

平流层气候

李崇银 李琳 谭言科 潘静 著



气象出版社

China Meteorological Press

平流层气候

李崇银 李琳 谭言科 潘静 著



气象出版社

内 容 简 介

本书基于欧洲中期数值预报中心(ECMWF)的 ERA-40 资料,对平流层大气环流的气候特征及演变进行了统计分析,揭示了平流层风场、温度场和位势高度场的时空特征;同时基于 ECMWF-ERA40 的臭氧资料、统计分析揭示了平流层臭氧气候平均的时空变化特征。这些统计分析结果系统而清晰地展现了平流层的气候状况及变化特征。在统计分析的同时,为了更好地认识平流层气候的特征和规律,本书还给出了针对平流层气候主要系统和过程的研究论文,以便加深读者对平流层气候及其变化的理论认识。

本书是我国目前关于平流层气候的第一本专著,可供天气气候方面的科研和业务工作者以及高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

平流层气候/李崇银等著. —北京:气象出版社,2008.6

ISBN 978-7-5029-4532-9

I. 平… II. 李… III. 平流层 IV. P421.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 089505 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

邮 编:100081

网 址:<http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

电 话:总编室 010-68407112,发行部 010-68409198

责任编辑:李太宇 隋珂珂

终 审:陆同文

印 刷 者:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:26

字 数:666 千字

版 次:2008 年 6 月第 1 版

印 次:2008 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:78.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

前 言

平流层是指对流层顶以上到离地面大约 55 km 高度的大气层。随着科学技术的进步,尤其是火箭和卫星技术的发展,以及人类活动范围的扩展,有关平流层的科学问题已引起了科学界和公众的广泛关注。现有观测资料表明,平流层中的臭氧层已受到人为排放污染物的影响而被严重地破坏,使得人们对平流层臭氧保护地球生物的作用有所担心;而在大家关心全球变化的同时,人们对平流层过程对全球气候的影响也十分关注。正是由于科学家们意识到平流层在全球气候系统中的重要作用,从 1992 年开始,《世界气候研究计划》(WCRP)中专门设立了一个名为《平流层过程及其在气候中的作用》的子计划(SPARC)。其主要研究内容是,除研究平流层臭氧的耗损外,还包括平流层对气候变化的影响和气候变化对平流层的反馈作用。

由于平流层中的热力和动力学过程都与对流层大气有很大的差异,平流层的大气环流及其变化与对流层有着明显差异。由于观测资料的限制,人们对平流层的了解和认识相对于对流层还有不少的差距。关于气候和对流层的大气环流,人们已从不同角度进行了许多研究,仅是对流层大气环流的统计分析图集在国内外就出版过几种版本。随着人类活动在平流层的日益频繁,迫切需要知道平流层大气环流的状况及其时间变化特征,了解平流层大气环流的多年平均状况及统计特征是最为基本的需求。

利用欧洲中期数值预报中心(ECMWF)最新的再分析资料,通过统计分析,我们给出了平流层大气环流的、不同形式的多年平均结果作为本书的主要部分。它们包括对主要气象要素风、温度、位势高度和臭氧含量;既有不同等压面高度上的水平分布形势,也用不同形式的剖面显示了垂直结构特征;还包括水平分布和垂直结构的时间变化。对于平流层大气来讲,这些大气环流形势也就反映了平流层的气候特征,因此我们将本书定名为“平流层气候”。平流层气候与对流层的气候有所不同,一般在气候学中的重要因子——降水量在平流层是没有的,其他如云和雾等也极为少见;但平流层中的环流(风)场、温度场和臭氧却是极为重要的气候参数,它们的变化不仅反映平流层的状态演变,也将影响对流层的环流和气候。深入研究和认识平流层大气环流(流场和温度场)的特征及变化、深入认识平流层臭氧的分布特征及演变规律,也就不仅能了解平流层的气候,还能对平流层和对流层的相互关系和影响有所知晓。

