup>。这种遥相关现象可以被气候模式所描述<sup>[3]</sup>, 并且也发生在春季和秋季等季节<sup>[2, 4-6]</sup>。

### 1.2 APO名称的来源

2006年, 赵平和张人禾<sup>[7]</sup>用EOF分析研究东亚—太平洋区域海平面气压场时注意到在东亚与太平洋海平面气压之间存在一个大尺度纬向遥相关, 并称为东亚—太平洋偶极子。事实上, 这种偶极子是整个北半球对流层更大尺度遥相关在对流层低层的一种表象。随后, Zhao等<sup>[1]</sup>进一步用EOF方法对ECMWF再分析资料中的夏季平均扰动温度进行分析, 发现在欧亚大陆中纬度与太平洋—北美—大西洋中纬度对流层 $T'$ 之间确实存在着一个显著的反位相关关系, 当欧亚大陆 $T'$ 偏低(或高)时, 北半球太平洋上空的 $T'$ 偏高(或低)(图1), 与以前的遥相关相比, 此处EOF1中的遥相关在空间尺度上更大, 由于遥相关中心主要出现在亚洲与太平洋区域内, 所以把这种遥相关变率也称作亚洲—太平洋涛动(APO)。此外, 在海平面气压场上, 阿拉伯半岛与北太平洋之间存在反位相关关系, 被孙建奇等<sup>[8]</sup>称为阿拉伯半岛—北太平洋涛动现象, 这种遥相关也是与APO紧密相关的。

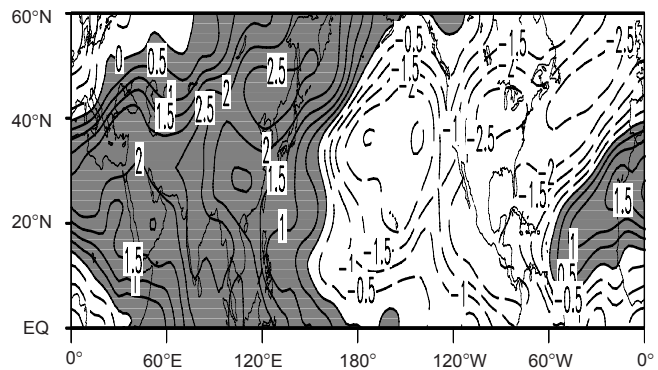


图1 亚洲—太平洋涛动模态<sup>[1]</sup>

### 1.3 APO指数与亚洲—太平洋热力差异变率

把亚洲和太平洋500~200hPa平均 $T$ 之差异定义为APO指数, 即:

$$I_{\text{APO}} = T(60^{\circ}\text{—}120^{\circ}\text{E}, 15^{\circ}\text{—}50^{\circ}\text{N}) - T(180^{\circ}\text{—}120^{\circ}\text{W}, 15^{\circ}\text{—}50^{\circ}\text{N})$$

该指数与图1所示EOF1的时间系数的相关为0.93(1958—2001年)<sup>[1]</sup>, 也与东亚—热带西太平洋之间的经向热力差异相关为0.81<sup>[2]</sup>, 因此APO指数实质上指示了亚洲大陆与太平洋大气之间的纬向和经向热力差异, 根据研究需要适当调整亚洲和太平洋区域的水平位置或垂直层次来定义APO指数也是可以的<sup>[3, 5, 9-10]</sup>。

### 1.4 APO指数多时间尺度变化特征

夏季APO指数具有年际、年代际的多尺度变化特征。在1975年之前, 该指数以正位相为主, 从1975年起以负位相为主, 说明在1958—2001年夏季亚洲—太平洋之间的对流层热力差异呈现出减弱趋势; 此外功率谱分析表明, 夏季APO指数在去掉线性趋势后具有5.5年的年际变化周期<sup>[1]</sup>(超过95%统计置信度)。从代用资料重建的APO更长时间序列看, 亚洲—太平洋热力差异还存在90年、10~13年周期变率<sup>[11-13]</sup>。

收稿日期: 2011年5月23日; 修回日期: 2011年8月6日  
第一作者: 赵平(1963—), Email: zhaop@cma.gov.cn  
资助信息: 公益性行业(气象)科研专项: 北半球中高纬度遥相关型持续性及其对中国北方地区冬季气候的影响研究(GYHY201106015)

## 2 夏季APO变率与亚洲—太平洋大气环流和气候异常

### 2.1 对流层大气环流系统

在年际、年代际尺度上, 对流层温度的这种“跷跷板”现象也出现在亚洲与太平洋的位势高度场上, 并伴随着大气环流相应变化<sup>[1-3, 14]</sup>。

图2是APO指数高年和指数低年对流层高、低层高度场的差值, 从图中可以看到, APO指数高年有利于对流层高层南亚高压强、偏北, 太平洋低压槽偏深(图2a), 欧亚大陆中纬度西风急流偏强, 南亚热带东风急流也偏强; 在对流层中层, 位势高度表现为西亚中纬度负异常以及北半球西北—中太平洋中纬度正异常的反位相变化, 这种特征是与Cheng等<sup>[15]</sup>揭示的亚洲—太平洋区域500hPa位势高度EOF1模态基本特征一致; 在低层, 亚洲大陆低压槽加强, 西半球大洋上副热带高压位置偏北、偏强, 北美低压偏弱(图2b); 反之亦然。这表明, 南亚高压和太平洋副热带高压之间可以通过APO相互联系。

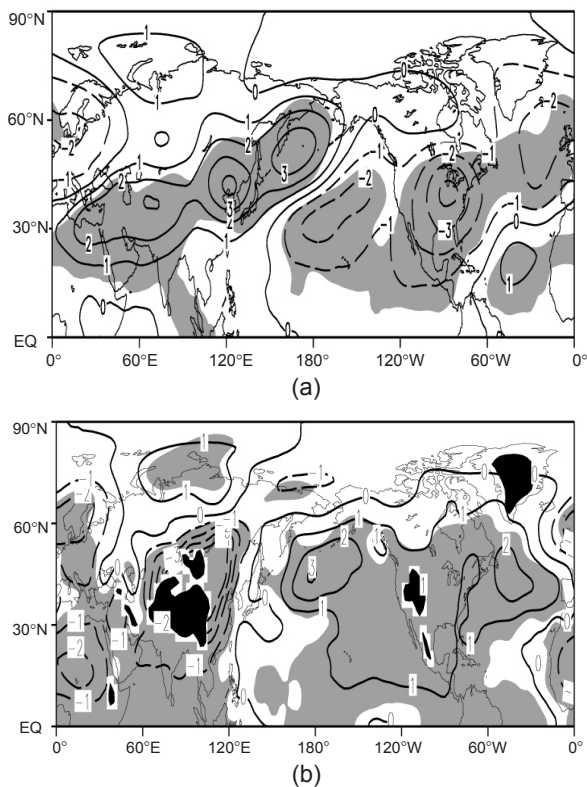


图2 APO指数高年和指数低年高度场的差值  
(a) 150hPa; (b) 850hPa

### 2.2 亚洲季风和降水

APO指数也是亚洲与太平洋中纬度对流层之间的热力差异指数, 用这种温度差异比单独用大陆或者海洋上空的温度能够更好地指示中国东部降水的变化<sup>[2]</sup>。当APO指数偏高时, 在东亚中纬度低层盛行异常南风, 梅雨锋位置偏北, 在东亚、南海和西太平洋热

带地区的低层盛行异常西风, 说明东亚和南亚夏季风偏强, 长江以北和以南、南亚地区的降水增加, 而长江流域、菲律宾附近的降水减少<sup>[1, 2]</sup>。此外, 在年代—百年尺度上APO指数与亚洲季风降水的关系也被研究<sup>[11, 14, 16-17]</sup>, 如图3所示。

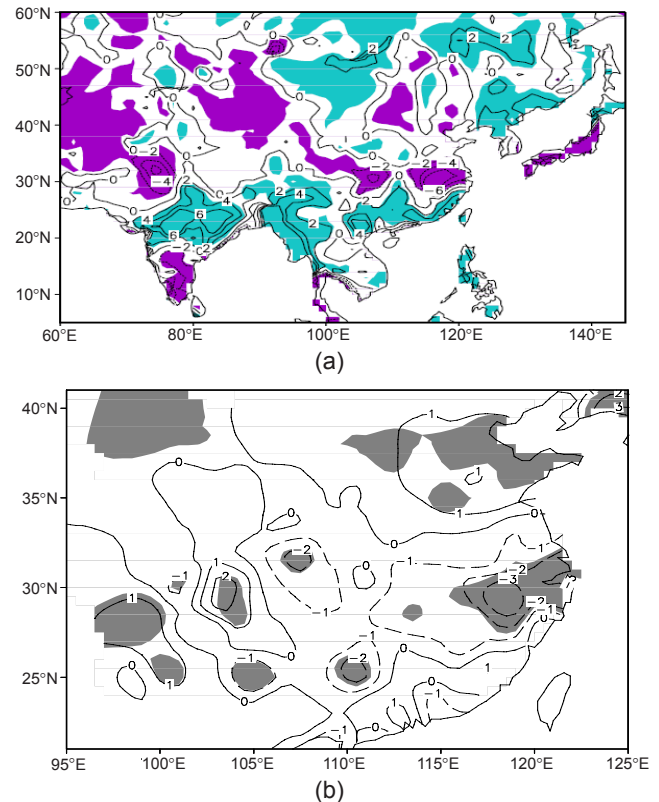


图3 (a) APO指数高年和指数低年夏季降水的差值(150hPa, 单位: mm/d)<sup>[1]</sup>; (b) 1958—2001年APO年代际变率回归降水<sup>[14]</sup>

### 2.3 热带气旋的活动

西北太平洋热带气旋活动与亚洲—太平洋之间的热力差异有密切关系。周波涛等<sup>[18]</sup>研究了夏季APO异常对西北太平洋热带气旋频数多少的影响, 发现APO和西北太平洋热带气旋频数(WNPTCF)具有明显的年际变化和年代际变化特征, 而且两者的变化形式较为一致, 具有显著的正相关, 并进一步分析了APO-WNPTCF关联的原因, 发现当APO处于正位相时, 西太平洋副热带高压减弱, 位置偏东偏北; 西北太平洋地区低层西风异常而且大气辐合, 高层东风异常而且大气辐散, 造成区域纬向风垂直切变减小和对流活动旺盛, 这些变化都有利于西北太平洋热带气旋的生成和发展。邹燕等<sup>[9]</sup>进一步分析了夏季APO与中国近海热带气旋活动的关系, 指出在APO强(弱)年, 热带气旋活动偏西(东)和偏北(南), 向西北行或在偏北(南)纬度上西行, 进入中国东部近海的热带气旋偏多(少), 并且从东亚热带季风槽、西太平洋副热带高压、对流层风垂直切变等方面探讨了其中的物理

过程。

## 2.4 太平洋热带和中纬度SST

夏季亚洲—太平洋与热带和中纬度太平洋(TNPM) SST存在耦合关系,其中太平洋海表温度(SST) EOF1模态与APO指数存在-0.54的显著相关(1958—2001年),CCSM3海—气耦合模式能够模拟出APO-SST之间的这种关系<sup>[19]</sup>。当APO为正异常时,显著正SST异常出现在西北太平洋中纬度,这种特征与北太平洋涛动型(NPO)有相似之处,而较强的负SST异常出现在热带东太平洋,对应于ENSO现象。这说明伴随着夏季APO正异常,SST呈现出西北太平洋偏暖、热带中东太平洋偏冷的特点<sup>[2-3, 20]</sup>。此外,负温度异常也出现在从南印度洋中纬度一直到北印度洋的中、西部地区<sup>[2]</sup>。

APO的海陆气耦合关系可以用图4来说明。

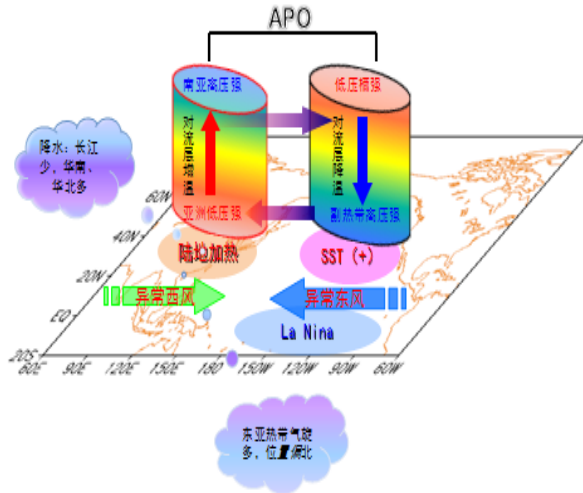


图4 亚洲夏季太平洋海陆气耦合关系示意图

## 3 夏季APO的形成机理

APO指数与太阳辐射强度变率有显著正相关,二者在250年、120~160年、60~70年以及15年的周期上关系更紧密<sup>[13]</sup>。APO的形成与亚洲和太平洋中纬度对流层的一个平均纬向环流有关,CCSM3和CAM3气候模式可以模拟出类似的纬向垂直环流。该环流的形成可能与太阳辐射在亚洲陆地和太平洋的加热差异有关,在亚洲与太平洋上空的大气热量源/汇EOF1模态也表现为二者之间的“跷跷板”现象,并且APO指数与大气热量源/汇EOF1的相关为-0.53(1958—2001年)<sup>[1, 3]</sup>。该纬向垂直环流的强上升运动区位于青藏高原及其附近地区,下沉运动区出现在中、东太平洋。为了维持中纬度纬向环流的质量平衡,上升(或下沉)运动区空气质量变化可以引起下沉(或上升)区的空气质量变化,从而导致亚洲陆地与太平洋之间大气环流的反位相联系<sup>[2, 3]</sup>。

## 3.1 亚洲陆地(青藏高原)抬高加热的作用

在分析亚洲大陆对流层温度与地面加热联系基础上,进一步用CCSM3气候模式研究了亚洲陆地加热对APO以及太平洋海—气相互作用的影响<sup>[19, 21]</sup>,结果表明:亚洲大陆的抬升加热造成亚洲大陆上空对流层温度增加、上升加强,使北半球中纬度纬向垂直环流加强,中东太平洋下沉运动加强,该海域的对流性降水减少,造成其上空的大气热量源汇减弱、对流层温度降低,形成APO遥相关现象,并引起相应的太平洋大气环流异常。在气候模式中不考虑SST变化的情况下,亚洲陆地抬升加热也可以强迫出类似的遥相关现象,这进一步说明亚洲陆地加热可以强迫出APO遥相关<sup>[2]</sup>。

## 3.2 太平洋海温的作用

为了研究太平洋SST异常分布性对APO可能产生的影响,Zhao等<sup>[3, 19]</sup>用CAM3气候模式,通过改变太平洋SST的敏感性试验,分析了热带东太平洋和北太平洋中纬度SST异常对亚洲—太平洋大气环流的影响。相应于热带和中纬度太平洋SST的异常,对流层温度的显著异常主要出现在热带地区以及在热带外太平洋对流层低层,没有发现像APO那样的大尺度遥相关现象;对应于热带东太平洋或北太平洋SST异常,在亚洲—太平洋区域产生出尺度较小的反位相关系<sup>[3]</sup>,并且在太平洋上空的大气垂直结构与观测有较大差异<sup>[19]</sup>。观测和模式试验得到的结果不一致说明夏季热带—北太平洋SST异常型(TNPM)对亚洲—太平洋大气环流起到很微弱的作用,APO尽管与PDO和ENSO有关系,但是这种关系并不表示太平洋SST异常可以激发出APO遥相关;相反,亚洲陆地抬升加热可以激发出太平洋的TNPM型异常<sup>[19]</sup>。

## 4 结论和讨论

亚洲—太平洋涛动(APO)现象的实质是亚洲与太平洋之间的热力差异强弱变化,也反映了亚洲与太平洋位势高度和海平面气压之间的遥相关型,以上的研究发现,它具有显著的年际和年代际的多尺度变化特征。研究还揭示了亚洲—太平洋区域大气环流(包括南亚高压,太平洋副热带高压,西风和东风急流)、亚洲季风降水及西太平洋(包括中国近海)热带气旋均与APO有密切的联系。相应于APO异常变化,亚洲—太平洋区域主要大气环流系统和气候特征也会发生显著的响应。因此,可以把APO指数作为亚洲—太平洋大气环流异常变化的一个综合指标来使用。

APO现象为研究亚洲与太平洋SST之间的相互影响提供了一个途径。虽然APO与太平洋SST存在耦合

关系,但是去除APO变率,太平洋SST与亚洲大气环流的关系显著减弱。因此,过去所认为的太平洋SST对亚洲—太平洋区域大气环流和气候影响的主导作用是否全面反映了海气相互作用的关系,值得进一步研究。从目前的数值模拟结果看,夏季APO-SST关系不能理解为太平洋SST异常对APO及亚洲气候的影响,相反,它可能反映出亚洲陆地对太平洋SST的一种强迫,并且可能是夏季的一种主导过程<sup>[4, 19, 21]</sup>。当然其在年际、年代际尺度上的相互作用还需要更多的研究进一步加以证实。

目前的研究还发现, APO现象也出现在春季和秋季等季节,但是它的异常中心位置存在季节性摆动,其中夏季位置最偏北<sup>[2]</sup>。但是对其季节内尺度的研究工作才刚刚开始,有待更多的深入研究工作,特别是在其机制研究上还要进一步深化。譬如,如果在APO形成过程中大气湿过程所产生的凝结潜热释放起着重要作用<sup>[14]</sup>,这是否意味着在大气的干过程中,亚洲与太平洋之间不能产生出这种遥相关型,这也需要从动力学角度进一步研究才能证实。

综上所述,亚洲—太平洋涛动(APO)可能是亚太地区大气系统一种独立的基本振荡特征,在太平洋和亚洲大陆大气环流的相互联系中起着重要作用,其多尺度的变异特征及其对大气环流和气候的影响是一个值得关注的问题,有待进一步研究。

#### 参考文献

- [1] Zhao P, Zhu Y N, Zhang R H. An Asian-Pacific teleconnection in summer tropospheric temperature and associated Asian climate variability. *Clim Dyn*, 2007, 29: 293-303.
- [2] 赵平,陈军明,肖栋,等. 夏季亚洲—太平洋涛动与大气环流和季风降水. *气象学报*, 2008, 66(5): 716-729.
- [3] Zhao P, Cao Z H, Chen J M. A summer teleconnection pattern over the extratropical Northern Hemisphere and associated mechanisms. *Clim Dyn*, 2010, 35: 523-534.
- [4] Nan S, Zhao P, Yang S, Chen J. Springtime tropospheric temperature

- over the Tibetan Plateau and evolutions of the tropical Pacific SST. *J Geophys Res*, 2009, 114, D10104, doi:10.1029/2008JD011559.
- [5] Zhou B T, Zhao P. Influence of the Asian-Pacific Oscillation on spring precipitation over central eastern China. *Adv Atmos Sci*, 2010, 27(3): 575-582.
- [6] 邹燕,赵平. 秋季亚洲—太平洋涛动与我国近海热带气旋活动的关系. *气象学报*, 2011, 69 (4).
- [7] 赵平,张人禾. 东亚—北太平洋偶极型气压场及其与东亚季风年际变化的关系. *大气科学*, 2006, 30(2): 307-316.
- [8] 孙建奇,袁薇,高玉中. 阿拉伯半岛—北太平洋型遥相关及其与亚洲夏季风的关系. *中国科学*, 2008, 38(6): 750-762.
- [9] 邹燕,赵平. 夏季亚洲—太平洋涛动与我国近海热带气旋活动的关系. *气象学报*, 2009, 67(5): 708-715.
- [10] Zhou B T, Zhao P. Modeling variations of summer upper-tropospheric temperature and associated climate over the Asian-Pacific region during the mid-Holocene. *J Geophys Res*, 2010, 115, D20109, doi:10.1029/2010JD014029.
- [11] 周秀骥,赵平,刘舸. 近千年亚洲—太平洋涛动指数与东亚夏季风变化. *科学通报*, 2009, 54: 3145-3147.
- [12] 陈峰,袁玉江,魏文寿. 福建沙县马尾松树轮宽度与夏季亚洲—太平洋涛动指数的关系. *第四纪研究*, 2011, 31: 96-108.
- [13] 赵平,周秀骥,刘舸. 夏季亚洲—太平洋热力差异年代—百年尺度变化与太阳活动. *科学通报*, 2011 (待发表).
- [14] Zhao P, Yang S, Wang H J, Zhang Q. Interdecadal relationships between the Asian-Pacific Oscillation and summer climate anomalies over Asian, North Pacific and North America during recent 100 years. *Journal of Climate*, 2011, doi: 10.1175/JCLI-D-11-00054.
- [15] Cheng H Q, Wu T W, Dong W J. Thermal Contrast between the Middle-Latitude Asian Continent and Adjacent Ocean and Its Connection to the East Asian Summer Precipitation. *Journal of Climate*, 2008, 21: 4992-5007.
- [16] Liu G, Zhao P, Chen J M. A 150-year reconstructed summer Asian-Pacific Oscillation index and its association with precipitation over eastern China. *Theoretical and Applied Climatology*, 2011, 103: 239-248.
- [17] Tan L, Cai Y, An Z, et al. Climate patterns in north central China during the last 1800 yr and their possible driving force. *Clim Past*, 2011, 7: 685-692.
- [18] 周波涛,崔绚,赵平. 亚洲—太平洋涛动与西北太平洋热带气旋频数的关系. *中国科学(D辑)*, 2008, 38(1): 118-123.
- [19] Zhao P, Yang S, Jian M Q, Chen J M. Relative controls of Asian-Pacific summer climate by Asian land and Tropical-North Pacific sea surface temperature. *Journal of Climate*, 2011, Doi: 10.1175/2011JCLI3915.1
- [20] 周波涛,赵平,崔绚. 亚洲—太平洋涛动变化与北太平洋海温异常的联系. *科学通报*, 2010, 55(1): 74-79.
- [21] 周秀骥,赵平,陈军明,等. 青藏高原热力作用对北半球气候影响的研究. *中国科学(D辑)*, 2009, 39(11):1473-1483.

## The Asian-Pacific Oscillation and Its Impact on Climate

Zhao Ping<sup>1</sup>, Dai Wei<sup>2</sup>, Xiao Ziniu<sup>3</sup>

(1 National Meteorological Information Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081 2 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081 3 CMA Training Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

**Abstract:** The teleconnection of summer Northern Hemisphere (especially the Asian-Pacific region) and its impact on regional climate have always been the hot issues which atmospheric scientists focus their attention on. A series of research work has been done for the Asian-Pacific Oscillation (APO) recently and reveals the characteristics of APO systematically. Also, it researches the relationship between the APO and atmospheric circulation and monsoon rainfall, as well as cyclone activities. There is also discussion about impact factors and mechanisms of the APO.

The APO is defined as a zonal seesaw of the tropospheric temperature in the mid-latitudes of the Asian-Pacific region. When the troposphere is cooling in the mid-latitudes of the Asian continent, it is warming in the mid-latitudes of the central and eastern North Pacific as well as in North America and the North Atlantic Ocean, and vice versa. It reflects an out-of-phase relationship

in variability of the eddy temperature between Asia and the North Pacific and is associated with the out-of-phase relationship in atmospheric heating. This teleconnection pattern over the extratropical Northern Hemisphere is revealed through the empirical orthogonal function analysis of summer upper tropospheric eddy temperature.

The summer APO index shows multiple-time-scale variability. It has a quasi-5-year period and shows a decadal variation, with a period of 90 and 10~13 years. The values of APO were low from the 1880s to the mid-1910s and high from the 1920s to the 1940s and tended to a high-index polarity before 1975 and afterward to a low-index polarity. With higher APO index conditions, in the upper troposphere, the summer South Asian high and the North Pacific trough are stronger, while the westerly jet stream over the extratropics of Asia and the easterly jet stream over South Asia strengthen. Also, the Asian low and the North Pacific subtropical high are stronger in the lower troposphere. The anomalous southerlies prevail at the mid-latitudes of East Asia and the anomalous westerlies prevail over South China and South Asia, meaning stronger moisture transport toward Asia. Corresponding to a higher-APO index, the Mei-yu front is more northward, with more precipitation in northern China and southern India, while precipitation decreases from the valley of the Yangtze River to southern Japan and near the Philippines. Thus, the APO index might be used to indicate the variability of the Asian monsoon and rainfall.

The APO intensity has a close relationship with the tropical cyclone (TC) activities over the western North Pacific (WNP) and the coastal waters of eastern China (CWEC) during summer. When the APO is stronger, the atmospheric circulation over the CWEC is manifested by a low-level anomalous cyclonic circulation, a decreasing vertical shear of zonal wind between the high and low levels of the troposphere, and the strengthened convection. These features are favorable for the maintenance and development of the TC. The APO also modulates the steering current that affects the movement of the TC. Corresponding to a stronger APO, the easterly wind south of the high strengthens, which favors the TC to move northwestwards or westwards at more northern latitudes, leading to an increase of the number of the TC that enters into the CWEC. Thus corresponding to a higher APO index, the TC activities over the WNP are located in a more westward and northward position and the TC number over the CWEC greatly increases.

The formation of the APO is associated with the zonal vertical circulation caused by a difference in the solar radiative heating between the Asian continent and the North Pacific. There are significant links between APO and solar radiation at the periods of 250, 120~160, 60~70 and 15 years. The numerical simulations (both the NCAR CAM3 and the CCSM3) further reveal that the summer Asian land (including the Tibetan Plateau) heating enhances the local tropospheric temperature and upward motion, and decreases the tropospheric temperature over the central and eastern Pacific. This leads to the formation of the APO. APO is closely related to the dominant pattern of summertime Pacific sea surface temperature (SST) that is characterized by an out-of-phase relationship between the tropics and the extratropics, with a significantly positive correlation between APO and SST in the extratropical North Pacific and a significantly negative correlation in the tropical eastern Pacific. However, sensitivity experiments show that the anomalous atmospheric circulation and the anomalous centers of the extratropical tropospheric temperature over the Asian-Pacific region triggered by the Pacific SST anomalies are not consistent with those observations. That is, the Pacific decadal oscillation and EL Nino/La Nina over the tropical eastern Pacific do not exert strong influences on the APO. Conversely, the Asian land elevated heating seems to play a more important role in generating the climate anomalies over the Asian-Pacific region.

In general, this paper summarizes the latest research developments of the Asian-Pacific Oscillation, which will help to understand the activity patterns of APO and its climate effect systematically and to further pursue some research into APO and its application in climate diagnosis and prediction. Also, it provides a new way to explore interactions between the Asian and Pacific atmospheric circulations.

**Key words:** Asian-Pacific Oscillation(APO), atmospheric circulation, teleconnection

# 天气和气候的可预报性

丑纪范<sup>1,2</sup>

(1 兰州大学半干旱气候变化教育部重点实验室, 兰州 730000; 2 中国气象局培训中心, 北京 100081)

**摘要:** 从理论和实际角度描述了天气和气候可预报性的认识过程。天气和气候的可预报性, 特别是10~30天预报依赖于空间和时间尺度, 预报包含了可预报分量和混沌分量。可预报性研究的最大挑战, 来自气象极端事件的可预报性问题。

**关键词:** 可预报性, 天气和气候

在人类与自然的长期共生共存的历史长河中, 人们一直梦想着有朝一日能够准确预测未来, 从而进一步掌握自己的命运, 尤其是对于与经济社会发展及人们日常生活密切相关的天气气候的预测和预报, 更是人们每时每刻都关注的对象。随着科学技术的不断进步, 气象科学已经获得长足进展, 我们已经可以在一定程度上比较准确地预测未来的天气变化, 比如未来3~5天的天气预报的可信度是相当高的。但随着经济社会的发展, 人们对天气预报的要求越来越高, 目前的天气预报水平已远远满足不了日益增长的需求, 决策者和公众迫切需要更准确和更长时期的天气预报。

要解决这些问题, 首先要从理论上解决天气在何种条件下是可以准确预报的, 是否存在可预报的时间上限, 进而再从实践上去探索具体的预报方法。显然, 这是一个从社会需要提出的实用性和技术性的科学问题, 其一起步就必然面临着基础科学理论问题——天气和气候的可预报性。现在气象学家有一个共识, 逐日的天气预报不能超过两周。这样一来, 两周以上的预报(月、季、年乃至数十年)就全部都会首先面临着这个问题。当两周以上逐日的天气预报已不可能时, 能预报什么? 怎么预报? 实际上, 社会需求的月、季、年乃至数十年的天气和气候预报, 并非“科学难题”, “科学难题”应该是承前启后, 在可预见的将来有可能解决的问题。所以, 我们提出下面的“难题”: 预报未来10~30天的天气过程和特征的理论和方法。

为什么逐日的天气预报不能超过两周? 为什么天气预报不可能百分之百的准确?

可预报的前提是未来的状况现在已完全确定。但是世界的未来状况(包括天气和气候)确实有些方面是确定了的, 有些方面则是尚未确定的。针对确定的方面, 发展出了牛顿力学。拉普拉斯将牛顿哲学的决定论思想推到了巅峰, 他认为世界的未来是由已经发

生的事情决定了的, 只要知道了初始条件和它所服从的规律, 就可以预知今后的一切。数值天气预报就是基于这种观点建立起来的。可是对这种观点不乏置疑。1903年亨利·庞加莱在《科学与方法》一书中指出“即使自然规律完全为我们所掌握, 但无论如何我们却只能近似地知道初始条件, 我们未必能以同样近似程度预言后续状态, 初始条件的细小差别会酿成后者巨大的不同。准确的预言不再可能, 所发生的一切都成了偶然的事件。”20世纪40年代概率论的奠基人之一柯尔莫格洛夫、气象学家汤普生都有过类似的表述。然而, 这些并未引起科技界的关注。直至1963年美国气象学家洛伦茨发表了《确定性的非周期流》<sup>[1]</sup>一文, 才使得这个从确定论出发却走向了不确定、牛顿力学具有内在的随机性(混沌)与由此产生的可预报性问题引起了广泛的关注。这是因为洛伦茨不仅仅是定性的推论, 他还通过对三个变量的动力系统进行全面分析和数值计算, 定量地显示出确定论系统由于敏感地依赖于初始条件而走向了不确定, 即所谓的“蝴蝶效应”。更重要的是还由不确定出发又走向了确定, 一个非线性的强迫耗散系统(如大气)存在着向外源的非线性适应, 即在一定时间后, 不论何种初值都会演变成同一的“稳态”。这个“稳态”是非周期和对初值极端敏感的统一体, 是局部的发散性和全局稳定性的统一体, 具有无穷嵌套的自相似的复杂的分形结构等。与不确定的现象不同, 存在一个可预报时段, 在可预报时段内, 现象是可预报的。它的长期行为存在着总的统计特征, 由外源决定反而与初值无关<sup>[2]</sup>。所有这些的具体直观形象, 可以通过胞映射的概念和理论显现出来<sup>[3]</sup>, 并由此揭示出任何数值模式实际上是Markov链, 进而给出了“气候”、“可预报时段”等的精确的数学定义(图1、图2)。

当洛伦茨发现混沌的时候, 查尼等一大批气象学家正执行全球大气研究计划(GARP), 旨在将数值天气预报延长至两周。洛伦茨的发现使得查尼提出首先要解决两周的预报是否可能的问题。他提出大家

收稿日期: 2011年6月23日; 修回日期: 2011年7月28日

第一作者: 丑纪范(1934—)

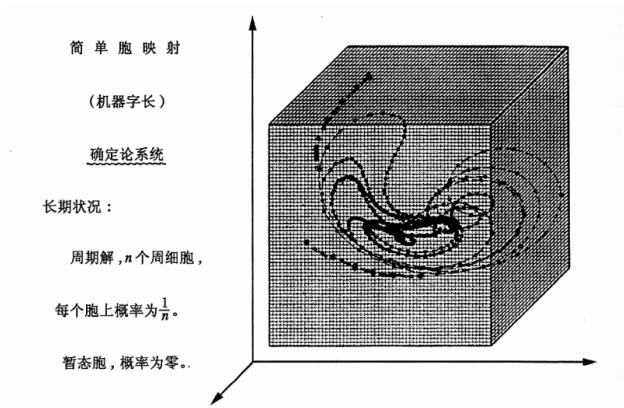


图1 简单胞映射

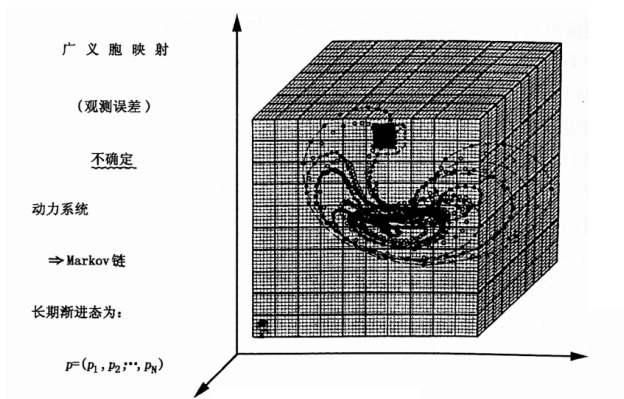


图2 广义胞映射

各自用自己的同一个模式，对两个差别相当于现在观测和分析误差的初始场进行积分，看多少天后两个解的差别超过了预报的允许误差。随后，进行了大量的数值试验，由于模式和初值不同，定量上说时限长度并不相同，平均说来逐日预报的理论上限为两周左右。这意味着逐日的天气预报不能超过两周。应该注意的是这里讨论的是理论的可预报性，即模式完美无缺（实际不是这样），预报误差仅仅来源于初值的不准确。可预报时段取决于初始误差的大小（观测和分析误差），误差的增长情况（误差增倍时间）和允许误差的大小（气候方差）。然而误差的增长率是与运动尺度有关的，尺度越小，误差增长率越大。影响局地天气的中小尺度运动，其可预报时段小于24小时，这使得天气预报（通常在24小时以上）不可能百分之百的准确。

混沌理论揭示出数值天气预报的技巧不仅仅像人们普遍认为的那样只取决于初值误差和模式误差，它还取决于初始误差的增长情况。当很小的初始误差增长到允许的大小时，初值的信息便丧失殆尽，这个期限就是可预报期限。然而，气象场的不同特征的误差增长情况是不同的，这就提出了如何定量研究误差增长和传播的规律，以及由此而产生的预报的不确定性

和可预报期限的问题。

洛伦茨在1965年提出了线性奇异向量理论，设想气象场的特征的演变（发展）可以用动力系统加以描述<sup>[4]</sup>，一个 $n$ 维动力系统

$$\frac{dX(t)}{dt} = F(X(t))$$

这里 $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ ， $F$ 为 $n$ 维向量场，令 $\sigma(t) = X(t) - X_0(t)$ 为与 $X_0(t)$ 的偏差，则有

$$\frac{d\sigma}{dt} = J(X)\sigma + G(X, \sigma)$$

其中 $J(X)$ 为 $n \times n$ 的Jacobi矩阵， $G(X, \sigma)$ 为偏差的高阶非线性项，当初始扰动充分小、时间短时，可以将非线性项略去，从而消除了由非线性带来的困难。此时， $\sigma$ 为线性方程控制，由此，定义最快增长扰动（线性奇异向量），Lyapunov指数（初始扰动的平均增长率），对预报不确定性和预报时效进行定量研究。这被称为初始误差的增长的线性理论。

线性理论的缺陷是明显的，随着误差的很快增长，切线性方程不再适用。我国学者发展了非线性误差增长理论。在预报的不确定性方面，穆穆等提出了条件非线性最优扰动（CNOP）<sup>[5]</sup>，克服了国际上广泛使用的线性奇异向量（LSN）方法的局限性，CNOP是在一定误差范围内，在预报时刻对预报结果不确定性有最大影响的初始误差。国内外学者用CNOP方法，研究了ENSO可预报性、海洋热盐环流敏感性、台风目标观测以及湿大气的可预报性，揭示了CNOP的非线性特征以及其物理本质；王斌等基于集合投影方法，发展了计算CNOP的高效算法；CNOP在模式是完美的条件下，讨论了大气或者海洋或者海气耦合过程的误差增长，但是模式总是存在误差的，关于实际大气或海洋的情况如何，仍是有待研究和解决的问题。为了研究实际大气或海洋的情况，洛伦茨提出考察实际资料中初始相似发展演变的情况，但实践中找到符合要求的相似场是非常困难的。李建平等提出了非线性局部Lyapunov指数（NLLE）<sup>[6, 7]</sup>，克服了基于线性误差增长理论的Lyapunov指数的局限性，证明了非线性混沌系统相对误差随时间发展的“饱和定理”，提出同时考虑初始信息和初始演化信息来确定局部动力相似的方法。这样一来，可直接用观测资料定量估计实际大气（海洋）的不同变量的可预报期限。基于观测资料，李建平等用NLLE方法揭示了热带季节内振荡（MJO）以及天气和气候不同变量的可预报期限的时空分布，指出可预报性是一个局部概念，它随空间和时间变化。

上述这些研究虽然为可预报性理论的发展做出

了重要贡献，但依然需要开拓新的领域。莫宁指出：“确定可预报期限本身并不是一个建设性的课题（本身也不应该是目的），建设性地解决某个长时期的可预报性问题应该是指指出这时期中所能预报的气象场的特征”<sup>[8]</sup>，也就是两周以上，当逐日的天气预报已不可能时，那么能预报什么？怎么预报？因此，可预报性理论面临的问题是对于未来的时刻 $T$ ，如何将气象场一分为二，分解为可预报分量（对初值不敏感）和混沌分量（初值信息已丧失殆尽，但存在着由外强迫和可预报的稳定分量决定的与初值无关的统计特征）。然后，分别情况，区别对待，采用不同的预报方法。

值得注意的是对8~14天的逐日天气预报，目前数值模式向精细化发展，引入了愈来愈多的不可预报的中、小尺度混沌分量，它们对天气尺度的统计作用是否会比参数化的好，是否应该区分可预报分量和混沌分量而采取不同的预报方法是一个待研究的难题。

未来10~30天预报，如何确定可预报分量。对一个确定的数值模式（ $n$ 维动力系统），由初值积分到 $T$ 时刻（这里 $10\text{天}\leq T\leq 30\text{天}$ ）可视为一个非线性映射，

$$U(T)=M(U_0)(T), U(T)+u(T)=M(U_0+u_0)(T)$$

这里 $u(T)$ 为初值扰动 $u_0$ 的发展，构造目标泛函

$$J(U_0)=\|M(U_0+u_0)(T)-M(U_0)(T)\|$$

当 $\|u_0\|$ 足够小时它的切线性算子的最大特征值所对应的特征向量就是CNOP，现在反过来考虑其最小特征值（次小， $\dots$ ）可以找出对初值不敏感的分量，是值得探索的。不过这样得到的是该模式大气的可预报分量，至于实际大气的可预报分量如何得到是有待研究的难题。

预报由两部分组成，一部分是可预报分量（信息 $\sigma_A$ ），另一部分是混沌分量（噪音 $\sigma_n$ ），这就产生一个问题，这样的预报其应用价值如何评估？信噪比（ $\frac{\sigma_A}{\sigma_n}$ ）能否反映？如何计算？也都是有待解决的难题。

应该强调指出的是上述的工作都是理论的可预报性研究，即在模式准确，初始资料有误差的条件下，能在何种水平上预报天气和气候。然而可预报性研究早已在深度和广度上与日俱增，由理论的可预报性研究发展为实际的可预报性研究，即研究当前实际的数值预报结果的不确定性（即预报误差）产生的原因和机制，寻找减小不确定性的方法和途径。由可预报性理论引导产生的集合预报方法（初值集合、模式参数集合，多模式集合等）是近年来数值天气预报的

重大进展。实际的可预报性和集合预报都取得了大量成果，也提出了大量有待解决的难题。限于篇幅，难以详述，可参阅文献<sup>[9]</sup>。

在可预报性研究领域，真正的难题是气象极端事件的可预报性问题。对未来的气象状况，决策者和公众最想知道的并不是降水的偏多偏少，温度的偏高偏低，而是暮春三月，江南草长之时，未来汛期我国什么地区，什么时段防汛会非常紧张，或者旱情会非常严重（如果有的话）。这种对社会经济和人民生活有严重影响的小概率极端天气气候事件是否能提前预测？能提前预测的时间与该事件的时空尺度（影响范围和持续时间）是否有某种关系？用什么方法预测？这些都是待研究的难题。之所以说是真正的难题，是因为这些问题用现行的观念和方法难以解决，需要重大的创新。这主要是因为现行的方法与要解决的问题之间存在两大差别：一是现行方法是作为正向问题，预报出未来的全部情况（可能出现的情况的概率分布）。而极端事件的预报把问题集中在某一地区某一时段出现某种极端事件的可能性（概率）上，无需涉及这以外的气象情况的预测。二是现行方法是作为初值问题，做预报时依据的是某一时刻的气候系统的初始状况，而所要求的初值有的没有观测因而不得而知，有观测的也存在观测误差，由此导致预报的不确定性（转向概率）。更甚者，初始时刻的选取有任意性，不同初始时刻的同一预报结果可能差别很大。而极端事件的预报与此相比有本质的不同。做预报时依据的是现有的全部观测资料，是将它作为一个整体，一个信息源来考虑的。当应用海—陆—气—冰气候系统模式来探讨某种极端事件可能出现的概率时，本质是个倒向问题。笔者认为彭实戈院士创立的倒向随机微分方程理论提供了重要的启示和借鉴。由于涉及观念和方法的创新，所以才说它是可预报性研究领域的真正难题。

传说每当亚历山大的胜利捷报传回时，他的儿子就哀叹：“父王把什么都征服了，我还有什么可干咧！”，从事天气和气候的可预测性研究的后来者，却不可能有这种哀叹。因为在这个领域已解决的问题远没有待解决的难题多，众多的难题正在等待着有理想、有抱负、去功利化的创新型的人去探索和解决。勇敢的后来者，祝你们幸运！

#### 参考文献

- [1] Lorenz E N. Deterministic nonperiodic flow. *J Atmos Sci*, 1963, 20: 131-141.
- [2] 丑纪范. 大气科学中的非线性与复杂性. 北京: 气象出版社, 2002.
- [3] Chou J F. Predictability of the Atmosphere. *Adv Atmos Sci*, 1989, 6(3): 335-346.
- [4] Kainay. 大气模式, 资料同化和可预报性. 蒲朝霞, 杨福全, 邓北胜,

- 等译. 北京: 气象出版社, 2005.
- [5] Mu M, Duan W S, Wang B. Conditional nonlinear optimal perturbation and its applications. *Nonlinear Processes in Geophysics*. 2003, 10: 493-501.
- [6] 李建平, 丁瑞强, 陈宝花. 大气可预报性的回顾与展望——21世纪大气科学前沿与展望. 北京: 气象出版社, 2006.
- [7] Ding R, Li J. Nonlinear finite time Lyapunov exponent and predictability. *Physics Letters A*, 2007, 364: 396-400.
- [8] Monin A C. 天气预报——一个物理学的课题. 林本达, 王绍武译. 北京: 科学出版社, 1981.
- [9] Palmer T, Hagedorn R. *Predictability of Weather and Climate*. New York: Cambridge University Press, 2006.

