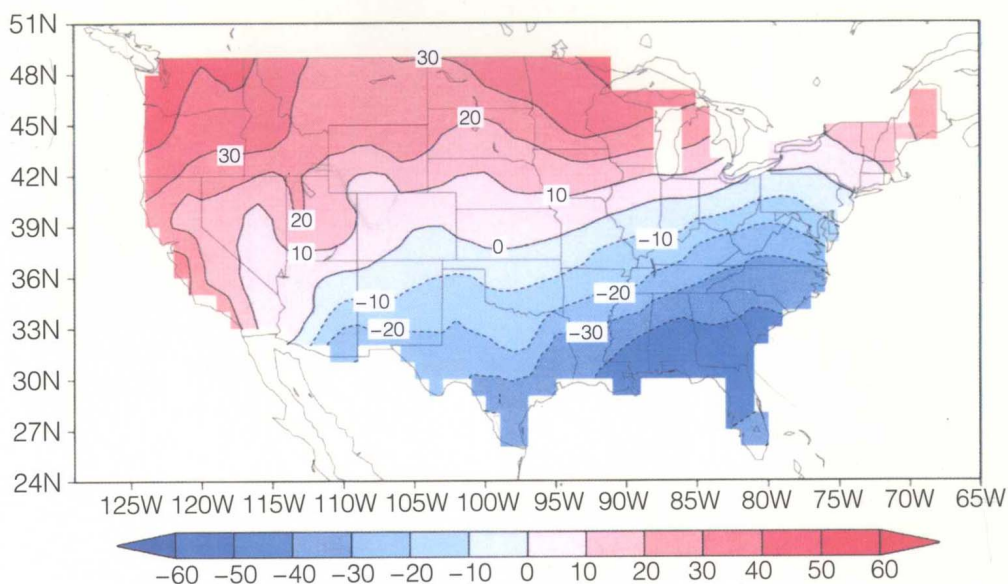
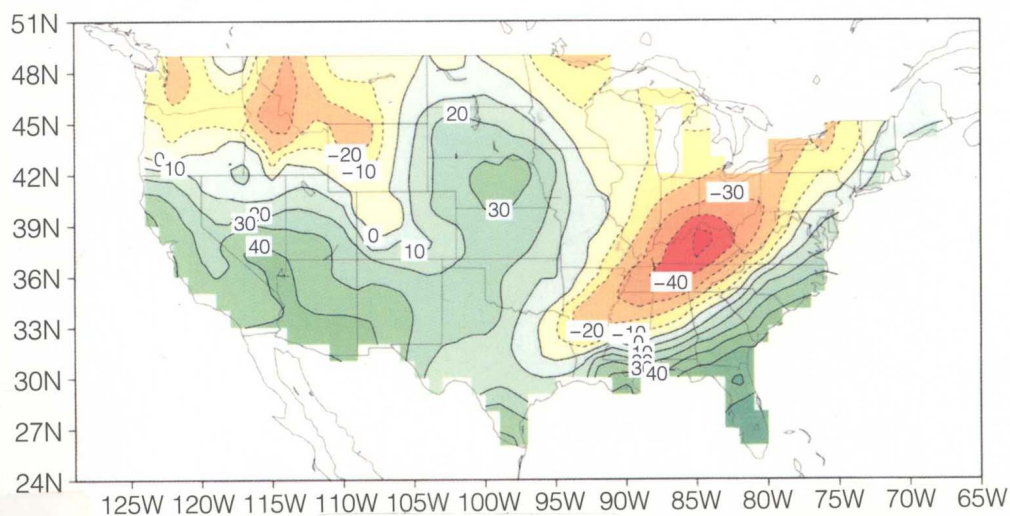




短期气候预报的经验 (统计)方法

Huug van den Dool (胡克·范登杜) 著
张勤 肖子牛 江志红 译

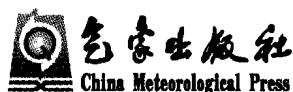


本书受到公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906016)的部分资助

短期气候预报的经验 (统计)方法

Huug van den Dool 著
(胡克·范登杜)