与对流层大气环流和所对应的气候一样,平流层的大气环流或气候也总是处

在不停的变化状态之中,而要认识这些变化就要了解平流层大气中主要的一些特有过程和系统,以及与对流层的联系和影响。因此,在本书中我们还给出了一些有关平流层大气环流变化的研究论文,供读者在认识平流层大气环流(气候)时参考。根据平流层大气环流在冬季和夏季的不同形势特征,我们分别讨论了夏季平流层的南亚高压和冬季平流层的北极涛动(AO);也讨论了平流层的准两年振荡(QBO)及其机理;还分析讨论了 ENSO 对平流层南亚高压以及对北半球冬季平流层大气环流的影响。

我们深信,随着平流层大气观测资料的日益增加和平流层大气环流及其变化研究的进一步深入,平流层气候将为众多学者所认识,并将对保障人类在平流层的各种活动发挥应有的作用。

本书中的图集是基于 ECMWF 再分析资料得到的原貌形势,未做其他加工,有利于读者根据各自的需求去认识和应用那些结果。本书是国内第一本讨论有关平流层气候及其变化的著作。由于我们目前认识水平的限制,加之写作的时间比较仓促,书中的一些结果还是阶段性的,甚至可能还有不妥之处,敬请读者批评指正。

由于 ERA-40 再分析资料的高度的公开性,数以万计的研究工作采用了该资料,该资料的可靠度受到世界各国气象研究人员的好评。本书的原始资料也来源于 ECMWF,在此特向 ECMWF 表示衷心的感谢!

李崇银*

2008年3月28日

* 李崇银,中国科学院院士,中国科学院大气物理研究所研究员/解放军理工大学气象学院教授。

符号、缩写和定义表

(List of Symbols, abbreviations and definitions)

a	地球平均半径(mean radius of the earth) ($\approx 6.371 \times 10^6 \text{ m}$)
c_p	干空气定压比热容(specific heat capacity of dry air at constant pressure) ($= 1.00464 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
DJF	12 月至 2 月(December to February)
f	科氏参数(Coriolis parameter) ($= 2\Omega \sin \varphi$)
g	重力加速度(acceleration due to gravity) ($= 9.806 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)
JJA	6 月至 8 月(June to August)
MAM	3 月至 5 月(March to May)
P	压强(pressure)
P_{00}	参考面气压(reference level pressure)
SON	9 月至 11 月(September to November)
T	温度(temperature)
u	向东速度分量(eastward velocity component)
v	向北速度分量(northward velocity component)
V	水平风矢量(horizontal wind vector)
w	向上速度分量(upward velocity component)
z	几何高度(geometric height)
φ	纬度(latitude)
ψ	质量流函数(mass stream function)
$\bar{A}$	量 A 的时间平均(time average of any quantity A) ($= (t_2 - t_1)^{-1} \int_{t_1}^{t_2} A dt$)
$[A]$	A 的纬向平均(zonal average of A) ($= (2\pi)^{-1} \int_0^{2\pi} A d\lambda$)
A^*	对 A 的纬向平均之偏差(departure from zonal average of A) ($= A - [A]$)
$\bar{A}^*$	定常波(stationary wave) ($= \bar{A} - [\bar{A}]$)