## Predictability of Weather and Climate

Chou Jifan<sup>1,2</sup>

(1 Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change of the Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000

2 CMA Training Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

**Abstract:** The evolution of the understanding process for the predictability of the weather and climate is described both in the view of theory and practice. The predictability of weather and climate, especially for 10~30 d forecasting, depends on the spatial and temporal scales, and the forecasting includes predictable components as well as chaotic components. The biggest challenge in the study of predictability comes from the issue for meteorological extreme events.

**Key words:** predictability, weather and climate

### 会议信息

- ◆ 减少航空和航海排放影响会议 (Reducing the impact of emissions from aviation and shipping), 2011年9月9日, 英国, 爱丁堡 (<http://www.conference.tri-napier.org/conference-programme>)
- ◆ 气候系统数学学术会 (Mathematics of the Climate System Conference), 2011年9月12—15日, 英国, 里丁 ([http://www.ima.org.uk/conferences/conferences\\_calendar/mathematics\\_of\\_the\\_climate\\_system.cfm](http://www.ima.org.uk/conferences/conferences_calendar/mathematics_of_the_climate_system.cfm))
- ◆ 第11届EMS年会暨第10届欧洲应用气象学术会 (11<sup>th</sup> EMS Annual Meeting & 10<sup>th</sup> European Conference on Applications of Meteorology (ECAM) 2011), 2011年9月12—16日, 德国, 柏林 (<http://meetingorganizer.copernicus.org/ems2011/sessionprogramme>)
- ◆ 第8届欧洲气候数据管理学术会议 (8<sup>th</sup> European Climate Data Management Workshop), 2011年10月12—14日, 英国, 爱丁堡 (<http://www.metoffice.gov.uk/conference/ecsn-workshop/>)
- ◆ 气象技术世界博览会 (Meteorological Technology World Expo), 2011年10月18—20日, 比利时, 布鲁塞尔 (<http://www.meteorologicaltechnologyworldexpo.com/>)
- ◆ 第七届NOAA GOES用户会议 (Seventh NOAA GOES Users Conference), 2011年10月20—21日, 美国, 伯明翰 ([www.nwas.org/meetings/nwa2011/](http://www.nwas.org/meetings/nwa2011/))
- ◆ 世界气候研究计划: 气候研究服务于社会 (World Climate Research Programme: Climate Research in Service to Society), 2011年10月24—28日, 美国, 丹佛 ([conference2011.wcrp-climate.org/index.html](http://conference2011.wcrp-climate.org/index.html))
- ◆ 第6届非CO<sub>2</sub>温室气体国际学术会 (Sixth International Symposium on Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases (NCGG-6)), 2011年11月2—4日, 荷兰, 阿姆斯特丹 (<http://www.ncgg.info/>)
- ◆ CLIMATE/KLIMA 2011: 气候变化和灾害风险管理 (CLIMATE/KLIMA 2011: Climate Change and Disaster Risk Management), 2011年11月7—12日, 德国, 汉堡 (<http://www.climate2011.net/>)
- ◆ 新西兰气象学会2011年年会 (Meteorological Society of New Zealand Annual Conference 2011), 2011年11月14—15日, 新西兰 (<http://metsoc.rsnz.org/>)
- ◆ 第四届可持续能源和环境国际研讨会: 向低碳社会转变的范例 (Fourth International Conference on Sustainable Energy and Environment: A Paradigm Shift to Low Carbon Society), 2011年12月23—25日, 泰国, 曼谷 (<http://www.jgsee.kmutt.ac.th/jgsee1/>)
- ◆ 第五届国际验证方法学术会 (The Fifth International Verification Methods Workshop), 2011年12月1—7日, 澳大利亚, 墨尔本 (<http://cawcr.gov.au/events/verif2011/>)

# 气候变化对农业生产的影响及其适应

房世波<sup>1</sup> 韩国军<sup>1</sup> 张新时<sup>2</sup> 周广胜<sup>1</sup>

(1 中国气象科学研究院生态环境与农业气象研究所, 北京 100081;

2 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

**摘要:** 基于国内有关研究, 综述了气候变化对我国农业气候资源和农作物种植结构影响的观测事实, 分析了气候变化中农业气象灾害时间变化趋势, 评述了未来气候变化对农作物生产的可能影响和适应策略。得出: (1) 中国大陆(西南地区除外)光温生产潜力呈明显增长趋势, 其中北方增幅大于南方, 气候变化对不同地区的不同作物的生产潜力影响不同。(2) 气温升高增加了各地的农业热量资源, 促进了复种指数增加和农业气候带向北向西推移, 喜温作物播种面积比例增加; 同时我国北方干暖化趋势, 南方洪涝灾害频发, 也引起不同地区的种植制度发生变化。(3) 气候变化背景下, 我国近50年来因气象灾害导致的农业受灾面积不断扩大, 农业经济损失逐年升高, 同时极端气候事件发生的频率和强度在加大, 增加了农业生产的风险。(4) 未来气候变化对我国农业生产有利有弊, 气候变暖将导致适宜作物种植和多熟种植的北界都将北移, 作物布局和品种熟制也将发生变化; 同时气候变化可能导致未来气象灾害更加频繁, 农业生产的不稳定性增加。(5) 基于已有的科学认识, 提出了优化我国农业种植制度、调整作物种植结构、加强农业基础设施建设和选育抗逆品种等农业适应气候变化策略。

**关键词:** 气候变化, 气候变暖, 农业气象灾害, 极端气候事件, 适应

## 引言

地球气候正在经历着以变暖为主要特征的变化过程, 根据1901—2000年和1906—2005年的温度线性趋势, IPCC最近两次评估报告分别得出过去100年来全球平均气温上升为 $0.6^{\circ}\text{C}$  ( $0.4\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ) 和 $0.74^{\circ}\text{C}$  ( $0.56\sim 0.92^{\circ}\text{C}$ ) 的结论<sup>[1, 2]</sup>。同时, 气候变化背景下, 极端天气事件趋多趋强<sup>[3, 4]</sup>, 导致气象灾害发生频率、强度和区域分布变得更加复杂。气候变化对农作物生产已经产生了深刻影响<sup>[5, 6]</sup>, 本文综述国内气候变化对农业生产的影响文献, 综合分析气候变化对我国农作物生产的影响及其适应对策。

## 1 已有气候变化对农业气候资源和农业气象灾害发生的影响

### 1.1 气候资源和生产潜力变化

中国大陆(西南地区除外)光温生产潜力呈明显大幅度增长的趋势, 其中北方增幅大于南方<sup>[7]</sup>。我国东北地区(黑龙江、吉林和辽宁三省)由于温度的明显上升, 作物的光温生产潜力和气候生产潜力呈不同程度的上升趋势, 松嫩平原玉米气候生产潜力递增趋势明显, 20世纪90年代气候生产潜力与50年(1951—2000年)来各年平均相比平均增加 $1057\text{kg}/\text{hm}^2$ ; 松嫩平原水稻气候生产潜力总体也呈递增趋势, 90年代气候生产潜力与50年各年平均相比平均增加 $787\text{kg}/\text{hm}^2$ <sup>[8]</sup>。山东省年气候变暖有利于生产潜力的提高, 冬小麦气候生产潜力总的变化趋势是波动性的上升<sup>[9]</sup>。浙江省

1961—2002近42年来作物气候生产力的趋势系数为 $0.211\sim 0.603$ , 气候生产潜力呈增加趋势, 尤其是20世纪90年代以来(1991—2002年), 随着气温的升高和降水量的增加, 浙江省植物气候生产力比平均值偏多 $1.7\%\sim 9.6\%$ <sup>[10]</sup>。

不同地区限制作物生长的气象因子不同, 气候变化对不同地区的不同作物的生产潜力影响也不同。在东北地区温度是主要限制因子, 研究得出温度变化对水稻的气候生产潜力影响最大, 其次为玉米, 大豆对温度变化的敏感性最小<sup>[8]</sup>。我国北方冬麦区1961—2004年光合生产潜力呈下降趋势, 而光温生产潜力和气候生产力均呈上升趋势, 日照时数的减少是光合生产潜力降低的主要原因, 温度升高是导致光温生产潜力增加的主要原因<sup>[11]</sup>。而西部干旱区主要受水分条件影响显著, 关中平原90年代气温升高导致农田光温生产潜力增加, 降水量的减少导致气候生产潜力减少<sup>[12]</sup>。

### 1.2 农业气象灾害变化

我国是世界上遭受气象灾害影响最严重的国家之一, 气象灾害每年造成的损失占整个自然灾害损失的70%左右, 造成的直接经济损失占国民生产总值的3%~6%<sup>[13, 14]</sup>。在全球气候变化背景下, 天气和气候极端事件发生的频率和强度在加大<sup>[15]</sup>。20世纪50年代以来, 我国农作物由于极端气候事件的影响受灾、成灾面积日益扩大。我国农业受灾面积、经济损失、农业粮食损失变化见图1(根据文献[16]修改), 可以看出近50年来气象灾害导致的农业受灾面积不断扩大, 粮食减产量逐年增加, 农业经济损失逐年升高。

收稿日期: 2011年5月30日; 修回日期: 2011年7月29日

第一作者: 房世波(1974—), Email: sbfang0110@163.com

资助信息: 全球变化研究国家重大科学研究计划

(2010CB951300)

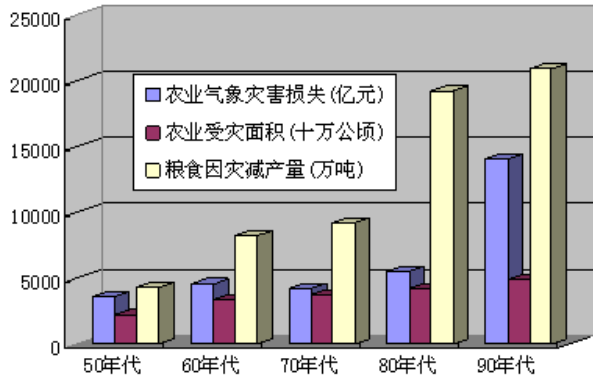


图1 1950—2000年以来我国农业气象灾害受灾损失、作物受灾面积和粮食减产趋势

## 2 气候变化对主要粮食作物种植结构影响的事实

### 2.1 主要粮食作物种植结构的变化

中国农业种植结构的分布主要是由自然条件决定的，而其分布的变化除了受经济行为的影响外主要受气候变化影响。

气温升高增加了各地的农业热量资源，促进了复种指数增加和农业气候带向北向西推移。气候变暖使各地的潜在生长季有所延长， $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温有所增加，双季稻种植北缘由原先的 $28^{\circ}\text{N}$ 推进到 $31^{\circ}\text{—}32^{\circ}\text{N}$ 地区，稻麦二熟由原先的长江流域推进到华北平原的北缘（ $40^{\circ}\text{N}$ ）<sup>[17]</sup>；华北地区两年三熟制已改为冬小麦—玉米一年平播两作<sup>[18]</sup>；我国冬小麦种植北界（长城沿线）与我国20世纪50年代所确定的冬小麦种植北界（长城沿线）相比，从大连（ $38^{\circ}54'\text{N}$ ）推移到了抚顺—法库—彰武—线（ $42^{\circ}30'\text{N}$ ）<sup>[19]</sup>，北移了近4个纬度，这些导致我国复种指数逐年增加，有效地促进了粮食增产，50年来我国复种指数增加和粮食产量关系见图2（引自文献[20]）。

随着热量增加，喜温作物播种面积比例增加。我国气候变暖最为显著的区域东北三省1980年水稻面积仅 $84.88\text{万hm}^2$ ，到2002年水稻面积达 $278.69\text{万hm}^2$ 。在20年内，面积扩大 $193.81\text{万hm}^2$ ，2000年水稻面积占全国水稻面积的9.88%，总产占全国水稻总产的9.72%<sup>[21]</sup>。甘肃省因气候变暖使喜热作物棉花和玉米的种植面积迅速扩大<sup>[22]</sup>，棉花种植海拔高度提高100m，其主产区河西走廊的种植面积比20世纪80年代扩大了7倍<sup>[23]</sup>，喜温作物玉米、谷子等作物种植面积也有所扩大，复种指数提高<sup>[24]</sup>。气温增加明显，越冬作物冬小麦、冬油菜西伸北扩，冬小麦的种植海拔高度超越 $2000\text{m}$ <sup>[25]</sup>。

我国北方干暖化趋势明显，南方洪涝灾害频发，不同地区的种植制度也随之发生变化。甘肃近些年玉米及马铃薯种植面积有所增加，小麦播种面积有所下降，是农民适应干暖气候特点而自觉调整了作

物种植比例<sup>[26]</sup>；甘肃省中部半干旱地区，干旱灾害发生频率非常之高，小麦产量低而不稳，而耐旱作物糜、谷、马铃薯、胡麻、豆类等作物的种植面积迅速扩大<sup>[27、28]</sup>。在洪灾胁迫下，地跨湖南和湖北的两湖平原，通过发展早熟早稻品种与迟熟晚稻组合搭配错开洪涝高峰期，部分实现了农业避洪减灾<sup>[29、30]</sup>。

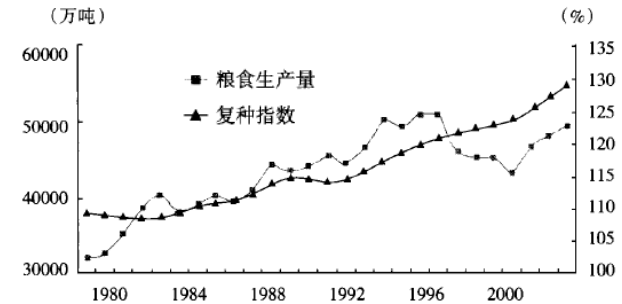


图2 1980—2006年我国复种指数和粮食产量变化趋势图(引自文献[20])

### 2.2 盲目改变农业种植制度和引种对粮食生产造成了影响

气候变暖为我国多熟种植制度的增加带来了可能。但气候干暖化会使作物的可利用水资源量减少，同时极端气候事件发生的频率和强度在加大，增加了种植制度改变的风险。盲目的没有科学论证的种植制度，极易给粮食生产带来严重灾害。

例1：由于全球气候变暖，东北地区多数年份无霜期延长，黑龙江和吉林省一些农业科研、技术推广单位试种生育期长的玉米品种并获得高产，在此推动下，两省多数地区玉米种植品种的生育期越来越长，使越区种植现象越来越普遍，造成玉米的生育期超过当地的无霜期，不能安全成熟的现象。1999年，吉林省初霜期较常年提早一周左右，致使全省玉米平均含水量达26%，等外玉米占玉米产量的17%<sup>[31]</sup>。

例2：由于气候变暖，我国的黄淮冬麦区、长江中下游冬麦区与西南冬麦区等我国小麦主产区推广的春性品种的比例显著提高，小麦品种的春性过强、抗寒能力差，遇到不强的低温也极易造成冻害或寒害。尤其是2004年小麦良种补贴项目开始实施以后，一些地区不适当地推广春性较强的小麦品种造成冻害，已经引起多起群众集体上访事件，严重影响了地区的稳定与发展<sup>[32]</sup>。

例3：1990年前后，湖北天门市从湖北三峡库区引种蜜橘，然而蜜橘最怕冻害，经统计发现，某些温度指标在天门市多数年份都不能满足。1993年冬季江汉平原发生了一次大范围低温冻害过程，天门蜜橘一夜之间几乎全部被冻死，造成了普遍性经济损失，这都是预先没有从气候学角度进行科学论证而盲目发展

新品种的结果<sup>[33]</sup>。

### 3 未来气候变化对农业的可能影响

#### 3.1 未来气候变化对农业气候资源 and 生产潜力的影响

气候变暖将影响气候资源的时空分布，在HadCM2 GX（英国哈德莱中心的一种集合结果的强迫方案）条件下，气候变化将明显增加中国东北地区的土地生产潜力，2020s，2050s，2080s中国东北地区的土地生产潜力将分别比现在增加16.0%，24.9%，36.8%；“雨养”条件下将分别增加12.1%，10.1%，35.3%；相反，气候变化也将明显减少中国华南、西藏地区的土地生产潜力<sup>[34]</sup>。

#### 3.2 未来气候变化对主要粮食作物产量和品质的影响

气候变化对农作物产量影响有利有弊。气候变化改变了水热条件，促进了作物复种指数的变化和作物种植制度的变化，气温升高促使复种指数增加对粮食增产有益，尤其在温度为限制因子的我国北方地区。在现有的种植制度、种植品种和生产水平不变的前提下，在CO<sub>2</sub>加倍的条件下，到2030年由于气候变暖的影响，全国主要农作物总产量将平均减少5%~10%左右，其中小麦、玉米和水稻三大粮食作物均以下降为主<sup>[35]</sup>。另外，最新的研究认为温度对某些作物产量影响是非线性的，当温度高于关键温度后其产量可能会迅速下降<sup>[36]</sup>。气候变化同时也会对农作物产品品质产生影响。在CO<sub>2</sub>浓度升高的情况下，作物吸收的C增加、N减少，体内C/N比值升高，蛋白质含量将降低，从而使作物品质降低<sup>[37]</sup>。

#### 3.3 未来气候变化对种植制度的影响

研究表明，中国年平均气温增加1℃，≥10℃积温的持续日数平均延长15天，适宜作物种植和多熟种植的北界都将北移。由合成GCM模式模拟的2050年气候变化情景下我国不同作物种植制度分布面积的可能变化得出，一熟种制由当前的63%下降为34%，二熟种制由24.2%变为24.9%，三熟种制由当前的13.5%提高到35.9%<sup>[38]</sup>。目前大部分两熟制地区将会被不同组合的三熟制所替代，两熟制地区将会北移到目前一熟制地区的中部，三熟制的北界将明显地由目前的长江流域北移到黄河流域<sup>[39]</sup>。值得注意的是，以上关于多熟种制范围变化的分析是在仅仅考虑热量条件的基础上进行的，但考虑气候变化对我国水分条件可能的不利影响，多熟种制范围的变化将受到很大的限制。

气候变暖后，作物布局和品种熟制也将发生变化。华北目前推广的冬小麦品种（冬性品种），因冬季无法经历足够的寒冷期而不能满足春化作用对低温

的要求，将不得而被其他类型的冬小麦品种（半冬性和春性品种）所取代。较耐高温的水稻品种将在南方占主导地位，而且还将逐渐向北方稻区发展。东北地区玉米的早熟品种逐渐被中、晚熟品种取代<sup>[35]</sup>。

#### 3.4 未来气候变化对农业气象灾害和病虫害的影响

未来农业气象灾害会更加频繁，农业生产的不稳定性加大，农业在气候变化下变得更加脆弱。华北和华东春末高温干热风近50年发生频率和强度呈增加趋势<sup>[40]</sup>，未来气候变暖干热风影响将更加严重，干热风可影响小麦授粉、灌浆过程，导致小麦减产10%~20%<sup>[41]</sup>；江南、华南高温可能导致水稻灌浆不足而减产，而黄淮海地区暴雨引发的持续洪涝灾害和连阴雨天气可导致棉花生长受阻<sup>[42]</sup>。总体而言，气候变化对农业生产的影响利弊并存，但以负面影响为主。土壤有机质分解速率随温度而加强，很多全球气候变化模型都显示全球变暖将导致土壤中碳的损失<sup>[43-45]</sup>，Kirschbaum<sup>[46]</sup>综述了土壤碳库对全球变暖响应的研究，认为在气候变暖条件下，温度每升高1℃，土壤有机碳损失10%或更高，有机质的快速消耗加速了C循环过程，增加了CO<sub>2</sub>释放速率，进一步加剧温室效应，是对气候变暖的负反馈。

气候变暖病虫害发生的地理范围将扩大。由于温度直接影响病虫害的生长发育及其危害能力，因此温度的变化及其分布也直接影响病虫害的发生流行及其地域分布<sup>[47]</sup>。受热量限制的病虫害向高纬度地区扩散，而中纬度地区病虫害加重，病虫害爆发频率逐年提高，气候变暖可使粘虫越冬北界北移约3个纬度、稻飞虱越冬北界北移约2.5~3.5个纬度，粘虫、草地螟、稻飞虱繁殖代数增加<sup>[48]</sup>。无论是小麦、水稻、玉米、大豆等粮食作物，还是蔬菜、果树等园艺作物，其病虫害都呈加重态势，种植结构单一加大了病虫害的发生，温度高还为各种杂草的生长提供了优越的条件，因此，气候变暖可能会导致虫害的流行和杂草蔓延，目前，我国农业因病、虫、草害造成的损失约为农业总产值的20%~25%<sup>[42]</sup>。

### 4 科学应对气候变化，保障我国粮食安全

应对全球气候变化，规避极端气象和气候灾害风险，农业产业结构和种植制度调整将面临一个新的课题。气象观测年序列增长、气候变化或短期气候异常也迫使人们重新认识一个地区的农业气候资源，需要修改以往利用较少年数资料得到的气候资源的农业分析和区划结果；改变以往仅考虑热量和最低温时间来确定作物种植界线的做法，进而需要考虑气候变暖和变干的趋势给气候资源带来的影响，为了充分利用热

量资源和保证水分的可持续利用，并需要兼顾考虑气象灾害风险，我们迫切需要对作物配置和种植制度进行重新分析和规划，减少风险，增加效益。

#### 4.1 优化我国农业种植制度

优化种植制度是适应气候变化最重要的且能立竿见影的技术手段。利用我国长时间序列的加密气象观测数据，分析我国以及我国不同区域的气候变化趋势，分析未来气候变化对农业的可能影响，分析当前气候变化和未来气候变化对光、热、水资源重新分布和农业气象灾害分布格局的影响，充分利用气候变化带来的热量资源增加、复种指数增加等优势，规避高温热害、干热风、干旱等气候变化带来的不利因素，进而改进作物布局，科学的调整种植制度，趋利避害，减缓气候变化的不利影响，保证粮食生长的高产稳产。

#### 4.2 调整作物种植结构（趋利避害）

合理调整作物种植结构可以趋利避害，合理利用气候资源而规避气候变化带来的风险。例如甘肃近些年玉米及马铃薯种植面积有所增加，小麦播种面积有所下降，调整了作物种植比例而提高了当地农民收入；而在洪灾多发的两湖平原，通过发展早熟早稻品种与迟熟晚稻组合搭配错开洪涝高峰期，部分实现了农业避洪减灾。可见合理调整作物种植结构可以减少气候变化的负面影响，由于我国气候类型多样，应该开展适应当地气候变化的作物种植结构研究，调整种植结构，研究和探索适合当地气候条件的种植结构，促进农业增产增收。

#### 4.3 加强农业基础设施，提高农业抗灾能力

加强农业基础设施和农田基本建设。开发高效灌溉和节水技术，扩大灌溉面积；强化综合防治气象灾害的工程设施建设，科学地推进农业现代化的进程，从而增强农业的生产能力和抵御灾害风险的能力。

#### 4.4 发展现代生物技术，选育抗逆品种

发展生物技术是重要的应对策略。选育适应气候变化的新品种。要加强光合作用、生物固氮、生物技术、抗御逆境等生物控制技术开发，培育抗逆性强、高产优质的作物品种是最根本的适应性对策之一。然而作物育种周期较长，需要长期持续的研究推进。

#### 参考文献：

[1] IPCC. IPCC Third Assessment Report: Climate Change, 2001 (TAR). <http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/vol4/index.htm>.  
 [2] IPCC. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change, 2007(AR4). [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm).  
 [3] 马宗晋, 高庆华. 中国第四纪气候变化和未来北方干旱灾害分析. 第四纪研究, 2004, 24(3): 245-251.  
 [4] 钱维宏, 符娇兰, 张玮玮. 近40年中国平均气候与极值气候变化的概述. 地球科学进展, 2007, 22(7): 673-684.

[5] 房世波, 谭凯炎, 任三学, 等. 夜间增温对冬小麦生长的影响. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3251-3258.  
 [6] 房世波, 沈斌, 谭凯炎, 等. 大气(CO<sub>2</sub>)和温度升高对农作物的影响. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 1116-1124.  
 [7] 章基嘉, 徐祥德, 苗俊峰. 气候变化及其对农作物生产潜力的影响. 气象, 1992, 18(8): 3-7.  
 [8] 周光明. 松嫩平原作物气候生产潜力分析及其气候变化响应. 黑龙江农业科学, 2009 (5): 35-37.  
 [9] 李长军, 刘焕彬. 山东省气候变化及其对冬小麦生产潜力的影响. 气象, 2004, 30(8): 49-53.  
 [10] 毛裕定, 苏高利, 李发东, 等. 气候变化对浙江省植物气候生产力的影响. 中国生态农业学报, 2008, 16(2): 273-278.  
 [11] 宁金花. 气候变率和变化对中国北方冬小麦气候生产力的影响. 南京信息工程大学硕士论文, 2008.  
 [12] 刘引鸽. 关中平原土地利用及农业气候生产潜力分析. 水土保持研究, 2005, 12(6): 21-22, 49.  
 [13] 李泽椿. 我国的气象灾害及科学防灾减灾. [http://english.cma.gov.cn/jw/gk/yingji/t20080423\\_232437.phtml](http://english.cma.gov.cn/jw/gk/yingji/t20080423_232437.phtml).  
 [14] 翟盘茂, 王萃萃, 李威. 极端降水事件变化的观测研究. 气候变化研究进展, 2009, 3(3): 144-148.  
 [15] 丁一汇, 张锦, 宋亚芳. 天气和气候极端事件的变化及其与全球变暖的联系. 气象, 2002, 28(3): 3-7.  
 [16] 周京平, 王卫丹. 极端气候因素对中国农业经济影响初探. 现代经济, 2009, 8(7): 142-145.  
 [17] 章秀福, 王丹英. 我国稻—麦两熟种植制度的创新与发展. 中国稻米, 2003, 2: 3-5.  
 [18] 江爱良. 中国40年来气候变化的某些方面及其对农业的影响, 气候变化对中国农业的影响. 北京: 科学出版社, 1993.  
 [19] 郝志新, 郑景云, 陶向新. 北京气候变暖背景下的冬小麦种植北界研究. 地理科学进展, 2001, 20(3): 254-261.  
 [20] 汪涌, 王滨, 马仓, 等. 基于耕地面积订正的中国复种指数研究. 中国土地科学, 2008, 22(12): 46-52.  
 [21] 李克勤. 东北三省水稻生产概况、经验及启示. 中国稻米, 2004, 6: 15-16.  
 [22] 刘德祥, 董安祥, 梁东升, 等. 气候变暖对西北干旱区农作物种植结构的影响. 中国沙漠, 2007, 27(5): 831-836.  
 [23] 周震, 王鹤龄, 李耀辉. 甘肃河西地区棉花生长对气候变暖的响应及对策研究. 中国棉花, 2006, 33(11): 17-18.  
 [24] 邓振镛, 张强, 徐金芳, 等. 全球气候变暖对甘肃农作物生长影响的研究进展. 地球科学进展, 2008, 23(10): 1070-1078.  
 [25] 杨晓光, 刘志娟, 陈卓. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析. 中国农业科学, 2010, 43(2): 329-336.  
 [26] 杨小利, 姚小英, 蒲金涌, 等. 天水市干旱气候变化特征及粮食作物结构调整. 气候变化研究进展, 2009, 5(3): 179-184.  
 [27] 邓振镛, 张强, 韩永翔, 等. 甘肃省农业种植结构影响因素调整原则探讨. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 126-129.  
 [28] 姚小英, 邓振镛, 蒲金涌, 等. 甘肃省糜子生态气候研究及适生种植区划. 干旱气象, 2004, 22(2): 52-56.  
 [29] 王德仁, 陈苇. 长江中游及分洪区种植结构调整与减灾避灾种植制度研究. 中国农学通报, 2000, 16(4): 1-8.  
 [30] 陶建平, 李翠霞. 两湖平原种植制度调整与农业避洪减灾策略. 农业现代化研究, 2002, 23(1): 26-29.  
 [31] 蒋相梅. 东北地区控制玉米越区种植取得明显成效. 中国农业信息快讯, 2001, 1(8): 8-9.  
 [32] 林而达. 气候变化与减灾. 中国减灾, 2008, 3: 16-17.  
 [33] 赵建平, 帅文卫. 天门市农业产业结构调整中的气候问题初探. 湖北气象, 2002, 4: 33-34.  
 [34] 唐国平, 李秀彬, Guen ther Fischer, 等. 气候变化对中国农业生产的影响. 地理学报, 2000, 55(2): 129-138.  
 [35] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2007.  
 [36] 谭凯炎, 房世波, 任三学, 等. 气候变化中的非对称性增温对农作物生长的影响. 应用气象学报, 2009, 20(5): 634-641.  
 [37] 高素华, 王春乙. CO<sub>2</sub>浓度升高对冬小麦、大豆籽粒成分的影响. 环境科学, 1994, 15(5): 24-30.  
 [38] 张厚. 中国种植制度对全球气候变化响应的有关问题——I 气候变化对我国种植制度的影响. 中国农业气象, 2000, 2(1): 9-13.  
 [39] 王馥棠. 近十年来中国气候变暖影响研究的若干进展. 应用气象学报, 2002, 12(6): 755-765.  
 [40] 邓振镛, 张强, 倾继祖, 等. 气候暖干化对中国北方干热风的影

- 响. 冰川冻土, 2009, 31(4): 664-671.
- [41] 李赛. 干热风袭击北方冬麦区. 中国气象报. 2007-5-10. <http://www.envir.gov.cn/info/2007/5/510116.htm>.
- [42] 熊伟. 气候变化“威胁”中国农业. 农经, 2009, (7): 58-59.
- [43] Sundquist E T. The global carbon dioxide budget. Science, 1993, 259: 934-941.
- [44] Kevenbolden K. Gas hydrates-geological perspective and global change. Review Geophysics, 1993, 31: 173-187.
- [45] McKane R B, Rastetter E B, Shaver G R, et al. Climatic effects on tundra carbon storage inferred from experimental data and a model. Ecology, 1997, 78: 1170-1187.
- [46] Kirschbaum M U F. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. Soil Biology and Biochemistry, 1995, 27: 753-760.
- [47] Drake V A. The influence of weather and climate on agriculturally important insects: An Australian perspective. Australian Journal of Agricultural Research, 1994, 45(3):487-509.
- [48] 李淑华. 气候变化对中国农业病虫害的影响. 北京: 北京科学技术出版社, 1993.

## Climate Change Affects Crop Production and Its Adaptation

Fang Shibo<sup>1</sup>, Han Guojun<sup>1</sup>, Zhang Xinshi<sup>2</sup>, Zhou Guangsheng<sup>1</sup>

(1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081 2 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

**Abstract:** Based on relevant domestic research, the paper gives an overview of the observed facts of climate change impacting on agro-climatic resources and crop planting structure, the detected trends in frequency and intensity of agro-meteorological disasters, and the potential impacts and adaptation strategies for the future of climate change on crop production. It shows that: (1) Light and temperature productivity have an increasing trend on China's mainland (except southwest). They tend to increase to a greater degree in the north of China than the south of China. Climate change has different roles on potential productivity among different crops or in different regions of China. (2) Higher temperature increases the heat resource for crop growth, enhances the multiple cropping index, pushes the agro-climatic zone northward and westward, and increases the proportion of thermophilic crops' sown areas. The dry warming trend in northern China and southern flood disasters have also resulted in the change of the cropping system to some extent. (3) The meteorological disasters expand agricultural disaster areas which have led to increasing agricultural economic losses year by year in China in the recent 50 years. They increase the risk of crop production with the frequency and intensity of extreme weather events. (4) They would have pros and cons of the future climate change impact on China's crop production. Warming will lead to the northern boundary of multi-cropping northward, and induce the change of crop varieties and cropping layout. Weather disasters will be more and more frequent in future, which would increase the instability of crop production. (5) Based on the existing scientific knowledge, strategies for crop plant adaptation to climate change are proposed, optimizing our farming system, crop planting structure adjustment, strengthening the crop plant infrastructure, as well as cultivating new stress-resistant crop varieties.