张 勤 肖子牛 江志红 译



内容简介

本书是美国气候预测中心(NOAA/CPC)H. 范登杜博士根据他和他的同事们多年气候预测的经验和应用实践写成。全书系统地介绍了在业务上作为基础性工具的主要经验或统计方法,其中最具特色的有经验波传播法(EMP),遥相关理论和经验正交化遥相关方法与相似预报法,这些都是在CPC用于业务气候预测中行之有效的办法。本书将气候研究的最新理论研究成果和预报技术有机地结合起来,这对从事气候预报的业务人员十分有用,同时也可以帮助业务人员用这些方法拓展到延伸预报中去。另外,本书中关于现代短期气候预测方法的介绍与季节预测的实例对于各国,包括中国的气候预报员也是十分有用的。

“Empirical Methods in Short-Term Climate Prediction” was originally published in English in 2007. This translation is published by arrangement with Oxford University Press

© Huug van den Dool, 2007

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of China Meteorological Press and Oxford University Press.

This edition is for sale in the People's Republic of China(excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan Province) only. 此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括香港、澳门特别行政区和台湾省)销售。

图书在版编目(CIP)数据

短期气候预报的经验(统计)方法/张勤,肖子牛,江志红译著.

北京:气象出版社,2010.12

ISBN 978-7-5029-5146-7

I. ①短… II. ①张…②肖…③江… III. ①短期天气预报-方法

IV. ①P456.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第264404号

北京市版权局著作权合同登记:图字01—2010—7981号

出版发行:气象出版社

地址:北京市海淀区中关村南大街46号

总编室:010-68407112

网址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:王萃萃 李太宇

封面设计:博雅思企划

印刷:北京中新伟业印刷有限公司

开本:787 mm×1092 mm 1/16

字数:282千字

版次:2011年2月第1版

定价:30.00元

邮政编码:100081

发行部:010-68406961

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终审:袁信轩

责任技编:吴庭芳

彩插:6

印张:11

印次:2011年2月第1次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

献 辞

此书献给我已故的父母,同时也是我的老师,Theresia E. M. Aengenent 和 H. M. van den Dool 爵士,以及在乌德勒克的大学老师,已故教授 W. Bleeker 和 F. H. Schmidt。每当提起他们的名字,我心中充满对我的老师们的敬意。

Huug van den Dool
(胡克·范登杜)

译版序言

近十几年来,短期气候预测业务在国内外得到了迅速的发展,一个主要的特征是气候模式日益成为气候业务预报的主要工具。目前,至少有十几个耦合或非耦合气候模式在各大气候中心用于业务或试验性预报。实践表明,虽然气候模式表现出不断的预报技巧,但总体上还满足不了服务的需求,其中从科学上有许多问题和不确定性需要解决,这在2006年Palmer与Hagedorn编辑的《Predictability of Weather and Climate》一书中已有较全面的分析和评述。因而短期气候业务预测从目前的科学水平来看,尚需经验(或统计)方法与动力学方法相结合使用,这也是提高短期气候预测预报技巧的主要途径之一。尤其是在东亚季风地区,深受来自热带海洋和欧亚中高纬气候信号的复杂影响,气候模式的预报技巧较低,经验或统计预报方法显得更为重要。

本书是美国气候预测中心(NOAA/CPC)H. 范登杜博士根据他和他的同事们多年气候预测的经验和应用实践写成,全书系统地介绍了在业务上作为基础性工具的主要经验或统计方法,这些都是在CPC用于业务气候预测中行之有效的方法。其中我认为最具特色的有经验波传播法(EMP)、遥相关理论和经验正交化遥相关方法与相似预报法。它把气候研究的最新理论研究成果和预报技术有机地结合起来,这对从事气候预报的业务人员十分有用,同时也可以帮助业务人员用这些方法拓展到延伸预报中去。另外,关于现代短期气候预测方法的介绍与季节预测的实例对于各国,包括中国的气候预报员也是十分有用的。

总之,这本书是我看到的为数不多的一本全面介绍业务上应用的经验短期气候预测方法专著,其内容之完整,概念阐述之清楚,以及理论与实践结合之紧密,是其他相关专著中难以找到的。我相信,由作者的同事张勤博士以及肖子牛博士、江志红博士翻译的此书一定会受到我国相关部门和读者的广泛欢迎。