目 录

前言

符号、缩写和定义表

资料 and 计算	(1)
(1) 原始资料	(1)
(2) 计算说明	(1)
1 平流层大气环流气候态	(5)
1.1 气候平均场的全球分布	(7)
月平均纬向风场 $\bar{U}$ (图 1.1.1—图 1.1.12)	(7)
月平均经向风场 $\bar{V}$ (图 1.1.13—图 1.1.24)	(19)
月平均垂直速度场 $\bar{w}$ (图 1.1.25—图 1.1.36)	(31)
月平均高度场 $\bar{Z}$ (图 1.1.37—图 1.1.48)	(43)
月平均温度场 $\bar{T}$ (图 1.1.49—图 1.1.60)	(55)
月平均风场 (图 1.1.61—图 1.1.72)	(67)
1.2 气候平均场的垂直结构	(79)
1.2.1 不同经度、月份气候平均场的纬度-高度剖面图	(79)
平均纬向风场 $\bar{U}$ (图 1.2.1.1—图 1.2.1.4)	(79)
平均经向风场 $\bar{V}$ (图 1.2.1.5—图 1.2.1.8)	(84)
平均垂直速度场 $\bar{w}$ (图 1.2.1.9—图 1.2.1.12)	(89)
平均高度场 $\bar{Z}$ (图 1.2.1.13—图 1.2.1.16)	(95)
平均温度场 $\bar{T}$ (图 1.2.1.17—图 1.2.1.20)	(100)
平均经向环流场 (图 1.2.1.21—图 1.2.1.24)	(105)
1.2.2 不同纬度、月份气候平均场的经度-高度剖面图	(111)
平均纬向风场 $\bar{U}$ (图 1.2.2.1—图 1.2.2.4)	(111)
平均经向风场 $\bar{V}$ (图 1.2.2.5—图 1.2.2.8)	(115)
平均垂直速度场 $\bar{w}$ (图 1.2.2.9—图 1.2.2.12)	(120)
平均高度场 $\bar{Z}$ (图 1.2.2.13—图 1.2.2.16)	(125)
平均温度场 $\bar{T}$ (图 1.2.2.17—图 1.2.2.20)	(129)
平均纬向环流场 (图 1.2.2.21—图 1.2.2.24)	(134)
1.3 纬向平均量的分布	(139)
1.3.1 各月、季平均场的纬向平均分布	(139)

月、季平均纬向风场 $\bar{U}$ (图 1.3.1.1, 图 1.3.1.2)	(139)
月、季平均经向风场 $\bar{V}$ (图 1.3.1.3, 图 1.3.1.4)	(141)
月、季平均垂直速度场 $\bar{w}$ (图 1.3.1.5, 图 1.3.1.6)	(144)
月、季平均高度 $\bar{Z}$ (图 1.3.1.7, 图 1.3.1.8)	(147)
月、季平均温度 $\bar{T}$ (图 1.3.1.9, 图 1.3.1.10)	(149)
月、季平均质量流函数 ψ (图 1.3.1.11, 图 1.3.1.12)	(152)
1.3.2 不同纬度上纬向平均场的时间-高度剖面图	(155)
纬向平均纬向风场 $\bar{U}$ (图 1.3.2.1)	(155)
纬向平均经向风场 $\bar{V}$ (图 1.3.2.2)	(156)
纬向平均垂直速度 $\bar{w}$ (图 1.3.2.3)	(157)
纬向平均高度 $\bar{Z}$ (图 1.3.2.4)	(158)
纬向平均温度 $\bar{T}$ (图 1.3.2.5)	(159)
1.3.3 不同等压面上纬向平均场的时间-纬度剖面图	(160)
纬向平均纬向风场 $\bar{U}$ (图 1.3.3.1, 图 1.3.3.2)	(160)
纬向平均经向风场 $\bar{V}$ (图 1.3.3.3, 图 1.3.3.4)	(162)
纬向平均垂直速度 $\bar{w}$ (图 1.3.3.5, 图 1.3.3.6)	(164)
纬向平均高度 $\bar{Z}$ (图 1.3.3.7, 图 1.3.3.8)	(166)
纬向平均温度 $\bar{T}$ (图 1.3.3.9, 图 1.3.3.10)	(168)
1.4 准定常扰动场的全球分布	(170)
月平均准定常扰动纬向风场 $\bar{U}^*$ (图 1.4.1—图 1.4.12)	(170)
月平均准定常扰动经向风场 $\bar{V}^*$ (图 1.4.13—图 1.4.24)	(182)
月平均准定常扰动垂直速度场 $\bar{w}^*$ (图 1.4.25—图 1.4.36)	(194)
月平均准定常扰动高度场 $\bar{Z}^*$ (图 1.4.37—图 1.4.48)	(206)
月平均准定常扰动温度场 $\bar{T}^*$ (图 1.4.49—图 1.4.60)	(218)
1.5 气候平均准定常扰动场的垂直结构	(230)
1.5.1 不同经度、月份准定常扰动气候平均场的纬度-高度剖面图	(230)
准定常扰动平均纬向风场 $\bar{U}^*$ (图 1.5.1.1—图 1.5.1.4)	(230)
准定常扰动平均经向风场 $\bar{V}^*$ (图 1.5.1.5—图 1.5.1.8)	(235)
准定常扰动平均垂直速度场 $\bar{w}^*$ (图 1.5.1.9—图 1.5.1.12)	(240)
准定常扰动平均高度场 $\bar{Z}^*$ (图 1.5.1.13—图 1.5.1.16)	(246)
准定常扰动平均温度场 $\bar{T}^*$ (图 1.5.1.17—图 1.5.1.20)	(251)
1.5.2 不同经度、月份准定常扰动气候平均场的经度-高度剖面图	(256)
准定常扰动平均纬向风场 $\bar{U}^*$ (图 1.5.2.1—图 1.5.2.4)	(256)
准定常扰动平均经向风场 $\bar{V}^*$ (图 1.5.2.5—图 1.5.2.8)	(261)
准定常扰动平均垂直速度场 $\bar{w}^*$ (图 1.5.2.9—图 1.5.2.12)	(266)
准定常扰动平均高度场 $\bar{Z}^*$ (图 1.5.2.13—图 1.5.2.16)	(270)
准定常扰动平均温度场 $\bar{T}^*$ (图 1.5.2.17—图 1.5.2.20)	(275)