**Key words:** climate change, global warming, agricultural meteorological disasters, extreme weather events, adaptation

### 下期要目

- ◆ 阳江第八届国际探空比对综述
- ◆ 季节气候预测的进展和前景
- ◆ 从“气候”到“全球气候系统”概念的发展
- ◆ 强对流天气的多普勒天气雷达探测和预警
- ◆ 气象卫星数据资料共享服务现状分析
- ◆ GIS在民航气象业务系统中的应用研究

# 古气候研究进展

王绍武

(北京大学物理学院大气与海洋科学系, 北京 100871)

**摘要:** 总结回顾了二十年来古气候研究的进展, 着重揭示古气候变化的事实。共分析了10个问题: (1) 威尔逊旋回, (2) 冰河时代, (3) 生物大灭绝, (4) 人类走出非洲, (5) 第四纪冰期—间冰期旋回, (6) 下一个冰期何时到来, (7) 末次冰期冰盛期, (8) 冰期气候的不稳定性, (9) 全新世气候的不稳定性, (10) 全新世气候变化趋势。

**关键词:** 古气候, 冰期—间冰期旋回, 气候不稳定性, 全新世气候, 东亚古季风

## 引言

由于科学、技术的进步, 近二十年来古气候研究取得了巨大的进展, 使我们对自己生存的星球古气候的历史有了更清晰的认识。这里我们扼要地介绍进展较为突出的10个问题。这些问题可以分为三组; 前4个问题讨论的时间尺度较大, 从亿年到百万年, 是地球气候史的宏观问题。其次4个问题属于第四纪气候, 中心是260万年来冰期—间冰期旋回问题。最后两个问题属于全新世气候变化。

### 1 威尔逊旋回

在三叠纪初(2.5亿年前)地球上曾形成了联合大陆。近来汪品先<sup>[1]</sup>指出联合大陆是形成“超级季风”的重要条件。Wilson<sup>[2]</sup>提出在联合大陆之前还应该存在更早期的曾经并和在一起的早期“泛大陆”。这种大陆崩裂、洋盆开启与闭合, 被理解为具有开始与终结的过程, 是一种可以重复出现的现象, 所以称为威尔逊旋回。Wilson把这个过程概括为6个阶段: (1) 萌芽阶段, 在陆壳基础上, 因扩张开裂形成大陆裂谷, 如现代的东非裂谷。(2) 初始阶段, 陆壳继续开裂, 开始出现狭窄的海湾, 局部已出现洋壳, 如红海、亚丁湾。(3) 成熟阶段, 由于大洋中脊向两侧不断增生, 海洋边缘又出现俯冲、消减现象, 所以大洋迅速扩张, 如大西洋。(4) 衰退阶段, 大洋中脊虽然继续扩张增生, 但大洋边缘一侧或两侧出现强烈的俯冲、消减作用, 海洋总面积逐渐减小, 如太平洋。(5) 残余阶段, 随着洋壳海域的缩小, 终于导致两侧陆壳地块相互逼近, 其间仅残留小型洋壳盆地, 如地中海。(6) 消亡阶段, 海洋消失, 大陆相碰, 使大陆边缘原有的沉积物强烈变形, 隆起成山, 如喜马拉雅山、阿尔卑斯山。

2.5亿年前是季风强盛时期, 现代也是季风强盛

时期, 现代东北季风的形成不会晚于渐新世与中新世之交(2400万年前)<sup>[1]</sup>。汪品先<sup>[1]</sup>强调古季风系统的建立有海陆分布和高原隆升两个方面的原因。Clift和Plumb在《亚洲季风》一书中<sup>[3]</sup>, 曾详细分析了高原隆升对季风形成的影响, 这个问题早在1992年就引起了Prell和Kutzbach<sup>[4]</sup>的注意, 至今仍是科学家热议的问题<sup>[5]</sup>。

### 2 冰河时代

大量的证据表明, 地球历史上绝不仅仅在第四纪(260万年)以来才有冰期, 在漫长的岁月中, 至少有5次大的冰期, 其时间尺度在亿年、千万年, 与以万年为单位计算的第四纪冰期—间冰期旋回不同。所以历史上的大冰期多称为冰河时代(Glacial Age或Ice-Age Epoch)<sup>[6, 7]</sup>。地球的历史可以分为隐生宙及显生宙, 从46亿到5.4亿年为隐生宙, 从5.4亿年“生物大爆炸”开始为显生宙。隐生宙有两次冰河时代: 分别出现在早元古代(24亿~21亿年前)、及晚古生代(7.5亿~6.0亿年前)<sup>[6]</sup>。显生宙有3次冰河时代: 奥陶纪末(4.6亿年前)、石炭纪末到二叠纪初(约3亿年前)、第四纪(260万年以来)。

Shaviv<sup>[7]</sup>综合了不同作者的研究结果认为, 至少在最近10亿年中就有7个冰河时代, 并且指出: 冰河时代与太阳系穿过银河旋臂有关。这就是说地球历史上可能不止有5个冰河时代<sup>[8]</sup>。这是一个需要进一步证实的问题。至于冰河时代的形成是否确实是地球随太阳系穿过银河旋臂, 从而使宇宙线大量增加造成的, 也有待于继续研究。但是无论如何, 地球历史上存在冰河时代则是无疑的。至于每个冰河时代持续多长时间, 其内部结构如何, 例如是否又包含若干个“冰期”, 则还不清楚。特别在这种时间尺度上还要考虑海陆分布的变化, 这些都需要进一步研究。但是冰河时代全球变冷, 甚至可能形成冰雪覆盖的地球, 简称“雪球”<sup>[9, 10]</sup>, 则是地球上极端气候的代表, 十分值得注意。

### 3 生物大灭绝

35亿年以来地球上生存过大约40亿种生物, 其

收稿日期: 2011年7月6日

第一作者: 王绍武(1932—), Email: swwang@pku.edu.cn

资助信息: 国家重点基础研究计划: 过去2000年全球典型暖期的形成机制及影响研究(2010CB950104)

中99%现在已经不存在了。这表明物种灭绝是很正常的。但是有时物种灭绝率相对较高,被称为大灭绝(mass extinction)<sup>[11]</sup>。Jablonski<sup>[12]</sup>认为可以把灭绝率达到75%称为大灭绝。按照这个规定,显生宙(5.4亿年前)以来共有5次大灭绝,加上程度小一点的灭绝,至少共有29次<sup>[11]</sup>。这5次大灭绝出现的时间为奥陶纪末(4.43亿年前)、泥盆纪晚期(3.59亿年前)、二叠纪末(2.51亿年前)、三叠纪末(2亿年前)及白垩纪末(6500万年前)。最后一次的主要特征为恐龙大灭绝<sup>[13-15]</sup>。一般认为,气候异常是发生大灭绝的原因之一<sup>[11]</sup>。近来有人提出来,由于全球气候变暖,21世纪可能面临着第6次大灭绝的威胁,也许目前尚未达到这个程度,但是如何保护生物的多样性,则确实是一个严肃的课题<sup>[16, 17]</sup>。

#### 4 人类走出非洲

人类是在什么样的气候环境下形成的,又如何扩散到全球的,这是一个古老的问题,但是也只有科学发展的今天,才有了较为正确的认识。过去大家都同意“人”是从猿猴逐渐发展,一步一步演变来的。但是,对于人类是在世界上不同地区各自单独发展起来的,还是在一个地区发展后“走”到世界各地的,却有很大争议,因为没有充分的证据。1980年代人们开始从分子人类学角度研究这个问题<sup>[18, 19]</sup>到21世纪取得了突破性的进展,绘制了人类基因图谱<sup>[20]</sup>。其原理是人群基因形成的频率是不同的。这个频率的差异称为基因距离。染色体或DNA(脱氧核糖核酸)只遗传父母一方的遗传信息。线粒体DNA(mtDNA)只继承母系的遗传因子,Y-染色体则只继承父系的遗传因子。大约每百万年mtDNA可能产生33%的分歧。因此可以判断现代不同地区的人是什么时候分开的。无论从线粒体DNA还是从Y-染色体,都证明现代世界各地的人都是大约15万年前东非的母亲“夏娃”和父亲“亚当”的后代,并且绘制出人类迁徙概略图。根据这个图大约4万年前从南亚进入中国大陆。但是有证据证明,这已经是人类第3次走出非洲了<sup>[21-23]</sup>。190万年前、40万年前及5万~6万年前3次走出非洲都是在气候暖湿的条件下,但也是岁差影响最强烈的时期,周期在2万年左右的岁差造成环境迅速改变,推动了人类走出非洲<sup>[22]</sup>。

#### 5 第四纪冰期—间冰期旋回

19世纪初地质学家根据化石记录把地球历史分为四个时期:第一纪(Primary)、第二纪(Secondary)、第三纪(Tertiary)和第四纪(Quaternary)。前两个名称早已不用了。1985年把第四纪的开始定在180万年前。2009年国际地层学委员会

通过投票,建议把第四纪的开始定在260万年前<sup>[24]</sup>。第三纪则仍开始于6500万年前,即恐龙大灭绝之后,到260万年前第四纪开始为止。第三纪与第四纪共同组成新生代。

20世纪初人们认为近70万年有4次冰期,由远及近为群智、民德、里斯、武木,大约出现在65万年、45万~50万年、15万年、4万~5万年前。冰期是以欧洲慕尼黑以西多瑙河的四条小支流命名的。冰期时欧洲的冰体多以山谷冰川的形式出现,而没有形成整个冰盖。冰川向下延伸形成冰舌。间冰期冰川后退,融冰水下切形成阶地。由于阿尔卑斯山不断抬升,老、新阶地出现在不同高度。每一个阶地代表了一次间冰期的开始。所以冰川进退只能提供冰期、间冰期粗略的时间框架。

1955年,Emiliani<sup>[25]</sup>率先打破了这个传统的概念,根据深海沉积 $\delta^{18}\text{O}$ 指出75万年地磁反转之后就7个冰期,约10万年1个。Lisiecki和Raymo<sup>[26]</sup>综合分析了分布于全球的57个深海沉积 $\delta^{18}\text{O}$ 记录,建立了530万年以来的冰期间冰期旋回年表,证明冰期—间冰期旋回贯穿整个530万年。这就是说在第四纪之前,至少在第三纪晚期中新世末到上新世,冰期—间冰期旋回已经是气候变化的主要特征了。中国黄土颗粒大小也记录了更新世的冰期间冰期旋回,而且周期的变化与深海沉积 $\delta^{18}\text{O}$ 有很好的 consistency<sup>[27]</sup>:0~60万年前10万年周期为主,4.1万年周期占第2位,岁差周期(2.3万年及1.9万年)第3位。55万~100万年前41万年周期最强,10万年周期其次,岁差周期第3位。80万~160万年前4.1万年周期占绝对优势,其余周期几乎看不到。160万~250万年前仍然是4.1万年周期为主,但有40万年周期。4.1万年周期与岁差周期几乎在整第四纪中均能看到,只有晚第四纪10万年周期才占绝对优势。但是与10万年周期对应的地球轨道要素——公转轨道椭圆偏心率的变化太小,其作用主要是调控其他两个因素(地轴倾斜率和岁差)的影响<sup>[28]</sup>。因此,为什么近70万~80万年10万年旋回占优势是一个尚未解决的问题。有一种意见认为可能是通过 $\text{CO}_2$ 与冰反照率内部反馈造成的<sup>[29]</sup>。

#### 6 下一个冰期何时到来

如上所述,近80万年中10万年旋回十分突出,然而在一个冰期—间冰期旋回中冰期与间冰期是不对称的,冰期长而间冰期短,一般间冰期只有1万~2万年,最长不过3万年,最短的甚至不足1万年<sup>[30]</sup>。目前间冰期已持续了1.15万年,显然正面临着间冰期结束的威胁。早在1972年,古气候学家在讨论现代的间冰期何时结束时,形势是十分紧迫的<sup>[31]</sup>。当时了解较多

的是近两个10万年旋回，这两个旋回的间冰期均持续约1万年。上一个间冰期名为伊米安（Eemian），出现于12.5万~11.5万年前。因此会议得到结论：“如果人类不干预，可能今天的暖期会很快结束。在这种思想指导下Kukla等<sup>[32]</sup>曾预测下一个冰期的第1个低温将于4千年后出现，下一个冰盛期将在1.14万年后出现。

到了20世纪末至21世纪初，情况有了变化。大多数古气候学家倾向于在未来3万~5万年不会进入下一个冰期。其原因主要有两个方面：（1）人们了解到过去的间冰期持续时间比以前认为的要长<sup>[33]</sup>，（2）人类活动造成的气候变暖可能会破坏冰期—间冰期旋回的自然韵律，使现代间冰期延续下去<sup>[34]</sup>。

## 7 末次冰期冰盛期

末次冰期冰盛期（LGM）是十分关键的气候事件，这是距我们最近的一次极寒冷的事件。那时北美北部为一巨大冰盖，包括3个部分：一个在北美北部的东南，是北美冰盖的主体，称为劳伦泰冰盖；另一个在北美北部的西南方太平洋沿岸，范围较小，称为考尔的勒冰盖；还有一个在北美洲东北部靠近北冰洋，称为因纽特冰盖，范围最小<sup>[20]</sup>。LGM以来北美冰盖消融造成的海平面升高约64.3m，格陵兰冰盖6.0m，欧洲大陆冰盖25.5m，南极冰盖17.6m，合计113.5m<sup>[35]</sup>。再加上其他小冰盖、冰川融化海平面约上升120~140m<sup>[36]</sup>。估计LGM温度比现代低12K，但是因地而异，格陵兰可能低20K以上<sup>[20]</sup>，可见LGM的寒冷程度。

对于这个标志性的气候事件，过去多采用的时间为18ka（1ka指距AD1950年1千年），那时使用的是<sup>14</sup>C年。后来改为用21ka（个别学者用23ka，均为日历年）<sup>[30]</sup>。但是愈来愈多的学者把LGM视为一个过程，而不是一个“时刻”<sup>[37]</sup>。因为，不仅地区不同最冷的时刻不同，从不同角度如山岳冰川、冰盖、海平面来分析，结果亦不相同。因此综合不同因素，把LGM定为26.5~19.0ka<sup>[37]</sup>。26.5ka是几乎所有冰盖都达到最大的时间，19ka是北半球大部分冰川开始后退的时间，海平面高度也在这段时间达到最低。

Clark等<sup>[37]</sup>又分析了形成LGM的三个因子：北半球高纬的太阳辐射，大气CO<sub>2</sub>浓度及热带太平洋SST。冰盖的最初增长在33~29ka，这时北半球太阳辐射开始下降，劳伦泰冰盖对此反映尤为敏感。这表明北半球高纬的太阳辐射控制了冰盖的增长。但是大气中CO<sub>2</sub>浓度下降、SST下降也有利于冰盖增长。赤道太平洋东西向SST梯度减小，SST场呈类似La Niña状态，也有利于冰盖增长。但是冰消期的开始，则主

要依赖于北半球高纬太阳辐射的上升。

## 8 冰期气候的不稳定性

冰期中并不总是寒冷的气候，这是20年来古气候研究的一个重大发现。1990年代初，对格陵兰冰盖钻探取得了新的成果，在接近冰盖顶峰钻取了两个冰芯；一个以欧洲国家为主的GRIP（Greenland Ice-Core Project）<sup>[38]</sup>，一个以美国为主的GISP2（Greenland Ice Sheet Project 2）<sup>[39]</sup>。1996年开始在格陵兰北部钻取另一个冰芯NGICP（The North Greenland Ice Core Project）<sup>[40]</sup>。这些冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 提供了高分辨率的记录，这是深海沉积与黄土所不能比拟的。Johnsen等<sup>[41]</sup>根据GRIP近40ka冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ ，指出末次冰期的气候是不稳定的。Dansgaard等<sup>[42]</sup>指出，气候可能在几十年内发生波动，这种变化是迅速的，而且不仅在末次冰期，在倒数第二个冰期也有气候波动。后来就根据最早提出这个概念的学者把这种气候波动称为Dansgaard/Oeschger循环，简称D/O循环，或D/O振荡。由于冰期气候寒冷，相对温暖的间冰阶（interstadial）比较突出，所以对间冰阶进行编号<sup>[42]</sup>。一般两个间冰阶之间距离为1~3千年，所以，有时也称D/O循环为千年尺度气候振荡。

## 9 全新世气候的不稳定性

虽然人们承认冰期的气候是不稳定的。但是，大多数人仍然认为全新世这个间冰期中气候是温和而平稳的。O'Brien等<sup>[43]</sup>首先提出全新世气候也有不稳定性，在温暖的全新世中已经发生了8~9次冷事件。Bond等<sup>[44]</sup>支持了这个观点，并根据海洋沉积浮冰岩石碎屑，研究了北大西洋流冰事件。来自冰岛的火山玻璃和染赤铁石英或长石的变化表明，全新世有8次冷事件；编号1—8，出现于1.4ka，2.8ka，4.2ka，5.9ka，8.1ka，9.4ka，10.3ka以及11.1ka。后来发现小冰期（LIA，0.4ka）的气候特征也类似，因此也算作冷事件，编号为0，这样全新世就有了9次冷事件。

这些冷事件之中以8.2ka事件强度最大，但是其强度也只有新仙女木（YD）事件的1/3左右。而全新世中其他冷事件如LIA的强度又可能只有8.2ka事件的1/2~1/3，而YD事件的振幅一般只有冰期—间冰期的3/4~1/2，所以冰期—间冰期旋回、YD、8.2ka事件、LIA温度变化幅度的比约为10:5:2:1，即小冰期的变化比冰期—间冰期旋回小一个数量级。尽管如此，全新世冷事件的气候影响却是深远的，其主要特征为高纬变冷，季风区降水减少<sup>[45]</sup>。对8.2ka<sup>[46]</sup>，5.5ka<sup>[47]</sup>，4.2ka<sup>[48]</sup>气候异常的分析，均得到了类似的结论。

至于千年尺度气候振荡形成的原因,热盐环流(THC)变化是最有力的竞争者。1998年6月14—18日美国地球物理协会组织了一次学术讨论会,并在其会刊*Geophysical Monograph Series*上出版了一本专集,题为:《千年尺度气候变化机制》<sup>[49]</sup>。Alley等<sup>[50]</sup>认为导致千年尺度气候振荡的THC有3种状态:现代模、冰期模、海因里希(H)模。D/O循环即前两种模态的交替,这种交替往往是跳跃式的,从一种模态迅速转换为另一种模态,所以称为气候突变。北大西洋深水形成是导致模态转变的关键地区,所以称为“阿喀琉斯之踵”<sup>[51]</sup>,表示这是最薄弱的环节。但是全新世千年尺度气候振荡可能与冰期有所不同。早全新世的冷事件如8.2ka等可能是由于冰坝崩溃形成淡水脉冲减弱了THC<sup>[52]</sup>。但中晚全新世并没有相应的淡水脉冲与冷事件对应,所以有的学者认为太阳活动减弱可能是冷事件形成的原因<sup>[53]</sup>。

## 10 全新世气候趋势

### (1) 大暖期

Deevey和Flint<sup>[54]</sup>根据Blytt-Sernander孢粉带V到VIII定义冰后期高热期(Postglacial Hypsithermal Interval, PHI)在9.5~2.5ka(<sup>14</sup>C年)。根据树木向高山扩展的高度,按温度随高度递减率计算,地面温度比现代高2~3℃。

后来Hafsten<sup>[55]</sup>考虑到孢粉带在全新世有明显的地理迁徙,为了便于各地统一比较,把全新世分为3段:温度上升期(Microthermal)、大暖期(Megathermal)、及温度下降期(Katathermal)。仍然把北部(Boreal)与亚北部(Sub-Boreal)时期作为大暖期,时间在9.5~2.5ka。施雅风等<sup>[56]</sup>接受了这个思想与科学名词,把中国的大暖期定在8.5~3.0ka。

Kaufman等<sup>[57]</sup>收集了140个点的古气候资料,确定了西半球高纬的全新世热力极大期(Holocene Thermal Maximum, HTM),白令海中东部最早在11.3~9.1ka,加拿大北部陆地最晚在7.3~4.3ka,格陵兰—冰岛及加拿大极地岛屿居中,在8.6~5.4ka及8.6~4.9ka。Salonen等<sup>[58]</sup>根据湖泊沉积的孢粉,认为俄罗斯欧洲的大暖期在8.0~3.5ka,与中国的情况类似。IPCC2007报告<sup>[30]</sup>指出,早、中全新世热带北印度洋及热带太平洋不仅不暖,还可能比工业化之前低0.5~2.0℃。因此,大暖期的平均温度还很难估计。Miller等<sup>[59]</sup>认为HTM在北极地区温度距平为2.5~0.9℃,北半球平均约0.8~0.2℃,而全球平均则可能在+0.5~-0.5℃之间。

### (2) 非洲湿润期

大约直到金字塔时期(4.5ka),撒哈拉还不是像现在这样极端干旱的瀚海,而是有真正的湖泊,特别在早期全新世气候湿润、湖泊水位上升、植被多样化。现代撒哈拉许多干旱地区那时为萨瓦纳大草原,壮丽的岩画说明当时的生态与现代完全不同,被称为绿色的撒哈拉<sup>[60]</sup>。Street和Grove<sup>[61]</sup>分析了全球141个封闭湖30ka以来每间隔3ka的湖泊水位,发现热带非洲在10~5ka(<sup>14</sup>C年)湖泊水位显著高于10ka之前及5ka之后。后来,deMenocal等<sup>[62]</sup>研究了西北非毛里塔尼亚沿岸深海沉积的陆源物质,发现14.8~5.5ka陆源物质只占40%~50%,说明气候湿润,因此把这段时期定为“非洲湿润期”(African Humid Period, AHP)。Hoelzmann等<sup>[63]</sup>综合分析了北非到阿拉伯海(10°N—23°N, 20°W—70°E)23个古湖泊序列,14个古植被序列及5个阿拉伯海近海沉积,指出AHP在10.5~5.5ka。大量的证据表明受西南季风影响的地区<sup>[64]</sup>、包括印度<sup>[65]</sup>、孟加拉湾<sup>[66]</sup>、中国<sup>[67, 68]</sup>、南美北部<sup>[69]</sup>均在早全新世有气候湿润期。

### (3) 东亚季风

在全新世中东亚夏季风持续减弱,这已经得到了石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的证明<sup>[70]</sup>,并且与亚洲季风区广大地区的夏季风变化趋势一致<sup>[1]</sup>。在古气候研究中,经常假定冬季风与夏季风的变化相反,夏季风强时冬季风弱、冬季风强时夏季风弱<sup>[71]</sup>。以此类推,全新世冬季风应该是加强的,确实也有一些证据表明全新世某些时刻,如5~8ka冬季风有增强的趋势<sup>[72-74]</sup>。但是全新世北半球夏季太阳辐射是减少的,而冬季太阳辐射是增加的<sup>[75]</sup>,如果冬季太阳辐射增加可以使冬季风减弱,则全新世冬季风应该是减弱的。Huang等<sup>[76]</sup>根据南海的东西向SST梯度推论,全新世冬季风是减弱的。究竟全新世东亚冬季风是增强的还是减弱,还需要更多的资料证实。不过上述几个冬季风序列均包括了较大的千年尺度振荡,也可能妨碍了长期变化趋势的确定。

## 参考文献

- [1] 汪品先. 全球季风的地质演变. 科学通报, 2009, 54: 535-555.
- [2] Wilson R J T. Did the Atlantic close and then re-open? *Nature*, 1966, 21: 676-681.
- [3] Cliff P D, Plumb R A. *The Asian Monsoon*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- [4] Prell W L, Kutzbach J E. Sensitivity of the Indian monsoon to forcing parameters and implications for its evolution. *Nature*, 1992, 362: 647-652.
- [5] Harris N B W. The elevation of the Tibetan Plateau and its impact on the monsoon. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2006, 24: 4-15.
- [6] Saltzman B. *Dynamical Paleoclimatology: Generalized Theory of Global Climate Change*. San Diego California, USA: Academic Press, 2002.

- [7] Shaviv N J. Cosmic ray diffusion from the galactic spiral arms, iron meteorites, and a possible climatic connection. *Phys Rev Lett*, 2002, 98(5), 051102.
- [8] Frakes L A, Francis J E, Syktus J I. *Climate Modes of the Phanerozoic*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- [9] Hoffman P F, Schrag D P. Snowball Earth. *Scientific American*, 2000, 282: 62-75.
- [10] Schrag D P, Hoffman P F, Hyde W T, et al. Life, geology and snowball Earth. *Nature*, 2001, 409: 306-307.
- [11] Hallam A, Wignall P B. *Mass Extinctions and their Aftermath*. Oxford, New York: Oxford University Press, 1997.
- [12] Jablonski D. Extinctions in the fossil record. *Phil Trans R Soc Lond B*, 1994, 344: 11-17.
- [13] Schulte P, Alegret I, Arenillas I, et al. The Chixulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary. *Science*, 2010, 327: 1214-1218.
- [14] Archibald J D, Clemens W A, Padian K, et al. Cretaceous extinction multiple causes. *Science*, 2010, 328:973.
- [15] Mukhopadhyay S, Farley K A, Montanari A. A short duration of the Cretaceous-Tertiary boundary event: Evidence from extraterrestrial helium-3. *Science*, 2010, 29: 1952-1955.
- [16] Barnosky A D, Matzke N, Tomiya S, et al. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived. *Nature*, 2011, 471: 51-57.
- [17] Pereira H M, Leadley P W, Proena V, et al. Scenarios for global biodiversity in the 21<sup>st</sup> century. *Science*, 2010, 330: 1496-1501.
- [18] Cann R L, Stoneking M, Wilson A C. Mitochondria 1 DNA and human evolution. *Nature*, 1987, 325: 31-36.
- [19] Wilson A C, Cann R L. The recent African genesis of humans. *Scientific American*, 1992: 68-73.
- [20] Burroughs W J. *Climate Change in Prehistory*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [21] N R C (National Research Council). *Understanding Climate's Influence on Human Evolution*. Washington D C: National Academy Press, 2010.
- [22] Compton J S. Pleistocene sea-level fluctuations and human evolution on the southern coastal Plain of South Africa. *Quat Sci Rev*, 2011, 30: 506-527.
- [23] deMenocal P B. Climate and human evolution. *Science*, 2011, 331: 540-542.
- [24] Mascarelli A L. Quaternary geologists win timescale vote. *Nature*, 2009, 459:624.
- [25] Emiliani C. Pleistocene temperatures. *J Geol*, 1955, 63: 538-578
- [26] Lisiecki L E, Raymo M E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}\text{O}$  records. *Paleoceanography*, 2005, 20, PA1003, doi:10.1029/2004 PA0010719.
- [27] Liu T, Ding Z, Rutter H. Comparison of Milankovitch periods between continental loess and deep sea records over the last 2.5Ma. *Quat Sci Rev*, 1999, 18: 1205-1212.
- [28] Berger A, Melice J L, Loutre M F. On the origin of the 100-kyr cycles in the astronomical forcing. *Paleoceanography*, 2005, 20, PA 4019. doi:10.1029/2005 PA001173.
- [29] Ruddiman W F. Orbital changes and climate. *Quat Sci Rev*, 2006, 25: 3092-3112.
- [30] Jansen E, Oerpeck J, Briffa K R, et al. Palaeoclimate. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S, Qin D, Manning M, et al. (eds). Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2007: 433-497.
- [31] Kukla G J, Matthews R K, Mitchell Jr J m. The end of the present interglacial. *Quat Res*, 1972, 2: 261-269.
- [32] Kukla G, Berger A, Lotti R, et al. Orbital signature of interglacials. *Nature*, 1981, 290: 295-300.
- [33] Wingrad I J, Landwehr J M, Ludwig K R, et al. Duration and structure of the past four interglaciations. *Quat Res*, 1997, 48: 141-154.
- [34] Loutre M F, Berger A. Future climatic changes: Are we entering an exceptionally long interglacial? *Climatic Change*, 2000, 46: 61-90.
- [35] Peltier W R. On eustatic Sea level history: Last Glacial Maximum to Holocene. *Quat Sci Rev*, 2002, 21: 377-396.
- [36] 黄恩清, 田军. 末次冰消期冰融水事件与气候突变. *科学通报*, 2008, 53(12): 1437-1447.
- [37] Clark P U, Dyke A S, Shakun J D, et al. The Last Glacial Maximum. *Science*, 2009, 325: 710-714.
- [38] GRIP Members. Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core. *Nature*, 1993, 364: 203-207.
- [39] Grootes P M, Stulver M, White J W C, et al. Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. *Nature*, 1993, 366: 552-554.
- [40] NGICP Members. High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature*, 2004, 431: 147-151.
- [41] Johnsen S J, Clausen H B, Dansgaard W, et al. Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core. *Nature*, 1992, 359: 311-313.
- [42] Dansgaard W, Johnsen S J, Clausen H B, et al. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 1993, 364: 218-220.
- [43] O'Brien S R, Mayewski P A, Meeker L D, et al. Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core. *Science*, 1995, 270: 1962-1964.
- [44] Bond G, Showers W, Cheseby M, et al. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 1997, 278: 1257-1266.
- [45] Mayewski P A, Rohling E E, Stager J C, et al. Holocene climate variability. *Quat Res*, 2004, 62: 243-255.
- [46] Alley R B, Mayewski P A, Sowers T, et al. Holocene climate instability: A prominent, widespread event 8200 yr ago. *Geology*, 1997, 25: 463-486.
- [47] Magny M, Haas J N. A major widespread climatic change around 5300 cal. yr BP at the time of Alpine Iceman. *J Quat Sci*, 2004, 19: 423-430.
- [48] Wang S W, Zhou T J, Cai J N, et al. Abrupt climate change around 4ka BP: Role of the thermohaline circulation as indicated by a GCM experiment. *Adv Atmos Sci*, 2004, 21:291-295.
- [49] Clark P U, Webb R S, Keigwin L D. Mechanisms of Global Climate Change at Millennial Time Scales. *Geophysical Monograph Series*, 1999, 112: 394.
- [50] Alley R B, Clark P U, Keigwin L D, et al. Making sense of millennial-scale climate change. *Geophysical Monograph Series*, 1999, 112: 386-394.
- [51] Knorr G, Lohmann G. The Southern Ocean as the flywheel of the oceanic conveyor belt circulation. *PAGES News*, 2004, 12(1): 11-13.
- [52] Magny M, Vanniere M, de Beaulieu J-L, et al. Early-Holocene climate oscillations recorded by lake-level fluctuations in west-central Europe and in central Italy. *Quat Sci Rev*, 2007, 26: 1951-1964.
- [53] Bond G, Kromer B, Beer J, et al. Persistent solar influence on north Atlantic climate during the Holocene. *Science*, 2001, 294: 2130-2135.
- [54] Deevey E S, Flint R F. Postglacial Hypsithermal interval. *Science*, 1957, 125: 182-184.
- [55] Hafsten U. A sub-decision of the Late Pleistocene period on a synchronous basis, intended for global and universal usage. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 1970, 7: 279-296.
- [56] 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期气候与环境的基本特征. 见: 施雅风主编, 孔昭宸副主编. 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [57] Kaufman D S, Ager T A, Anderson N J, et al. Holocene thermal maximum in the western Arctic (0—180°W). *Quat Sci Rev*, 2004, 23: 529-560.
- [58] Salonen J S, Seppa H, Valiranta M, et al. The Holocene thermal maximum and Late-Holocene cooling in the tundra of NE European Russia. *Quat Res*, 2011, 75: 501-511.
- [59] Miller G H, Alley R B, Brigham-Grette J, et al. Arctic amplification: Can the past constrain the future? *Quat Sci Rev*, 2010, 29: 1779-1790.
- [60] Roberts N. *The Holocene, An Environmental History*. Oxford: Blacknell Ltd, 1989.
- [61] Street F A, Grove A T. Global maps of lake-level fluctuations since

- 30,000 yr B P. *Quat Res*, 1979, 12: 83-118.
- [62] deMenocal P, Ortiz J, Guilderson T, et al. Abrupt onset and termination of the African Humid Period: Rapid climate responses to gradual insolation forcing. *Quat Sci Rev*, 2000, 19: 347-361.
- [63] Hoelzmann P, Gasse F, Dupont L, et al. Palaeoenvironmental changes in the arid and subarid belt ( Sahara-Sahel Arabian Peninsula) from 150kyr to present. In: *Past Climate Variability through Europe and Africa*, Battarbee R W, Gasse F, Stickley C E (eds). Dordrecht: Springer, 2004: 219-256.
- [64] Ovorpeck J, Anderson D, Trumbore S, et al. The southwest Indian Monsoon over the last 18000 years. *Clim Dyn*, 1996, 12: 213-225.
- [65] Stanbasser M, Sirocko F, Grootes P M, et al. South Asian monsoon climate change and radiocarbon in the Arabian Sea during early and middle Holocene. *Paleoceanography*, 2002, 17, 1063.
- [66] Kudrass H R, Hofmann A, Doose H, et al. Modulation and amplification of climate changes in the Northern Hemisphere by the Indian summer monsoon during the past 80ky. *Geology*, 2001, 29: 63-66.
- [67] Ji J F, Shen J, Balsam W, et al. Asian monsoon oscillations in the northeastern Qinghai-Tibet Plateau since the late glacial as interpreted from visible reflectance of Qinghai Lake sediments. *Earth Planet Sci Lett*, 2005, 233: 61-70.
- [68] An Z S, Wu X H, Wang P X, et al. Paleomonsoons of China over the last 130000 years. *Science in China (Ser B)*, 1991, 14: 1016-1029.
- [69] Haug G H, Hughen K A, Sigman D M, et al. Southward migration of the Intertropical Convergence Zone through the Holocene. *Science*, 2001, 293: 1304-1308.
- [70] Wang Y, Cheng H, Edwards R L, et al. The Holocene Asian monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate. *Science*, 2005, 308:854-857.
- [71] Yancheva G, Nowaczyk N R, Mingram J, et al. Influence of the intertropical convergence zone on the East Asian monsoon. *Nature* 2007, 445: 74-77.
- [72] Tian J, Huang E, Pak D K. East Asian winter monsoon variability over the last glacial cycle: Insights from a latitudinal sea-surface temperature gradient across the South China Sea. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2010, 292: 319-324.
- [73] Jian Zhimin, Wang Pinxian, Saito Yoshiki, et al. Holocene variability of the Kuroshio Current in the Okinawa Trough, northwestern Pacific Ocean. *Earth Planet Sci Lett*, 200, 184: 305-319.
- [74] Rioual P, Wang L. Environmental and climatic changes inferred from lake deposits in China: A review of recent progress. *PAGES News*, 2009, 17(3): 110-112.
- [75] Kutzbach J E, Street-Perrott F A. Milankovitch forcing of fluctuations in the level of tropical lakes 18 to 0 kyr BP. *Nature*, 1985, 317: 130-134.
- [76] Huang E, Tian J, Steinke S. Millennial-scale dynamics of the winter cold tongue in the southern South China Sea over the past 26 ka and the East Asian winter monsoon. *Quat Res*, 2011, 76: 196-204.

## Progress in Palaeo-Climatic Studies

Wang Shaowu

(Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871)

**Abstract:** Progress in palaeoclimate, mainly in climatic reconstruction studies for the last twenty years or so, is reviewed. Ten issues are discussed: (1) Wilson Cycle, (2) Ice-Age Epoch, (3) Mass Extinction, (4) Out of Africa, (5) Glacial-Interglacial Cycles in the Quaternary, (6) When will the Earth enter the next Glacial Period? (7) Last Glacial Maximum, (8) Climatic instability in a glacial period, (9) Climatic instability in the Holocene, (10) Climatic change during the Holocene.

**Key words:** palaeoclimate, glacial-interglacial cycles, climate instability, Holocene climate, East Asian palaeo-monsoon

(上接63页)

重要性。研究发现，在间冰期内，印度夏季风的变化主要受控于印度低压的强度；而冰期印度夏季风强度往往提前于冰量最大值，提前开始增强，这是受南半球高纬度地区变冷所主导的南北半球间跨赤道气压梯度增加所致。

**NDVI：评价气候变化对种群动态影响的有用工具**——The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) : unforeseen successes in animal ecology. *Climate Research*, 2011, Vol. 46, No. 1.

Pettorelli等综述了NDVI在生态学研究中的最新进展。自1981年中期以来，NDVI保持了一贯的连续性，

这有利于研究动物种群响应于植被变化的时空滞后特征。同时，气候模式可以用来重建植被变化的历史格局，以评价未来环境变化对生物多样性的影响。因此，在评估气候变化和气候变化导致的植被物候和初级生产力变化，以及它们对种群动态所造成的影响时，NDVI是一个非常关键的工具。

**1961—2005年间中国华南区域的低云和日照时数变化**——Low-cloud and sunshine duration in the low-latitude belt of South China for the period 1961—2005. *Theoretical and Applied Climatology*, 2011, Vol. 104, No. 3-4.

为寻找中国低纬度地区太阳辐

射变化的趋势及原因，Li等分析了华南区域1961—2005年的日照时数、总云量、低云量和能见度之间的关系。结果显示，在过去的45年中，全天候和晴空情况下日照时数分别以每10年3.2%，2.8%的速率下降。在经济迅速发展迅速的区域，大气气溶胶增多，导致了日照时数下降的速率尤为剧烈。通过分析日照时数和高、低云量之间的关系，发现低云量的增加导致了日照时数以每10年0.4%的速率下降。研究认为不透明低云的增加是导致中国低纬度地区日照减少的重要原因。

# Lorenz混沌吸引子发现的方法论分析

戴新刚<sup>1</sup> 浦一芬<sup>2</sup> 汪萍<sup>3</sup>

(1 中国科学院东亚区域气候—环境重点实验室, 大气物理研究所, 北京 100029; 2 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; 3 中国气象科学研究院, 北京 100081)

**摘要:** 简要回顾了20世纪中叶气象学家洛伦茨(E. N. Lorenz)研究混沌现象的历程, 梳理其中主要事件及其发生脉络, 剖析他的研究思路和科学方法特点, 绘制出他研究的技术路线图, 分析了科学方法论在其中的作用和意义。结果显示, 他发现的技术路线遵循科学方法论原则, 以质疑为起点, 经过猜想提出假设, 依靠数学物理建模, 最终用数值试验方法证实了猜想。其中简化与抽象的还原论思想贯穿始终。他的发现既有必然性, 也有偶然性, 体现了科学研究中偶然性与必然性的辩证关系, 可以作为方法论研究的一个范例, 对此深入剖析有助于大气科学的创新研究。

**关键词:** 创新, 方法论, Lorenz混沌吸引子, 可预报性, 技术路线图

## 引言

据说, 一只美丽蝴蝶在南半球的巴西煽动翅膀, 不久后有可能在美国德克萨斯引发一场龙卷风。这通常被称为“蝴蝶效应”<sup>[1]</sup>, 它源于洛伦茨(Lorenz)的混沌动力学研究<sup>[2]</sup>, 意味着大气对于小的扰动可能是不稳定的。例如, 两种大气状态仅在初始时刻存在一小的差别, 但随着时间的进程会不断被放大, 一段时间后会导导致完全不同的两种天气流型并伴有不一样的天气现象。这个问题显然同天气的可预报性有关。提为初值问题的可预报性与初始误差加倍的时间相关联, 这个时间越长, 可预报性就越大。按洛伦茨的通俗定义, 混沌是指对初始状态敏感的不规则或貌似随机的行为。一般非线性动力系统可以有混沌行为或存在混沌解, 混沌是和非周期联系在一起的。洛伦茨发现, 动力系统的演变缺乏周期性就意味着有限的可预报性。大气运动控制方程组是一个非线性耗散系统<sup>[3]</sup>, 其数值解是混沌的或非周期的, 解对初值极为敏感, 同实际大气运动的不规则行为非常相似, 说明大气运动缺乏可预报性。在初始场存在误差的条件下, 要仿照短期数值天气预报方法, 通过求解大气运动原始方程组的初值问题来制作长期天气预报几乎是不可能的。

洛伦茨的发现改变了人们对天气或气候可预报性的认识。自从1950年第一次成功的数值预报出现后<sup>[4]</sup>, 决定论方法即数值天气预报方法逐渐占据了统治地位, 科学家制作出越来越精细的天气或气候预测模式。同时, 为了提高预报精度设计出多种资料同化方法以减少初值的误差。但决定论模式的可预报性期限仍然没有超过洛伦茨指出的2~3周的界限。另一方面, 动力

系统混沌解对初值的敏感性揭示出确定论系统内在的随机性, 从根本上否定了单纯决定论的预报方法, 理论上要求引入概率统计描述, 实现动力—统计结合<sup>[5]</sup>。目前天气与气候的预报已经从单一初值、单一模式的预报转变为集合预报或多模式超级集合预报。为了减少初始场误差, 已经发展了基于动力模式的四维变分同化方法及考虑统计平均性质的集合卡尔曼滤波技术等。大量数值试验已经证实引入这些动力和统计描述在提高模式预报准确率、延长预报时效方面是有效的。

混沌理论的发现颠覆了许多传统的观念, 对自然科学和社会科学产生了意义深远的影响。著名科普作家克雷科<sup>[6]</sup>甚至认为混沌理论是可以同相对论和量子力学比肩的20世纪物理学革命, 并且正促成整个现代知识体系成为新科学。然而, 洛伦茨发现混沌吸引子的过程似乎具有偶然性和神秘感。回顾他的科学人生, 剖析其发现过程, 探索科学方法论在其中的作用无疑有着重要的科学价值。

## 1 天气预报困境——非周期

洛伦茨的发现源于对天气预报方法的检验。天气预报向来都是一个充满挑战性的课题。大气的不规则运动或非周期性给预报天气带来巨大困难。为了制作更准确的天气预报, 人们依据每日的天气图发展了天气学预报方法, 根据概率统计理论发展了天气或气候预报的统计学方法, 以及依据动力气象学发展了数值预报方法。简单地说, 天气学预报方法就是在每日天气图上寻找与天气现象有密切关系的大气特征结构或相干结构, 如气旋、反气旋、锋面等, 依据最近几张相继天气图观察它们的发生、发展、移动或消亡的规律, 据此推断未来可能发生的天气现象。统计预报方法是从历史观测记录中寻找统计规律, 如相关系数或回归方程等, 借此对未来天气气候做出统计推断或预测。数值预报方法是根据大气运动满足的物理定律或原理, 即大气控制运动方程组, 模拟实际大气运

收稿日期: 2011年6月21日; 修回日期: 2011年7月28日

第一作者: 戴新刚(1958—), Email: daixg@mail.iap.ac.cn

资助信息: 科技部创新方法工作专项项目

(2008IM020500), 国家自然科学基金

(40775048, 41075058)

动过程，借助高速计算机及数值方法一步一步向前积分，超越实际天气演变进程，计算出未来大气运动状况和相应的天气现象，从而制作出天气预报。

20世纪50年代中期，一个偶然的机，偏爱动力气象学的洛伦茨接手了一个统计天气预报项目，在对各种统计预报公式进行了一番调查研究后他发现“实际做的统计方法在数值意义上是重复天气预报员已经做了许多年的方法”，即统计预报方法同天气学方法类似，都是对未来天气形势或天气现象的线性外推估计<sup>[1]</sup>。而著名数学家维纳<sup>[7]</sup>的观点似乎表明线性统计方法也一样能够完成数值天气预报或天气学预报方法能做的事。当时洛伦茨感觉很难接受这个观点并设法选择一个确实不是线性类型的方程组去检验这个假设。考虑到大气运动的不规则性，他猜想从不同初始条件出发的大气动力方程组的解应该收敛到某个特殊状态集合——实际状态集合。这个集合显然是一个非周期解集，并且确信这样的解集存在。在寻找解集的分析表达式未果后不久，他转入数值求解的途径。

电子计算机出现后，著名气象学家Charney等<sup>[4]</sup>借此制作出第一次成功的数值预报。随后，数值试验方法逐渐成为大气科学最具特色的试验手段，使古老的气象学从此步入了科学殿堂。洛伦茨一直是数值天气预报的拥趸。他想到：“可以用计算机算出持续的数值解，然后将这个数值解看成是实际天气资料的一个集合，并用标准方法去确定一组最佳线性统计预报公式”。通过比较统计预报公式制作的预报与计算机输出结果就可以检验统计预报的效果。为此，1956年他在同事建议下购置了一台小型计算机（Royal-McBee LGP-30）并开始学习编制计算程序。一开始他选择了描述大气运动的简化方程组，在进行了一番尝试后，决定使用大大简化的所谓滤波方程组，它是一个非线性大气运动方程组。他将14个方程压缩成仅有12个变量的方程组，再进行离散化和编程，然后放在计算机上进行数值求解。结果显示，一些方程参数的组合不是产生定常解就是产生周期解。检验结果表明，对于周期解线性统计模型可以做出满意的预报。他立即意识到对于他要进行的试验需要寻找非周期解。

对于非线性方程组，不同的参数组合有时会给出完全不同的数值解。在模式参数配置中，一般非周期解存在的参数组合范围很小，用尝试法或试错法寻找这样的参数范围或参数组合如同大海捞针，在当时的计算机水平下很难找到非周期解。洛伦茨很快想到应该选择同实际大气相近的模型和参数。他说：“我感到，我需要研究一个耗散系统。这样我保持了试验参

数的新的组合，并使外热源随纬度和经度变化，最后终于找到了长期要寻找的非周期状态”<sup>[8]</sup>。现在看来他开始可能使用了绝热无摩擦方程组，或许就是基于他不久前发表的“最大简化动力方程组”<sup>[9]</sup>。他立即用计算机输出的非周期数值解检验了线性回归方程的预报效果。他发现，“当我把标准的方法（线性回归方程）应用到这种新的‘资料’时，结果得到很不好线性预报，我终于感到我的怀疑得到了证实”。查看相关文献<sup>[7]</sup>得知维纳文章中的线性可预测结论是针对平稳随机信号的，而洛伦茨模型的非周期数值解属于非平稳信号，因而线性统计预报不可能成功。