丁一汇*

国家气候中心

2009年2月5日

* 丁一汇,中国工程院院士。

序

从爱因斯坦提出著名的相对论已经整整一个世纪。其中理论推测并预言的现象之一是当光接近太阳时会弯曲。经过精心设计的实验,其结果证明了该理论的正确性。

气象学却没有那么戏剧性的故事。例如,也是一个世纪之前,当第一个探测气球揭示了平流层的存在时,没有一种现成的理论可以解释为什么平流层会存在随高度增温的大气。直到近代,当常规观测的探测气球达到更高的高层大气后,才令人吃惊地发现赤道平流层的准两年振荡,即盛行东风一年后交替盛行西风大约一年。甚至现在,当人们发现南极的春季存在一个臭氧洞时,也怀疑是否是测量仪器的误差造成的,因为没有哪个理论能预示这些现象的存在。总之,人们对大气本质认识的逐渐加深完全是建立在经验和观察的基础之上。

对于预报未来天气的早期尝试也依赖于经验,即使当 Vilhelm Bjerknes 在一个世纪前提出了可以用动力方程组求解的方法来做天气预报时,他也意识到实际上求解是很难实现的。最早期的预报是主观的推测,随着计算机的发展,使过去一些经验方法能够更容易地应用和实现。同时基于动力方程的数值天气预报开始大量涌现。对于提前一两天的预报而言,数值天气预报的准确性虽不能说十全十美,却已经相当不错。然而由于大气的混沌特性,对于更长时间如几周或月尺度的预报,它还达不到一些简单经验方法的效果。另外,参数化的过程,如对流云等,即使是基于动力框架也得不到唯一的公式求解。怎样在几种方案中选择更合适的,则要依靠观测和经验。因此,本书中重点强调的大气科学中的经验方法就显得特别有价值。

在本书中,Huug van den Dool 博士集中介绍了各种经验的气候预报方法,特别是对于短期气候预报,那些目前用数值预报还未达到较好的效果,而经验统计方法却能够取得一些有用的预报技巧。其中有些经验预报方法是他本人的研究成果。在本书第三章中介绍的经验波传播方法使人想起了多年前曾经建议的方案,所不同的是现在的公式得到的结果更好。在后面的章节中他还讨论了相似方法,这是早在第二次世界大战时就已经开始使用的一种预报手段,但是那时的预报并不比主观猜测的预报好。在其他章节中,还介绍了一些现代短期气候预报的流程。

Van den Dool 博士将经验预报和数值预报看作是两种并驾齐驱的预报工具,

其目标是一致的。他展望在今后不久的将来也许数值预报会成为几周和几个月预报更完善的工具,而使他的书成为历史的见证。当然这其实无关紧要,因为现在每一本描述关于某一领域当前状态的书都有类似的结果。而这一天并不是马上就会到来。即使这一时刻到来,随着预报的实践不断充实和提高,我猜想经验预报方法也许会继续对更长期的预报具有指导意义。

Edward N. Lorenz
麻省理工学院 气象名誉教授
2006 年 3 月于麻省剑桥

前 言

本书总结了我个人长期以来在气候预报方面的工作经验,特别是近年来参与许多教学工作的心得体会,其中,最主要的是与马里兰大学的 Eugenia Kalnay 教授一起为研究生开设的《大气海洋统计学》课程以及和美国国家气象局的几位同事合作举办的气候变化讲座。还有一部分体会来自参与国家气象局为拓展业务服务而组织的与用户交流活动以及近期我在专业会议上所作的报告。

这本书受益于我的许多同事,没有这些年和他们一起地探讨,要写好这本书是不可能的。他们之中有荷兰皇家气象研究所(KNMI)的 Cor Schuurmans 和 Theo Opsteegh,拉乔拉美国斯克利普斯海洋研所的 Jerome Namias 和 John Horel,马里兰大学的 William Klein, Ferdinand Baer 和 Ming Cai,气候分析中心的 Donald Gilman 和 David Rodenhuis,以及国家环境预报中心的 Eugenia Kalnay, Suranjana Saha, Jae Schemm, Jeff Anderson 和 Jin Huang。我还要感谢在气候预报中心和我一起从事预报工作的同事 Jim Wagner, O'Lenic, Tony Barnston, Bob Livezey 和 David Unger,我们在一起度过了许多既争辩又合作的岁月。