1.6 极值全风速的全球分布	(280)
1.6.1 最大全风速的全球分布(150 hPa、100 hPa、70 hPa、50 hPa、30 hPa、 20 hPa、10 hPa、7 hPa、5 hPa、3 hPa、2 hPa 和 1 hPa)(图 1.6.1.1— 图 1.6.1.12)	(280)
1.6.2 最小全风速的全球分布(150 hPa、100 hPa、70 hPa、50 hPa、30 hPa、 20 hPa、10 hPa、7 hPa、5 hPa、3 hPa、2 hPa 和 1 hPa)(图 1.6.2.1— 图 1.6.2.12)	(292)
2 平流层气候平均臭氧含量的全球分布	(305)
2.1 月平均臭氧混合比的全球分布(图 2.1.1—图 2.1.12)	(307)
2.2 不同经度、月份平均臭氧混合比的纬度-高度剖面图(图 2.2.1—图 2.2.4)	(319)
2.3 不同纬度、月份平均臭氧混合比的经度-高度剖面图(图 2.3.1—图 2.3.4)	(324)
2.4 各月、季平均臭氧混合比的纬向平均分布(图 2.4.1—图 2.4.2)	(329)
2.5 不同纬度(60°N,40°N,20°N,EQ,20°S,40°S)上纬向平均臭氧混合比的 时间-高度剖面图(图 2.5.1)	(332)
2.6 不同等压面上纬向平均臭氧混合比的时间-纬度剖面图 (图 2.6.1—图 2.6.2)	(333)
3 平流层气候的几个主要问题研究	(335)
夏季平流层南亚高压的结构特征	(337)
冬季平流层北极涛动(AO)及其变化	(347)
热带平流层纬向风的准两年周期振荡	(365)
ENSO 对平流层南亚高压的影响	(376)
ENSO 对北半球冬季平流层大气环流的影响	(388)