## 2 意外

科学探索中的“意外”很可能就是发现新事物的切入点，有时“副产品”可能是真正的科学发现。洛伦茨不仅擅长逻辑思维，也喜欢形象思维和细致地观察。在进行线性统计模型有效性检验的过程中，他偶然地发现了数值解的奇异现象。他不满足于只获得非周期解的输出数据，完成自己承担的研究项目，而是设法去考察数值积分中的细节并试图识别所发生的事件。起初，他将计算结果四舍五入，精确到小数点后三位打印输出。为了直观起见，他改用类似绘图式的输出方式，观察不断打印出的解曲线中“事件”的变化并尝试做出外推预报。接着偶然的事件发生了：“为了更详细地检查发生了什么，我决定重复某些计算。我停止了计算机计算，键入一行数，它们是前不久（注意不是最后一次输出）已经打印出来的模拟数值，然后再重新让计算机计算”。意外的是“打印出的数值怎么也不像老的数值”。因为在时间上新的打印输出存在与老的输出重叠的部分。他用了排除法试图找出“错误”的原因。“我决定看一看错误到底发生在什么地方，……，我发现，虽然新的计算初值重复了老的值，但不久以后，数值在小数点后最后一位上差一个，接着是几个单位，然后数值又在倒数第二位小数上有了不同，最后又在前面一位小数上有了不同。事实上这种不同大致总是每4天左右增加1倍。一直到2个月，新的输出和原输出完全不相似了。这就足以告诉我们发生了什么事：如果我键入的并不正好是原来的数值，而是键入打印输出结果的四舍五入值，那么这种初始的舍入误差是故障的真正原因，这种误差被不断放大，直到它们主宰了方程的解”。这就是上文所说的混沌解对初值的敏感性。他确信这种小差别的放大是缺乏周期性的原因，并据此推测长期天气预报不可能。因为气象观测的精度有限，初始场误差不可能完全消除。

### 3 奇怪吸引子

机遇对于一个人的科学生涯是可遇不可求的。李政道<sup>[10]</sup>在回忆自己的成功之路时曾感叹道：“机遇也许是最重要的；但从它的本质来说，也是最难驾驭的。”现在看来，洛伦茨1950年代末在求12个变量简化大气运动方程组非周期数值解时已经找到了一个奇怪吸引子，只不过系统不够简化，变量数目较多，不容易看清吸引子的几何特征。他需要更加简化的模型以便观测其特征和属性。当时他试图对12个变量方程组做进一步简化，但未获成功。直到20多年后才找到了简化方法<sup>[11]</sup>。1961年“幸运之神”降临了。洛伦茨在拜访旅行者天气中心的赛尔兹曼（B. Salzmänn）时，了解到他的液体热对流方程组只有7个变量，比他本人先前导出的12变量模式简单。一个重要的现象是，在赛尔兹曼模式的数值解中有几个变量在时间积分中不能稳定下来。洛伦茨检查发现，其中有4个变量很快变得很小，只剩3个变量继续保持明显变化。这启发他可以将方程组进一步缩减成3个变量的模式。这就是后来著名的洛伦茨方程。数值积分显示3个变量的方程组同样给出了赛尔兹曼模式的非周期解<sup>[1]</sup>。他惊喜地说到：“这就是我们长期寻找的系统，我已经毫不怀疑它是存在的”。“我还想办法实现了能直接观看吸引子的长期愿望”。他在相空间绘制出了吸引子的图像，看起来很像一只飞舞的蝴蝶，存在奇妙的几何结构。数学中的吸引子存在于相空间，是微分方程描述运动轨迹最终收敛其上的极限集合类型，如不动点或极限环等。一个耗散系统的吸引子是指不属于任何更大极限集且无轨道由其发出的极限集。通常，混沌吸引子具有分数维，例如Lorenz吸引子的豪斯道夫维数为2.06<sup>[12]</sup>。

### 4 简化与抽象

简化是科学研究常用的一种方法，是进行抽象的前提之一。从科学方法论看简化方法，亦即李政道所称的“简化归纳法”，属于还原论。洛伦茨于1960年发表了《最大简化大气运动方程组》一文，显示出他科学研究的风格和方法论特点，即寻找所研究问题的最简模式。受大气运动非周期性和动力气象学的启发，他直觉地认为大气控制运动方程组或简化模式应该存在非周期解，其通解构成一个解集。实际大气运动问题非常复杂，影响因素众多，为了抓住主要矛盾的主要方面必须进行简化。1960年代初，他将大气运动方程组简化为14个变量的低谱模式，后又压缩成12个变量的方程组并求出了非周期数值解。但对12个变量方程组做进一步简化时没有成功。后来借助赛尔兹

曼方程组及其积分性质才最终得到3个变量的Lorenz模型。

抽象是典型的数学思维方法之一，抽象是为了探究问题的本质。洛伦茨本来就是学数学出身，曾经在美国著名数学家伯克霍夫指导下攻读数学学位。他本人自称是“专业气象学家和业余数学家”。他擅长数学抽象，在完成了寻找非周期解和线性统计预报检验项目后仍继续深入他的研究。他跳出具体问题的框框，转而研究微分方程非周期解的本质问题。这一次他的数学背景帮了忙。他说到：“这三个方程并不能非常好地描述实际对流运动。但是对我的目的，这并不重要。作为一个数学的抽象，这个方程组说明，一个确定性的系统能够以最简单的方式表现出非周期的形态”。他认为混沌吸引子几乎代表了微分方程的通解。这就是他当学生时曾经猜到的“方程组中的各种解必须收敛到一个特殊的状态集合”。那时他误认为这个集合可以用解析形式表示出来，并进行了不成功的尝试。可见抽象是科学研究深入和创新的途径之一。正如李政道所言：“科学对自然界的现象进行新的准确的抽象，这抽象的阐述越简单，应用就越广泛，科学就越深刻”<sup>[13]</sup>。

### 5 偶然性与必然性

洛伦茨混沌吸引子的发现既有偶然性，也有必然性。他感慨到，“无论如何我是很幸运的”。因为不知为什么作为气象学家的赛尔兹曼鬼使神差般地选择了10作为模式中的普朗特（Prantl）数——流体粘滞系数与热传导系数之比。这是针对液体水的，而对于空气，这个数应该是1。但若用1，模式只能得到周期解，根本发现不了非周期解。对此，他道出：“因此或许我就绝不会有理由想到从原来的7个方程去提取成3个了”，从而也发现不了这个貌似蝴蝶的混沌吸引子。这个案例说明偶然性在科学发现中的重要性。这种机遇可遇不可求，展示了科学发现的“神秘”一面。科学发现中的偶然性与必然性的关系无疑是值得探讨的。

洛伦茨混沌吸引子的发现既有必然性也有偶然性。爱因斯坦曾说，“机遇偏爱有准备的头脑”。展示了科学发现中必然性与偶然性的关系。偶然性与机遇有关，机遇往往可遇不可求。但“尽管机遇不可能预定，但它的出现几率至少在统计的意义上却可以人为增加”<sup>[10]</sup>。洛伦茨发现混沌过程存在这样几个机遇或偶然因素：

(1) “二战”中断了他的数学学业，他转而参加了天气预报员培训，由此进入气象学领域；

(2) Thomas Malone辞职，洛伦茨被要求填补空

缺并接手他负责的统计天气预报项目，于是引出了寻找非周期解的过程；

(3) 12个变量模式积分中的偶然停机和在重新计算中输入的舍入近似，从而发现了解对初值的敏感性，并猜测起因于解的非周期性；

(4) 气象学家赛尔兹曼竟然构造了水的热对流模型，洛伦茨的偶然造访并得到该模型，从而简化得出三个变量的模型，发现了混沌吸引子。

不难推测，如果没有第二次世界大战，洛伦茨不大可能成为一名气象学家；如果他不接手统计预报项目也就不会激起他寻找非周期解的热情；如果对12个变量简化数值模式积分中不停机检查，在重新输入时不做四舍五入近似，也不从先前输出一段的某个数字开始重新积分，他就不会发现解对初值的敏感依赖性；如果没有得到赛尔兹曼的液体对流方程组，他也不会想到要简化成3个变量方程组并发现混沌吸引子。当然历史没有“如果”。在这里不难看出，必然性通过一系列偶然性展现出来<sup>[14]</sup>。

必然性在这里可以理解为时代背景和“有准备的头脑”。计算机的发明和数值天气预报的成功为洛伦茨简化大气运动模式和寻求非周期数值解提供了强有力的工具和必要的启发。他本人的知识积累和科学素养在识别应遵循的前进道路中起了重要作用。正是电子计算机的发明和动力气象学的发展才使得科学家克服了制作数值天气预报的巨大计算量，在1950年完成了第一次成功的天气预报。1956年菲利普斯<sup>[15]</sup>对大气环流基本状况的成功模拟也为洛伦茨简化大气模式<sup>[16]</sup>的构造提供了成功的范例和启发。洛伦茨购置了计算机才有可能亲自动手求数值解并发现非周期解及混沌吸引子。因此，当时科学发展的整体水平为洛伦茨发现混沌吸引子提供了必要的背景知识和工具。

混沌的发现过程体现了科学发现历程中必然性与偶然性的统一。1892年庞加莱在研究天体运动三体问题时首次发现了混沌现象<sup>[17]</sup>，70年后（1963年）洛伦茨发现混沌吸引子，10多年后李天岩和约克发表了著名的文章“周期3意味着混沌”<sup>[18]</sup>，随后出现了混沌研究的热潮<sup>[12]</sup>。在这个过程中还有许多科学家在求解非线性微分方程或迭代运算中发现了混沌现象或混沌吸引子<sup>[14]</sup>，说明混沌的发现是一个必然的过程。与微积分<sup>[19]</sup>和量子力学的发现<sup>[20, 21]</sup>类似，即使Lorenz没有发现混沌吸引子，其他人也会发现。但历史选择了洛伦茨，只不过是他的“机遇”更好些。连洛伦茨本人也在日本京都奖（Kyoto price）获奖演说中诙谐地说到：“曾经有一个会议主办方介绍我时称我为“可预报性先生”，……，可是如果当时没有输入错误的数

字（四舍五入近似），天知道我会不会卷入到可预报性问题的研究”。显然，偶然性可以看成是一个选择机制，是它决定了谁，在什么时间成为重大科学发现的第一人。不过，“尽管机遇不可能预测，但它出现的几率至少在统计意义上却可以人为增加”<sup>[10]</sup>。在混沌发现的历程中不难看出偶然性与必然性的辩证关系：偶然性镶嵌在必然性中，必然性通过偶然性表现出来，偶然性又转化为新的必然性，如此循环往复，推动科学向前发展。

## 6 技术路线图

Lorenz混沌吸引子的发现过程是大气科学原始创新的一个范例，也必将成为科学方法论研究的经典案例之一。Lorenz混沌吸引子发现的技术路线图概括如图1。

## 7 结语

洛伦茨发现混沌吸引子有着重要的方法论意义。其发现历程可以简化为质疑—猜想—验证。他首先质疑维纳的观点，即线性统计预报可能不适用于实际天气预报。接着他猜想大气运动方程组的解可能收敛到一个特殊的解集上。这个猜想就是一个假设，在科学研究中十分重要。好的猜想往往能指出科学研究的方向<sup>[22]</sup>。洛伦茨检验这个假设的方法遵循了西方传统的科学研究方法论。科学研究方法源于古希腊哲学，包括：自然主义、还原论和形式逻辑等，在伽利略（J. G. Galilei）引入实验，即实证主义后成为科学方法论。自然主义不必说，洛伦茨的简化和抽象分析方法源于还原论，他的研究思路或推理过程符合形式逻辑并最终用数值试验证实了他的猜想，揭开了20世纪混沌科学研究热潮的帷幕。

科学方法论是科学研究中必须遵循的原则，否则不能称其为科学。但在具体问题的研究中必须发展相应的方法。庞加莱认为，要进行创造性研究首先需要创造方法<sup>[23]</sup>。洛伦茨研究中最主要的问题是要发展一种简化方法，得到简化模型。第一步是选择合适的大气运动简化方程组。他在1960年发表的两篇论文<sup>[9, 16]</sup>已经从物理上解决了这个问题，即寻找最大简化方程组以及在保持能量及其转换性质条件下的大气简化模式。后者可能参考了Phillips的斜压两层模式<sup>[15]</sup>。第二步是将方程组离散化并进一步简化。他用双重傅立叶级数离散化动力方程组并进行了恰当的截断，得到了12个变量的常微分方程组或称“低阶谱模式”，并求出了非周期解。因此，洛伦茨可能是大气科学领域中率先使用伽辽金（Galerkin）方法<sup>[24]</sup>求解微分方程的人之一。不过他当时并没找到进一步简化自己12个变量方程组的方法，直到1983年才最终找到一种近似的

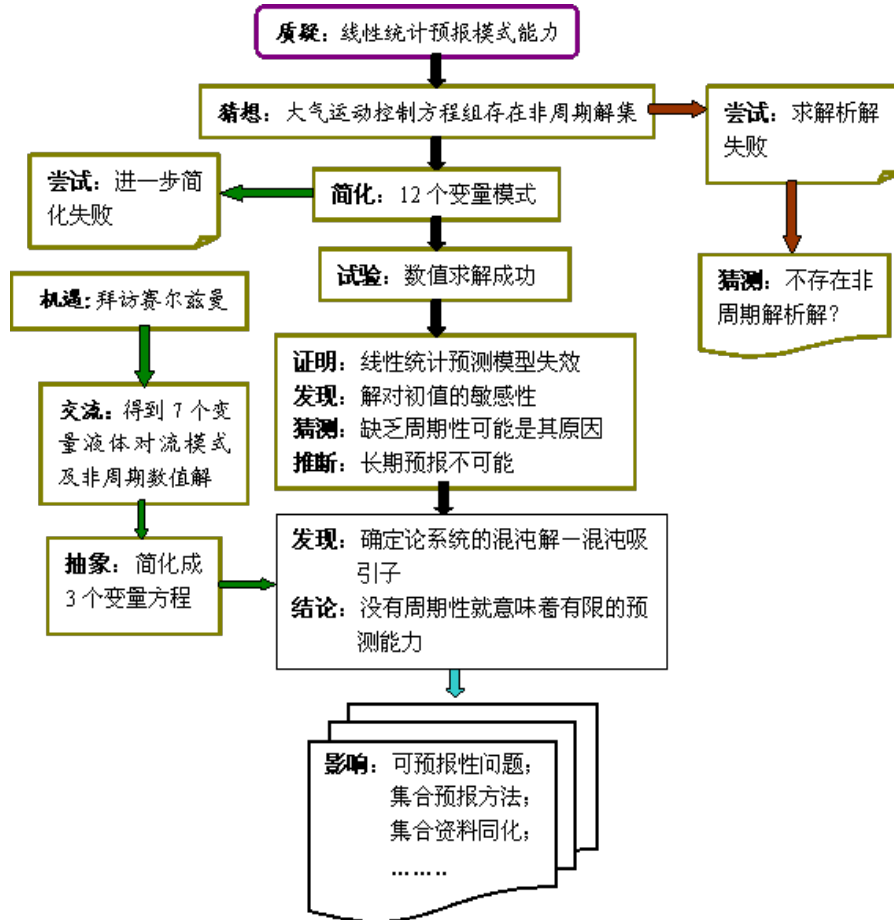


图1 Lorenz混沌吸引子发现的技术路线图

简化方法。不过他从赛尔兹曼模式的数值解中看出了简化方程组的可能性，从而得到了Lorenz方程组，其解保持了原模式解的主要特征。从科学方法论看，洛伦茨猜想或假设给出了正确的研究方向，还原论是他研究的指导思想，发展数学或物理的简化方法与数学抽象结合是他成功的关键。

致谢：本研究得到符淙斌院士和丑纪范院士指导。

#### 参考文献

- [1] 洛伦兹 E N. 混沌的本质. 刘式达, 等译. 北京: 气象出版社, 1997.
- [2] Lorenz E N. Deterministic nonperiodic flow. *J Atmos Sci*, 1963, 20: 130-141.
- [3] 丑纪范. 大气科学中的非线性与复杂性. 北京: 气象出版社, 2002.
- [4] Charney J G, Fjørtoft R, von Neumann J. Numerical integration of the barotropic vorticity equation. *Tellus*, 1950, 2(4):237-254.
- [5] 丑纪范. 为什么要动力—统计相结合? *高原气象*, 1986, 5(4): 367-372.
- [6] Gleick J. 混沌：开创新科学. 张淑誉译. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [7] Wiener N. *Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series*. Cambridge: Technology Press, New York: John Wiley and Sons, 1947.
- [8] Lorenz E N. The statistical prediction of solutions of dynamic equations. *Proc. Internat. Sympos. Numerical Weather Prediction*, Tokyo, 1962: 629-635.
- [9] Lorenz E N. Maximum simplification of the dynamic equations. *Tellus*, 1960, 12: 243-254.
- [10] 李政道. 往事回忆：早期芝加哥的岁月和宇称不守恒. 李政道文选. 上海: 上海科学技术出版社, 2008.
- [11] Lorenz E N. Irregularity: A fundamental property of the atmosphere. Crafoord Prize Lecture, presented at the Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm, September 28, 1983. *Tellus*, 1984, 36A:98-110.
- [12] 舒斯特 H G. 混沌学引论. 朱鋆雄, 等译, 成都: 四川教育出版社, 2010.
- [13] 李政道. 让科学在中国大地生根. *科学文化评论*, 2004, 1(1):12-14.
- [14] 尼科里斯, 普利高津. 探索复杂性. 罗久里, 等译, 成都: 四川教育出版社, 1986.
- [15] Phillips N. The general circulation of the atmosphere: A numerical experiment. *Quart J Roy Meteorol Soc*, 1956, 82: 123-164.
- [16] Lorenz E N. Energy and numerical weather prediction. *Tellus*, 1960, 12:364-373.
- [17] Poincaré H. *Les méthodes nouvelle de la Mécanique Céleste*. Paris: Gauthiers-Villar, 1892, 8: 206-214.
- [18] Li T Y, York J A. Period three implies chaos. *Amer Math Monthly*, 1975, 82(10): 985-992.
- [19] Dunham W. 微积分的历程——从牛顿到勒贝格. 李伯民, 等译. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [20] 赛格雷 E. 从X射线到夸克——近代物理学家和他们的发现. 夏孝勇, 等译. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1984.
- [21] Blaedel N. *Harmony and Unity: The Life of Niels Bohr*. Madison: Science Tech Publishers, Springer-Verlag, 1988.
- [22] 李心灿, 高隆昌, 邹建成等. 当代数学精英. 上海: 上海科技教育出版社, 2009.
- [23] 彭加勒 H. 科学与假设. 李醒民译, 北京: 商务印书馆, 2006.
- [24] 亚历山大洛夫 A И. 数学——它的内容、方法和意义(第二卷). 秦元勋等译. 北京: 科学出版社, 1986.

# Assessing the Methodology for Finding Lorenz Chaos Attractor

Dai Xingang<sup>1</sup>, Pu Yifen<sup>2</sup>, Wang Ping<sup>3</sup>

(1 RCE-TEA, Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029 2 Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029 3 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

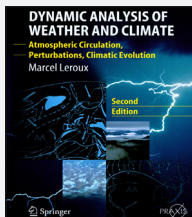
**Abstract:** A first chaos attractor was found in Lorenz's study at the beginning of 1960s. This paper tries to make an analysis on the methods used in his innovation. At first, we briefly reviewed the story of his study and then followed the major events which occurred afterwards and methods used in his study, and finally drew a technology roadmap for his innovation journey. It turns out that his technology road fits the philosophy of general methodology in scientific community, of which simplification or abstraction is the dominant method resulting from reductionism. He started from a question about the predictability of linear regression equation in weather forecasting and then developed a simplified model based on mathematics and physics. The numerical solution of the model shows to be irregular, with which he proved his suspicion. This case also shows the importance of the chanciness in connection with inevitability on dialecticism for the innovation and can be regarded as a classical one for methodology study. The insight of the case is evidently helpful to innovation in atmospheric sciences.

**Key words:** innovation, methodology, Lorenz chaos abstractor, predictability, technology roadmap

## 新书架

## NEW BOOK

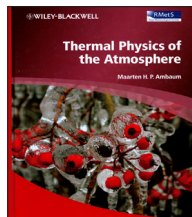
感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆阅览室阅读或据索书号借阅



Dynamic Analysis of Weather and Climate: Atmospheric Circulation, Perturbations, Climatic Evolution (Second Edition)

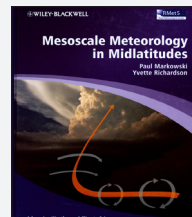
《天气与气候动力学分析: 大气环流, 微扰与气候演变(第二版)》

编著者: Marcel Leroux  
出版者: Praxis Publishing  
Chichester, UK.  
出版年: 2010



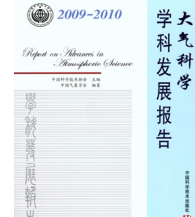
Thermal Physics of the Atmosphere  
《大气热物理学》

编著者: Maarten H.P. Ambaum  
出版者: Wiley-Blackwell  
A John Wiley & Sons, Ltd., Publication  
出版年: 2010



Mesoscale Meteorology in Midlatitudes  
《中纬度中尺度气象学》

编著者: Paul Markowski 等  
出版者: Wiley-Blackwell,  
A John Wiley & Sons  
Ltd., Publication  
出版年: 2010



《大气科学学科发展报告》

编著者: 中国气象学会  
出版者: 中国科学技术出版社  
出版年: 2010  
索书号: P4-1/28/2009-2010



《气候系统监测诊断年报 (2009年)》

编著者: 中国气象局  
国家气候中心  
出版者: 气象出版社  
出版年: 2010  
索书号: P468/9/2009



《中国海洋发展报告》

编著者: 高之国主编,  
国家海洋局海洋发展战略研究所课题组  
出版者: 海洋出版社  
出版年: 2010  
索书号: P74/10/2010



《美国流域水环境保护规划手册》

编著者: 美国环境保护局  
译者: 李云生, 孙娟,  
吴悦颖等  
出版者: 中国环境科学出版社  
出版年: 2010  
索书号: X321.7-62/1



《世界气候研究计划: 2010—2015年执行计划》

编著者: 《世界气候研究计划》  
译者: 刘屹岷等  
出版者: 气象出版社  
出版年: 2010  
索书号: P46-110.2/2

# 暴雨洪涝预报研究的若干进展

崔春光 彭涛 殷志远 沈铁元  
(中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430074)

**摘要:** 暴雨洪涝灾害一直是威胁人类生存和发展的最严重的自然灾害之一。论文首先从经验模型, 集总概念模型以及分布式模型等几个方面介绍了实时洪水预报技术与现状, 然后从雷达估算降水(QPE)以及模式预报降水(QPF)2个方面回顾了现代气象技术对水文预报技术的推动, 就目前的应用情况来看, 数值天气预报模式与流域水文模型在时间空间分辨率存在差异是制约水文气象耦合的一个主要因素。接着, 对中国气象局武汉暴雨研究所近年来在水文气象方面的工作做了一个简要的介绍。其中主要包括水文气象模型的研发与应用, 水文气象耦合关键技术及预报试验, 数值模式尺度下移方法初探, 流域实时水文气象预报系统等。最后, 论述认为进一步加强水文过程的机理研究, 加强分布式水文模型与地理信息系统的耦合研究, 加强与气象模型耦合的技术研究, 加强并开展水文集合预报研究等四个方面显得尤为重要。

**关键词:** 暴雨洪涝, 洪水预报, 水文气象耦合

## 引言

面对全球不断发生的严重洪水灾害, 人们发现尽管不断增加对防洪减灾的投入, 但根治洪水灾害的梦想仍无法实现。随着人类社会经济的不断发展, 洪水灾害所造成的经济损失仍与日俱增。20世纪50年代以来长江流域(包括江淮地区)的历次大水(如1954, 1969, 1975, 1991, 1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 2003, 2007, 2010年)都是由致洪暴雨造成的, 给国家造成巨大损失。据统计我国每年因洪灾造成的直接经济损失达数百亿元<sup>[1]</sup>。2010年7月中旬, 长江汉江上游普降暴雨, 长江、汉江两大洪峰几乎同步到达湖北境内, 境内5大湖泊、1125座水库水位全线突破汛限水位, 4000多条山丘河溪暴发山洪, 7条主要中小河流全线超设防等等, 这些再次给我们敲响了警钟。

据不完全统计, 我国约有水库8.6万座, 每年汛期防汛形势紧张, 许多流域、水库、湖泊等迫切需求用技术含量较高的水文气象模式来开展水文实时预报与防汛决策服务, 提高防御洪水能力。在现代防洪减灾的理念下, 防洪减灾措施有工程措施和非工程措施两种方式。为了抵御洪水灾害, 人们采取了一系列防治和减轻灾害的措施, 然而经过多年防洪减灾实践表明, 尽管我们建立了牢固的防御工程, 非工程性措施的洪水预测能力的进一步提高则不仅可以充分地利用防洪工程, 而且可以大大降低洪水给人民生命财产带来的损失。为此中央2011年1号文件特指出: “强化水文气象和水利科技支撑, 加强基础研究和技术研发, 力争在水利重点领域、关键环节和核心

技术上实现新突破, 获得一批具有重大实用价值的研究成果。”

近三十年来我国水文气象学者在如何提高洪水预报准确率和延长预见期方面做出了艰辛的努力, 也取得了大量研究成果, 但终难有突破性进展。其原因是什么, 现实条件下的研究工作如何开展, 都是值得思索和探索的。水文气象研究中许多问题有待研究和回答, 诸如: QPF(定量降水预报)、QPE(定量降水估算)引入到水文模型对洪水预报准确率的贡献如何、多大? 水文预报模型对QPF的时空分辨率有什么样的要求? 对其预报准确率有何要求? 如何把QPF和新的测雨技术引入水文模型才能使洪水预报预见期延长、准确率提高? 为此开展暴雨洪涝预报研究具有重要的理论和实践价值。

## 1 国内外研究现状

洪水预报技术的研究是一个跨学科的交叉研究领域, 早在30多年前, 陈金荣等<sup>[2]</sup>从长江流域防洪的丰富实践中, 对水文气象预报已作了精辟而深刻的论述, 指出气象预报同水文预报的结合为防洪和水库调度等工作带来巨大的优越性和必要性, 是水文预报发展的必然趋势。文中阐述的基本思想在水文气象预报技术已有许多新的发展和进步的今天, 仍然具有指导意义。水文气象综合预报是建立在现有的气象预报和水文预报理论和技术基础之上的, 主要有2个方面的内容: 首先是实时洪水预报方法, 包括流域产汇流和河道洪水预报; 其次是研究能满足洪水预报特殊要求的定量降水预报技术, 并建立起定量降水预报和洪水预报有机结合的方式。自20世纪50年代起, 我国丰满水库、丹江口水库、汉江上游安康水电站等应用水文气象预报取得了不少成功的经验。1981年7月长江上游特大洪水预报, 汉江1983年10月特大洪水预报等都是水文和气象预报相结合的典型实例<sup>[2]</sup>。在此从以上

收稿日期: 2011年4月20日; 修回日期: 2011年6月21日  
第一作者: 崔春光(1964—), Email:cgcu@whhr.com.cn  
资助信息: 公益性行业(气象)专项(GYHY200806002, GYHY200906019), 中国气象局武汉暴雨研究所科研业务项目(1103)

两个方面围绕“暴雨洪涝预报”这一核心对国内外相关研究进展进行简要概述。

### 1.1 实时洪水预报方法

在长江流域水文气象预报的实践中，现已有了一套行之有效的洪水预报方法。在流域产汇流方面，主要使用降雨径流经验相关图、单位线法；河道洪水预报方面主要是上下游相应关系及马斯京根河道流量演算等方法。为了进一步提高洪水预报的精度，洪水预报需要借助一定的水文模型来完成，下面对国内外的水文模型在洪水预报中的应用进行归纳总结。

#### 1.1.1 经验模型（黑箱模型）

黑箱（系统）模型将所研究的流域或区间视作一种动力系统，利用输入（一般指降雨量或上游干支流来水）与输出（一般指流域控制断面流量）资料，建立某种数学关系；然后就可由新的输入推测输出。这种模型只关心模拟的精度，而不考虑输入—输出之间的物理因果关系。系统模型有线性和非线性，单输入单输出，多输入单输出，多输入多输出等多种类型。其中具备代表性的模型有：简单线性模型（SLM）、线性扰动模型（LPM）、约束线性系统模型（CLS）、线性可变增益因子模型（VGFLM）、Volterra函数模型、多输入简单线性模型（MISLM）、多输入线性扰动模型（MILPM）、神经网络模型（ANN）等。

#### 1.1.2 集总概念模型（Lumped Model）

集总概念性模型是以水文现象的物理概念作为基础进行模拟，它所利用的是一些简单的物理概念和经验关系，如下渗曲线、蒸发公式或有物理意义的结构单元，如线性水库、线性河段等组成一个系统来近似地描述水流在流域的运动状态。概念性模型对这些物理现象进行合理概化，具有一定的物理基础，因此，在近几十年里发展很快，在实际应用中得到了大量的使用。很多流域水文模型都属于概念性水文模型，如由Craford和Linsley提出的斯坦福模型，营原正己提出的水箱模型（Tank），美国天气局Sitten提出的API模型，Bernash提出的萨克门托模型，爱尔兰国立大学工程水文系研制的SMAR模型，国内由赵人俊教授提出的新安江模型，意大利Todini提出的Arno模型等<sup>[3, 4]</sup>。这些模型目前仍然是主流的洪水预报模型，在一定时期内还会继续发挥作用。

随着人们对流域水文过程研究的不断深入，集总型洪水预报模型的不足日益明显，主要表现在以下几个方面<sup>[3, 4]</sup>：①集总式水文模型在整个流域内的许多环节上主要采用概念性元素的模拟或经验函数关系的描述。这样的模拟往往只涉及现象的表面而不涉及现

象的本质或物理机制。②用最优化方法确定模型参数对实测降雨径流的依赖性很大。模型参数只能反映模拟值与实测值的拟和程度，而不能揭示参数的物理意义。③模型输入的空间分散性和不均匀性。上述的这些不足，主要原因是不能有效处理流域地表空间信息。但是，从20世纪90年代中期以来，随着卫星遥感、数字雷达测雨技术以GIS技术的完善和高速发展并进入科技领域，分布式水文模型作为一类新的流域水文模型得到了快速发展。

#### 1.1.3 分布式水文模型（Distributed Model）

考虑流域内水文要素空间分布差异的分布式流域水文模型有望尽可能真实地模拟流域产汇流过程的空间变化。与传统的集总式水文模型相比，分布式模型具有的最显著的优点可总结为以下几点：①具有物理机理，能描述水文循环的时空变化过程；②其分布式结构容易与GCM（Global Climate Model）嵌套，研究自然和气候变化对水文循环的影响；③由于建立在DEM之上，所以能及时地模拟人类活动和下垫面因素变化对流域水文循环过程的影响<sup>[3, 4]</sup>。

国外分布式流域水文模型的研究，可以认为始于Freeze和Harlan于1969年写的一篇题为《一个具有物理基础的数值模拟的水文响应模型的蓝图》的文章，该文章提出了分布式水文物理模型的基本概念和框架<sup>[5]</sup>。然而世界上第一个典型的分布式水文模型SHE（System Hydrologic European）直到1986年才正式发表，该模型主要的水文过程利用质量、能量和动量守恒的偏微分方程的差分形式来描述，同时也采用了一些独立试验研究得来的经验关系，综合考虑降水、蒸发、地表径流、土壤对地下水的补给、地下水的流动等水文过程<sup>[6, 7]</sup>。伴随着SHE的问世，分布式水文模型的研究得到了长足的发展，目前分布式水文模型的理论和技术已趋于成熟，国外已提出了若干个有代表性的分布式水文模型，如英国Morris等提出的IHDM模型，美国农业部农业研发中心（ARS）开发的SWAT模型，Colosimo等人提出的TOPMODEL模型，Kouwen等人提出的WATERFLOOD模型，Wigmosta等人提出的DHSVM模型等<sup>[3, 4, 6, 7]</sup>。

国内分布式水文模型的研究起步较晚。20世纪90年代以来，随着GIS软件的迅速发展，在国家自然科学基金的支持下，我国一些学者进行了探索性的研究工作。尽管起步较晚，但也取得了较大的进展<sup>[8-12]</sup>：郭生练等建立了一个基于DEM的分布式流域水文物理模型，用来模拟小流域的降雨径流时空变化过程。任立良和刘新仁在数字高程模型（DEM）的基础上，进行子流域集水单元勾画、河网生成、河网与子流域编

码及河网结构拓扑关系建立，然后在每一集水单元上建立数字产流模型，再根据河网结构拓扑关系建立数字河网汇流模型（马斯京根法），从而建成数字水文模型。最近，有许多研究把分布式模型推广应用到大流域：郑红星等应用大尺度分布式水文模型SVAT & HYCY对黄河的主要支流洛河卢氏以上流域进行实例研究，模拟流域蒸散发的空间分布特征以及径流的形成过程。杨大文等通过模拟黄河流域1980年代10年间的水文循环过程，讨论其在大流域中的适用性和辅助水资源规划及管理的可行性。

不过笔者认为我国DHM缺乏有国际影响力的模型、缺乏系统性研究、模型可移植性（或通用性）有待加强、应用性研究也相对滞后、水文模型与天气模式的耦合研究较少。

## 1.2 气象技术发展对洪水预报的推动

随着气象现代化建设不断推进、发展，综合气象观测能力明显增强，数值预报预测能力逐步完善，定量降水估算和预报水平逐年提高，截至2008年，我国24小时晴雨预报准确率已达到85.6%。为此现代气象业务技术的发展给洪水预警预报提供了发展机遇，如何利用这些新技术提高洪水预报水平成为国外水文气象学家研究的热点。

### 1.2.1 雷达监测降水在水文中的运用

确切地掌握降雨量的空间分布，是使用分布式水文模型的重要先决条件。传统的定点测雨的雨量站是难以给出复杂多变的降雨空间分布的。测雨雷达则不同，它可以直接测得降雨的空间分布，提供流域或区域的面雨量，并具有实时跟踪暴雨中心走向和暴雨空间变化的能力。雷达估算降水有时空分辨率高的优点，可以比较客观地反映降水量相对大小的分布趋势<sup>[13]</sup>。

为了将雷达测雨资料用于洪水预报预警，国外学者首先展开了相关研究。英国国家河流管理局组织了天气雷达资料在洪水预报中应用的实验研究工作并对此进行了评估，认为雷达与雨量计结合估算降水对水文预报各预见期表现平均较好，稳定地达到或超过雨量计实测雨量的结果，尤其对小区域的改进更为突出。英国水文研究所很多研究成果都已在洪水报警业务部门应用：主要有水文雷达实验（HYREX）；雷达—雨量计校正方法及精度估计；用于洪水预报模型的流域雷达降水预报方法；应用雷达降水资料的格点分布式洪水预报模型；河流预报系统（RFFS）和水文雷达系统（HYRAD）软件开发等。HYRAD集成了雷达—雨量计估算面雨量和流域雷达降水预报的研究成果，用实时雷达和雨量计资料

计算流域面雨量并进行未来两小时的流域面平均雨量预报，将计算和预报数据以时间序列的形式存入RFFS数据库用于河流预报。RFFS与HYRAD共同组成了实时降水与河流预报系统，目前已经在泰晤士流域等几个洪水报警中心进行日常业务应用<sup>[13, 14]</sup>。

美国在大规模建设雷达网的同时，美国天气局水文降水分析项目HRAP也开始实施，HRAP的目的是将雨量站探测资料，卫星云图资料与雷达测雨资料相结合，产生用于水文预报的最优降水估算场。目前美国天气雷达估算降雨并用于水文预报的工作达到了全面业务化水平<sup>[9, 15]</sup>。

欧洲洪水预报系统（EFFS）2003年以来正在升级，改进后可耦合雷达降水估算和有限区域数值天气预报模式，建立暴雨预报和洪水预报耦合的一体化模型，并结合地面观测降水、雷达降水估算以及卫星云图降水估算技术，提供流域点面降水的最佳估计。从1999年开始到2004年完成的欧洲联盟的COST-717计划，其中有一部分是评价、验证雷达信息在水文模型模拟中的作用，其最终目标是将雷达测量降水和水文模型以及数值天气预报（Numerical Weather Prediction，即NWP）模式有机地融合在一起，提高水文预报精度。

此外，国内有关学者也开始了定量降水估算和洪水预报耦合技术的研究探讨<sup>[16-24]</sup>：刘黎平等成功应用天气雷达估算降水技术来进行水文预报，提高了预报的精度；刘晓阳等利用雷达估测降水对史灌河流域进行了径流模拟；任立良等利用雷达降雨资料对水文过程进行了模拟研究；李致家等对从实时洪水预报的角度出发，将雷达遥感数据与水文模型进行耦合对淮河流域史灌河流域蒋家集站进行洪水预报；程明虎、姚燕飞通过分组优化Z-I关系对佛子岭流域面雨量进行了估算，并结合TOPMODEL模型对流域径流进行了模拟研究，取得了比较好的效果。许继军等利用宜昌天气雷达资料结合分布式水文模型对三峡库区清港河小流域和香溪小流域进行了水文预报，结果表明：利用雷达估测降雨，与分布式水文模型相匹配，较好地发挥了二者在表现降雨空间分布变化方面的优势，能够有效提高洪水预报精度。

### 1.2.2 模式预报降水（QPF）在水文中应用

预见期内的降水量直接影响着洪水预报的精度，预见期愈长，预见期内的降雨对预报值影响愈大，为此预见期内的降雨与洪水预报耦合技术也逐步受到了广大水文和气象科技工作者的关注。目前随着数值预报理论与方法的飞跃发展，数值预报现正成为暴雨预报实现定点、定时和定量的科学手段，为水文

模型预见期降水的预报提供了强有力的支撑。

目前定量降水预报(QPF)应用于水文预报模型是被水文气象学界普遍认同的发展方向之一,也是目前研究的热点难点。对于预见期降雨与洪水预报耦合的研究,国外相关学者以及国家气象中心、长江委、黄河委以及武汉大学已开展过相关试验和调研<sup>[25-31]</sup>:美国国家气象中心(NMC)开发了一系列洪水量化预报法。数据输出生成三个系列量化预报产品,即预报超前时间为0~3h、1~20h和6h~10d预报。预报在美国内陆600多个地方对给定的超过某一特定值的降水,进行概率确定,并用于突发洪水预警,预报更新频率快至对突发洪水每10min一报,干流洪水预报每天报2~4次;杨文发等考虑预见期内的降水预报信息,采用降水预报与洪水预报耦合的方法,对1998年汛期发生在长江上游三峡区间的一次暴雨洪水过程进行了预报试验;王庆斋等利用小浪底一花园口之间的暴雨洪水过程开展了洪水预报耦合技术研究;李超群等基于短期定量降水预报产品开展了清江隔河岩洪水预报的研究;张俊等耦合MM5气象模式和VIC分布式水文模型构建了汉江流域水文气象耦合模型,并对丹江口以上流域开展模拟试验;包红军等以淮河息县流域为试验流域,以CMC, CMA, ECWMF, UKMO, NCEP五个气象中心的TIGGE降水以及地面雨量计观测降水驱动新安江水文模型,在2007年7月的息县流域超警洪水预报中进行试验研究。

研究表明可显著提高洪水预报精度,但是数值天气预报模式与流域水文模型在时间空间分辨率存在的差异制约了天气预报模式预报结果应用的进一步发展,可喜的是这方面的研究工作目前已开始得到了相关学者的重视:刘勇、邹松兵<sup>[32]</sup>充分利用降水量空间统计分析的结果,通过在模型中引入坡度、坡向变量,对祁连山中东部地区降水量空间变化模式进行尺度下移,得到了该地区具有多尺度特性的高空间分辨率降水量的分析模型;此外,数值模式的自嵌套技术以及多模式的互嵌套技术开始用于提高模式空间分辨率<sup>[33, 34]</sup>。

### 1.3 存在问题分析

制约水文气象耦合的主要原因包括:

(1) 数值天气预报模式与流域水文模型在时间空间分辨率存在差异,特别是在空间分辨率上甚至是量级的差别;同时数值天气预报模式的准确率有待提高。目前来说QPF在预报准确率与分辨率上还难以满足水文模式的需要,这一问题需要很长时间来逐步解决,现阶段我们不能坐等QPF的发展,要寻找其他的

缓解或逐步解决矛盾的途径。

(2) 水文模式中考虑预见期降雨不够,水文气象耦合技术研究必须得到加强。QPF应用于水文预报模型是被水文气象学界普遍认同的发展方向之一,然而,我国水文预报业务规范中是没有涉及到的,就是说业务预报中是比较难以考虑预见期降雨的。国内能检索到的相关研究文献还是很少的。在国内外气候模式研究中都涉及到地气耦合技术,但在短期水文气象预报中水文气象耦合技术相关的研究很少。