书中的有关章节加入了一些同事的工作,包括有 Ming Cai, Pentao Peng, Jae Schemm, Suranjana Saha, David Unger 和 Jin Huang 等。原稿文字经过 Jeff Anderson, Ming Cai, Michelle L'Heureux, Åke Johansson, Tony Barnston, Ed O'Lenic 和 Cor Schuurmans 的仔细审阅。另外还要感谢 Jon Hoopingarner, David Unger, Suranjana Saha 和牛津大学出版社在绘制本书插图方面所给予的帮助。

我要感谢国家海洋大气管理局的领导 Vern Kousky, Jim Laver 和 Louis Uccellini,他们不仅允许我把写书与工作结合起来,而且还给了我许多鼓励。

我要特别感谢麻省理工学院的荣誉教授 Edward N. Lorenz 愿为本书撰写序言,其中对理论、模式和经验统计之间的相对作用阐述了他的见解。

最后我要感谢我的妻子 Suru Saha 及我们的家人在我写书过程中给予我的爱、支持和鼓励。

格言:

世上有两类知识,一类是从老师那里学习得来的,另一类来自于本能(或者说是直觉)和独立思考。我希望本书能帮助读者提高掌握第二类知识的能力。

Huug van den Dool

Acronyms and notions(缩略语)

A	Above Normal Class(tercile) 高于正常值
AC	Anomaly Correlation 距平相关
AMIP	Atmospheric Model Inter-comparison Project. In practice a multi-decadal model run with observed interannually varying global SST as lower boundary conditions 大气模式比较项目
AMS	American Meteorological Society 美国气象协(学)会
AO	Arctic Oscillation, renamed Northern Annular Mode(counterpart for SH's Southern Annual Mode) 北极振荡(北方环状模)
B	Below Normal tercile 低于正常值
CA	Constructed Analogue 构建相似
CAC	Climate Analysis Center(forerunner of CPC) 气候分析中心(CPC 的前身)
CCA	Canonical Correlation Analysis 奇异相关分析
CDAS	Climate Data Assimilation System, real time continuation of Reanalysis 气候资料同化系统
CDC	Climate Diagnostics Center(renamed in October 2005 to;) 气候诊断中心
CLIPER	A method based on Climatology and Persistence 气候和持续性预报方法
CFS	Climate Forecast System used at NCEP NCEP 气候预报系统
CPC	Climate Prediction Center, one of the nine centers in NCEP (美国)气候预报中心

cpdf	Conditional pdf 条件概率密度函数
CV	Cross-validation(in verification) 交叉检验
DEMETER	Name of a European Seasonal Prediction Project 欧洲季节预报项目
d. o. f.	Degrees of Freedom 自由度
E	Climatological Probability for the three class system(1/3rd) 三分法的气候概率
ECD	Empirical Correlation Distribution 经验相关分布
ECMWF	European Center for Medium-range Weather Forecasting 欧洲中期天气预报中心
e. d. o. f.	Effective Degrees of Freedom 有效自由度
El Nino	Oceanic Phenomenon: Occasional warming of tropical Pacific ocean lasting months to a few years 厄尔尼诺
EMC	Environmental Modeling Center, one of the nine centers in NCEP (美国)环境模式中心
ENSO	Name for the combination of El Nino and Southern Oscillation 厄尔尼诺和南方涛动的合称
EOF	Empirical Orthogonal Function, also called Principal Component Analysis 经验正交(正交经验)函数
EOT	Empirical Orthogonal Teleconnection 经验正交(正交经验)遥相关
EOT2	Extension of EOT2 across two dat sets 二维经验正交(正交经验)遥相关
EV	Explained Variance 解释的方差
EWP	Empirical Wave Propagation 经验波传播
EWP1	Empirical Wave Propagation using zonal harmonics 纬向谐波展开的经验波传播
EWP2	Empirical Wave Propagation using global spherical harmonics 全球球函数展开的经验波传播
GCM	General Circulation Model 大气环流模式