CONTENTS

Preface

List of symbols, abbreviations and definitions

Data and calculations	(1)
(1) Raw data	(1)
(2) Calculations	(1)
1 Figures for Stratospheric Atmospheric Circulation	(5)
1.1 Global distribution of climatological mean fields	(7)
Monthly mean zonal wind $\bar{U}$ (Fig. 1. 1. 1—Fig. 1. 1. 12)	(7)
Monthly mean meridional wind $\bar{V}$ (Fig. 1. 1. 13—Fig. 1. 1. 24)	(19)
Monthly mean vertical velocity $\bar{\omega}$ (Fig. 1. 1. 25—Fig. 1. 1. 36)	(31)
Monthly mean height $\bar{Z}$ (Fig. 1. 1. 37—Fig. 1. 1. 48)	(43)
Monthly mean temperature $\bar{T}$ (Fig. 1. 1. 49—Fig. 1. 1. 60)	(55)
Monthly mean wind field (Fig. 1. 1. 61—Fig. 1. 1. 72)	(67)
1.2 Vertical distributions of climatological fields	(79)
1.2.1 Latitude—height sections of climatological mean fields at different longitudes and months	(79)
Monthly mean zonal wind $\bar{U}$ (Fig. 1. 2. 1. 1—Fig. 1. 2. 1. 4)	(79)
Monthly mean meridional wind $\bar{V}$ (Fig. 1. 2. 1. 5—Fig. 1. 2. 1. 8)	(84)
Monthly mean vertical velocity $\bar{\omega}$ (Fig. 1. 2. 1. 9—Fig. 1. 2. 1. 12)	(89)
Monthly mean height $\bar{Z}$ (Fig. 1. 2. 1. 13—Fig. 1. 2. 1. 16)	(95)
Monthly mean temperature $\bar{T}$ (Fig. 1. 2. 1. 17—Fig. 1. 2. 1. 20)	(100)
Monthly meridional circulation (Fig. 1. 2. 1. 21—Fig. 1. 2. 1. 24)	(105)
1.2.2 Longitude—height sections of climatological mean fields at different latitudes and months	(111)
Monthly mean zonal wind $\bar{U}$ (Fig. 1. 2. 2. 1—Fig. 1. 2. 2. 4)	(111)
Monthly mean meridional wind $\bar{V}$ (Fig. 1. 2. 2. 5—Fig. 1. 2. 2. 8)	(115)
Monthly mean vertical velocity $\bar{\omega}$ (Fig. 1. 2. 2. 9—Fig. 1. 2. 2. 12)	(120)
Monthly mean height $\bar{Z}$ (Fig. 1. 2. 2. 13—Fig. 1. 2. 2. 16)	(125)
Monthly mean temperature $\bar{T}$ (Fig. 1. 2. 2. 17—Fig. 1. 2. 2. 20)	(129)
Monthly zonal circulation (Fig. 1. 2. 2. 21—Fig. 1. 2. 2. 24)	(134)