(3) 雷达测雨的精度、降水处理自动化程度及其与水文模型的接口等问题有待进一步加强。

(4) 分布式水文模型的研究成为热点,但由于水文过程的复杂性和不确定性,其中许多物理过程、数学处理方法以及数据不足等问题有待更深的研究与探讨。我国分布式水文模型缺乏国际有影响力的模型,缺乏系统性建设,模型可移植性有待加强,应用性研究也相对滞后,水文模型与大气模式的耦合研究较少。

## 2 暴雨所水文气象研究工作简介

现代气象业务技术的发展给洪水预警预报提供了发展机遇,为了拓展暴雨信息应用领域,暴雨所自2004年以来采用气象与水文学交叉的方式,联合水利部门和相关院校,开展了实时暴雨洪水预报方法研究和实时预报应用系统研制。近年来,承担了科技部公益项目、国家自然科学基金、公益性行业专项、湖北省攻关计划等研究课题,在相关课题的支持下从水文气象模型的研发与应用,水文气象耦合关键技术及预报试验<sup>[35-38]</sup>,数值模式尺度下移方法<sup>[39]</sup>,流域实时水文气象预报系统研发等几个方面做了一些有益的探索(图1—图3),并在汛期试验中取得了较好的服务效果。



图1 分布式水文模型的研发

## 3 展望

暴雨洪涝灾害一直是威胁人类生存和发展的最严重的自然灾害之一。然而当前客观条件正在悄然发生一些变化,如新一代天气雷达网的建成、雷达卫星估算降雨技术的发展脚步加快、定量降雨预报准确率的

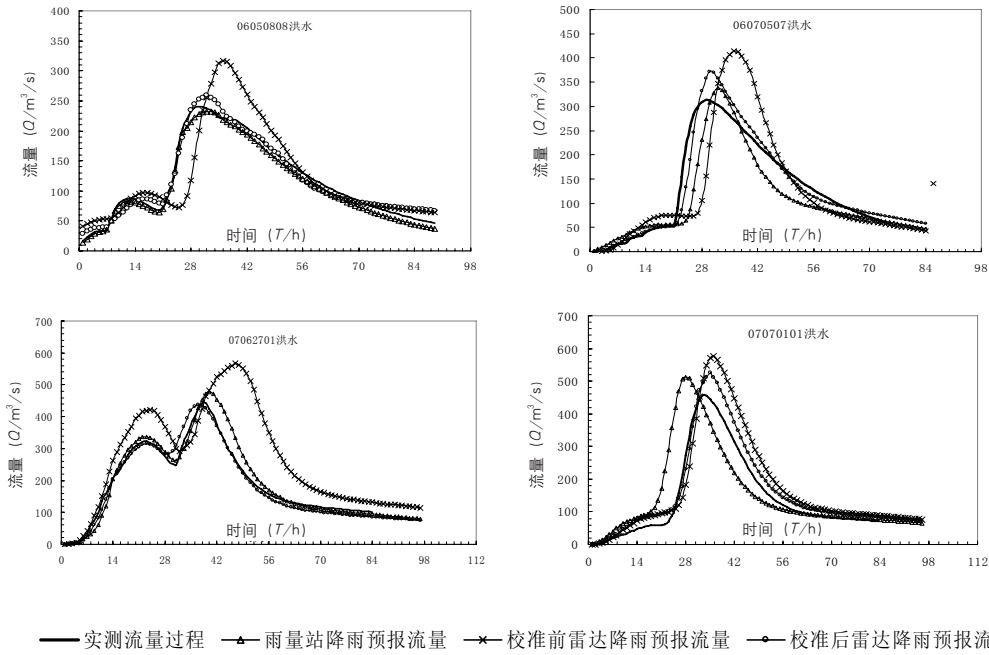


图2 定量降水估算 (QPE) 对洪水预报影响试验

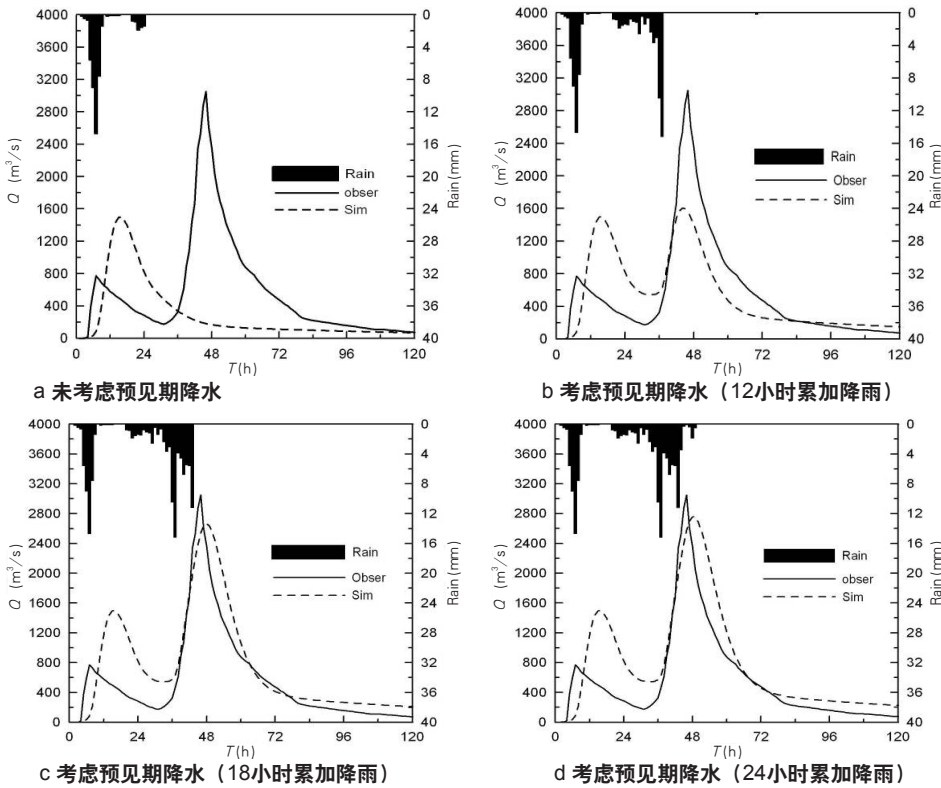


图3 定量降水预报 (QPF) 对洪水预报影响试验

不断提高、水文模型构建技术的不断创新、地理信息技术的逐渐成熟、网络通讯与计算机技术的飞速发展等等,都给我国洪水预警预报技术发展提供了一个很坚实的基础和发展机遇,但是同时也面临着问题与挑战。笔者认为,为了进一步推动我国暴雨洪涝预报技术的发展与应用,需在以下几个方面着重开展研究:

(1) 加强水文过程的机理研究,通过增大观测

密度,改善观测手段,力求从物理学的角度和深度,认识流域水文过程,解决水文过程中的非线性问题和空间变异性问题;

(2) 关注地理信息系统的发展,加强分布式水文模型与地理信息系统的耦合研究,同时关注遥感技术的发展,提高遥感数据在分布式水文模型的应用水平;

(3) 加强与气象模型耦合的技术研究,充分利用雷达探测技术以及中尺度暴雨预报技术来描述水文输入资料(降雨等)的时空变异性,并通过开展降尺度方法研究,逐步缩小气象与水文之间在时空尺度差异性问

题;

(4) 暴雨洪涝是一个复杂的动态过程,其预报的不确定性客观存在,为此加强并开展水文集合预报的研究显得尤为重要。

参考文献

[1] 国家科委全国重大自然灾害综合研究组. 中国重大自然灾害及减灾对策(总论). 北京: 科学出版社, 1994.  
 [2] 陈金荣, 罗伯昆. 对水文气象预报的认识和实践. 人民长江, 1982, (6).  
 [3] 彭涛, 张利平, 沈铁元, 等. 现代水文气象预报技术研究进展. 人民

- 黄河, 2010, 32(9): 29-32.
- [4] 郭大英. 基于DEM的分布式水文模型的研究与应用. 大连理工大学硕士学位论文. 2005.
- [5] Freeze R A, Hanlan R L. Blueprint for a physical-based, digitally simulated, hydrologic response model. *Journal of Hydrology*, 1969, 9: 237-258.
- [6] 贾仰文, 王浩, 倪广恒, 等. 分布式流域水文模型原理与实践. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [7] 芮孝芳, 黄国如. 分布式水文模型现状与未来. *水利水电科技进展*, 2004, 24(2).
- [8] 郭生练, 熊立华, 杨井, 等. 基于DEM的分布式流域水文物理模型. *武汉水利电力大学学报*, 2000, 33(6): 1-5.
- [9] 熊立华, 郭生练. 分布式流域水文模型. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- [10] 任立良, 刘新仁. 流域数字水文模型研究. *河海大学学报(自然科学版)*, 2000, 28(4): 1-7.
- [11] 郑红星, 刘昌明, 王中根, 等. 黄河典型流域分布式水文过程模拟. *地理研究*, 2004, 23(4): 447-454.
- [12] 杨大文, 李羽中, 倪广恒, 等. 分布式水文模型在黄河流域的应用. *地理研究*, 2004, 29(1): 144-154.
- [13] 杨扬, 张建云, 戚建国, 等. 雷达测雨及其在水文应用中的回顾及展望. *水科学进展*, 2003, 11(1): 92-98.
- [14] “欧洲洪水预测系统”计划简介. *水利电力科技*, 2003, 29(1): 43.
- [15] 黄保国, 夏冰. 美国洪水预报及预警系统发展概况. *中国水利*, 2003, (5): 56-57.
- [16] 刘黎平, 钱永甫, 王致君. 双线偏振雷达在水文预报领域的应用——实时水文预报系统的研制. *高原气象*, 1996, 15(4): 508-514.
- [17] 刘晓阳, 毛节泰, 李纪人. 雷达联合雨量计估测降水模拟水库入库流量. *水利学报*, 2002, (4): 51-55.
- [18] 刘晓阳, 毛节泰, 等. 雷达估测降水模拟史灌河流域径流. *北京大学学报(S)*, 2002, 38(3): 342-349.
- [19] 任立良, 李春红, 王美荣. Application of radar-measured rain data in hydrological processes modeling during intensified observation period of HUBEX. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20(2): 205-212.
- [20] Chen Y B, Hu J Q, Yu J. A flash flood forecast model for the Three Gorges Basin using GIS and remote sensing data. //In: *Weather Radar Information and Distributed Hydrological Modeling*. (Proceedings of symposium HS03 held during IUGG2003 at Sapporo, July 2003). IAHS Publ. No. 282, 2003, 282-287.
- [21] 李致家, 刘金涛, 等. 雷达估测降雨与水文模型的耦合在洪水预报中的应用. *河海大学学报(自然科学版)*, 2004, 32(6): 601-606.
- [22] 李致家, 刘金涛, 葛文忠. 雷达估测降雨与水文模型的耦合在洪水预报中的应用. *河海大学学报(自然科学版)*, 2004, 32(6): 601-606.
- [23] 姚燕飞. Z-I关系对雷达测量流域面雨量和径流模拟影响的研究. 中国气象科学研究院硕士学位论文. 2007.
- [24] 许继军, 杨大文, 蔡治国. 分布式水文模型结合雷达测雨用于三峡区间的洪水预报. *长江科学院院报*, 2007, 24(6): 42-48.
- [25] 《长江防洪系统实时调度研究》编辑委员会. *长江防洪系统实时调度研究*. 北京: 中国水利电力出版社, 1997.
- [26] 杨文发, 等. 降水预报与洪水预报耦合应用初探. *水资源调查*, 2003, 24(1): 38-40.
- [27] 王庆斋, 等. 黄河小浪花暴雨洪水预报耦合技术研究. *人民黄河*, 2003, 25(2): 17-19.
- [28] 李超群, 郭生练, 张洪刚. 基于短期定量降水预报的隔河岩洪水预报研究. *水电能源科学*, 2006, 24(4): 31-35.
- [29] 张俊, 郭生练, 陈华, 等. 与MM5气象模式耦合的VIC分布式水文模型构建. *人民长江*, 2008, 39(8): 38-42.
- [30] Bao H J, Zhao L N, He Y. Coupling ensemble weather predictions based on TIGGE database with Grid-Xinanjiang model for flood forecast. *Advances in Geosciences*, 2011, 29(6): 61-67.
- [31] 郭靖, 郭生练, 张俊, 等. 汉江流域未来降水径流预测分析研究. *水文*, 2009, 5: 18-22.
- [32] 刘勇, 邹松兵. 祁连山地区高分辨率气温降水量分布模型. *兰州大学学报(s)*, 2006, 42(1): 7-12.
- [33] 沈愈. EOF迭代降尺度方案及其在华东梅汛期降水预测中的应用. *高原气象*, 2008, 27: 52-63.
- [34] 邓伟涛. 利用CAM-RegCM嵌套模式预测我国夏季降水异常. 南京信息工程大学博士学位论文. 2008.
- [35] Peng T, Song X Y, Shen T Y, Yin Z Y, et al. The application of radar quantitative precipitation estimation in flood forecasting during flood season. 第四届黄河国际论坛文集, 2010, 1: 309-315.
- [36] 彭涛, 宋星原, 殷志远, 等. 雷达定量估算降水在水文模式汛期洪水预报中的应用试验. *气象*, 2010, 36(12): 50-55.
- [37] 崔春光, 彭涛, 沈铁元, 等. 定量降水预报与水文模型耦合的中小流域汛期洪水预报试验. *气象*, 2010, 36(12): 56-61.
- [38] 彭涛, 李俊, 殷志远, 等. 基于集合降水预报产品的汛期洪水预报试验. *暴雨灾害*, 2010, 29(3): 274-278.
- [39] 殷志远, 赖安伟, 公颖, 等. 气象水文耦合中将尺度方法研究进展. *暴雨灾害*, 2010, 29(1): 89-95.

## Research Progress on Storm and Flood Forecasting

Cui Chunguang, Peng Tao, Yin Zhiyuan, Shen Tiejuan  
(Wuhan Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration, Wuhan 430074)

**Abstract:** Storm flood disasters have always been a threat which is one of the worst natural disasters to human survival and development. Firstly, the development of real-time flood forecasting technique from experience model, lumped conceptual model and distributed mode were introduced. Secondly, the modern meteorological technology propelling the hydrological forecasting technology from both quantitative precipitation estimation (QPE) and quantitative precipitation forecasting (QPF) were reviewed. This paper shows that the mismatch time and space resolution between numerical weather prediction models and hydrological models are the major factors of restricting hydrological and meteorological coupling. Thirdly, some hydro-meteorological work done by Wuhan Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration in recent years were briefly introduced. The main work includes hydro-meteorological model research and application, the experiment of key technologies in hydrological and meteorological coupling, preliminary study of numerical model downscaling, real-time watershed hydro-meteorological forecasting system. Lastly, this paper holds that four kinds of work are particularly important. They are: strengthening the mechanism of hydrological process, strengthening the study of the distributed hydrological model and geographic information system coupling, strengthening the research on hydrological and meteorological coupling and strengthening the research into hydrological ensemble forecasting.

**Key words:** storm flood, flood forecasting, hydrological and meteorological coupling

# 黄土高原气候环境演变研究

王毅荣<sup>1,2</sup> 张强<sup>1</sup> 江少波<sup>2</sup>

(1 中国气象局兰州干旱气象研究所/甘肃省干旱气候变化减灾重点实验室/中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 兰州 730020; 2 甘肃省定西市气象局, 定西 743000)

**摘要:** 该领域相关研究主要基于生物地质记录、历史文献和器测资料, 研究了黄土高原气候在万年、千年和百年尺度上的演变特征, 探讨了当时自然植被状况与气候变化的联系; 分析了当代黄土高原气候变化及其区域响应的主要特点。从较为宏观的角度, 为研究黄土高原环境效应提供相关的历史背景。

**关键词:** 黄土高原, 气候环境, 演变, 进展

## 引言

黄土高原是中华文明的主要发源地, 总面积约64万km<sup>2</sup>, 现承载人口1亿以上。位于黄河中上游和海河上游地区, 东起太行山, 西至日月山, 南界秦岭, 北抵鄂尔多斯高原; 可分为陇中盆地, 陇东、陕北高原, 渭河地堑平原, 山西高原; 除了一些裸岩的高山以外, 基本上覆盖了60~200m厚的细腻黄土微粒, 土质疏松, 流水侵蚀强烈, 地形破碎; 是内陆干旱向季风气候的过渡带和气候变化敏感区、生态环境脆弱带。

黄土高原的气候生物环境是气候环境因素的共同作用, 研究其演变的历史和进程对黄土高原生态环境建设和发展等具有重要价值。

## 1 历史气候环境演变

黄土高原风尘堆积约从22Ma BP开始, 冬季风环流就从内陆干旱区携带大量的风尘在黄河中游堆积形成黄土, 而夏季风环流从低纬海洋携带大量的水汽, 到新近纪晚期和第四纪, 北极冰盖的形成与发展使冬季风环流的强度和内陆干旱度加剧<sup>[1]</sup>; 对最近5个间冰期黄土高原环境空间格局的研究显示, 东亚季风对黄土区降水的影响占主导地位, 而南亚季风的影响处于相对次要的地位, 第四纪最后一个间冰期的全新世期间, 黄土高原的降水较大程度地受东亚夏季风环流的控制<sup>[2, 3]</sup>。在万年尺度上, 强盛的夏季风环流带来的水汽偏多, 东亚和南亚季风在万年尺度上的变化具有相对一致性, 季风降水从11.5ka BP之后均开始增强, 在约10~9ka BP前后达到最大值, 从约6ka BP开始逐渐下降<sup>[4, 5]</sup>。黄土高原全新世前期总体湿润、后期呈总体变干趋势。

黄土高原全新世季风降水最多时期大致在10~9ka BP前后, 全新世中期有千年尺度的夏季风相对减弱, 但与其他时期相比仍然偏强<sup>[6, 7]</sup>。约8ka BP以后为高温期或大暖期, 当时的季风降水可能并不是最多的, 但

年内平均温度可能是最高的<sup>[8, 9]</sup>。在全新世总体湿润的背景下至少存在三个明显的干旱期, 分别发生在大约8.5ka BP, 7~5.6ka BP和4ka BP前后。这些干旱事件是全新世总体湿润背景下的相对干旱, 4ka BP的干旱事件可能也伴随着降温<sup>[10, 11]</sup>, 各地表现也有差异。

近千年来中世纪暖期之后出现的寒冷时期, 15世纪后期至19世纪末的气候寒冷期是中国的小冰期<sup>[12, 13]</sup>。1400—1900AD期间, 黄土高原为冷期, 温度较20世纪可能低1.5℃左右, 且小冰期内也有显著的冷暖波动, 到1900AD后温度快速上升, 区域降水较少; 1900AD之后, 降水量迅速增加<sup>[14, 15]</sup>。

黄土高原全新世期间以草原植被为主, 期间未出现典型森林植被, 经历了“干草原—湿润草原—干草原”的演变过程; 高原南部较湿润的地区全新世以草原和疏林草原植被为主, 落叶阔叶林可能只在气候最宜期短暂出现<sup>[16, 17]</sup>。周朝以前黄土高原森林植被、草原植被繁盛, 黄土高原广大地区植被保持着天然状态, 保持着较好的自然生态环境; 周朝后期草场退化、植被带南移; 战国时期农耕快速发展, 黄土高原南部如关中平原、汾河中下游平原被大量开垦成耕地, 平原地区的森林、草原植被逐步为耕地所取代, 两晋、南北朝时黄土高原天然植被仍占较大比重, 隋唐时期农耕地继秦汉以后达到新的高峰并不断向黄土高原中北部、西部推进, 原有的林地、草地变为农田; 随着隋唐暖湿期的结束, 唐末黄土高原气候趋于干化, 黄土高原植被已发生很大变化, 北部毛乌素沙地南侵, 植被带界线南移, 植被覆盖度大大降低; 北宋时黄土高原植被状况进一步恶化, 明清时期、金元时期黄土高原被进一步开垦坡地, 黄土高原自然环境进一步恶化<sup>[18, 19]</sup>。

## 2 当代气候环境区域响应

### 2.1 热量响应

全球气候变化产生不同的区域响应<sup>[20]</sup>。黄土高原气温区域响应的一致性程度很高, 67a间(1937—2003年)各月气温以升高为主, 2月增幅最大, 3月存在降

收稿日期: 2011年4月27日; 修回日期: 2011年5月25日

第一作者: 王毅荣(1967—), Email: werice@163.com

资助信息: 国家自然科学基金: 半干旱区凝结水形成规律及其对地气水热交换的影响(41075009)

温趋势。20世纪30、40年代是最暖的阶段，从40年代起气温一直在下降，50年代由暖转冷的突变十分明显，到70年代末80年代初下降到最低，80年代为最冷的时期，80年代后才转为上升<sup>[21]</sup>。春季气温以升温为主，1990年代最为明显，升温速度最大区和年际变化幅度最大区主要在黄土高原中部；春寒强度由西北向东南递减，高原腹地易出现强春寒，春寒空间演变中大振幅区在高原腹地；凌汛黄河兰州—银川段气温差减小，稳定低于0℃开始日期推迟、结束日期提前<sup>[22]</sup>。

正负积温（1951—2004年）变化的区域一致性程度较高，积温大振幅区集中在黄土高原腹地，负积温分维数大于正积温，负积温变化全程较正积温复杂；积温及其持续日期存在突变式增加，中东部较快、西部较慢，在敏感区域增加最突出；积温及持续日数的增加主要体现在积温结束日期明显推迟；负积温在1982年左右发生突变、年累计量明显减少，正积温在1986年突变增加<sup>[23]</sup>。

## 2.2 水分响应

黄土高原水分主要来自天然降水，年降水从西部到东部空间差别大。黄土高原地区年、季降水量的空间分布，自西北向东南逐渐增多；降水的季节分配鲜明，高原雨量主要集中在4—9月，雨热同季，降水量季节性差异北部较南部明显。

近50a，黄土高原雨量带显现出年代际演变特征，等雨量线总体上南移，20世纪70年代较60年代南移约0.6个纬度，南移幅度东部明显大于西部；80年代在70年代水平上略有北移；90年代南移突出、移幅较大，较60年代南移约1.8个纬度，高原东部地区最为突出，除关中平原外高原基本蜕变为半干旱气候区。降水响应敏感区在黄土高原腹地，降水区域响应以一致的涝或旱为主，高原东北部是干旱降水响应最敏感区，是干旱最突出的地方；高原北部是湿年降水响应最敏感区，是降水偏多最突出的地方（易涝）；旱年降水响应中局地性强，干湿年降水存在明显差异，干湿年降水相差大，湿年比干年多40%以上。干旱在高原的东北部响应变幅大于其他地方，湿涝响应在高原的北部最为明显；干年相对变率明显大于湿年。涝年降雨量自西向东递增，旱年由北向南递增；年降水频次时间分布的分维数涝年大于旱年，大地形在涝年对降水的再分配能力远大于旱年；旱涝年降水频次大雨以上降水差异更为明显<sup>[24]</sup>。年降水在1985年附近发生气候突变，降水明显减少；其中3、6月降水增加（6月增幅最大），1977年后降水明显增多；4、8—11月递减趋势显著（其中9月减幅最大），在1985年发生突变式减少；整体减少幅度远大于增加

量。作物生长期（4—10月）降水在1985年左右发生突变，由历史上的多雨转为少雨，3~5年的降水振荡周期更明显<sup>[25]</sup>。

黄土高原地区大雨频次是自西北向东南逐渐增多，大雨频次存在减少趋势，区域性暴雨事件趋于减少，过程雨量加大，区域性暴雨事件在1977年附近出现突变性减少，相应的短周期减弱、长周期加强。黄土高原中部分维数值较大而西北部和东南部暴雨分维数值较小，中部暴雨异常偏多的非线性机制最为复杂，而西北部和东南部地区相对简单<sup>[26]</sup>。

干旱（1937—2004年）是该地区土壤水分最基本的特征，生长期土壤水分波动式下降，蓄水期土壤水分波动式上升，总体上以下降为主，20世纪70年代中后期土壤水分较好，80年代土壤水分较差，90年代末到21世纪初转好。土壤湿度垂直分布变化阶段性明显，土壤水分由表层向1m深层渗透一般需要4旬时间；生长期土壤水分有减少的趋势，蓄水期土壤水分存在增加的趋势<sup>[27, 28]</sup>。

近50a黄土高原水汽呈上升趋势，西部水汽上升明显于东部；夏季增加趋势最明显，冬季次之，春秋两季增减趋势不明显。水汽1977年之前存在下降趋势，相应变幅小；1977—1987年间波动，1987年后呈明显上升趋势，相应变幅较大<sup>[29]</sup>。

## 2.3 水热配置响应

秋季暖干化（1937—2005年）是区域响应最主要的特征，在高原中西部响应最敏感；降水（降水量、降水次数、连续性降水时量等）趋于减少、气温（平均、日最高、日最低、季极端最高气温等）升高、蒸发量加大，暖干趋势明显；总低云量趋于减少、日照增多、地温上升等促进暖干发展。在近70年中降水量演变出现2次明显转折，气温出现2次突变；年代际演变中降水量存在20~30年周期，气温周期不小于70年。土壤水分存在显著下降趋势，在1995年发生了突变（转向明显负距平）。土壤水分年际演变与降水同向性较好，年代际变化与气温呈反位相配置；土壤水分演变振荡周期对降水短周期和气温长周期响应明显。黄土高原半干旱区土壤水分对短期降水变化、降水气温气候变化及短周期振荡都存在明显响应<sup>[30, 31]</sup>。

黄土高原干旱趋势趋于加重，20世纪90年代干旱加剧最为明显，干旱最容易在7—10月发展到最重，其间干旱信息由高原中部向西、向东、向北传播。干旱最敏感区（变化大值区）在高原腹地，高原周边地区干旱变幅较小；干旱变化振荡周期以2~4年为主；干旱准2年振荡的空间演变清晰，干旱移动方

向和强度变化比较明显,在5个月之内强度、范围加大,大值区数值增大并向周围扩展旱情加重,再经过5个月后干旱大值区的数值下降快于周围,从敏感区向高原四周扩散<sup>[32]</sup>。

## 2.4 生产力响应

1937—2004年68年黄土高原气候生产力呈递减趋势;20世纪30—40年代高,60年代次高,90年代最低,80年代次低;气候生产力演变存在多种周期,其中4年周期最为明显;高原西部是生产力不稳定低产区、南部为相对稳定高产区、高原东部为不稳定区,高原中北部是气候生产力变化的敏感区。气候生产力的空间振幅存在传播趋势,从高原中东部向东南传播。高原中北部是气候生产力变化的敏感区;气候生产力的空间变化幅度南部明显大于北部,变化信息有从高原中东部向四周传播的趋势。黄土高原气候生产力南北部有反向变化趋势,其演变过程在1984年明显转变,南部转向降低、北部升高;东西变化过程在1982年存在变点,有东部减少、西部增多的趋势<sup>[33, 34]</sup>。

农业可能是对气候变化反应最为敏感的产业之一,气候变化将使我国未来农业面临生产的不稳定性增加<sup>[35, 36]</sup>。1981—2000年黄土高原地区年小麦、玉米、胡麻产量对气候变化的敏感性不强。1981—2000年20年陇东和陇中黄土高原地区油菜产量不稳定,产量变化以2~4年左右的年际振荡为主,5年周期大多对应极值产量<sup>[36]</sup>。

黄土高原地区增温使植被生长季的延长和生长加速,近年来黄土高原植被盖度总体上呈增加趋势与增温造成植被生长在春季提前和秋季推迟有关,1981—2006年黄土高原NDVI值在春季和秋季(尤其是5月和10月)的增高趋势较为明显<sup>[37]</sup>。温度升高对生态系统生产力的影响存在着正负两方面的效应。其正面作用是温度的增加可以延长植物生长季节,改善光合作用效率,提高植物的生产力,有利于NDVI值上升;而在半干旱地区,增温的负面效应主要在于增加水分消耗而引起干旱,水分胁迫加剧,增强了土壤干燥化的程度,使植被初级生产力随温度升高而下降。温度升高引起的干旱还可能推迟农牧交错区植被春季返青期,提早温带典型草原和农牧交错带植被的衰退期,从而缩短了生长期<sup>[38]</sup>。

黄土高原地区植被覆盖对降水的响应较为敏感。从年际变化看,植被覆盖变化和降水变化具有很好的一致性,生长期的植被对降水具有很好的响应,尤其是6—8月降水对植被生长影响最大。从年际尺度来看,植被覆盖和降水非常密切,并表现出阶段

特征。20世纪80年代,黄土高原降水处于一个相对的多雨期,同期植被覆盖处于快速上升阶段;进入90年代之后,降水量开始趋势性的减少,植被覆盖随之不再明显上升,而转为小幅波动时期<sup>[39, 40]</sup>。

## 3 结语

从黄土高原气候环境形成和演化的自然背景,以及黄土高原气候环境的区域响应特点,主要认识有:(1)2000多万年前,冬季风环流搬运内陆荒漠大量粉尘到黄河中游地区堆积而成黄土高原;黄土高原与亚洲季风环境和内陆干旱环境密切相关,半干旱一半湿润的、季节反差明显的气候特征经历了不同程度的变化,但一直没有中断而持续发展至今。(2)黄土高原数千年来气候的演化、人类活动及其环境效应,展现出在气候变化和人类活动的双重驱动下黄土高原的气候环境的演变。(3)当代黄土高原气候环境,对全球气候变化响应的敏感区主要集中在高原中部附近,水热组合变化导致明显的暖干化趋势,秋季暖干化趋势突出,等雨量带总体南移,干旱趋于加重;夏季高原西部湿润化、东部干旱化。区域性暴雨事件趋于减少,过程雨量加大,高原中部暴雨非线性机制复杂于周边;土壤水分生长期波动式下降,蓄水期土壤水分波动式上升,总体以下降为主。气候生产力呈递减趋势,变化幅度南部明显大于北部;粮食产量对气候变暖响应不显著,植被生长季延长和生长加速。

今后需要关注的问题有:(1)黄土高原是大气运动的直接产物,黄土高原同时也记载着气候的演变,应该从黄土高原内部寻找记录,可能是今后量化气候系统演变的开拓研究的重点之一。(2)随着全球气候变化,一些极端天气气候事件和突发性气候灾害等短周期气候事件对环境影响强度和频率的演变。(3)区域气候背景方面,暖干化会使原本脆弱的生态系统面临更为严峻的环境条件,干旱化趋势将使生态恢复、农业生产、人居环境面临更大的压力。(4)黄土高原农业生产及生态建设应对气候变化短期效应和长期影响的研究亟待加强。(5)定量区分自然和人为因素在过去的环境和生态变化中的作用,一直是相关研究工作中面临的难点。(6)黄土高原地区的土壤资源是全世界最丰富的,对此认识、利用和发掘相当不足。

该领域相关研究,关注的重点和讨论的不少问题可能会有不同看法,将会在以后的研究中得到解决或深入。

## 参考文献

- [1] Guo Z T, Ruddiman W, Hao Q Z, et al. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China. *Nature*, 2002, 416: 159-163.
- [2] Wang Y, Cheng H, Edwards R L, et al. Millennial—and orbital—scale changes in the East Asian monsoon over the past 224, 000 years. *Nature*, 2008, 451: 1090-1093.
- [3] Hao Q Z, Guo Z T. Spatial variations of magnetic susceptibility of Chinese loess for the last 600 kyr: Implications for monsoon evolution. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 10(B12101): doi: 10.1029/2005JB003765.
- [4] 郭正堂, Fedoroff N, 刘东生. 130ka来黄土—古土壤序列的典型微形态特征与古气候事件. *中国科学(D辑)*, 1996, 26(5): 392-398.
- [5] Wang H, Ambrose S H, Liu C, et al. Paleosol stable isotope evidence for early hominid occupation of East Asian temperate environments. *Quaternary Research*, 1997, 48: 228-238.
- [6] 王绍武, 龚道溢. 全新世几个特征时期的中国气温. *自然科学进展*, 2000, 10(4): 325-332.
- [7] Wang Y, Cheng H, Edwards R L, et al. The Holocene Asian monsoon: Links to solar changes and north atlantic climate. *Science*, 2005, 308: 854-857.
- [8] Chen F H, Zhu Y, Li J J, et al. Abrupt Holocene changes of the Asian monsoon at millennial—and centennial scales: Evidence from lake sediment document in Minqin Basin, NW China. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(23): 1942-1947.
- [9] 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件. *中国科学(B辑)*, 1992, 35(12): 1300-1308.
- [10] Chen F H, Wu W, Holmes J A, et al. A mid-Holocene drought interval as evidenced by lake desiccation in the alashan Plateau, Inner Mongolia, China. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48: 1401-1410.
- [11] Wu W, Liu T. Possible role of the "Holocene Event 3" on the collapse of the Neolithic Cultures around the Central Plain of China. *Quaternary International*, 2004, 117: 153-166.
- [12] 竺可桢. 中国五千年来气候变迁的初步研究. *中国科学*, 1973, 16(2): 226-256.
- [13] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢. 中国小冰期的气候. *第四纪研究*, 1998, (1): 54-64.
- [14] 王绍武, 龚道溢. 全新世几个特征时期的中国气温. *自然科学进展*, 2000, 10(4): 325-332.
- [15] Yang B, Braeuning A, Johnson K R, et al. General characteristics of temperature variation in China during the last two millennia. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(9): 1324-1327.
- [16] 孙湘君, 宋长青, 王璋瑜, 等. 黄土高原南缘10万a以来的植被——陕西渭南黄土剖面的花粉记录. *科学通报*, 1995, 40 (13): 1222-1224.
- [17] 李小强, 周卫健, 安芷生, 等. 沙漠—黄土过渡带13ka BP以来季风演化的古植被记录. *植物学报*, 2000, 42(8): 868-872.
- [18] 刘多森, 李小强, 安芷生, 等. 全新世黄土高原塬区植被特征. *海洋地质与第四纪地质*, 2003, 23(3): 109-114.
- [19] 吕厚远, 刘东生, 郭正堂. 黄土高原地质、历史时期古植被研究状况. *科学通报*, 2003, 48(1): 2-7.
- [20] 符凉斌, 董文杰, 温刚, 等. 全球变化的区域响应和适应. *气象学报*, 2003, 61(2): 245-249.
- [21] 王毅荣. 甘肃岷县山区气温变化趋势分析. *气候与环境研究*, 2006, 11(1): 119-127.
- [22] 张定全, 王毅荣. 中国黄土高原地区春季气温时空特征分析. *高原气象*, 2005, 24(6): 898-904.
- [23] 王毅荣. 1960—2005年黄土高原地区积温演变. *冰川冻土*, 2007, 29(1): 119-125.
- [24] 王毅荣, 吕世华. 黄土高原降水对气候变暖响应的敏感性研究. *冰川冻土*, 2008, 30(1): 43-51.
- [25] 王毅荣, 王锡稳. 中国黄土高原地区4—9月雨量时空变化特征分析. *高原气象*, 2006, 25(4): 737-743.
- [26] 王毅荣, 林纾, 张存杰. 中国黄土高原区域性暴雨时空变化及碎性特征. *高原气象*, 2007, 26(2): 373-379.
- [27] 王锡稳, 王毅荣, 张存杰. 黄土高原典型半干旱区水热变化及其土壤水分响应. *中国沙漠*, 2007, 27(1): 123-129.
- [28] 王毅荣, 姚玉璧. 甘肃黄土高原土壤水分演变特征. *土壤通报*, 2005, 36 (6): 850-855.
- [29] 王毅荣, 林纾, 李耀辉, 等. 甘肃空中水汽含量对全球气候变化响应. *干旱区地理*, 2006, 29 (1): 47-52.
- [30] 王毅荣. 黄土高原秋季气候对全球增暖的暖干化区域响应. *高原气象*, 2008, 27(1): 104-112.
- [31] 王毅荣. 黄河上游牧草区水热变化及土壤水分响应. *自然资源学报*, 2007, 22(2): 260-267.
- [32] 王毅荣. 中国黄土高原地区干旱特征. *干旱区地理*, 2008, 31 (1): 38-43.
- [33] 王毅荣, 林纾. 近70年中国黄土高原气候生产力演变分析. *草业科学*, 2006, 23(9): 1-6.
- [34] 王毅荣, 张存杰. 中国黄土高原气候生产力次区域反向演变特征. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(4): 186-190.
- [35] 秦大河. 气候变化的事实与影响及对策. *中国科学基金*, 2003, 17(1): 1-3.
- [36] 王毅荣. 甘肃省粮油产量对气候变暖的敏感性研究. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(5): 206-207.
- [37] 信忠保, 许炯心, 郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响. *中国科学(D辑)*, 2007, 37(11): 1504-1513.
- [38] Tao F, Yokozawa M, Zhang Z, et al. Land surface phenology dynamics and climate variation in the North East China Transect (NECT) 1982—2000. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29 (19): 5461-5478.
- [39] 齐清, 王天明, 寇晓军, 等. 泾河流域植被覆盖时空演变及其与降水的关系. *植物生态学报*, 2009, 33(2): 246-253.
- [40] 孙睿, 刘昌明, 来启疆. 黄河流域植被覆盖度动态变化与降水的关系. *地理学报*, 2001, 56(6): 667-672.

## A Review of Recent Study Advances in Climatic Environment on China Loess Plateau

Wang Yirong<sup>1,2</sup>, Zhang Qiang<sup>1</sup>, Jiang Shaobo<sup>2</sup>

(1 Institute of Arid Meteorology/ Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province/ Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of CMA, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020 2 Meteorological Bureau of Dingxi, Dingxi 743000)

**Abstract:** The Loess Plateau is a plateau that covers an area of about 640,000 km<sup>2</sup> in the upper and middle reaches of China's Yellow River. The Loess Plateau was formed over long geologic times, and some works of writing have provided valuable information about climate environment change from samples taken from the deep layer of its silty soil, data observed by satellite instrumentation, and historical documents. The Loess Plateau was highly fertile and easy to farm in ancient times, which contributed to the development of early Chinese civilization around the Loess Plateau. In medieval times of China, people stayed here to grow rice. Centuries of deforestation and over-grazing, exacerbated by China's population increase, have resulted in

degenerated ecosystems, desertification, and poor local economies; in fact, the soil of this region has been called the most highly erodible soil at 22 Ma BP, and the fine-grained silt was picked up by strong prevailing westerly winds. Huge dust clouds moved and redeposited over loess plateau areas. Due to the nature of loess soil and its ability to slope in vertical columns when flooding occurs, the stabilized soil-layers were eroded into the corrugated, sharply-dissected bluffs we see today. During the last Ice Age, sometime the north monsoon retreated and south-east monsoon more developed and vast amounts of water vapor and heat-resource flowed into the plateau region. The sediment was deposited on the floodplain, creating huge soil flats. When meltwaters receded, these mud flats were exposed. The Loess plateau has a rich archaeological heritage. The region in response to global climate change on China's loess plateau, showed that the climate became warmer and drier in autumn over the plateau; Winter rainfall was trending up; the west part of the plateau became wet; the east part became arid in summer. The seasonal and regional characteristics were very clear. The sensitivity regions of rainfall were different, moving westward and southward from spring to winter. Some of rain items, such as the rainfall day, maximum rainfall in a day and rainfall during continuum continual rain, had sensitivity of rainfall in response to regions in the annual timescale; the rain items had obvious differences on remarkable phases, and had interdecadal timescale periods. The water of soil absorption changed in a whole year. Different crops had different effects on vertical distribution of soil moisture. The water of soil became lost during the crop growth period, in store-water times instead. The crop output and surface air temperature data in the time-domain can detect the most predominant modes coupling them. It is more sensitive for the output and temperature in wheat, corn and flax, respectively, which implies that the output sensitivity to temperature is higher west of the Yellow River, lower in the Loess Plateau. The crops in response to the rainfall and temperatures were different in other periods. The crops do well in the long periods whereas they decay in short periods in less rainfall times. The temperature displayed obvious periods in cold times, on the contrary in warm times. The main characteristic of soil water was arid. The change of soil water had an obvious effect on the variance of rainfall and temperature with climate, decade-days and short period oscillation. The warm-drought climate developed from the fact that the quantity of total and low cloud became reduced. Whole consistent region response was most characteristic of the warm-drought climate evolution.