IRI	International Research Institute for Climate Prediction(Palisades New York) 气候预报国际研究所(纽约)
La Nina	Oceanic Phenomenon: Occasional cooling of tropical Pacific Ocean lasting months to a few years 拉尼娜
LIM	Linear Inverse Model 线性逆模式
l. o. p.	Limit of Predictability 预报极限
mb	unit for pressure: the millibar(old unit; still allowed)equal to hectoPascal 毫巴(hPa)
MJO	Madden and Julian Oscillation 麦登-朱利安振荡
MRK	Markov Model 马尔可夫模式
N	Near Normal Class 接近正常类
NA	Natural Analogues 自然相似
NAO	North Atlantic Oscillation 北大西洋涛动
NCEP	National Centers for Environmental Prediction, Washington DC(part of NWS) (美国)国家环境预报中心
NINO34	Area in the Pacific Ocean from 5°S to 5°N and 170°W to 120°W. Usually the SST averaged over this area 尼诺 3.4 指数
NOAA	National Oceanographic and Atmospheric Administration, US Dept of Commerce 美国国家海洋和大气管理局
NWP	Numerical Weather Prediction 数值天气预报
NWS	National Weather Service in the US. One of the major components of NOAA 美国国家气象局
OCN	Optimal Climate Normal 优化气候平均
PCA	Principal Component Analysis(same as EOF) 主分量分析

pdf	Probability density function 概率密度函数
PER	Persistence(as forecast method) 持续性预报
PNA	Pacific North-American pattern 太平洋—北美遥相关型
POP	Principal Oscillation Patterns 主振荡型
Reanalysis	Major international project to re-analyze weather maps up and down the atmosphere and the ocean retroactively from 1940's forward with a constant method 再分析资料
rms	root-mean-square 均方根
rmse	root-mean-square error 均方根误差
SC	Squared covariance 协方差平方
SO	Southern Oscillation, a seesaw of mass between Indian and Pacific Ocean 南方涛动
SOI	Southern Oscillation Index 南方涛动指数
SST	Sea-Surface Temperature 海表温度
STV	Space-Time Variance 时空变量
SV	Spatial Variance 空间变量
SVD	Singular Value Decomposition 奇异值分解
QBO	Quasi-Biennial Oscillation 准两年振荡
WMO	World Meteorological Organization 世界气象组织
Z500	the height at which pressure is 500mb 500 hPa 等压面的高度场

List of symbols(符号表)

$\langle \rangle$	time mean 时间平均
$\{ \}$	a reference time mean(may not equal the time mean of data set under investigation) 参考时间平均
$[]$	a zonal or a space mean 纬向或空间平均
$'$	departure from a time mean(or climatological mean) 偏差
$*$	departure from space mean 减去空间平均
A	amplitude 振幅
A	verification attribute 属性检验
$A(s)$	spatial map 空间分布
a	regression coefficient 回归系数
a	radius of the earth 地球半径
a, b	sine/cosine coefficients of harmonic expansion 谐波系数
$\mathbf{a}$	vector $\mathbf{a}$ in $\mathbf{Q}$ $\mathbf{b}=\mathbf{a}$ 矢量 $\mathbf{a}$
$\mathbf{b}$	vector $\mathbf{b}$ in $\mathbf{Q}$ $\mathbf{b}=\mathbf{a}$ 矢量 $\mathbf{b}$
b	regression coefficient 回归系数
$\mathbf{B}$	general matrix 一般矩阵