1.3 Zonal-mean quantities (Fig. 1.3.1.1—Fig. 1.3.3.10)	(139)
1.3.1 Zonal mean distributions for months and seasons average	(139)
Monthly and seasonal mean zonal wind $\bar{U}$ (Fig. 1.3.1.1, Fig. 1.3.1.2)	(139)
Monthly and seasonal mean meridional wind $\bar{V}$ (Fig. 1.3.1.3, Fig. 1.3.1.4)	(141)
Monthly and seasonal mean vertical velocity $\bar{\omega}$ (Fig. 1.3.1.5, Fig. 1.3.1.6)	(144)
Monthly and seasonal mean height $\bar{Z}$ (Fig. 1.3.1.7, Fig. 1.3.1.8)	(147)
Monthly and seasonal mean temperature $\bar{T}$ (Fig. 1.3.1.9, Fig. 1.3.1.10)	(149)
Monthly and seasonal mean stream function ψ (Fig. 1.3.1.11, Fig. 1.3.1.12)	(152)
1.3.2 Time-height sections of zonal-mean quantities at different latitudes	(155)
Zonal mean zonal wind $\bar{U}$ (Fig. 1.3.2.1)	(155)
Zonal mean meridional wind $\bar{V}$ (Fig. 1.3.2.2)	(156)
Zonal mean vertical velocity $\bar{\omega}$ (Fig. 1.3.2.3)	(157)
Zonal mean height $\bar{Z}$ (Fig. 1.3.2.4)	(158)
Zonal mean temperature $\bar{T}$ (Fig. 1.3.2.5)	(159)
1.3.3 Time-latitude sections of zonal-mean quantities at different pressure levels	(160)
Zonal mean zonal wind $\bar{U}$ (Fig. 1.3.3.1, Fig. 1.3.3.2)	(160)
Zonal mean meridional wind $\bar{V}$ (Fig. 1.3.3.3, Fig. 1.3.3.4)	(162)
Zonal mean vertical velocity $\bar{\omega}$ (Fig. 1.3.3.5, Fig. 1.3.3.6)	(164)
Zonal mean height $\bar{Z}$ (Fig. 1.3.3.7, Fig. 1.3.3.8)	(166)
Zonal mean temperature $\bar{T}$ (Fig. 1.3.3.9, Fig. 1.3.3.10)	(168)
1.4 Global distributions of climatological mean stationary wave fields	(170)
Monthly stationary wave mean zonal wind $\bar{U}^*$ (Fig. 1.4.1—Fig. 1.4.12)	(170)
Monthly stationary wave mean meridional wind $\bar{V}^*$ (Fig. 1.4.13—Fig. 1.4.24)	(182)
Monthly stationary wave mean vertical velocity $\bar{\omega}^*$ (Fig. 1.4.25—Fig. 1.4.36)	(194)
Monthly stationary wave mean height $\bar{Z}^*$ (Fig. 1.4.37—Fig. 1.4.48)	(206)
Monthly stationary wave mean temperature $\bar{T}^*$ (Fig. 1.4.49—Fig. 1.4.60)	(218)
1.5 Vertical distribution of climatological mean stationary wave fields	(230)
1.5.1 Latitude-height sections of climatological mean stationary wave fields at different longitudes and months	(230)
Stationary wave mean zonal wind $\bar{U}^*$ (Fig. 1.5.1.1—Fig. 1.5.1.4)	(230)
Stationary wave mean meridional wind $\bar{V}^*$ (Fig. 1.5.1.5—Fig. 1.5.1.8)	(235)
Stationary wave mean vertical velocity $\bar{\omega}^*$ (Fig. 1.5.1.9—Fig. 1.5.1.12)	(240)
Stationary wave mean height $\bar{Z}^*$ (Fig. 1.5.1.13—Fig. 1.5.1.16)	(246)
Stationary wave mean temperature $\bar{T}^*$ (Fig. 1.5.1.17—Fig. 1.5.1.20)	(251)
1.5.2 Longitude-height sections of climatological mean stationary wave fields at different latitudes and months	(256)
Stationary wave mean zonal wind $\bar{U}^*$ (Fig. 1.5.2.1—Fig. 1.5.2.4)	(256)
Stationary wave mean meridional wind $\bar{V}^*$ (Fig. 1.5.2.5—Fig. 1.5.2.8)	(261)

Stationary wave mean vertical velocity $\overline{w}^*$ (Fig. 1. 5. 2. 9—Fig. 1. 5. 2. 12)	(266)
Stationary wave mean height $\overline{Z}^*$ (Fig. 1. 5. 2. 13—Fig. 1. 5. 2. 16)	(270)
Stationary wave mean temperature $\overline{T}^*$ (Fig. 1. 5. 2. 17—Fig. 1. 5. 2. 20)	(275)
1. 6 Global distributions of extremum wind field	(280)
1. 6. 1 Global distributions of maximum wind field (150 hPa, 100 hPa, 70 hPa, 50 hPa, 30 hPa, 20 hPa, 10 hPa, 7 hPa, 5 hPa, 3 hPa, 2 hPa and 1 hPa) (Fig. 1. 6. 1. 1—Fig. 1. 6. 1. 12)	(280)
1. 6. 2 Global distributions of minimum wind field (150 hPa, 100 hPa, 70 hPa, 50 hPa, 30 hPa, 20 hPa, 10 hPa, 7 hPa, 5 hPa, 3 hPa, 2 hPa and 1 hPa) (Fig. 1. 6. 2. 1—Fig. 1. 6. 2. 12)	(292)
2 Figures for Ozone Mass Mixing Ratio in the Stratosphere	(305)
2. 1 Global distribution of Ozone mass mixing ratio (Fig. 2. 1. 1—Fig. 2. 1. 12)	(307)
2. 2 Latitude-height sections of Ozone mass mixing ratio at different longitudes and months (Fig. 2. 2. 1—Fig. 2. 2. 4)	(319)
2. 3 Longitude-height sections of Ozone mass mixing ratio at different latitudes and months (Fig. 2. 3. 1—Fig. 2. 3. 4)	(324)
2. 4 Zonal mean distributions of Ozone mass mixing ratio for months and seasons average (Fig. 2. 4. 1—Fig. 2. 4. 2)	(329)
2. 5 Time-height sections of zonal-mean quantities at different latitudes (60°N, 40°N, 20°N, EQ, 20°S, 40°S) (Fig. 2. 5. 1)	(332)
2. 6 Time-latitude sections of zonal-mean quantities at different pressure levels (Fig. 2. 6. 1—Fig. 2. 6. 2)	(333)
3 Some Researches on Stratospheric Climate	(335)
Characteristics of South Asia High(SAH) in summer	(337)
Characteristics of Arctic Oscillation(AO) and its change	(347)
Research on quasi—biennial oscillation(QBO)	(365)
The influence from ENSO on SAH	(376)
The influence from ENSO on stratospheric circulation of Northern Hemisphere during winter	(388)