**Key words:** China Loess Plateau, climatic environment, evolution, review

(上接60页)

本书第一章介绍了化石燃料作为人类社会的主要能源，是经济、社会发展的物质基础，同时也阐释了化石燃料与全球变暖的关系；第二章就主要的温室气体，如：CO<sub>2</sub>、黑碳，分别对其特性、来源以及相关的健康效应做了详细介绍，并结合美国的大气污染物排放清单，对这些温室气体的主要人为来源进行了对比分析；第三章从发展模式、生活方式、人口增长及大气中温室气体的变化过程等多个方面全面回顾了18世纪工业革命以来到19世纪

中期，人类社会发生的巨大变化，并叙述了这一过程对全球气候变化所造成的重要影响，从可持续发展的角度，提出了应大力发展绿色经济；第四章—第六章就目前高速发展所带来的大气污染和气候变暖问题进行了深入分析，针对不同行业分别介绍了该行业对全球变暖的应对及未来的发展方向，其中重点介绍了绿色建筑、绿色交通以及绿色能源和经济燃料等概念。并以当前环保型汽车的研发为例，指出无论是个人还是社会都应承担起应对

气候变化的责任。第七章介绍了农业对大气环境及全球变暖的影响及相应的减缓措施。第八章和第九章主要关注生物燃料、可替换能源以及环保型汽车等重点技术领域的发展，对这些领域当前的技术现状及主要研究方向进行了详细介绍，并对相关技术进行了分析对比。最后一章则对未来的能源需求以及新技术的发展方向进行了简要评述和概括，并强调了应加强对公众的气候变化知识宣传。

(作者单位：中国气象局培训中心)

# 天气信息大众传播的发展历程回顾

叶梦姝<sup>1,2</sup> 陈力丹<sup>2</sup>

(1 中国气象局培训中心, 北京 100081; 2 中国人民大学, 北京 100871)

**摘要:** 通过对历史上天气信息在大众传媒上刊播形式和内容的考察, 回顾了大众传媒刊播天气信息的起源和发展, 并从传播内容、表达方式、传播媒介等方面, 将大众传播刊载天气信息的历史进程划分为四个阶段。研究表明, 这一历史进程中天气信息的报道量和报道频率显著增加, 报道内容的侧重点从“天气新闻”到“天气报告”再到“天气预报”, 报道风格经历了多样化的尝试之后, 逐渐走上了专业化道路; 天气信息传播以全球化的视角逐渐融合资源、环境、健康等信息, 成为当代新闻信息中不可或缺的一部分。

**关键词:** 天气信息, 大众传播, 科学传播, 气象传播史

## 引言

天气是一定区域一定时间内的大气状态及其变化的总称。古今中外, 天气都是人们喜欢讨论的话题之一, 在现代社会, 更是从日常生活安排到政务决策的重要参考。天气信息一直是报纸、广播、电视上不可缺少的重要内容, 并且随着手机、互联网等新媒体形式的出现, 天气信息的传播渠道更为丰富和多样化, 信息发布更为及时。天气信息的传播既依赖现代气象科学的发展, 又受到传播渠道科技水平和受众需求的影响, 也是社会文化的具体体现。

关于天气信息传播的一手资料非常丰富, 如历史时期的报刊、科学观测记录等。但对本话题的学术研究较少, 相关研究成果分散在科学史、行业发展史、传媒发展史和科学技术与社会(STS)等领域。20世纪40年代, 美国气象学教授G.Emmons<sup>[1]</sup>曾对天气信息的大众传播提出过建议; Robert Henson<sup>[2]</sup>总结了以美国为中心的20世纪广播和电视媒体上天气新闻的传播史。原美国气象频道首席执行官Frank Batten<sup>[3]</sup>系统回顾了1982年美国气象频道成立至今的发展历程。在我国, 石永怡<sup>[4]</sup>、张志锋、陈娟<sup>[5]</sup>等较为全面地总结了英、美、日等国家报纸的天气信息报道方式和专业气象频道的发展经验, 系统回顾了我国80年代以来报纸和电视上天气信息传播从“直线报告”到“立体解读”、从“无足轻重的服务性信息”变成“新闻媒体上重要的新闻品种”的转变, 以及我国专业气象频道的发展道路。

对于气象和社会文化交互关系的研究, 最早见于英国化学家Luke Howard<sup>[6]</sup>在19世纪早期对人们谈论天气和理解天气方式的研究。Jankovic Vladimir和Jan Colonski<sup>[7]</sup>总结了启蒙时期英国天气和气候概念的内涵, 以及天气条件对人类关于自身理性和能动性认识

的影响。Bernard Mergen<sup>[8]</sup>论述了20世纪美国的天气信息的文化传统, 包括如何理解天气和进行天气信息传播等。

本文通过对各个历史时期不同国家天气信息传播情况的总结, 运用历史资料分析的方法, 对天气信息传播各个阶段的主要特征及其形成原因进行了分析和归纳, 对天气信息传播和社会文化的关系做了初步探讨。

## 1 天气信息大众传播的起源

关于天气信息记录的历史非常悠久, 可以追溯至古埃及的泥板历书, 以及中国商朝甲骨文中记载的天气变化。欧洲启蒙运动之后, 科学家开始尝试对天气现象进行定量的科学研究。天气信息的大众传播肇始于1850年前后, 当时以市民化报刊为主的大众传媒在工业革命的浪潮中兴起, 公民社会和大众文化逐渐形成, 天气信息及相关知识迅速传播普及。

一个半世纪以来, 人类社会飞速发展, 全球政治、经济和文化格局发生了剧烈变化, 大众传媒经历了从报纸到广播、电视, 再到互联网的变革, 气象科学在发展进步中形成了更加丰富的信息服务产品, 共同导致了天气信息传播从天气新闻阶段, 到天气报告阶段, 到普及和多种风格的尝试阶段以及全媒体互动阶段的变化。

## 2 天气信息大众传播的发展历程及主要特征分析

### 2.1 天气新闻阶段(1850—1900年)

在15世纪末德国的印刷新闻纸中, 就记载有天气信息; 创办于1704年的美国第一份连续发行的报纸《波士顿新闻信》刊有气象短讯、暴风雨消息<sup>[9]</sup>。1851年9月《纽约时报》创刊时, 就在费城、波士顿、麻省的地方新闻中记载了当地的天气状况。在这一阶段, 报纸通常追溯几日发生的天气变化, 报道的时间和报道方式都不固定, 往往只有一句话, 例如“像过去的两周一样, 春分为我们带来了好天气”<sup>[10]</sup>。在报

收稿日期: 2011年7月19日; 修回日期: 2011年7月27日

第一作者: 叶梦姝(1987—), Email:rucy.ye@gmail.com

纸版面上，天气信息通常与年历、船期、邮政信息等公共服务信息混杂在一起，还没有成为独立的内容板块。

专业化气象机构的成立大大推动了天气信息的传播普及，报纸上的天气信息的报道逐渐规律化、规范化。1854年的克里米亚战争使天气图预报成为业务工作。1856年法国建立了世界上第一个正规的天气预报业务系统，并逐渐推广建立了欧洲天气观测网。到19世纪末已经有21个国家成立了气象机构，他们负责通过电报网络收集各地的天气信息，并发布给媒体。

天气图的使用是天气信息规范化的显著表现，这不仅是气象科学发展上的重要进步，也是天气信息传播史上的飞跃。1860年，R.Fitz-Roy在伦敦开始用电话收集天气报告，绘成天气图，并每天在报纸上公布。1875年4月1日伦敦《泰晤士报》上刊登了弗朗西斯·高尔顿绘制的天气图。法国最早出版的天气图是由巴黎观象台绘制的1863年9月7日的欧洲天气概况。在1876年*Herald*上刊登了第一幅美国天气图。

为服务殖民贸易，西方传教士建立了远东最早的三个现代观象台，进行天气信息记录和传播。据资料记载，1872年法国天主教耶稣会在上海建立徐家汇天文台之后，最早于光绪八年（1882年）在上海报纸上刊有天气信息，后来在上海外滩设立了信号塔，并开始发布台风警报。上海徐家汇观象台开创了中国现代天气信息传播的先河。

## 2.2 天气报告阶段（1900—1945年）

进入20世纪，两次世界大战对天气信息的需求、科学技术的飞速发展，在客观上促进了气象科学的完善，大大改变了媒体上天气信息的样态：天气信息形成了以报告为主、预报为辅的传播模式，内容包括气温、气压、降水、日照时数等多样气象要素；从媒介形态上看，报纸和广播对天气信息的报道量都大幅增加，“天气报告和预报”成为了大众传媒上固定、独立的板块；随着天气信息的大众传播以及现代气象科学体系的完善，公众熟知的“天气现象”被“气象”这个专业化、科学化的新概念所取代，并对天气信息表现出强烈的需求。

1871年美国气象办公室成立之初，只为两家当地报纸提供官方气象信息。1910年美国国家气象局成立之后，为65家媒体提供气象信息，1912年增加到91个城市的147家媒体<sup>[11]</sup>。20世纪初《泰晤士报》的天气信息已经非常丰富，内容方面除了天气、温度、水、日照时间之外，还包括国内旅游胜地天气报告，欧洲航线的高空天气情况，以及地球深处温度报告等。

广播电台出现后，天气信息是播报的内容之一。1914年，美国国家气象局通过与海军部海军广播电台的合作，播报墨西哥湾和大西洋西部的每日风力风向预报和暴风警报。1920年11月世界上第一座面向社会的广播电台成立，1921年美国就有35个州的98个商业台每日播报天气预报和气象预警。1922年，英国最早的民营广播公司（BBC，并非现在公营的BBC）于11月14日向公众播出了该台第一条天气报告，从1923年3月26日，该台开始播出每日天气预报。在中国，1928年《大公报》上刊登的“广播无线电今日节目”里面就包括气象信息。

这一阶段的广播天气信息的风格是严肃、科学的，广播稿需要经过气象专业学习的人来撰写。媒体出于吸引受众的需要，不仅强调天气信息的实用性，还要求天气节目有特色、能够展现播报员的个人魅力，如第一位全职的天气解说员E.B.Rideout主持的“Chat with the Weatherman”节目便是这样。1938年10月30日，美国哥伦比亚广播公司（CBS）播出广播剧《世界大战》引起了全国恐慌，在慎用广播媒体影响力的舆论压力下，天气节目也变得谨慎起来，放弃了生动活泼的演绎，只在10分钟的天气节目中朗读全国的温度和气压数据<sup>[12]</sup>。最早的订制天气信息服务，开始于1939年。那年起，美国国家气象局在纽约市提供自动电话气象服务，公众可以在录音系统里通过电话按钮选择自己需要的天气信息。

1936年11月11日，英国广播公司电视一台（BBC ONE）开播之后不到10天，就以静态的天气图配播音员解说的方式播出了世界上第一条电视天气预报。二战期间，欧洲的电视台全部毁于战火，天气信息一定程度上成为军事秘密。

## 2.3 普及和尝试阶段（1945—1990年）

二战结束之后，全球迎来了一个相对和平的发展时期，天气信息传播的形式、内容、频次都发生了很大变化。首先，电视的普及扩大了天气信息的覆盖率，天气信息逐渐为全世界人民所熟悉；第二，市场的激烈竞争使得媒体尝试了多种娱乐化的天气信息表现手法；第三，科学技术进步在天气信息传播中起到了决定性的影响，天气图、卫星云图和电视技术改变了电视天气信息的样态；第四，受众对天气信息十分关注，并且对于预报天气、控制天气充满了乐观想象，天气预报的信息量超过天气报告，成为了天气信息的主要内容。

电视的普及改变了天气信息传播的面貌，标志着天气信息传播进入了一个全新的时代。20世纪50年代初美国的全部70家电视台都有天气信息播报，在晚

八点新闻节目之后，娱乐节目之前，时间五分钟左右。在二战后西方国家电视传媒发展的黄金时期，天气信息也随着电视的普及走进了千家万户。

战后和平时期激烈的媒体竞争，造成对播报新奇风格的追捧，于是在20世纪50—70年代，电视天气信息出现了低俗、搞笑、色情等不同的播报方式，动物、木偶、扮装、比基尼女郎，都成为了天气播报员的外在形象，诗文朗诵、歌曲演唱、聊天对话、动画片，都是天气信息的表达方式。可以说是利用各种形式对天气信息进行演绎，有学者干脆称之为娱乐型天气报道。有40年天气报道经历的美国著名主持人Willard Scott是这种风格的典型代表：1980—1996年，他在美国最受欢迎的早间新闻节目NBC《今日》(Today)担任气象主播时，曾经化妆成巴西女歌手卡伦·米兰达(Carmen Miranda)。与此同时，AccuWeather公司于1962年成立，它后来成为世界上最权威的天气信息提供商之一。

由于气象学界和新闻传播业界的规范、新闻专业主义的倡导，同时也鉴于人们对极端天气影响的重视，20世纪80年代之后，端庄严肃的天气信息播报风格逐渐形成。1982年，第一个专门的天气频道“美国天气频道”(The Weather Channel)开播。二战结束之后由未来主义思潮和科技决定论导致的对人工影响天气的盲目乐观也逐渐消退。

#### 2.4 全媒体互动阶段(1990年至今)

20世纪90年代以来，天气信息的信息量、传播速度、传播范围都出现了井喷式的增长，传播方式出现了革命性的改变。天气信息传播进入了全媒体互动阶段：报纸、广播、电视等传统媒体继续着天气信息传播的改革，手机、网络等新媒体整合了文字、声音、影像等表达方式，成为了天气信息传播的新平台；网络融合、终端融合等技术使得在任何时间地点、通过任意方式接收天气信息成为现实。

在《今日美国》报率先推出彩色地图的天气专版后，其他媒体纷纷效仿，报纸上的天气信息呈现出了崭新的面貌：天气版面上观测数据、历年同期记录等纯粹的科学信息逐渐减少，“舒适度”、“穿衣指数”、“滑雪适宜度”等各种服务性信息越发丰富；简明直观的地图、直方图等表现形式取代了文字叙述；天气信息的外延进一步扩展，与环境、资源、健康等信息整合，例如《纽约时报》的天气专版就刊登了城市存水量、空气污染指数、电力信息等。

新媒体对天气信息的传播和传统媒体的最大不同在于，它能够提供个性化的信息服务，满足双向互动的需要。昔日的气象语音服务，在大多数国家依然是

重要的气象信息服务方式之一。但在移动电话问世之后，全球移动电话用户数呈指数增长，目前全球手机用户总数已经超过50亿。2000年以来，天气预报手机气象短信服务已成为我国气象科技服务的一个新的增长点，目前在我国约9亿的手机用户中，已有接近八分之一的用户订阅了短信天气信息服务。

网络媒体的天气信息服务功能得到了世界各国的普遍认可，Alexa网站的数据显示，有近20家独立天气网站访问量在世界排名1万名以内，其中希腊、美国、加拿大、澳大利亚、芬兰、法国的天气网站的访问量在该地区位居前50位。美国天气频道(TWC)和气象信息公司AccuWeather是气象网站中的领头羊。TWC今天已经发展成为集有线电视、广播、网站、数据库为一体的全媒体集团，其网站www.weather.com成立于1994年，是全球访问量最高的天气网站。AccuWeather公司提供世界上超过200万个地点的天气信息，为100万个站点提供逐小时的气温、湿度、云量、光照强度预报，每三小时的降水概率预报、雷达回波图、卫星云图和水汽云图，为超过17万家媒体、商业公司、政府及其它组织提供付费服务。在Web2.0技术的支持下，AccuWeather网站提供流媒体视频、桌面工具、用户订阅和驻站气象专家专栏、论坛等更多的服务方式。

### 3 结论

一个半世纪以来的气象信息大众传播历程显示，天气信息的传播不仅是气象科学发展的产物，也是科学、技术、政治、经济与社会文化发展和互动的结果。经过了天气新闻阶段、天气报告阶段、普及和尝试阶段以及全媒体互动阶段这四个阶段的发展，天气信息逐渐成为了大众传媒上惯常内容，也成为了现代社会平稳运转的重要参考信息。在其发展过程中，天气信息的报道量和报道频率显著增加，报道内容的侧重点从“天气新闻”到“天气报告”，最后演变成“天气预报”，信息种类根据社会需求和受众偏好不断调整变化；在激烈的传媒竞争条件下，天气信息的报道风格经历了搞笑、低俗等尝试，但随着气象事业的不断发展，天气信息的大众传播也逐渐走上了专业化道路，以大城市为核心，以全球化为视角，融合资源、环境、健康等信息，成为当代社会文化的组成部分。在大众传媒信息传播的推动下，几千年来分散的、感性的、没有统一规范的天气预测，变成了集中的、客观的、规范化的“天气预报”，走进了百姓的日常生活，成为了科学服务现代生活的典范。

#### 参考文献

- [1] Emmons G. Suggestions for improve presentation of weather

# 气象文化研究综述

刘立成<sup>1</sup> 胡睿<sup>2</sup>

(1 湖北省气象局, 武汉 430074; 2 华中师范大学文学院, 武汉 430079)

**摘要:** 气象文化研究近年来为学术界所重视, 学者们从文学、史学、管理学等多角度进行了研究, 本文从气象文化概念分析、气象文化研究的类别等方面进行梳理, 并分析指出了气象文化研究的一些新的方法和领域。

**关键词:** 气象, 文化, 研究, 综述

随着气候变化成为国际关注的重大问题, 气象文化的研究也日益成为学者关注和研究的对象, 气象文化究竟应该从哪些方面去认识, 其内涵和外延如何, 气象文化的研究呈现出哪些特色? 本文试图进行一些梳理, 为气象文化研究提供参考。

## 1 气象文化的含义

1871年英国文化人类学家泰勒提出了第一个明确的文化定义: “文化是一个复合体, 包括知识、信仰、艺术、道德、法律、风俗以及人类在社会里所获得的一切能力和习惯。” 克娄伯与克鲁克洪曾统计, 1871年至1951年共80年间文化的定义竟达164种之多, 主要有描述性、历史性、规范性、心理性、结构性、遗传性6大类。我国学者司马云杰认为: “文化乃是人类创造的不同形态的特质所构成的复合体。” 《辞海》解释: “文化广义指人类社会历史过

程中所创造的物质财富和精神财富的总和。狭义指社会的意识形态, 以及与之相适应的制度和组织结构。”

文化就其本质而言, 是在协调人与自然的关 系、人与人的关系过程中, 体现人类价值的一切有意识、有目的的创造活动过程及其结果。气象文化典型地反映了人与自然的关 系, 是文化的重要组成部分。人们与各种气象条件建立联系, 在利用气象、发展气象、改造气象中, 求得生存和发展。一部人类文化史, 也就是一部气象文化史<sup>[1]</sup>。

关于气象文化的定义, 学者从不同角度予以探索。但是有一点是相同的, 即认为气象文化有广义与狭义之分。一般认为, 气象文化从广义上讲, 是指人类社会历史发展过程中创造的有 关气象方面的物质财富和精神财富的总和; 从狭义上讲, 是专指有 关气象方面的各种精神财富的总和。尚永年认为, 广义上的气象文化, 是指气象工作者在发展气象事业过程中

收稿日期: 2011年7月18日; 修回日期: 2011年8月1日

第一作者: 刘立成 (1968—), Email:liu7453@126.com

- information to the public. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1940: 311-315.
- [2] Henson R. *Television Weathercasting: A history*. Mcfarland & Co Inc Pub, 1990, 8: 8.
- [3] Batten F. *The Weather Channel: The Improbable Rise of A Media Phenomenon*. Boston Massachusetts: Harvard Business School Press, 2002.
- [4] 石永怡, 李如彬, 张开荣. 国外气象频道发展经验与中国气象频道发展道路. *气象*, 2009, 6.
- [5] 陈娟. 解析气象新闻二十年嬗变. *中国记者*, 2005, 11.
- [6] Howard L. *The Climate of London Deduced from Meteorological Observations Made at Different Places in the Neighborhood of the Metropolis*. London: Nabu Press, 2010.

- [7] Colonski J. *British Weather and the Climate of Enlightenment*. Chicago: The University of Chicago Press, 2007: 134.
- [8] Mergen B. *Weather Matters: An American Cultural History since 1900*. Kansas: University Press of Kansas, 2008: 17.
- [9] 张志锋. 中外报纸气象报道探析. *国际新闻界*, 2003, 4.
- [10] *The Equinox brings with it a continuation of the delightful weather which we have enjoyed- for the last fortnight*. *New York Times*, 20 Sep. 1851.
- [11] Lester P M. *Visual communication: Images with messages*. Thomson Wadsworth, 2006: 178.
- [12] Fidler J C. *Popularizing the weather broadcast*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1938: 310-317.

## Historical Review of Weather Information in Mass Communication

Ye Mengshu<sup>1,2</sup>, Chen Lidan<sup>2</sup>

(1 CMA Training Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081 2 Renmin University, Beijing 100871)

**Abstract:** Through review of weather information on newspapers, broadcasting, television and other kinds of mass media, this essay discussed about the orientation and development of the 150-year communication history of weather information. The whole process can be divided into four periods based on the characteristic of contents, presentation and media category. During the four periods, the coverage and frequency of weather information increased dramatically; the content changed from weather news to weather reports and eventually weather prediction; it expressed in a professional manner after the attempt of diversified style, including entertaining land erosive form; and finally, integrating the information of natural resources, environment as well as health from the global point of view, weather information becomes the crucial parts of modern news.

**Key words:** weather information, mass communication, science communication, weather communication history

所创造的气象科学技术成果、业务服务能力，以及与之相适应的管理理念、创新意识、法制观念、道德标准、思想文化建设以及气象人的精神风貌等<sup>[2]</sup>。吴效刚认为，气象文化是有关气象的文化。广义的气象文化泛指人类在认识气候现象和开展气象事业中创造的一切物质的和非物质的成果；狭义的气象文化则是指人们认识气候现象和从事气象活动的具有社会大众性的文化成果<sup>[3]</sup>。和文农认为，广义的气象文化是指气象人在气象事业的实践中所创造的全部物质财富与精神财富的总和。狭义的气象文化是指气象人在从事气象事业的实践中所形成的具有气象特色的思想、意识、观念等意识形态和行为模式，以及与之相适应的组织体系和制度<sup>[4]</sup>。

随着现代气象科学的发展，气象行业成为社会分工的重要组成部分，成为现代气象文化的主要创造者。一些学者认为，现代气象文化，实际上是一种现代意义的气象行业组织文化。组织文化是指一个组织在长期发展过程中，把组织内全体成员结合在一起的行为方式、价值观念和道德规范。它是管理精神世界中最核心、最本质的东西。所谓气象行业组织文化是指气象员工在长期的生产实践活动中培育形成并共同遵循的最高目标、价值标准、基本信念及行为规范，它是一种管理文化、经济文化及微观组织文化。气象行业组织文化的结构分为物质层、制度层、精神层。物质层是气象行业文化的表层，是形成制度层和精神层的条件，它能折射出气象行业的工作思想、管理哲学、工作作风和审美意识。主要包括各级气象部门台站风貌、气象产品外观及包装、气象现代化设备等。制度层是气象行业文化的中间层，是指对气象员工和行业组织行为产生规范性、约束性影响的部分，集中体现了行业文化的物质层及精神层对员工和气象行业组织行为的要求，主要是规定了行业成员在共同的生产经营活动中所应当遵循的行动准则，包括工作制度、责任制度和特殊制度。精神层主要指气象行业领导和员工共同信守的基本信念、价值原则、职业道德及精神风貌，它是气象行业文化的核心和灵魂，是形成气象行业文化的物质层和制度层的基础和原则。主要包括气象行业哲学、行业精神、行业风气、行业目标及行业道德等。它是衡量一个行业是否形成了自己行业文化的一个重要标志<sup>[1]</sup>。

关于气象文化即气象行业文化的表述，以赵海燕为代表，赵海燕认为，气象文化就是气象这个行业、部门的“价值理念”、“思维方式”及其相应的制度、体制和根本方法，以及外在的精神风貌和行为样态等总和。从宏观上讲是气象发生、发展的指导理

念、思想；从中观上讲就是指导思想得以实施的制度和体制规定；从微观上来说就是这个行业、部门的行为样态、习惯。在更一般的意义上，气象文化可以概括为气象发展过程中形成的一切积极成果的总和，包括气象物质文化，也就是人们常说的气象生产力；气象精神文化，也就是气象发展的思想、观念和理论形态；气象行为文化，也就是气象从业人员的行为方式、样态和习惯。气象文化具体又可分为：气象指导思想，发展理念，管理制度、理念和方式方法，以及日常行为规范等<sup>[5]</sup>。和文农也认为，气象文化是一种行业文化，它是整个社会文化的一个组成部分，一个子系统。因此，它既具有社会文化的一般属性，又具有气象事业的显著特点<sup>[4]</sup>。宋培玲<sup>[6]</sup>、王伟雄<sup>[7]</sup>也有类似的观点。

近年来，学者又对气象文化是否仅仅为行业文化进行了不同程度的反思。如南京信息工程大学吴效刚先生认为，气象文化是指人们认识气候现象和从事气象活动的具有社会大众性的文化成果。所谓社会大众性，就是直接涉及社会大众的或者属于社会大众的，非直接涉及或属于社会大众的，如由气象专业人员进行的气象探测和气象科研，在没有成为公众气象信息时就不包括在狭义的气象文化内涵中。他认为其内涵应当包括：气象人文精神；全社会的气象意识；气象文化对公共生活的渗透、对社会价值观念的影响；气象管理，包括气象法规体系建构，部门规章制度建设以及法规、规章的贯彻落实；气象知识普及和提升公民气象知识水平；提高公共气象信息服务水平；中国古代气象文献整理发掘和利用以及对外国气象文献资料的翻译介绍和利用；中国气象史、世界气象史的研究；气象文化基础设施建设，包括气象报刊杂志的发行，气象电视和广播频道的开设、节目制作和播出，气象图书的出版发行，气象网络资源利用，气象展览场馆建设等。他强调把气象文化概念确认为一种社会性气象文化大概念并重新进行阐释和分析，将有助于人们在更宏观的视野中审视气象文化，增强对气象文化独特性和重要性的认识。把社会生产生活中有关气象的文化活动都纳入气象文化之中，扩展气象文化的内涵和外延，拓展气象文化工作领域，将有助于形成更好的气象文化建设的社会环境氛围，调动社会各界参与气象文化建设的积极性和主动性，争取更多的社会力量投入到气象文化建设之中<sup>[3]</sup>。

赵海燕、刘倩倩则提出了和谐社会视阈下的先进气象文化建设问题，认为先进气象文化是和谐社会图景建设中和谐气象的当然意旨，先进气象文化建设是实现和谐气象乃至和谐社会的重要途径。先进气象文化是全面、和谐以及面向全球、大众的文化。和

谐社会视阈下的先进气象文化建设应统筹传统气象文化与现代气象文化、统筹国内气象文化与国外气象文化、统筹政府气象文化建设和民间气象文化建设、统筹气象物质文化与气象制度文化、气象精神文化<sup>[8]</sup>。此外，赵海燕等还提出“返本方可开新”，要从气象文化发展史的角度来研究气象文化<sup>[9]</sup>。

## 2 气象文化研究的类别

本文对目前所见著述进行梳理，从气象民俗文化、气象行业文化、气象制度文化、气象档案文化、语言文学中的气象文化以及边缘气象文化等六个方面来综述其研究现状。

### 2.1 气象民俗文化

气象民俗文化是气象文化研究的热点，其考察的核心对象为气象谚语和二十四节气。

此类书籍以汇集性为主，如铜仁专署气象局所编的《气象谚语》，熊第怨编著的《气象谚语浅释》和《中国气象谚语》，冯宏章等编著的《中华气象谚语》，严光华、官秀珠编著的《气象与农谚》和《农业气象谚语280》，许以平编著的《气象谚语与气象病》，高桂莲、施连芳编著的《气象谚语与历法节气趣谈》，李德编著的《漫话节气民俗与气象》等。汇集类书籍旨在收纳中国民俗中的气象谚语，并对气象谚语和二十四节气进行了一定程度的诠释，但相关书籍科普性质的倾向导致在学术研究的专业深度上有所欠缺。

姜海如等编著的《气象文化与民俗》一书在深度和广度上相对有所延展。该书以气象文化为切入点，对我国古代散落在天文学、医学、建筑学、农学、哲学、政治学、军事学、历史学和民俗学等不同领域中的气象记载，进行了系统的整理，提出了不少独到的见解。此书还具体介绍了中国古代“天人合一”的思想在各个领域的渗透和应用，为现代人实现“人与自然和谐”提供了有益的借鉴。

论文类的文献相较书籍类文献，在气象民俗文化的研究上学术性要更为强些，其角度也呈多元化状态。刘昭民《台湾古代的气象谚语》全面系统地收集了台湾清代的文献资料，分特殊气象谚语与一般气象谚语两部分进行了论述。崔玉霞的《二十四节气中的文化底蕴》，对二十四节气中蕴含的中华民族传统习俗和文化内蕴进行了探掘。李勇《二十四节气之占与传统文化反思》以回归分析的方法研究了二十四节气的占卜辞，在其中找寻中国传统文化的源头。邓新亨《对天气谚语的科学考察》从天气谚语的类型、科学价值、局限性、应用中的注意事项等做了较为系统的考察。胡轶《中西气象谚语的差异与暗合》对中西方

的气象谚语进行了比较分析，从中考察出气象谚语所暗合的不同意义。这些论文的选题各有独到之处，显示出学界思维的发散性。

气象民俗文化在普及方面已然卓有成果，然而在专业角度的深入考察上仍留有许多可供研究的余地，从纵深方向对气象民俗文化的形成、发展与影响，并从多学科角度进行研究，是这一领域的未来研究的主要方向。

### 2.2 气象行业文化

气象行业文化研究旨在探讨气象部门的文化建设问题，该类问题的深入研讨，无疑是有力地促进了气象行业建设其独特的文化特色。此类研究著述在数量上占据了绝对的优势，可见气象行业内部的思考与讨论是十分广泛而深入的。

气象行业文化的讨论以单篇论文为主，论著不多，所见亦多为结集类，如中国气象局文明办所编的《天地情怀：中国气象人精神演讲辑》、中国气象局精神文明建设办公室编的《创建文明气象行业的实践与思考》等即为代表。这些书籍是对气象行业发展的示范经验与理论探讨的结集。

气象行业文化的论文数量浩繁，此处难以一一列举，但无外乎以下三类：一是笼统地讨论气象部门的行业文化建设，主要是在肯定建设行业文化重要性的基础上，对行业文化的目标和内涵进行了广泛的讨论，多强调思想政治工作、职业道德建设以及服务的规范化。二是基层部门在建设气象文化中的经验总结与思考，如福建、湖北、河南、陕西、山西、江西、新疆、青海、内蒙古、西藏、四川等省（区）气象局的基层气象部门都做出了不同程度的讨论。三是探讨气象行业的一些具体工作的发展，如对气象新闻、气象预报和气象广告产业的现状分析与未来展望。

从所见研究成果来看，气象行业文化的讨论比较广泛，但尚处于散漫的阶段，还未形成其系统，因此重复研究的颇多，在今后的研究中，系统性地研究论述气象行业文化的特征、内涵、发展趋势，无疑是未来的发展态势。

### 2.3 气象制度文化

气象制度文化是当代中国社会法制进程推进的必然产物，在各个行业走向规范化、法制化的今天，气象行业如何规范便成为该领域必然关注的问题。

自2000年1月1日起《中华人民共和国气象法》（简称《气象法》）正式实施，气象部门逐步走上法制管理的轨道。相应的，社会各界对《气象法》的学习需求显得十分紧迫。《气象法》的读本与释义类书

籍便应运而生。此类书籍有温克刚主编的《中华人民共和国气象法读本》，曹康泰、温克刚主编的《中华人民共和国气象法释义》，卞耀武等主编的《中华人民共和国气象法释义》等。

随着《气象法》的实施，对气象法学的相应讨论也逐步展开。姜海如编著的《气象法应用理论解析》，对气象法学的基本法理和有关应用理论进行了讨论，钮敏主编的《气象法理论与应用问题研究》以法学理论为基础，对气象法的历史发展、体系、概念与调整对象、功能与价值、原则与研究方法，以及气象探测法等具体法规，进行了全面性的论述。焦冶主编的《气象法概论》针对我国的气象法现状，对气象法学进行重新定义，对气象立法问题进行了细致的研究。2008年中国政法大学许雪松的硕士论文《气象知识产权研究》对气象知识产权问题进行了深入的探讨。一些期刊论文也对《气象法》的修订和前景做出了不同的思考，有的提出可持续发展的目标，也有的对具体立法如《气象灾害防御法》进行研究，还有的对气象法学的基本理论进行探究。

学者不仅探讨气象立法，也从不同角度探讨气象执法。郑国光主编的《气象行政执法文书写作与范本》，李修池、刘献华主编的《气象行政执法案例与评析》，刘宪华主编的《气象行政执法案例解析》等书，旨在对气象行政执法的规范性做出引导性讨论。

气象制度文化应该说历史悠久，但是从气象法制角度来探讨气象制度文化，则历时不长，可以说尚处于起步阶段，但其重要性不容忽视，此类研究有待学界进一步拓展和深化。

## 2.4 气象档案文化

气象档案指的是从历史留存的资料中找寻有关气象信息的记载，在这些记载中挖掘和整理气象文化，便是所谓的气象档案研究。

丁海斌、冷静的《中国古代气象档案遗存及其科技文化价值研究》，对直接遗存和间接遗存这两类气象档案的遗存情况进行了阐述和价值重估。此类研究是气象档案文化的基础性研究，为气象的档案整理提供了最基本的资料来源。

对气象的档案资料进行具体整理和研究，已有一些学者陆续开展，并且不失细致。如张德二主编、蒋光美等编写的《中国三千年气象记录总集》汇集了自殷商时代而来的三千多年间各地天气、气候状况，大气物理现象以及与气象条件有关的虫害、疫病、饥荒等文字记录。其工程浩大，不避繁琐，为中国古代气象档案资料全面性汇集，方便研究者们在其中找寻所需的相应气象资料。江西科学技术出版社1986年出版

的《百年气象历书》辑录了从1901—2000年间的阴阳历对照表。并根据农业生产的需要着重编选了一般的气象知识。

从史料中挖掘气象的记载档案，有利于气象科学的研究，相应的，这类研究也成为气象文化研究中不可或缺的一类。但因气象史料散落在浩繁的历史文献和档案中，所以研究相对展开得比较缓慢，所见成果也不太多，这类研究因此有极大的发展空间。

## 2.5 语言文学中的气象文化

气象记载不仅存在于史料中，而且在语言和文学的范畴内也不难觅其踪迹。因此，从语言学和文学的角度去寻找气象文化，是一个前景广阔的领域，目前所见论著论文并不多。

从语言学的范畴考察气象文化的主要有下述论文。王国祯的《青海地区语言艺术中的气象现象》对青海地区的语言中的气象现象进行了考察，具体涉及四个方面：气象词汇在古诗词中的应用，河湟花儿中的气象现象，气象现象对现代熟语的影响，气象词汇与未来青海语言艺术的发展。褚俊海、郭爱涛的《汉字中的古代中原气象信息》通过“豫”字与象、“个”字与竹、财字与“贝”、气候变迁在成语中的迹象等方面，从语言文字中找寻古代中原地区气候变化的痕迹。

气象类的意象出现于文学作品之中的频率也是很高的，对其进行系统性的分类研究也极具学术价值。舒梅贞的《唐诗“空山”环境中气象因子的思辨表达——以“云”“雨”物象组合为考察对象》，对唐诗中的“云”“雨”两个气象因子在“空山”环境中的意象情怀进行了讨论。初清华的《重返自然——中国“气象文学”的“知识场”建构》，梳理了中国的气象文学的发展脉络，明确了道、气、象是气象文学的基本范畴，雄浑、劲健、豪放、实境、含蓄、超诣等为其主要美学原则，同时提出倡导当代的气象文学创作与研究为融汇中国古今文学的有效途径。初清华的另一论文《“气象文学”刍议》沿袭上文思路，并进行了拓展。潘盛的《有我之境与无我之境——新时期以来小说中的气象灾害书写》一文，对新时期以来气象灾害题材在小说中的频频出现进行了研究，将其划归为两种话语立场和阐释视角。一是把气象灾害置于“人类中心”的视野之中，作为人的对立面阐释。二是在“天人合一”的视野之中，把气象灾害中体现出来的自然生态和人类生活状态结合在一起，进行自然灵性与人文内涵的“复魅”。

此类研究属于一种交叉研究，目前主要由语言文学领域的学者进行研究，偶有气象工作者参与其

中。今后，可由气象学学界和语言文学学界进行合作研究，以期更为准确科学地揭示出语言、文学中蕴含的气象文化内涵。

## 2.6 边缘气象文化

边缘气象文化研究指边缘性的、还没形成系统的一些气象文化研究。

涉及旅游的气象文化类研究开始兴起。如孙安健、庄丽莉、孙除荣编著的《各国首都气候风光》，收编了160个国家首都的气候，汇集了这些城市的风光景物以及不同国家的民俗风情。像这种跨越旅游业和气象业的汇集类书籍，有着很强的实用性，可以供游客鉴用。庄丽玲、卢淑云《气象要素与福建南靖土楼旅游环境探讨》一文对南靖书洋土楼群周边环境的各气象要素进行了细致的考察，得出该地旅游环境适宜的结论。此类论文对各地旅游行业的发展提供了气象学的科学依据，可作为旅游投资的支持基础。

姜海如编著的《气象社会学导论》采用科学方法，深入探析了气象与人类社会历史文明，气象与社会经济、政治、文化和社会心理的关系，客观地解读了气象原因导致的诸多社会现象，对认识气象与社会发展之间的关系，实现人与自然和谐发展提出了自己独到的见解。该书角度新颖，论述独到，是气象文化跨学科研究的典范之作。

边缘气象文化研究领域还有许多可挖掘的空白，期待学界能日益丰富。

## 3 气象文化研究的理论创新与方法创新

气象文化的形成与发展既有历史渊源，也有其特定的条件，既是中华传统文化的发扬光大，也是中国气象人在气象工作实践中不断探索的重大成果。中国气象事业从20世纪40年代中期创建至今，已走过了60多年的光辉历程。伴随着这一历程，气象文化与气象事业共生，与气象事业的历史共进，与时代同步发展。

从文化层次来看，气象文化是一种从属于社会文化和气象活动的亚文化，它既有社会文化的一般性质和主要特点，也具有气象活动的个性特征，作为一种

亚文化它是依附和依赖于社会主流文化和文化主流的，是受社会文化大系统的制约和影响的。气象文化建设也要与时俱进，紧扣时代脉搏，反映气象行业最新的精神风貌<sup>[4]</sup>。因此，气象文化研究的理论创新与方法创新显得十分迫切。

从理论创新来看，学者们已做了一些探索，如有的学者从传播学角度研究中国气象传播史<sup>[10]</sup>，有的从新闻学角度研究天气信息传播史，有的从中外比较角度研究气象新闻等，有的从哲学、经济学、社会学、心理学、服务学角度研究中国气象文化，有的从风险管理<sup>[11]</sup>、应急管理、品牌管理角度研究气象文化，引入了一些新的理论视角，开阔了研究思路。此外，有的学者引入统计回归分析等研究方法研究气象新闻信息量<sup>[12]</sup>，有的学者引入满意度测量指标<sup>[13]</sup>来研究气象服务文化，有的学者还引入激励理论研究中国气象科技工作者生存状况<sup>[14]</sup>等。

随着国家对哲学和社会科学研究的高度重视，相信气象文化研究的理论和方法创新也一定会异彩纷呈。

### 参考文献

- [1] 刘立成. 气象文化的内涵及意义. 中国气象报, 2002-07-18.
- [2] 尚永年. 关于建设中国气象文化的思考. 内蒙古气象, 2003, (1): 6.
- [3] 吴效刚. 气象文化建设: 理论创新与实践变革. 闽江学刊, 2010, (6): 63-71.
- [4] 和文农. 中国气象文化及其形成与发展. 气象软科学, 2006, (1): 77-86.
- [5] 赵海燕. 立足时代 理解气象文化. 经济与社会发展, 2009, (1): 150-153.
- [6] 宋培玲. 关于基层台站气象文化建设的思考. 河南气象, 2006, (3): 20.
- [7] 王伟雄. 简论气象文化建设与行业可持续发展. 福建气象, 2004, (2): 40-42.
- [8] 赵海燕, 刘倩倩. 和谐社会视阈下的先进气象文化建设问题. 皖西学院学报, 2008, (10): 107-109.
- [9] 赵海燕, 叶方兴. 加强气象文化发展史研究 推进先进气象文化建设. 青海气象, 2008, (3): 45-47.
- [10] 李丹, 刘立成. 党和国家三代领导人的气象新闻传播思想. 辽宁气象, 2005, (4): 43-44.
- [11] 祝燕德, 胡爱军, 熊一鹏, 何逸. 经济发展与天气风险管理. 北京: 中国财政经济出版社, 2006.
- [12] 陈正洪. 社会对极端低温雨雪冰冻灾害应急响应程度的定量评估研究. 气象软科学, 2009, (1): 50-53.
- [13] 罗慧, 刘璐, 姚东升. 陕西气象服务社会效益评估分析. 陕西气象, 2007, (3): 36-39.
- [14] 陈涛. 中国气象科技人员生存状态满意度及工作绩效差异性分析——基于全国13509份调查问卷的实证研究. 科技与经济,

# A General Description of the Study of Meteorological Culture

Liu Licheng<sup>1</sup>, Hu Rui<sup>2</sup>

(1 Hubei Meteorological Service, Wuhan 430074; 2 Literature Institute of Central China Normal University, Wuhan 430079)

**Abstract:** In recent years, academic circles have paid more and more attention on the study of meteorological culture, scholars have researched it from multiple angles, such as literature, historiography and management. This article will tackle the concept analysis of meteorological culture, the categories of the study of meteorological culture, and so on. Besides, we will point out some new methods and fields of the study of meteorological culture.