$B(s)$	spatial map 空间分布
c, d	sine/cosine coefficients of harmonic expansion 正弦/余弦谐波展开系数
c	intercept(regression) (回归)截断
c_{gx}, c_{gy}	zonal, meridional component of group speed(m/s) 群速度的纬向、经向分量
C	phase speed(m/s) 相速度
$\mathbf{C}$	time lagged covariance matrix 时间滞后协方差矩阵
c	a positive constant 正的常数
d	basis function 基函数
e	basis function 基函数
$\mathbf{e}$	eigenvector(solution of $\mathbf{B}\mathbf{e}=\lambda\mathbf{e}$) 特征向量
$\mathbf{E}$	matrix containing eigenvectors 特征向量矩阵
$f(s, t)$	function of time and space, or a data set at $n_s(n_t)$ points in space(time) 时(间和)空(间的)函数
f	Coriolis parameter($2\Omega\sin\varphi$) 科里奥利参数
G	growth rate 增长率
g	acceleration of gravity 重力加速度
$g(s, t)$	function of time and space, or a data set at $n_s(n_t)$ points in space(time) 时(间和)空(间的)函数
$h(s, t)$	function of time and space, or a data set at $n_s(n_t)$ points in space(time) 时(间和)空(间的)函数
F	Rossby radius of deformation 罗斯贝变形半径
i, j	counter for position in time and space 时(间和)空(间的)点数

k	mode number(for EOF, EOT etc) 模数
K	multi-dimensional wavenumber 多维波数
K	optimal number of years(for climatic normals) 最佳年平均的年份(数)
L	sample size 样本大小
$\mathcal{L}$	linear operator 线性算子
M	size of a data set(e. g. number of years) 数据集大小
M	total number of orthogonal modes, $\leq$ the smaller of n_s and n_t 正交模的总数
$M(s, t)$	complex mode 复数模
$\mathbf{M}$	diagonal matrix with elements μ_m 对角矩阵
m	zonal wavenumber 纬向波数
m	mode number(for EOF, EOT etc) 模数
N	effective degrees of freedom 有效自由度
$N\mathcal{L}$	non-linear operator 非线性算子
n	meridional wavenumber 经向波数
n	total wavenumber(for associated spherical harmonics) 总波数
n_s	total number of gridpoints(or stations)in space 空间格点总数
n_t	total number of time levels in a data set 时间总长度
P	constructed analogue prediction operator 构建相似的预报算子
p	precipitation 降水

Q	covariance matrix 协方差矩阵
Q^a	alternative covariance matrix 转置协方差矩阵
q_{ij}	elements of Q 矩阵 Q 的元素
R	matrix of random forcing 随机强迫矩阵
S	spatial domain 空间范围
s	space coordinate 空间坐标
SST	Sea-surface Temperature 海表温度
u, v	west-east, south-north wind components(m/s) 纬向风、经向风分量
$u(t), v(t)$	time series 时间序列
U	west to east back ground wind(m/s) 平均纬向风
U	residual to be minimized 最小方差
t	time(coordinate) 时间
Δt	time increment 时间间隔
T	temperature 温度
T	period 周期
w	weighting factor 权重因子
w	soil moisture 土壤湿度
x	west-east coordinate 东西向坐标
x	state vector 矢量

y	south-north coordinate 南北向坐标
Z	geopotential height(geopotential meter) 位势高度
$Z500$	geopotential height of 500 mb height surface 500 毫巴(hPa)位势高度场
$\alpha(t)$	time series of expansion coefficients as in $f(s, t) = \sum \alpha_m(t)e_m(s)$ 时间展开系数
α_j	weight multiplying an observed anomaly map 格点的权重
γ	threshold value 阈值
β	meridional derivative of the Coriolis parameter 经向科里奥利参数
$\beta(s)$	spatial pattern 空间分布
$\beta(t)$	time series of expansion coefficients as in $f(s, t) = \sum \beta_m(t)e_m(s)$ 时间展开系数
ε	phase angle 位相角
ε	distance between two states of the atmosphere 两个大气状态的距离
ρ	damping factor 阻尼系数
ρ_{ij}	shorthand for $\rho(s_i, s_j)$, the correlation between two positions in space 空间两点相关系数
Ω	rotation of the earth 地球自转角速度
τ	lead of the forecast; lag in(auto)correlation 超前的预报时间, 或自相关的滞后时间
λ, φ	longitude, latitude 经度, 纬度
λ	wavelength 波长
Λ	matrix containing eigenvalues along the main diagonal and zero elsewhere 特征值对角矩阵
λ	eigenvalue 特征值