资料 and 计算

欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 简称 ECMWF)是一个包括 24 个欧盟成员国的国际性组织,是当今全球独树一帜的国际性天气预报研究和业务机构。其前身为欧洲的一个科学与技术合作项目(COST),1973 年有关国家召开大会宣布 ECMWF 正式成立,1979 年 6 月开始制作中期天气预报,1979 年 8 月 1 日正式制作业务中期天气预报产品。ECMWF 主要提供 10 天的中期数值预报产品,各成员国通过专用的区域气象数据通信网络得到这些产品后作出各自的中期预报,同时 ECMWF 也通过由世界气象组织(WMO)维护的全球通信网络向世界所有国家发送部分有用的中期数值预报产品。

30 多年来,该中心致力于数值天气预报开发与应用的研究。随着计算机技术和数值模式的发展,ECMWF 的 10 天的全球中期预报和 6 个月的气候预测已经达到了相当高的准确度。与此同时,ECMWF 以其优越的技术资源和计算条件在资料的再分析方面也取得了很大的发展。

数值模式的进步、资料变分同化技术的成熟为资料再分析的进步与发展打下了基础,再分析资料弥补了过去观测资料的很多不足,成为许多气象研究的重要的一部分。再分析资料为气候定义、诊断气候变异和评估模式提供了可靠的资料保证。

在资料的再分析过程中,将各种常规和非常规资料在同化系统中进行资料同化,这样使得观测资料更完善和精确。2003 年 4 月,ECMWF 完成了 ERA-40 的再分析资料,该资料垂直高度到达 1 hPa,包含了 1957 年 9 月到 2002 年 8 月的各个气象要素场,除了温度、位势高度、垂直速度、相对湿度、纬向风、经向风、臭氧(质量)混合比以外还包括了潜热通量、感热通量等一些其他资料。

(1) 原始资料

原始资料为(欧洲中期天气预报中心)ECMWF 再分析资料(ERA-40),资料为每天 4 个时次(00 时、06 时、12 时、18 时),垂直 23 层(分别为 1000、925、850、775、700、600、500、400、300、250、200、150、100、70、50、30、20、10、7、5、3、2、1 hPa),水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,资料从 1957 年 9 月 1 日开始到 2002 年 8 月 31 日结束。资料所包含的物理量有纬向风 $u(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ 、经向风 $v(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ 、垂直速度 $w(\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1})$ 、位势高度 $Z(\text{gpm})$ 、温度 $T(\text{K})$ 、相对湿度 $H(\%)$ 、臭氧混合比(kg/kg)。

(2) 计算说明

1) 气候平均

在对原始资料的处理过程中,首先计算出各要素日平均的资料,然后依次计算出各要素月平均、年平均、多年月平均、多年年平均以及各要素的距平资料。计算中不考虑权重,

$$\bar{A} = \frac{1}{M} \sum_i^M P_i, \quad (1.1)$$

其中 $\bar{A}$ 为平均量, M 为时间长度(总年数为 45 年)。

2) 气候平均的垂直结构

各要素气候平均场在不同经度(包括 0° 、 60°E 、 90°E 、 120°E 、 180° 、 120°W 、 90°W 、 60°W)不同时间的纬度-高度剖面图;各要素气候平均场在不同纬度(包括 15°N 、 30°N 、 45°N 、 60°N 、 60°S 、 45°S 、 30°S 、 15°S)不同时间的经度-高度剖面图,垂直方向从 1000 hPa 到 1 hPa。