**Key words:** meteorological, culture, study, general description

## 他山之石：英国气象服务



■ 孙健 李伟华

## 引言

英国气象局（现简称为 Met Office 或 UKMO）成立于1854年，当时作为贸易总署的一部分，承担着为贸易提供天气信息和为海运提供洋流信息的任务。1914年，英国气象局划归军队管理，1920年隶属于英国空军，之后于1964年归属于国防部，1990年英国气象局成为独立的执行机构，1996年开始实施企业化运行，国家对气象局的资金支持，全部以贸易基金（Trading Fund）的形式提供。贸易基金的设立必须经过英国财政部批准，并且有两个前提条件：其收入的50%来自于贸易基金所提供的货物或服务收益；主管大臣和财政部认为设立它将带来“运行管理方面的效率和有效性的提高”。

英国气象局是国防部下属的一个独立执行机构，没有社会管理职能，具有半政府性质。英国气象局在组织结构上像商业公司，比如有董事会、董事长、董事、首席执行官、财务总监等，其服务方式和资

金来源由两大部分组成，一是无竞争性的有偿服务，主要向国防部、政府部门提供各类天气和气候相关的服务，向公众无偿提供基本气象服务，经费来自贸易基金，约占英国气象局全年收入的近85%。为了获取贸易基金，英国气象局的首席执行官要根据审计员和总会计师的报告，就每年的绩效目标考核中的关键绩效指标（Key Performance Target, KTG）是否完成进行说明和上报，并需获得国防部的通过。二是有竞争的市场服务，按承担的任务向用户收费，占英国气象局全年收入的15%（表1）。

英国气象局之所以采取这种运作方式，是由于20世纪90年代后期，英国致力于将服务型政府转变为“有限政府”，把服务作为根本

表1 英国气象局年度收入统计（单位：万英镑）

| 经费来源     | 2009/2010年度 | %    | 2008/2009年度 | %    |
|----------|-------------|------|-------------|------|
| 国防部      | 3523.2      | 18.4 | 3625.6      | 18.9 |
| 政府服务     | 3699.7      | 19.3 | 3184.5      | 16.6 |
| 公共天气服务   | 8993.6      | 46.9 | 8687.6      | 45.3 |
| 商业服务     | 2936.5      | 15.3 | 2942.1      | 15.3 |
| 利息等非业务收益 | 43.5        | 0.2  | 38.3        | 0.2  |
| 合计       | 19196.5     | 100  | 18478.1     | 100  |

数据来源：英国气象局2008/2009年度报告和2009/2010年度报告

使命，只提供市场、企业和个人不能或不愿提供的公共物品和公共服务，同时，鼓励公共服务市场化，将某些公共服务外包给私人企业，政府成为采购者，也将以前的某些公共服务私有化，以国家监管取代以前的国家控制。

英国政府机构实行“大部制”，将业务相近或相关性强的部门尽可能进行合并，以利于部门之间的协调和政府资源的有效利用。政府实行“决策和执行相分离”的行政管理体制，设立“执行机构”，专司行政执行职能，负责向社会提供高质量的服务。“执行机构”本身仍属于政府部门，其雇

## 链接 英国气象局

英国的公共气象服务始于19世纪末，以1854年成立英国气象局为标志。1953年2月，大西洋上的风暴使海水位普遍升高，泰晤士河口海面上激起巨大涌浪，潮水漫过防洪堤，淹没伦敦市沿河地区，造成数百人丧生，数以万计的人无家可归，市内供电、供水、排污、电信和交通全都瘫痪，迫使大伦敦议会最终决定在泰晤士河兴建不影响通航的防潮闸，彻底解决伦敦的防洪问题。这次大水灾还促使英国气象局建立了大风暴预测服务，并于1959年成立伦敦天气中心。灾难也促进了英国气象部门的技术革新。1959年英国气象局开始使用电子计算机，将数字技术引入气象服务。1964年英国气象局利用卫星拍摄云图，1977年欧洲1号气象卫星发射上天，加速了英国气象服务的数字化管理。1990年新的超大型计算机应用于气象服务，使英国气象局的大陆和海洋气象服务实现了真正意义上的数字化运作。进入21世纪，英国气象局开始将全球气候变化问题作为其研究和服务的重点领域，使英国气象局的功能由天气预报、商业气象服务转变为涵盖社会、经济、环境等领域的全方位服务。

1996年英国气象局开始商业化经营。英国气象局的气象服务在保留原来针对公众的气象信息发布功能外，开始为政府和私人企业提供有偿服务。英国气象局设有商业产业部，有150多位工作人员专门负责其气象服务产品的研制、生产和市场开发。商业产业部下设各种服务部，如海洋气象服务、气象信息和咨询服务、气象软件及销售部等。

英国气象局面向10个政府部门及600个其他机构提供服务，主要服务领域有：全国恶劣天气预警，交通气象服务，军事气象服务，政府政策建议，健康气象服务，环境监测任务，能源与制造业，零售业的气象咨询，农业，建筑业与电信业气象咨询，气候变化模拟，洪水预报（与环境部联合成立的预报中心，将移到MET Office总部）。

员保留公务员身份，领取公务员工资，但资金来源不完全由政府财政来提供。执行机构没有独立的法律地位，而是仍然隶属于政府的某个部门，受主管部门的领导，预算经费和人事任免受主管部门的直接约束。目前，英国的执行机构数量很多，执行监管工作的人员数量已经超过英国中央政府公务员总数的四分之三。

英国气象局是一个执行机构。站在政府的角度，采用这种以贸易基金的形式提供资金，使气象局的服务与利益挂钩的管理模式有如下优点：一是政府管理简单；二是气象局必须为各政府部门做好服务才能获得好的收入，气象局既有压力、又有动力；三是允许气象局开拓服务市场，有利于气象服务惠及百姓以及推动社会经济发展。

#### UKMO与EUMETSAT和ECMWF的合作

欧洲气象卫星中心(EUMETSAT)成立于1986年，由欧洲的几个主要国家联合组建，至今已有26个国家陆续加入，另有少数欧洲以外的国家参与合作。其运行经费几乎全部由各成员国、合作国基于经济能力按比例提供。除了管理委员会的人员外，其他各类人员均是各成员国以派驻代表形式为中心提供最优秀的科技工作者。英国气象局是最早加入的成员之一，每年提供给EUMETSAT的基金仅次于德国，约占总经费的16%。

欧洲中期数值预报中心(ECMWF)成立于1975年，由欧洲国家组建，目前有31个成员，另有13个合作国家。其运行经费几乎全部由各成员国、合作国基于经济能力按比例提供；ECMWF还与世界气象组织、欧洲气象卫星开发组织、欧洲空间局等国际、洲际组织有合作协议；ECMWF吸引了欧洲乃至全球最优秀的科学家来工作，且与英国气象局、法国气象局等业务单位及大量科研单位保持密切的接触和合作。

英国气象局作为ECMWF的成员

国，与其有着广泛的合作，主要的合作领域包括观测数据处理、卫星观测及数据同化、非静力学稳定内核、观测系统优化、模式参数化方案、大气成分及恶劣天气方法确认等。英国气象局与ECMWF及其他成员国计划开发多模式季节天气预报系统，该系统可以提前数周对恶劣天气（干旱、热浪、降水异常等）做出预报。

英国气象局作为ECMWF和EUMETSAT的成员单位每年向两个组织交纳会费，交纳数额比例按照英国的国民生产总值在欧盟中的比例确定，其中2010/2009年向ECMWF交纳610/540万英镑，向EUMETSAT交纳340/260万英镑用于气象卫星开发（不包括卫星固定资产方面的投资）。

目前ECMWF运行的中期天气数值预报模式为T1279模式，该模式采用4D-var资料同化系统，水平分辨率16千米(0.15°)，垂直91层，时间步长600秒。ECMWF在2009年建立了新的高性能计算机系统HPCF，是双套IBM CLUSTER 1600 POWER6计算机和存贮系统，可以保证一套检修维护时另一套正常运行。

这种密切的合作关系使得英国气象数值预报水平自1995年以来有了显著提高。水平提高得益于卫星资料的大量应用，如果不使用卫星资料，将会损失3天的可用时效。最近的显著改进体现在：由于卫星资料应用技术的提高，导致模式对热带区域湿度场预报的改进，进而提高了热带气旋的分析和预报水平。

#### 气象服务

从1996年4月1日起，英国气象局开始商业化经营，政府不再向气象局拨款，全部经费自收自支。主要的经费渠道，一是政府相关部门通过贸易基金向气象局购买服务，占气象局总收入的85%；二是商业气象服务，收入占15%。

英国气象局的气象服务在保留针对公众的气象信息发布功能外，开始为政府和私人企业提供

有偿服务。英国气象局设有商业产业部，有150多位工作人员专门负责其气象服务产品的研制、生产和市场开发。商业产业部下设各种服务部，如海洋气象服务、气象信息和咨询服务、气象软件及销售部等。英国气象局对政府有关部门的气象服务，由政府支付气象服务费。英国政府规定政府部门和公共单位必须使用英国气象局提供的气象服务，从而使英国气象局的服务一直占整个市场的70%左右，私营气象服务只占30%左右。

英国气象局面向公众的气象服务分免费和收费两种。免费服务包括借助大众传媒发布的普通天气预报以及山区、海洋休闲天气预报三种。山区天气预报提供英国5大著名山区不同海拔高度的恶劣天气、能见度、结冰点、云层海拔、天气总体状况，最长可预报未来5天天气。海洋休闲天气预报分海岸、近海及公海3类天气预报，预报内容有风向风力、能见度、海浪、气象条件4项，海岸天气预报包括英国18个沿海市镇，重在强风及浪高预报。近海天气预报包括英国附近31个海域，最远海域到达直布罗陀海峡。公海天气预报包括北大西洋13个海域的预报。之所以叫海洋休闲天气预报，是因为英国专业的航海气象预报由交通部下属的“海事及海防署”负责，商业航运机构从该署购买精准的专业航海气象预报，英国气象局只是免费向公众提供“海事及海防署”的简略预报。

面向公众的收费服务是指公众通过高收费的电话、短信了解特殊天气预报，如定点天气预报提供全国350个市镇的未来5天预报、全国未来6~10天预报、未来一个月天气趋势预报；度假地天气预报提供全球200多个旅游目的地未来5天预报；滑雪场天气预报提供欧洲及北美250个滑雪场实时雪线雪情预报。滑雪场天气预报电话每分钟收费1英镑，短信每条收费50便士。英国气象局还推出了与该局天气预报员直

接通话的全天24小时服务，公众可问任何与天气有关的问题。

英国气象局商业气象服务所涉及的行业非常广泛：农业和森林，建筑与民用工程，零售流通和制造，教育单位，煤气、电力、燃料和能源，娱乐和旅游，媒体（电视和电台），沿海工业，出版和流通系统，运输（陆地、海洋、航空和内河）等。英国面向行业的商业气象服务的竞争十分激烈，气象局仅占不到10%的市场份额。

### 气象服务创新

英国气象局紧紧围绕政府部门、行业和公众的需求，开展广泛、深入、细致地研究，开发的服务产品品种多，针对性、实用性强，深受用户喜爱。在交通气象服务方面，英国气象局自1912年开始为航空业提供服务，除了传统飞行气象预报，还推出航空器除冰预报、机场预报、气象咨询及培训、气象历史资料出售等服务产品。英国气象局针对陆地交通部门推出了“畅通公路”、“畅通桥梁”、“畅通铁路”、“畅通站台”预报产品，通过在主干道上安装特殊传感器采集信息，帮助有关部门在各种气象条件下保持运输畅通。英国气象局派人到高速公路局工作，提供有针对性的气象服务。在军事气象服务方面，英国气象局为驻扎在英国本土及海外的英国军队提供气象保障服务，不管在何处采取军事行动，英国气象局移动气象小组（MMU, Mobile Met Unit）的专家都会提供急需的天气和环境方面的建议，从类似热浪等地面天气风险到影响飞机起飞、降落的灰尘预报，气象服务帮助保障军事人员的安全。在健康天气预报服务方面，英国气象局根据天气状况推出了健康预报。提醒医务工作者及患者何时何地易暴发何种健康问题，提前了解信息，并采取措施能有效减少住院人次。例如英国气象局可以通过自动电话系统，向患有“慢性阻塞性肺部疾病”的患者提

供特殊天气预报，提醒他们何时何地出现病发高峰。英国康沃郡数个卫生局的试点表明，这种电话入户天气预报，能使当地的“慢性阻塞性肺部疾病”患者住院率减少54%，每年节省30万英镑住院费，英国气象局也因健康天气预报获得多项奖励。在环境监测任务方面，英国气象局的环境监测任务主要有5项内容：海上风暴、化学及放射性污染物在空气中的传播及沉淀、空气传播疾病的监测、火险监测、为国际民航业服务。在能源与制造业、零售业的气象咨询方面，英国气象局到发电厂安装定点气象采集装置，准确预报发电厂气象条件。制造业及零售业也需要气象信息，据独立研究机构“信息监测”分析，英国零售业每年因不重视气象信息而失掉45亿英镑销售机会，这一数字相当于英国食品及服装零售行业5%的市场份额。在农业、建筑业与电信业气象咨询方面，英国气象局推出农业气象咨询及每月气象简报服务，帮助农民合理安排农事活动，减少损失，增加产量。英国气象局推出塔吊预报、工程投标气象信息、停工简报、每月气象简报等建筑业服务。电信行业也从英国气象局的线路风险预报等定制产品中获取气象信息，为保护通讯设施、规划维修工程及统筹人员物资争取宝贵时间。

英国气象局还积极开拓海外气象服务市场，以确立世界权威的气象服务商的形象。国际民航组织指定了两个“全球区域预报中心”，分别由美国和英国气象局负责。英国气象局自1984年开始向120多个国家提供气象服务，号称有能力向全球所有航班提供上层空间风力风向及气温预报，帮助航班选择飞行线路及决定携带航油多少。英国气象局还是全球9个火山灰咨询中心之一，为国际民航业提供火山灰监测服务。1998年冰岛火山爆发，大量火山灰进入大气层，英国气象局掌握火山灰的活动规律，成功避免了

航空灾难。该局目前已在欧洲的气象服务市场争得一席之地。如为挪威和瑞士电视台提供气象服务，在西班牙、奥地利、瑞典等国开展商业气象咨询和培训等。英国气象局还拟与中国和非洲等地合作，共同为当地的农业、建筑业和能源等行业提供商业气象服务。

BBC（英国广播公司）电视天气预报是由英国气象局伦敦天气中心的预报广播员制作并现场播出（视频设备、计算机由BBC提供，大小演播室均在BBC）。英国气象局向BBC电视台派驻30人，每天制作超过120次广播节目，BBC-1台、BBC-2台电视天气预报达17次。BBC每年累计超过1200小时电视播出、电台播报气象节目。电视天气预报主要内容包括：1~5天形势预报（在大演播室进行，有等压线分析图、卫星云图和雷达回波图的动画等）、24小时天气预报（6~12小时为一时段）和天气实况等内容。英国气象局不向其他电视台派员，但提供收费服务。

### 英国气象部门在应急管理体系中的作用

英国政府应急管理的基本架构由中央、区域和地区三个层级组成，实行政府主导、社会各方参与，包括军队、警察、消防以及一些非政府组织、志愿者团体等。中央政府在内阁下设立内阁紧急应变对策室（Cabinet Office Briefing Rooms, 简称COBR），是政府危机处理最高机构，主要负责启动应急机制、协调各方应急响应、组织应急演练等。同时设有首席科学家，负责对重大科学和技术问题的咨询。地区政府是组织实施应急响应的主体，通过设立专门的“突发事件规划长官”（EPOs, 依据管辖规模确定专职人员的数量），负责制定《突发事件应急计划》，联络辖区内应急系统各个相关部门，统筹、协调有关事务，负责与涉及的部门签订援助、协作协议，并在突发事件发生后的恢复阶段起领导作

用。此外，为处理跨地区的应急响应，还专门成立了介于中央政府和地方政府之间的“区域应急委员会”，通过联席会议或论坛的形式，负责沟通协调相关事务，但并不具体组织实施应急行动。

英国高度重视应急规划建设，在国家层面上建立全面风险登记，并要求对未来5年可能发生的危机进行风险分析，包括灾害内容、评估、风险最小化战略等。在区域层面上也要求建立类似国家层面的5年规划及应急能力建设。非政府组织及志愿者团体在应急管理中也发挥着积极的作用，政府将其纳入应急预案体系中，也适当拨款或通过减税等方式支持其应急工作。

英国气象局将“全国恶劣天气预警服务”作为向公众和政府机构服务的一个重点，有40%以上把握的情况下提前5天开始发布注意报（Advisory），有60%以上的把握时提前5天开始发布早期预警（Early Warning），有80%以上的把握且恶劣天气临近时（最多提前6小时）开始发布临近预警（Flash Warning）；英国气象局也为内阁紧急应变对策室（COBR）提供决策咨询服务，但远不如中国气象部门积极主动。

## 其他有关问题

### （1）高分辨率数值模拟技术得到广泛应用

通过对英国气象局、皇家气象学会、大学、公司等十多家单位的考察发现，无论是气候变化研究、天气预报、应用气象、城市气象、风险管理和评估、应急服务、水资源利用、防火防扩散、碳循环、遥感应用、气象科普、再保险气象服务等，几乎都有非常重要的关于模式应用的介绍。英国气象局建立的统一模式（Unified Model），分辨率达到1.5千米，基于模式输出结果的服务产品内容丰富且精细化程度高，在电视节目中逐小时播放天气

预报动画，有效提升了气象服务质量。英国气象局发展数值预报模式是开放式的，院校帮助英国气象局改进现在的统一模式，社会软件公司也直接为英国气象局改进数值预报提供技术服务。院校都会选择适合自己的模式进行改进，开展自己的研究工作。

### （2）重视用户反馈和效益评估

英国气象局非常重视服务质量的评估及用户反馈信息的收集，其市场部门每年都通过电话、网络等方式做市场调查，每次重大天气过程发生后更是及时收集服务反馈信息。其调查表明：约70%的英国人每天获取天气预报，其中55岁以上人群中这一比例超过80%，而18~24岁年龄段人群该比例只有42%。国防部代表政府资助的公共气象服务用户组织（PWSCG, Public Weather Service Customer Group）负责监督、评估英国气象局的公共气象服务情况。该组织聘请第三方对英国气象局的服务进行抽样调查评估。评估认为：英国平均每人因气象服务获得的经济价值为7.3英镑，每年气象服务给英国公众带来的直接利益为3.532亿英镑。

### （3）多领域合作研究机制值得借鉴

众多大学、研究机构与英国气象局合作，不仅体现在科研项目上，也体现在人才流动机制的灵活

性上。很多大学和研究机构的教授都有过在英国气象局工作的经历，有的还当过气象局首席预报员，这份经历让他们清楚地知道气象业务需要什么，研究成果该如何应用到气象业务，真正做到科研与业务的紧密结合。

气象应用研究采取多学科团队协作，团队均由多学科的专家组成，通常有数学家、物理学家、气象学家、水文学家、地理学家、化学家、计算机科学家、灾害管理学家，甚至社会学家的不同组合，多种类型专家形成紧密合作团队，共同研究发展。这不仅体现了气象学的发展、特别是在数值模式、模型的发展上需要很深的数理知识，气象对社会的服务应用更离不开跨学科的通力开放合作，只有这样才能适应各领域服务需求不断研发出针对性强、专业水平高的服务产品。

近年来，英国气象局根据服务和应急的需求比较重视高影响天气的灾害预报工作，并加强与环境部、高速公路局等的合作。如对于强降水的预报，通过与水文部门的合作，可以给出河流流量、水位的预报，进而对可能产生的洪水灾害风险进行预估，使强降水引发的洪水灾害预报服务得到了深化。针对高速公路服务，直接派员到对方工作，充分共享双方的信息。

（作者单位：中国气象局公共气象服务中心）

## 深入阅读

- 中国气象局. 2010. 赴英公共气象服务培训团《赴英公共气象服务培训总结》.
- Met Office. 2008. Annual Report & Accounts 2007/2008.
- Met Office. 2009. Annual Report & Accounts 2008/2009.
- Met Office. 2010. Annual Report & Accounts 2009/2010.
- 李理. 2008. 英国的气象服务. 世界博览. www.cqvip.com.
- 英国下议院国防委员会. 2006. 英国气象局工作报告（2005—2006年度第十报告）. 英国的气象服务. 2008年2月27日《经济日报》.
- 山西省气象局代表团. 2003. 赴英、德两国气象工作考察报告. 山西气象, (1).

# 我国古代直观经验气象服务特征

■ 罗晓勇 黄宗捷 蔡久忠

伴随着人类存在和发展的历史，气象服务生产也就有了自身存在和发展的历史，有了气象服务的发展历史。从马克思主义的政治经济学出发，以马克思主义的生产三要素的水平，即以生产力发展程度为标准，我国气象服务的历史可以划分出三大气象服务阶段，即直观经验的气象服务阶段、建立在近代科技基础上的气象服务阶段，以及建立在现代科技基础上的气象服务阶段。本文仅就我国古代直观经验的气象服务特征做一讨论。

## 时间跨度长

我国古代气象服务的直观经验服务阶段始于我国山顶洞人的出现，止于1912年中央气象台的建立，长达几万年之久。因为山顶洞人有了朴素而直观的气象意识，有了风雨、阴阳、寒热的概念，所以以山顶洞人的出现为起点。以1912年中央气象台的建立为终点，是因为中央气象台是由其时的中央政府建立的。它是以具有气象科学认识的劳动者和拥有现代观察手段和设备的气象台，也是我国第一个较为完备的现代的气象台。把长达几万年的这一阶段称之为直观的经验服务阶段。这是因为：

第一，在这个漫长的历史阶段里，人们既没有从大气环境内部物理的、化学的变化过程上去揭示天气状态，又没有从大气环境内在的变化机制上去认识气候状态，而仅仅是局限于对天气状态和气候状态的感性描述上。例如《周礼》“十燿”中，对雾、雨、烟尖等天气现象用“瞽”来描述，它的意思是不光明，是一种视角效果的概括。例如，《逸周书》的“月气”中对气候与物候关系的记载是：“孟春之月，东风解冻”，“仲春之月，始雨水”；“仲夏之月，小暑至”，“季夏之月，温风至”；“孟秋之月，凉风至”；“至冬之月，水

始冰”，“仲冬之月，冰亦壮”等等。同时，关于一年四季的大气降水、风和温度变化的描述，亦是一种从直观的视角和触角的感知认识的记载。

第二，在这漫长的历史阶段里，人们对于气象及其状态的变化趋势的判断，即气象预报，在整体上是仅停留于经验基础上的判断。具体地说，仅停留在以自然物的物象（动植物的行为、色彩、声音、位置状态等现象）变化来预测天气变化趋势。简言之，是以物予候。例如《逸周书》的“时训”就记载了一年气候变化的72候，说：“丙水之日，桃始毕”（桃花凋谢了，降水时节就要来临），“小寒之日，雁北向”（大雁以一字行或人字形似地向北飞去了，寒冷的时节便要开始了）。又如，《诗经·郑风》通过鸡的不同叫声，来预示风雨的不同等级，则写出了：“风雨凄凄，鸡鸣喈喈”（凄，寒冷的意思；喈喈，叫声急促），“风雨潇潇，鸡鸣胶胶”（潇潇，急骤的意思；胶胶，原意粘滞），“风雨如晦，鸡鸣不已”等诗句。

马克思主义哲学认为，感性认识是理性认识的第一阶段。由于感性认识既是直观的，又是理性认识的素材，因而人们直观的认识有其真实性和合理性；马克思主义哲学还认为，事物之间是相互联系、相互制约的。因而人们把天气状态和自然物的物象变化联系起来，通过自然物象的变化判断天气的变化，具有一定的科学性和合理性。所以应当说，对于天气状态及其变化的直观的经验判断，在一定程度上是有用的、准确的。正因为这样，在当代，在民间，通过自然物的物象变化来预报天气仍然广泛地被运用。

## 社会高度重视

在中国历史的视区内，虽然直

观经验服务阶段跨越了原始氏族社会、奴隶社会和封建社会三个历史时期，即涵盖着我国的石器时代、有文字记载的夏商周、春秋战国、秦汉、三国、南北朝、隋唐五代以及宋元明清各个朝代，但是，从整个社会生产的总体上考察，社会却一直处于同气象条件直接相关的、以第一产业为主的发展阶段上。加之我国是旱灾、水灾、风灾等气象灾害频发的地区，这就决定着气象状态的好坏，通俗地说，是否风调雨顺将直接关系到政权的稳定和民生的疾苦。正因如此，庶民百姓不仅很看重气象，而且最高统治者“天子”也很看重气象，即全社会都高度重视气象。这集中体现在：气象服务已成为国家政权的重要职能之一。

第一，观察气象成为中央政府的常制。自我国国家政权出现以来，便已建立了国定的观察天象（即观察天文现象和大气现象的总称）的气象台，例如，夏商时代的世室、重屋、四单，秦汉时代的章宫、灵台、缇室，唐代的司天台；从东晋起，为强化对气象的观察，还在宫庭内成立了由皇室直接掌控的既观察气象，又对国家观象台工作进行监督的内观象台（禁台），等等。值得一提的是，从世界的视角考察元代的国家观象台，它拥有当时世界最强的天文气象队伍，仪器亦领先于世界；在明代，南京的国家观象台即钦元山观象台，竟拥有当时世界最先进的设备。

第二，建立常设的国家职能部门，专司天象观察。据温克刚主编的《中国气象史》记载：周代职司与气象有关的官府和人员是很多的，包括卿、大夫、士、府、史、胥、徒等各个级别。汉代由太史令具体负责气象工作，由明堂令、灵台令各1人具体管理，在灵台待诏

的42人中“有二人候日，三人候风，十二人候气”等15名专职气象人员。唐肃宗时，天文气象官员从三品到九品有60人，技术人员726人。

第三，气象信息搜集的制度化。殷代连续十日的短期天气预报及其验证（贞旬和验证），以年为期的卜年、占岁的长期预报便已制度化。如在现存的殷墟卜辞中，就有殷王文丁年3月20日开始的、关于连续十日占卜天气的天气预报及其验证的卜辞。学者们称之为贞旬和验辞。这一卜辞及验辞说：“癸亥卜，贞旬。乙丑、夕雨，三夕。丁卯，明雨。戊辰，小采丰雨。己巳，明启。壬申，大风自北。”又例如，在官修国史中、官修地方志中也包含了丰富的天气、气候状态的记载，其中关于灾害的记载在《史记》、《汉书》中出现在五行、灾异志中。在此后的国史、官修地方志中，不仅均沿袭了这一体例，而且还把对气象灾害的描述作为其固定的内容之一。

由于天气和气候信息事关皇权的稳定，因而其信息常被历代皇帝所垄断。同时，天气和气候状态又事关民众的生产和生活，因而又必然受到老百姓和民间文人墨客的重视，打破了皇权对气象信息的垄断。这集中表现在：（1）“以物予候”的气象预报在我国有了长足而广泛的发展，以气象谚语为内容的物候成为我国文化史上的一朵奇葩；（2）文人墨客学者们关于气象灾害的记载，则成为了解、认识和研究我国气候变迁客观而重要的史料。例如在《夏小正》、《诗经》、《逸周书》中，有着数量众多描述大气现象的气象谚语；又例如，在各类书籍、民间地方志和文人们的专著中，对气象及气象灾害的描述和记载。以宋代的郑瑀、方仁羊的《景定严州续志》为例，作者在这一地方志中，记载了“嘉熙四年（1240年）夏秋大旱，明年春，民采橡，蕨，救死不给，路殍

相枕藉”，旱灾给老百姓生活、生命带来的灾难性打击；以宋代诗人陆游为例，他描述了岭南飓风形成和变化：“岭表有瘴母，初起圆黑，久渐广，谓之飓母”等等。

### 观察仪器简单且变化不大

气象服务除了要对大气中的冷、热、干、湿、云、雨、雪、霜、雾、雷、电、光等大气现象做出定性的描述之外，还需使用云量、能见度、气压、气温、湿度、降水量、风向、风力、日照辐射等气象要素，以对大气现象做出定量的描述。为要做出其定性定量的描述，则需要有精确的仪器去搜集记录大气现象的相关数据。但是，在我国漫长的直观经验服务的阶段里，仪器简单、粗糙，难以做出确定量的观察和记录，同时在几千年中观察仪器的改进亦不大。

### 1 测风仪器

据温克刚主编的《中国气象史》，约从汉代开始，中国的测风工具已有三种类型：一类是侃、候风綰、五两、八两和旗类；一类是铜凤凰、铁鸾；一类是铜乌、相风木乌。其中，第一类是最原始的测风器，传说起于远古，被广泛运用于民间及军事活动中；第二类和第三类都是乌形的测风器，即相风乌，只是因制作材料的不同，而分为铜凤凰、铜乌（又称相风铜乌）、铁鸾、相风木乌。在1971年出土的河北安平县长城村的东汉墓上，就绘有相风乌图形；山西浑源县北岳恒山北麓的国觉寺铃鸾风塔上，则有铁鸾风实物。相风乌中的铜乌既是最早出现的铜风乌（相风铜乌），又是国家观象台必备的测风器。有的史料认为，自秦代的国家观象台就已有相风铜乌，且汉代的国家观象台（清台、灵台）一直沿袭使用。汉代除灵台有铜乌之外，汉武帝所建的建章宫的风阙园阙和凤凰阙均设置铜凤凰测风。

我国相风乌的出现早于欧洲1000多年，12世纪欧洲始有名为“圣彼德候风鸡”的相风乌出现。科学

学认为，科学的认识在于对事物做出定量的分析。在这个意义上说，相风乌虽具有辨别风向、风力、风速的功能，但不能准确的计量，还不是严格科学意义上的科学仪器。从世界气象仪器发展的角度考察，1644年英国人虎克发明了风压器后，测风才算真正有了科学仪器。

### 2 测雨器

中国历代王朝普遍重视雨（雪）情的搜集及建档。虽从秦汉起就建立了遍及全国的晴雨网，但“在1000多年里并无太大的改进，也难坚持”。“工欲善其事，必先利其器”。任何工作都需要一定工具的支撑。若缺乏支撑，工作必然难以继。气象观察亦是如此，它需有一定的仪器设备，即用一定的劳动工具去搜集气象信息。为使雨情录具有科学性，就需要搜集雨（雪）情，就需要有雨量器。

在漫长的直观经验服务时期，我国的雨量器形制复杂，缺乏统一的标准。其时的雨量器按秦九韶的记载：量雨的容器有“天池”（盆）、“圆罍”（桶），量雪容器有“峻积”、“竹器”，且各种容器又没有统一的规格，形式各异，这就给雨量和雪量的计算和统计带来巨大的困难。秦九韶在其《数书九章》著作的“天池测雨”中，就曾经感叹：“但知以盆中之水为得雨之数，不知器形不同，则受雨多少亦异，未可以所测便为得雨之数。”因此，这种雨量器仍然属于初创的粗糙的计量仪器。

### 3 湿度计

空气和土壤的干湿程度直接关系到农作物的生长。土壤和空气的干湿状态是农耕社会所必须有的气象信息，因而也就需要用湿度计。

湿度计最早出现于西汉时期。它是一种天平式的湿度计。在天平的一端放上土，或铁，或羽，另一端放上炭。炭的吸水性强，空气若潮湿，炭比土、铁、羽吸收的水汽多，重量增加的速度比土、铁、羽

快，天平炭端向下倾斜；反之湿度高、干燥，炭则变轻，天平的另一端向下倾斜。除天平湿度计外，在缇室中曾用十二律管或六十律管作为湿度计。但它们均非精确的气象仪器。

### 朴素辩证的气象观

所谓朴素辩证的气象观，是指人们在直观感知经验的前提下，在气象与他事物的外部联系的基础上，去认识、把握气象变化的规律。在直观经验服务阶段上，大凡出现关于我国年气候变化、天气状态的描述和概括，关于气象与生产、气象与健康关系的论断，均具有朴素辩证的特点。

#### 1 年气候变化规律

年气候变化的规律认识，一是年有二十四节气的划分，二是年、节气的常态与变态。

##### (1) 年二十四节气的划分

关于我国年气候变化规律的认识，即二十四节气的划分及其气象特征的认识，在传说时代便已萌芽，到春秋战国时期业已发展并趋于完备，且在《周易》和《夏小正》中，形成了系统的表述。如《周易》将我国年气候变化表述为四时、八节、十二月、二十四气、三十六旬、七十二候。《夏小正》中年四时表述为：岁有春、夏、秋、冬，并提出了二十四节气中的“中气”概念，如春三月中气分为惊蛰、春分、清明等等；经过漫长的数千年的发展，在东汉的“淮南子”中，二十四节气则有其定型，说：“日冬至，到北斗中……，十五日为一节，以生二十四时之变。”同时，按其顺序及气象特征，依次定名为：小寒、大寒、立春、雨水、惊蛰、春分、清明、谷雨、立夏、小满、芒种、夏至、小暑、大暑、立秋、处暑、白露、秋分、寒露、霜降、立冬、小雪、大雪、冬至。

##### (2) 年际内气候变化的常态与变态

朴素辩证的气象观，还把二十四节气的变化划分为常态与变态两

种类型。所谓常态，是指应至而至，即一定的节气所应出现一定的气象现象。例如，立春后的气温应逐步上升；惊蛰后的雷电现象应逐步出现；所谓变态是指，应至而不至。它又可分为两种子类型：一是不及，如立春气温应回升，但气温并未回升；一是太过，如立春后气温回升太快。

对年际气候变化的太过状态，《管子·幼官》以及《皇帝内经》中都说得很明白。《管子》说：“春行冬政肃，行夏政霜，行秋政阨。”文中“行冬政”，是指气温偏低，“行秋政”是指气温不回升，“行夏政”是指气温高。

#### 2 天气状态描述与概括

对各种类型的天气状态的描述与概括分类，乃是这一历史时期的重要成果。它涵盖了冷、热、干旱、云、雨、雪、霜、雷电、光象等各种气象状态。例如“十辉”即是世界最早的自然大气光象系统。它把光象划分为十种类型，并作为视觉认知的描述。

例如，《吕氏春秋》中关于八方季风的描述，它说：“何谓八风？东北曰炎风，东方曰滔风，东南曰熏风，南方曰巨风，西南曰凄风，西方曰飏风，西北曰厉风，北方曰寒风。”

例如，董仲舒《董子文集》中“雨雹对”关于雨及雨与风关系的认识：阴阳“二气之初蒸也，若有若无，若实若虚，若方若圆，攒聚相合，其体稍重，故雨乘虚而坠。风多则合速，故雨大而疏；风少则合迟，故雨细而密”。

例如，张衡在《论衡·雷虚》中关于雷电现象与气温关系的叙述，说：“雷者，太阳之激气也。何以明之？正月阳动，故正月雷始；五月阳盛，故五月雷速，秋冬阳衰，故秋冬雷潜。”

#### 3 气象与社会生产

直观经验服务阶段的气象观，对气象与社会生产关系的论断，主要有两大方面：（1）气象条件与

农业生产的过程直接相关。农业生产过程可划分为生、长、收、藏等四个阶段，它们与气象条件直接相关。《逸周书》中的《周月》明确指出：“万物春生，夏长，秋收，冬藏，天地之正，四时之报，不乃之是。”（2）不同的气候类型适合不同的生产。《夏书》的《禹贡》将全国划分为冀州、兖州、青州、徐州、扬州、荊州、豫州、梁州和雍州等九州。对九州的产品及土地潮湿情况做了详细的记载，反映了不同的气候类型有着不同的产物。如，河济一带的兖州气候湿润、土地肥沃，盛产漆丝和竹器，而西南的梁州则产“铁、银、镂、罍、磬、熊罴、狐狸、织皮”等。

#### 4 医疗气象

在“天人合一”的宇宙观和朴素的辩证观的指导下，中国传统医学在长期的保健和医疗实践中，构成了具有中国特色的医疗气象体系。这一体系在春秋战国时期业已形成，并在汉代的伤寒学派、清代的温病学派中得到了进一步发展，成为中国医学文化，乃至世界医学文化中的瑰宝之一。在此，仅以成于春秋战国时期的我国古典医籍《黄帝内经》为例，做一简约说明。

##### (1) 气象与健康相统一的生理观及病理观

《内经》中的“六节藏象论”说：“不知年之所力，气之盛衰，不可以为工矣。”文中的“之气”是指三候之气（内经说：“五日为候，三候谓之气”），即描述年际气候变化的二十四节气中的节气。盛衰中的“盛”，是指一定节气中应出现的气象状态太过（内经称为“至而太过”）；“衰”，是指节气的气象状态尚未出现（内经称为“应至而不至”）。全文的意思是说：一个医生最基本的标准是，要掌握每年24节气的应出现的气象状态，并判断这一气象状态是否出现。若没有出

现,就要考察其气象状态是否有所超前,或是否还停留在上一节气的 气象状态上。《内经》中的上述论断,表明了传统医学把气象条件与人体健康看成是一个统一的整体,并在此基础上构建出了它的生理观、病理观。

适应性是生物的普遍规律。一定地区的居民长期生活在一定地区的气象环境中,自然形成生理的适应性。若其中的气象条件变化,或太过或不及,人体与气象条件的平衡统一便会被打破,生理的适应性便会出现问题,健康由此就会出现 问题,便会患病。掌握年际的气候变化状况,自然成为医生的基本功。

### (2) 气候与病因

中国传统医学把病因分为外因、内因和不内外因。内经用风、寒、湿、热、燥、火六种气象状态,来概括导致人体疾病的外因和症候群,并把这六种气象状态的物理属性作为分析其病理的说理工具。它认为,一定脏器的健康状况与一定的外因存在着联系。如肝

脏应当干燥,若遇湿则生病;同时还认为,四时的气候不同,所引起人们的疾病也就会不同,《内经》中说:“春善病鼻纽,仲夏善病胸胁,长夏善病洞泄寒中,秋善病风疾,冬善病痺厥。”

### (3) 气象与辩证施治

辩证施治是中医的治疗程序。《内经》把辩证程序概括为八纲辩证。它要求医生在诊断疾病时,应从阴、阳,表里,寒、热,虚、实等诸方面来对疾病做出概括,即明确的认识病人所患的疾病,是寒症还是热症,是虚症还是实症,最后才判断出是表症还是里症,是阴症还是阳症。要指出的是,八纲辩证至今仍是中医治疗必

须遵循的程序。阴阳、寒热则是古人对天气是否晴朗、气温高低的判断词。八纲辩证中它们却成为概括病症的基本范畴,成为中医治疗学的基本出发点。

不仅如此,对于辩证后的治疗,《内经》提出要依据病人在病期中的气象条件来治疗:“圣人治病也之,必知天地阴阳,四时经纪,五脏六腑,雌雄表里,刺灸砭石,毒药所主,从容人事,以明经道,贵贱贫富,各异品理”(参见《内经》素问疏五过论)。

(作者单位:罗晓勇,中国气象局培训中心;黄宗捷、蔡久忠,成都信息工程学院)

#### 深入阅读

- 温克刚. 2004. 中国气象史. 北京: 气象出版社.  
朱祥瑞. 2005. 中国气象史研究文集(一)(二). 北京: 气象出版社.  
罗晓勇, 黄宗捷, 蔡久忠. 2010. 简论人类与大气环境的关系. 气象软科学, (1).  
黄宗捷, 蔡久忠. 1994. 气象经济学. 成都: 四川人民出版社.  
王汉杰, 刘健文. 2008. 全球变化与人类适应. 北京: 中国林业出版社.