3) 纬向平均

年平均、月平均纬向平均量:考虑资料为线性经纬网格资料,计算中不考虑权重的影响,

$$[A] = \frac{1}{I} \sum_i^I p_{ij} \quad (1.2)$$

($j=1, 2, \dots, 73$), i 为经圈上的格点数, j 为纬圈上的格点数, $i=144$, $j=73$ 。

4) 纬向平均量的季节变化

不同纬度(包括 20°N 、 40°N 、 60°N 、EQ、 60°S 、 40°S 、 20°S)上气象要素纬向平均的时间-高度剖面:各要素在不同等压面(共 23 层)上纬向平均量的时间-纬度剖面。

5) 准定常扰动场的全球分布

将 A 的定常扰动定义为时间平均值的纬向偏差,即

$$\bar{A}^* = \bar{A} - [\bar{A}], \quad (1.3)$$

其中 $\bar{A}$ 为时间平均量, $[\bar{A}]$ 为时间平均量的纬向平均, A 的时间平均和纬向平均分别参考公式 1.1, 1.2。

6) 质量流函数(纬向平均经圈环流)

对于 P 坐标系中的质量连续性方程:

$$\text{div}V + \frac{\partial w}{\partial p} = 0, \quad (1.4)$$

取时间平均和纬向平均后有

$$\frac{\partial |\bar{v}| \cos\varphi}{a \cos\varphi \partial \varphi} + \frac{\partial |\bar{\omega}|}{\partial p} = 0, \quad (1.5)$$

引入质量流函数 ψ 满足

$$\frac{2\pi a^2 \cos\varphi}{g} [\bar{\omega}] = -\frac{\partial \psi}{\partial \varphi} = -A, \quad \frac{2\pi a \cos\varphi}{g} [\bar{v}] = \frac{\partial \psi}{\partial p} = B \quad (1.6)$$

有

$$\frac{\partial A}{\partial p} = \frac{\partial B}{\partial \varphi}$$

考虑区域是单连通的,有全微分形式: $d\psi = A d\varphi + B dp$

且 ψ 的积分与路径无关,只与积分路径的端点有关。设积分路径为 C , 则

$$\int_c d\psi = \psi_{c1} - \psi_{c0} = \psi(\varphi_1, p_1) - \psi(\varphi_0, p_0) = \int_c -A d\varphi + \int_c B dp \quad (1.7)$$

其中 C_0 和 C_1 为路径的端点。取 C_0 在上边界 $p=0$ 处, 且 C 取折线路径, 折线的一边与上边界 $p=0$ 面重合, 另一边与其正交并与 p 轴平行。利用上边界条件 $[\omega]|_{p=0}=0$ 有,

$$\psi_{c1} - \psi_{c0} = \int_0^p B dp \quad (1.8)$$

所以, 当端点 C_0 上的 ψ 值已知时, 在所考虑的区域 ψ 的积分由 $[\bar{v}]$ 的分布完全决定, 通常假定在大气层顶没有净的质量通量, 在大气层顶处 $\psi=0$, 利用公式 (1.8) 和观测的 $[\bar{v}]$ 就可确定出所考虑的区域上的 ψ 分布^[1]。

7) 极值全风速的分布特征

全风速: $V = \sqrt{u^2 + v^2}$, 考虑每个格点上的全风速, 挑选出在时间长度 N 上该格点的最大和最小风速, 记为 $V_{\max ij}$ 和 $V_{\min ij}$ 。

参 考 文 献

- [1] 李建平. 2005. 全球大气环流气候图集 I. 气候平均态[M], 北京: 气象出版社.

1

平流层大气环流气候态