## 在困境中寻找曙光 ——全球可持续性问题的 高级别小组介绍

### 戴洋

人口、环境与发展问题越来越引起全世界的关注,成为制约各国可持续发展的全球性问题。展望2050年,“50—50—50挑战”(世界人口将增加50%超过90亿,为控制气候变化,全球温室气体排放量至少减少50%)如同悬在地球母亲头顶的达摩克利斯之剑,而届时同时将是“人口史无前例地最多、但同时人们都想得到更好的福利的时期”(世界可持续发展工商理事会(WBCSD)报告)。如何应对这些机遇和挑战,将是一个漫长而艰难的过程。国际社会从未停止过对实现可持续发展的求索。气候变化问题是可持续发展问题中的重要一

环。然而国际社会弥漫着对气候变化谈判前景的担忧和怀疑情绪,应对气候变化的道路上阴霾笼罩,也使得可持续发展问题更加紧迫和棘手。

2010年8月,联合国秘书长潘基文宣布成立全球可持续性问题的 高级别小组(GSP),给当下的困境带来了一线曙光。GSP将对1992年里约环发大会和2002年南非约翰内斯堡峰会以后做出的承诺进展情况进行评估,评估报告将提交给2012年于里约热内卢召开的联合国可持续发展大会(Rio 2012)。GSP成员22名,多为现任及前任国家元首和政府首脑、部长、专家等,其中包括中国气象局局长郑国光。

应该说,GSP的成立正是看到由于国家间气候变化谈判和多边论坛至今无法达成决定性和协调有序的行动共识,联合国“千年发展目标”和其他社会经济目标的实现也受到不利影响而采取的行动之一。潘基文决定成立GSP,是试图建立解决上述问题新的发展协调和实现机制。但是GSP的使命超越了气候变化,气候变化只是可持续发展道路上众多的难题之一而已。因此GSP的诉求在短暂的游离之后,日益坚定地转向以可持续发展为中心。

虽然从严格意义上讲,GSP是一个非官方组织,最终报告也是以小组成员个人名义完成,但是由于发

# ECMWF预报系统对2010年夏极端天气事件的预报检验

■ 张云茶 钟琦 编译

2010年7—8月欧洲和亚洲的天气异常非常罕见，发生了俄罗斯热浪和巴基斯坦强降水的极端天气事件。图1显示出阻塞高压位置以及环绕的喷射气流，7月底正是这支急流将冷空气吹向印度洋，该冷空气与低层暖湿空气相互作用，在巴基斯坦产生了较强的降水。阻塞期间，反气旋的位置有助于北方来的冷空气流终止控制西欧的暖期，同时，非洲暖空气流直达俄罗斯，导致了空前的热浪。欧洲中期天气预报中心（ECMWF）对这两起极端天气事件的预报效果在事后进行了检验。

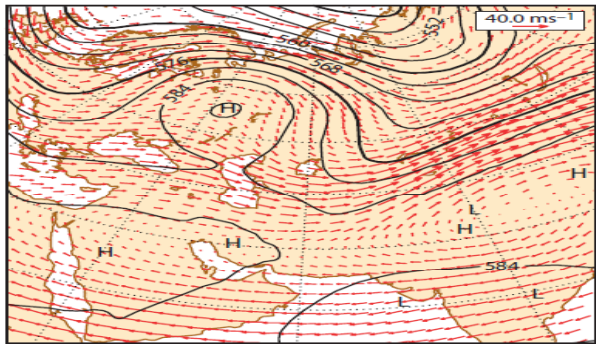


图1 2010年7月15—8月10日平均的500hPa位势高度和200hPa风场

## 对俄罗斯热浪的预报

ECMWF确定性预报和集合预报系统分别在中期预报和月预报中预报了阻塞形势的生成和持续，8月第一周阻塞形势为提前四周的预报；逐月预报系统预报出2010年7月8日俄罗斯500hPa位势高度的正距平，逐月预报的2m温度距平事件发生之前的3周揭示了8月第1周期间不寻常的暖条件，其信号与后来的预报一致。

ECMWF在四天极端预报指数（EFI）的预报中，揭示了7月29日从乌拉尔山脉到俄罗斯西部边界区域的高值，其中莫斯科的EFI非常接近1（即与气候值以上的最高温度概率一致）。

短期EPS预报还揭示了长期气候值以上的最高温度。用极端天气事件的重现期可以用于描述其发生的罕见性；更为罕见的天气事件具有较长的重现期，可以根

据这些事件在长期序列发生的频率进行统计估算。

当热浪无情地影响到俄罗斯百万人口的生命安全时，正确预报阻塞的结束是最为重要的关键，因为反气旋条件的破坏意味着冷空气将能进入俄罗斯。2010年8月12日6天EPS的预报预示着环流的变化，与该环流变化有关的集合预报的发散度非常小，显示该结果具有较高的可信度。

## 对巴基斯坦强降水的预报

7月底袭击巴基斯坦的破坏性洪水不能简单地归因于印度季风的异常活跃。这次过程中仅一天中的降水量就超过了年降雨量的一半。7月最后一周，伴随高空冷空气和低空暖湿空气的不寻常天气形势激发了大量的降水，由此造成了印度河流域的严重洪涝。

ECMWF高分辨率确定性预报揭示了事件发生前5天海洋暖湿空气的流入非常稳定，沿印度河4天累积的降水达400mm，与报道的降水量非常一致。EFI具有清楚的信号，其降水值接近1（最高危险），3个图的排序揭示了巴基斯坦和印度周边地区的EFI值，由此建立了7月27—29日的强降水事件（图2）。

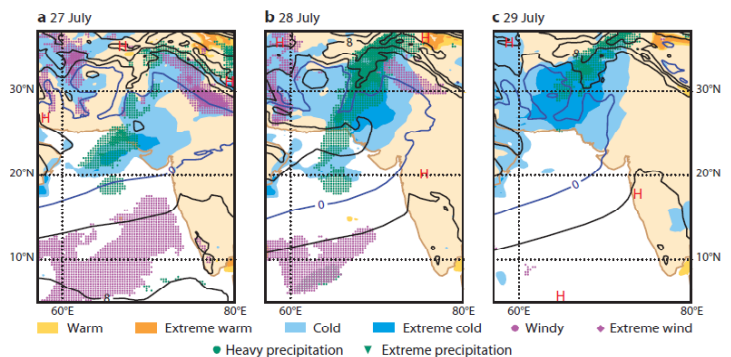


图2 巴基斯坦和印度邻国连续3日的BFI种类，分别为2010年(a)7月27日、(b)7月28日、(c)7月29日（绿点/三角形为强降水/极端降水；浅、深蓝色阴影为异常冷温；深红色点/菱形为风/极值风）

（作者单位：中国气象局培训中心）

起人是联合国秘书长、小组成员级别都很高，因此最终提交的报告必将对2012年联合国可持续发展大会产生重要影响。国际社会充满期待。对于深陷于泥泞之中的气候变化谈判来说，也无疑注入了一针强心剂。

目前，GSP小组举行过三次会议，最终报告的编写也已初见端倪。在历次会议中，来自发展中国家与发达国家的小组成员对全球可持续性最终报告的编写的看法都存在较明显的差异。如何协调两大阵营的观点差异，最终报告会以怎样的面目出炉，如何处理绕不开的气候变化问题，GSP面临重大挑战，编写过程也将是在荆棘中负重前行。

（作者单位：中国气象局培训中心）

## 《土壤健康与气候变化》评介

■ 侯美亭

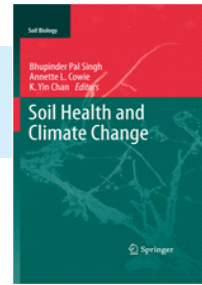
土壤是陆地生态系统的重要组成部分。通过复杂的生物地球化学过程，土壤对全球的环境变化起到了一个缓冲器的作用，扮演了温室气体的源或汇的角色，从而直接影响着人类社会、经济和环境的健康发展。土壤提供的大部分生态系统功能依赖于土壤有机质。因此，通过人为管理增加土壤有机质是至关重要的，这将有助于缓解不断上升的大气CO<sub>2</sub>浓度，并改善土壤结构、减少土壤侵蚀和土地退化。鉴于当前的气候变化，保持土壤健康是非常关键的，因为健康的土壤可以维持正常的物理、化学和生物学功能，从而有效地抵抗外来胁迫。健康的土壤可以增加植物生产力，促进植物、动物和人类的健康发展，维护水、空气质量，支撑土壤有机体群落的多样性，抵抗人类影响和气候变化带来的胁迫以及环境退化。健康的土壤是一个复杂的、自组织的动态生命系统。

“土壤健康”是一个广义的概念，涵盖了土壤的物理、化学和生物特征，可通过定量测量和定性描述进行评估。“土壤健康”和“土

壤质量”也被用来描述土壤对生态系统功能的贡献、满足人类需要以及忍耐胁迫的能力大小。以往出版的与土壤健康或土壤质量有关的书籍，大都关注于现有气候条件下与维护土壤健康有关的土壤健康/质量的指示因子或土壤功能的评估。

为了确保农业生态系统的可持续性，以及维持土壤满足人类对食物、纤维、饲料、木材和燃料需求的功能，需要充分理解全球环境变化和土地管理对土壤健康带来的影响。施普林格出版社2011年出版了由澳大利亚新南威尔士州第一产业部著名环境学者Singh等编著的《土壤健康与气候变化》(*Soil Health and Climate Change*)一书，该书主要关注了三个方面：(1)理解土壤性质或土壤过程对气候变化潜在影响的响应特征；(2)突出传统的和新兴的土地利用系统在维持土壤健康以减缓和适应气候变化影响方面的重要价值；(3)描述与土壤、植物生产力和气候变化有关的反馈过程。

全书共包括三个部分。第一部分介绍了土壤健康的大体概念，强



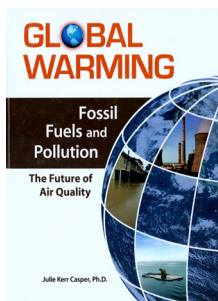
施普林格出版社，2011年出版

调了土壤固碳在提高土壤健康和减缓、适应气候变化潜在影响中的作用。这部分也回顾了有关土壤健康的物理、化学和生物指示因子与气候变化的关系，以及这些因子在检测土地管理和气候变化对土壤健康影响所具备的显著意义的现有研究结果。第二部分描述了一些重要的土壤性质和土壤过程，包括土壤结构、土壤pH、土壤有机质、氮循环、土壤呼吸、土壤生物区系，以及未来气候变化情景下它们在维持土壤生态系统的环境功能中所扮演的角色。第三部分关注了一系列的传统土地利用系统，例如耕作农业、放牧业和林业等等，讨论了这些系统与减缓和适应气候变化有关的土壤健康管理。在第四部分，特别关注了新兴的土地管理系统，例如有机农业、生物质能，以及这些系统对土壤健康和气候可持续性的影响。

(作者单位：中国气象局培训中心)

## 《全球变暖》丛书：《化石燃料及污染——空气质量展望》评介

■ 吴灿



Facts On File, 2009年出版

自19世纪有气象记录以来，地球表面平均温度已上升了0.3~0.6℃。《化石燃料及污染——空气质量展望》(*Fossil Fuels and Pollution——The Future of Air Quality*)是Facts On File推出的《全球变暖》系列丛书(共7册)之一，主要关注人类活动对气候变化及大气成分的影响。1995年，政府间气候变化专门委员会发表的《第二次评估报告》中

指出，人类活动可能是造成20世纪地球表面平均温度明显上升的重要原因，其中化石燃料燃烧释放的大量温室气体如CO<sub>2</sub>、黑碳等是造成温度上升的最主要的物质。此外，化石燃料燃烧向大气释放的其他污染物如：CO、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、烃化物以及总悬浮颗粒物(TSP)等，则会改变大气成分，造成空气质量下降，影响公众健康。

(下转42页)

## 文摘 (中文文献)

### 近50年我国冰雹呈下降趋势

——《气象》2011年第37卷第6期

符琳等撰文指出：利用1958—2007年中国755个站的逐日冰雹资料和同期NCEP/NCAR再分析资料及环流特征量，研究了中国近50年冰雹时空变化特征。研究表明，20世纪70年代末、80年代初我国冰雹呈下降趋势，我国北方冰雹下降趋势比南方显著。分析表明，20世纪70年代末大尺度环流系统的一系列调整是我国北方冰雹减少的主要原因，200hPa高空西风急流南移，导致我国北方纬向风场减弱，风速垂直切变减小，对流减弱；850hPa高度场升高不利于极地冷空气南下和对流系统的建立；同时副高增强，极涡减弱使大气层结稳定，冷空气活动减弱。伴随着大尺度环流的调整，局地垂直温度场结构的变化是影响降雹次数的一个重要原因，局地0℃线和-20℃线之间过冷却水滴累积区距离缩短，不利于雹粒充分地碰并增长，这对东北、华北和西北西部降雹出现显著减少具有十分重要的作用。

### 11月气候异常型及前期环流号

——《应用气象学报》2011年第22卷第3期

杨小波等撰文指出：利用全国160站1951—2008年11月温度、降水资料和同期秋季NCEP/NCAR500hPa高度场再分析资料，分析我国东部季风区11月暖湿、暖干、冷湿、冷干年同期环流特征，并对同期、前期环流特征进行差异t检验。结果表明：暖型（冷型）同期环流对应乌拉尔山阻塞高压不明显（明显），欧亚中高纬度地区盛行纬向（经向）环流；干型（湿型）同期环流对应西太平洋副热带高压偏弱（强）、偏东（西）。差异t检验分布特征表明：在亚洲中高纬度地区，暖干、冷湿型（暖湿、冷干型）同期环流主要表现为南北（东西）气压场的差异；暖干、冷湿型的前期和同期环流特征分别具有EU（Eurasia）和反EU遥相关距平结构，而暖湿、冷干型前期和同期环流

特征分别具有反PNA（Pacific / North American）和PNA遥相关距平结构。

### 2000—2007年登陆台风中闪电活动与降水特征——《应用气象学报》

2011年第22卷第3期

王艳等撰文指出：利用TRMM卫星LIS, PR和TMI资料，对2000—2007年41个登陆我国的台风中闪电活动和降水特征进行分析。结果表明：台风中的闪电活动整体较弱，相对而言，外雨带中的闪电活动最强，其次是眼壁，内雨带最弱，而眼壁的闪电密度最大。闪电活动沿台风径向有两个明显的高值区。台风中对流降水面积远小于层云降水面积，其中外雨带中的对流云降水面积最大，其次是眼壁，内雨带最小；但对流降水对总降水量的贡献与层云相当。眼壁和内雨带中的对流云和层云的降水回波平均高度都小于外雨带。分析表明：TMI观测到的85.5GHz极化修正亮温（ $T_{PC85.5}$ ）越低，闪电发生概率越大，外雨带具有最低的 $T_{PC85.5}$ 。有、无闪电发生区域的平均6km高度雷达反射率因子 $T_{PC85.5}$ 差异明显。台风区域内，闪电活动位置对应的平均6km雷达回波强度普遍大于20dBz，而无闪电发生位置普遍低于30dBz。

### 东亚夏季风年际变率及其与中、高纬度大气环流以及外强迫异常的联系——《气象学报》2011年第69卷第2期

武炳义等撰文指出：利用欧洲中心35年（1968—2002年）月平均再分析资料（ERA-40），通过矢量经验正交分析方法，研究东亚夏季风年际变率的第2、3优势模态及其与中、高纬度大气环流和外强迫异常之间的联系。这两个优势模态均与北半球中、高纬度大气环流异常有密切的关系，累计解释协方差超过了东亚夏季风的第1模态。东亚夏季风变率的第2模态解释了13%的风场协方差，由两个不同的子模态构成（P21和P22），分别对应夏季500hPa高度场的双阻塞高压异常型（乌拉尔山附近以东和鄂霍次克海阻塞高压异常）和欧亚大陆北部的准纬向遥相关波列。东亚夏季风第3模态解释了8.2%的风场协方差，依然包括两个不同的子模态（P31和P32），分别对应夏季500hPa高度场

在欧亚大陆北部的两个不同遥相关波列。这些夏季风模态均对中国降水变化产生影响，特别是在华北和东北地区。

### 2000—2008年期间南海海面温度的年际与空间变异——《海洋学报》

2011年第33卷第3期

岳福文等撰文指出：通过2000—2008年更高空间分辨率的南海海面温度（SST）的卫星遥感数据进行经验正交函数（EOF）分析，着重研究21世纪以来整个南海海域SST年际变化的时空变异，并探讨其与南海海面风场和海面高度的关系，以及期间南海发生的两次负异常事件的特点和成因。结果表明：SST年际变化的第一模态表现为全海盆同相变化，年际振荡主要发生在深海海盆区，最大的振荡中心出现在吕宋海峡西部和中南半岛东南海区；第二模态呈东西反向的分布特征，异常中心位于吕宋海峡以西区域。结果还表明，南海SST年际变化与经向海面风有密切关系。

### 冬季澳大利亚东侧海温与长江流域夏季降水的联系及可能物理机制

——《科学通报》2011年第56卷第16期

周波涛撰文指出：通过对观测资料的分析，初步探讨冬季澳大利亚东侧海温和夏季长江流域降水的关系及可能物理机制。研究表明，澳大利亚东侧冬季海温与我国长江流域夏季降水之间具有同位相变化关系。当冬季澳大利亚东侧海温变暖时，随后夏季西太平洋副热带高压和东亚西风急流位置往往偏南，我国大陆沿岸低层盛行异常的西南风，有利于长江流域降水增多，反之亦然。冬季澳大利亚东侧海温对后期夏季东亚大气环流的影响通过两种途径来实现：（1）冬季澳大利亚东侧海温异常信号由于自身的持续性可维持到夏季，并通过南北半球遥相关影响东亚夏季大气环流的变化；（2）冬季澳大利亚东侧海温偏高时，同期西南印度洋海温也易于偏高。在海气相互作用下，这种异常信号逐渐向东发展，并造成夏季海洋大陆附近海温升高。海洋大陆海温的升高反过来影响对流活动进而导致东亚夏季大气环流异常。

### 华北地区降水事件变化和暴雨事件减少原因分析——《地球物理学报》2011年第54卷第5期

郝立生等撰文指出：使用北京、天津、河北、山西的37个气象观测站的1961—2008年逐日降水资料和NCEP、EC环流资料，对华北降水事件和暴雨事件减少原因进行分析。结果表明，华北地区盛夏暴雨事件对夏季降水量和全年降水量变化有重要影响，近50年盛夏暴雨事件呈显著线性减少趋势，这与东亚夏季风减弱使得从南边界进入华北的水汽通量大量减少以及副热带高压位置南移有关。此外，盛夏暴雨事件减少还与印度对流减弱和菲律宾对流加强、125°E越赤道气流减弱和145°E越赤道气流加强有很好的对应关系。这为认识华北降水减少变化提供了科学依据。

### 华南季风降水对应的环流指数——《应用气象学报》2011年第22卷第3期

姚才等撰文指出：利用NCEP再分析资料及台站和格点降水量资料分析了华南季风降水与周边大气环流的关系，并由此建立了反映6月华南降水强度的季风指数，这一季风指数利用菲律宾及其以东与华南850hPa涡度差定义。华南季风指数具有很好的区域代表性，华南季风指数与亚洲格点日降水量的主要正相关区集中在华南。华南季风指数可以很好地描述华南降水的年际变化和极端年份，季风指数强（弱）的年份也是华南降水偏多（少）的年份，极端的华南季风指数年份对应极端的华南降水年份。华南季风指数高与低年份对应的华南降水量差值通过了0.01的显著性检验。在年代际尺度上，季风指数强（弱）的年代与华南降水偏多（少）的年代有很好的对应关系。华南季风指数包含了西南季风、副热带高压以及中高纬度西风槽等各影响系统的信息，可在业务上使用。

### 基于160站资料的我国表面气温异常特征——《应用气象学报》2011年第22卷第3期

周国华等撰文指出：利用我国160站站域面积和近60年月平均表面气温资料，求得1951—2008年我

国年、季节全国平均气温序列。在此基础上分析了我国表面气温异常的基本特征：四季表面气温异常中冬季异常方差最强，它对四季总异常的方差贡献为47.7%，远高于春、秋季（23.4%，17.2%）和夏季（11.7%）。线性增温在年、季序列中均显著，年序列最强，夏季最弱；全国平均表面气温线性增温的年值为1.4℃/58a，冬季（2.3℃/58a）明显高于夏季（0.6℃/58a）。年代际变化在年和冬、夏季序列中的方差贡献显著，年值（59.3%）明显高于冬、夏季值；年和冬季全国平均表面气温年代际变化从20世纪80年代中期起维持为正，夏季从90年代中期起维持为正。该文提供的年、季节全国平均表面气温序列合理，具有一定代表性。

### 南海台风与上层海洋相互作用的数值模拟研究——《地球物理学报》2011年第54卷第5期

关皓等撰文指出：建立一个综合考虑大气—海流—海浪相互作用的区域海—气耦合模式系统，利用该系统模拟研究了南海台风发生发展的大气、海洋动力学机理。结果表明：耦合模式较真实地反映了台风和上层海洋的相互作用过程，提高了对台风路径和强度的模拟准确率；在台风充分发展阶段，上层海洋的反馈作用使台风路径发生左偏，并抑制了台风强度的发展；三种海洋反馈作用（海面降温、飞沫效应和波浪作用）对台风系统的影响程度不同，海面降温和波浪作用阻碍台风系统的发展，而飞沫效应增强了海气界面的热量传递，促进台风系统的发展；与海面降温和飞沫效应相比，波浪作用对台风系统的影响较小。只有综合考虑各种海洋反馈作用才能更好地解释和预测台风等海上灾害性天气的发生和演变过程。

### 南海—西北太平洋季风槽中热带气旋群发的研究——《海洋学报》2011年第33卷第3期

高建芸等撰文指出：应用1979—2005年西北太平洋热带气旋（TC）资料和OLR、NCEP/DOE AMIP—II再分析逐日资料，探讨南海—西北太平洋季风槽中TC（简称MTTC）群发的可能机理，得到以下几点结论：

（1）5—10月季风槽强度及形态与索马里越赤道气流的强弱、副高的位置以及南半球澳洲冬季风的强弱密切相关，不同区域季风槽强度增强都可能导致MTTC群发。（2）MTTC群发与季风槽强度的低频振荡密切相关。（3）副高的位置、索马里越赤道气流以及西太平洋越赤道气流的低频振荡的位相配置将影响季风槽强度和形态，进而影响MTTC群发。（4）典型个例分析表明，由于季风槽强度和形态的差异造成MTTC主要生成区对流条件以及水汽条件的差异，致使MTTC群发的年际差异。

### 近20年中国地区云量变化趋势——《气象科技》2011年第39卷第3期

段皎等撰文指出：利用国际卫星云气候学计划（ISCCP）最新的D2云气候资料集，给出总云量、高云量及中云量在我国地区的分布特征；分别对季节平均和年平均的时间序列进行线性趋势分析，并进行效果检验。结果表明：近20年来中国大部分地区总云量没有显著的变化趋势，但是，在华南地区和西北部分地区的总云量有增加的趋势，青藏高原中部的总云量有所减少；在不同季节，各地总云量、高云量和中云量的变化趋势是不同的。

### 自然驱动是全球气候变化的重要因素——《气象与环境科学》2011年第34卷第2期

蒋祥明等撰文指出：2007年IPCC公布的第四次评估报告指出，过去50a观测到的地球平均温度升高很可能（90%以上）是由人类活动引起的。高精度的卫星数据分析结果显示，30a来全球气温呈震荡变化，除受厄尔尼诺、火山活动等重大自然现象影响外，并未出现异常增温现象，仍处在正常波动范围内；加勒比海地区的历史资料显示，近几千年来海平面以几乎恒定的速率上升，与大气温度无明显关系；从冰芯中获取的信息表明，CO<sub>2</sub>浓度与气温升高没有必然联系。研究表明，太阳活动、地球系统自组织作用及行星对全球气候变化具有重要的驱动作用。因此，自然驱动是全球气候变化的主要原因，而人类对全球气候变化的作用很小。

## 文摘 (英文文献)

### 天气事件可预报性研究

—Geophysical Research Letters, 2011, Vol.38

天气事件的可预报性问题,除了从理论上进行探讨研究之外,一个更为实用的研究方法就是对真实的天气事件进行“事后预报(retrospective forecasts)”研究,即让模式预报系统在事后补充尽可能多的观测资料后重新预报,并审视结果和与真实事件过程对比。最近,GRL连续发表3篇论文,结果喜忧参半。日本海洋局学者Matsueda论文“Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010”针对2010年夏季东欧和俄罗斯西部经历的导致1.5万人死亡的高温热浪,利用中期集合预报开展的研究表明,这一因大气阻塞造成的事件,是可预报的,提前时间能达到216小时。然而,来自欧洲中期天气预报中心的学者Jung等在“Origin and predictability of the extreme negative NAO winter of 2009/10”一文中,针对2009-2010年冬季北美和欧洲部分地区寒冷和多降雪天气事件的驱动原因,利用该中心的月预报系统进行的分析则表明,众多因子中没有该事件的直接原因,这也解释了为什么主流预报没有做出正确预报。Weisheimer等则利用欧洲中期天气预报中心2007年投入运行的集合模式系统,在“On the predictability of the extreme summer 2003 over Europe”一文中对发生在2003年8月欧洲大部分地区的热浪进行可预报性研究,发现对该事件的可预报性更多地依赖于实地观测而非遥感观测。

**黄淮流域和长江流域的极端降水变化**—Characteristics and Changes of Extreme Precipitation in the Yellow-Huaihe and Yangtze-Huaihe Rivers Basins, China. *Journal of Climate*, 2011, Vol. 24, No. 14.

研究表明全球变暖可能使得极端降水的强度正在发生变化。Dong等使用广义帕累托分布模型(GPD)拟合了中国黄淮流域和长江流域的日降水

特征,分析了极端降水的空间分布,并使用基于GPD的广义线性模型研究了1951—2004年间日降水的长期趋势。研究指出,淮河流域上游发生极端降水事件的概率最大,这和该流域历史上的许多洪水记录一致。极端降水趋势的空间变异显示,鄱阳湖流域的上游出现了显著的正趋势,黄河和海河流域的中下游出现了显著的负趋势,淮河流域和鄱阳湖流域下游的变化趋势不显著。

### 基于遥感蒸散的干旱指数评价

—Evaluation of Drought Indices Based on Thermal Remote Sensing of Evapotranspiration over the Continental United States. *Journal of Climate*, 2011, Vol. 24, No. 8.

基于降水的标准化气象干旱指数经常受到降水数据在不同区域的可利用性和数据质量的限制。而且,基于降水的干旱指数仅反映了地表水循环过程中的降水输入部分,不能够体现来自非降水的地表水分输入(例如灌溉)部分,而这些输入对于缓解干旱影响往往具有重要意义。Anderson等提出了一种基于遥感蒸散(ET)的新干旱指数——蒸散胁迫指数(ESI),通过与美国大陆2000—2009年生长季的SPI, PDSI以及干旱分类数据等对比,分析了ESI的特点和时间尺度响应特征。ESI使用静止卫星的热波段影像数据,量化了实际蒸散与潜在蒸散之间比率的动态变化特征。时空相关分析显示,ESI与短时间尺度(低于6个月)的基于降水的干旱指数具有较好的相关,并且ESI具有更高的空间分辨率,不需要任何降水数据。因此,在那些由于具有充分非降水来源的水分输入导致蒸散通量增强的区域(例如,灌溉频繁区域和浅地下水埋深区域),ESI指数具有独特优势。

**北方中高纬地区植被生长开始期的预测**—Predicting the time of green up in temperate and boreal Biomes. *Climatic Change*, 2011, Vol. 107, No. 3-4.

气候变暖导致北半球中高纬区域植被的生长开始期普遍提前,然而,这种提前可能相当有限,甚至也有可能延后。因为在北方中高纬区域,许多温带和寒带树种在冬季需要经历一

定的低温过程(对低温的需求量被称为“需冷量”),这样当春季气候变暖时叶片可以迅速萌发。Kaduk等基于12年的NDVI数据,使用不同的物候模型拟合了北方中高纬地区植被的生长开始期,揭示了“需冷量”与有效积温之间的关系。研究指出,气候变暖将可能导致冬季的“需冷量”呈下降趋势,那么春季叶片萌发时对有效积温的需求将以指数增长,而春季气候变暖的幅度也是有限的,这将造成植被生长开始期的提前时间具有一定局限。在未来B1情景下,与1985—1996年相比,2000—2060年间北方中高纬地区植物生长开始期的提前可能被限制在4~5天(某些区域可能会达15天)。

**源于热红外遥感、被动微波遥感和陆面模式的土壤湿度的相互比较**—An intercomparison of available soil moisture estimates from thermal infrared and passive microwave remote sensing and land surface modeling. *Journal of Geophysical Research*, 2011, Vol. 116, D15107.

土壤湿度的遥感反演一般基于主动和被动微波遥感,然而微波遥感的空间分辨率较低,并且对于中等和高植被覆盖区域土壤湿度的反演能力较差。为解决这些问题,Hain等使用热红外遥感弥补了微波遥感在土壤湿度反演上的不足。同微波遥感相比,热红外遥感具有较高的空间分辨率,且能提供高植被覆盖下的土壤湿度信息。研究对比分析了基于被动微波遥感(AMSR-E)、热红外模型(ALEXI)和陆面模式(Noah)所反演的2003—2008年间美国大陆土壤湿度之间的关系。结果显示,热红外和微波遥感所反演出的土壤湿度具有很好的互补性,这种互补使得构建土壤湿度数据同化系统成为可能。

**冰期—间冰期印度夏季风的动力学**—Glacial-Interglacial Indian Summer Monsoon Dynamics. *Science*, 2011, Vol. 333, No. 6043.

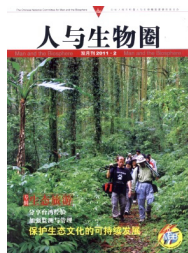
利用青藏高原东南缘鹤庆盆地获取的666米湖泊沉积岩心,An等揭示了更新世印度夏季风非轨道尺度的变化机制,提出了冰期—间冰期南北半球间气压梯度对印度季风环流驱动的一

(下转25页)



### 《新民周刊》 2011年24期

以“鄱阳湖之殇”为总题目，给出了专题封面报道，内容涉及鄱阳湖生态恶化、九江旱情和鄱阳湖水利工程等内容。封面上有一句“早着早着，说涝就涝”大众话语，让气象人迫切地感觉到：长期预报，百姓需要。



### 《人与生物圈》 2011年3期

本期为纪念联合国教科文组织“人与生物圈”计划40年，该杂志出版的系列特别纪念专辑之一。“人与生物圈(MAB)”计划是联合国教科文组织针对全球面临的人口、资源、环境问题，于1971年发起的一项政府间跨学科的大型综合性研究计划。人与生物圈计划的核心理念言简意赅：人是生物圈的一部分，环境保护的问题不能脱离与人类生活和当地社区经济发展的需要。我国自1973年加入人与生物圈计划，随后在1978年由邓小平等老一代党和国家领导人批准建立了中国人与生物圈国家委员会，并将其日常机构秘书处设立在中国科学院，推动这一计划在中国的实施。

### 《大众科学》 2011年7期

地球蕴藏有超过8万亿桶石油，尽管如此，终有耗尽的时候。在不断开发新的更加绿色的能源的同时，在今后人类还能够获取石油资源的几十年里，随着炼油技术和设备的改进，石油开采怎样才能更便宜更清洁？特别是在绿色技术成熟以前，面对各种成分的原油，我们首先应该开采使用对环境影响最小的那种原油。

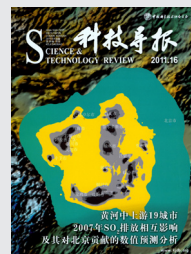


### 《地球》2011年6月

以“能源变局”为主题的封面报道，全面介绍“十二五”期间中国能源发展的战略规划。世界能源的格局，正在加速改变。传统能源的减速，新兴能源的雄起，已然是大势所趋。可以说，谁在新能源的角逐中领先，谁就将赢得未来世界最大的一块能源版图。作为全球能源消费大国和环境污染严重的中国，在中国政府“十二五”规划中，明确提出了要重点发展新能源产业，推进能源的多元化、清洁化发展，能源结构调整和新能源发展成为重中之重。7篇文章诠释了“十二五”蓝图，扫描了各国发展新能源的经验。

### 《科技导报》 2011年16期

封面报道介绍了由陕西省气象科学研究所、中国气象科学研究所和环境保护部环境发展中心等机构学者共同完成的，依据黄河中上游地区19个城市2007年SO<sub>2</sub>源排放总量和气象资料，利用MM5、CALPUFF数值模式系统对黄河中上游19城市2007年二氧化硫排放及其对北京影响的数值预测分析结果。研究指出，为提高空气质量，单一城市的污染控制规划和措施除考虑其对本地的影响外，还应充分考虑限定其对外界的贡献。



## 媒体扫描

## MEDIA SCAN

### 《科学通报》

2011年6月56卷18期

以封面报道方式，给出国家海洋局第一海洋研究所利用MASNUM“浪—潮—流耦合数值模式”，对2008年和2010年发生在黄海洋苔灾害的预测研究成果。研究发现，海洋表层流场变化是漂浮浒苔移动路径变异的主因，2008年6月，青岛近海表层海流向岸流动且流向与岸线近乎垂直，使得浒苔在青岛沿岸大量堆积；而2010年6月至7月上旬，该海域的表层流场基本与岸线平行，故浒苔主体未在青岛沿岸聚集。



### Nature 2011年5月

Nature杂志在“封面故事”的报道中，介绍了加拿大北极群岛，拥有冰层之外全球陆地冰的三分之一。以往这部分水对全球海平面升降的贡献不为人知。新的研究利用三种独立的算法，得到2007—2009年间该群岛的物质损失为每年920±120亿吨，大约是2004—2006年间的3倍。这一趋势也和夏季温度升高的事实吻合。

### Weather 2011年5月

Weather杂志是英国皇家气象学会创办的面向大众气象爱好者和气象人员的杂志，2011年迎来Weather杂志创办65年，杂志为此出版周年纪念。

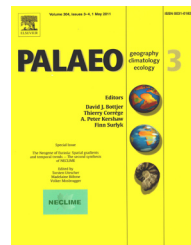


### 《美国水资源协会杂志》 2011年6月第3期

本期出版了“非平稳性水文频率分析和水管理”专辑。洪涝和干旱事件的频率和量级信息，对于水资源管理至关重要。传统水文频率分析基于水文是静态的假设，即水文事件的可能分布是不随时间变化的。无论是气候变化还是人类活动，导致水文环境正在发生改变，而数十年时间尺度气候变率的理念也向静态假设发出挑战。本专辑20篇论文，探讨了非静态水文频率分析及其对水管理的影响。

### 《古地理，古气候，古生态》

2011年3—4期为国际开放研究网NECLIME (Neogene Climate Evolution in Eurasia, 欧亚大陆第三纪气候演变) 第二批成果专辑。NECLIME于2000年建立，项目的主要目标：1) 基于代用资料用统计技术重建欧亚第三纪气候；2) 模拟大气和海洋环流；3) 分析古地理、植被和气候之间相互作用。目前有34个国家的94位科学家是NECLIME的成员。本专辑的15篇论文，分别论述了西欧、东欧气候和生态系统演变(7篇、4篇)和基于代用资料大尺度形态和模式试验(3篇)，以及一篇综述文章。



# Advances in Meteorological Science and Technology (Bimonthly)

Vol.1 No.2, August, 2011

**Supervisor** China Meteorological Administration (CMA)  
**Sponsor** CMA Training Centre

**Honorary Editor** Chou Jifan

**Editor-in-Chief** Xu Xiaofeng

## Associate Editors

Xiao Ziniu  
Zhai Panmao  
Luo Yunfeng  
Wang Huijun  
Li Weijing  
Hu Yongyun  
Tan Zhemin  
Fei Jianfang  
Guan Zhaoyong  
Zhou Dingwen  
Huang Jianping  
Liao Xiaohan  
Lü Shihua  
Jia Pengqun (executive)

## Managing Editors

Cheng Xiuhu, Gao Xuehao, Gong Jiandong, Guo Xueliang, Li Bai, Li Guoping, Ni Yunqi, Qu Xiaobo, Ren Guoyu, Ren Xiaobo, Shen Wenhai, Wang Weidan, Wu Bingyi, Yang Xiuqun, Yu Xiaoding, Zhang Chaolin, Zhang Peng, Zhang Qingyun, Zhao Ping

## Editors

Bi Baogui, Chen Yunfeng, Chen Zhenlin, Cui Chunguang, Cui Jiangxue, Dong Wenjie, Feng Guolin, Guo Hu, He Jinhai, He Qing, Hu Xin, Hu Yurong, Hu Yuewen, Jiang Tong, Lei Xiaotu, Li Hui, Li Jiming, Li Liangfu, Li Yaohui, Li Yueqing, Liang Xudong, Liu Jingmiao, Liu Liping, Liu Shi, Lu Naimeng, Lu Riyu, Luo Bing, Luo Yali, Ma Li, Ma Shuqing, Ma Yaoming, Mao Hengqing, Peng Yinghui, Pu Yifen, Shi Guangyu, Song Yan, Tang Xu, Tian Hong, Wan Qilin, Wang Bin, Wang Donghai, Wang Jianlin, Wang Xiaoyun, Wang Yanqing, Wang Yingchun, Wang Yuan, Wang Zaizhi, Wang Zifa, Wen Min, Wen Hongtao, Wu Liguang, Xie Zhihui, Yan Guanhua, Yang Shaoming, Yao Xuexiang, Yi Lan, Zhai Wuquan, Zhang Hua, Zhang Lixiang, Zhang Xiaoling, Zhang Yuetang, Zhao Guangzhong, Zhou Lingxi, Zhou Xianxin, Zhu Dingzhen, Zhu Xiaoxiang, Zhu Yande, Zou Liyao

## Overseas Editors

Chen Jingming, Li Jun, Liu Zhengyu, Jin Feifei, Wang Bin, Weng Fuzhong, Yang Song, Zhang Dalin, Zhang Guangjun, Zou Xiaolei

## Editorial office

Zhang Meng, Hou Meiting, Hu Ying, Su Shipo, Chen Zhongmei

Add: CMA Training Centre, 46 Zhongguancun Nandajie,  
Beijing 100081, China  
Tel: +86-10-68409927/68409933  
Email: amst@cma.gov.cn  
<http://library.cma.gov.cn/amst>  
<http://weibo.com/2115232930/profile>

## Printed by

Beijing Baochang Color Printing Limited Corporation

ISSN 2095—1973

CN 10—1000/P

RMB 20.00

## Main Contents

Message from the Editor-in-Chief

## Article

- 6 Zhao Ping et al/ The Asian-Pacific Oscillation and Its Impact on Climate
- 11 Chou Jifan/ Predictability of Weather and Climate
- 15 Fang Shibo et al/ Climate Change Affects Crop Production and Its Adaptation
- 20 Wang Shaowu / Progress in Palaeo-Climate Studies
- 26 Dai Xingang et al/ A Case Study of Methodology in Finding Lorenz Chaos Attractor
- 32 Cui Chunguang et al/ Research Progress on Storm and Flood Forecasting
- 38 Wang Yirong et al/ A Review of Recent Study Advances in Climatic Environment on China Loess Plateau
- 43 Ye Mengshu et al/ Historical Review of Weather Information in Mass Communication
- 46 Liu Licheng et al/ A General Description of the Study of Meteorological Culture

## Forum

- 51 Sun Jian et al/ Meteorological Service in UK
- 55 Luo Xiaoyong et al/ Characteristics of the Meteorological Service in Ancient China

## Feature

- 58 Dai Yang/ UN Secretary-general's High-level Panel on Global Sustainability
- 59 Zhang Yunrong et al/ Extreme Weather Events in Summer 2010: How Did the ECMWF Forecasting Systems Perform?

## Reading

### Book Review

- 60 Hou Meiting/ Soil Health and Climate Change
- 60 Wu Can/ Global Warming: Fossil Fuels and Pollution——The Future of Air Quality

### Information

- 31 New Publications
- 61 Selected Papers

## History

### Event

- 64 Jia Pengqun/ UKMO's Celebration of 150 years of Weather Forecasting for the Nation

## Survey

- 2 Picture/ Number/ Ranking