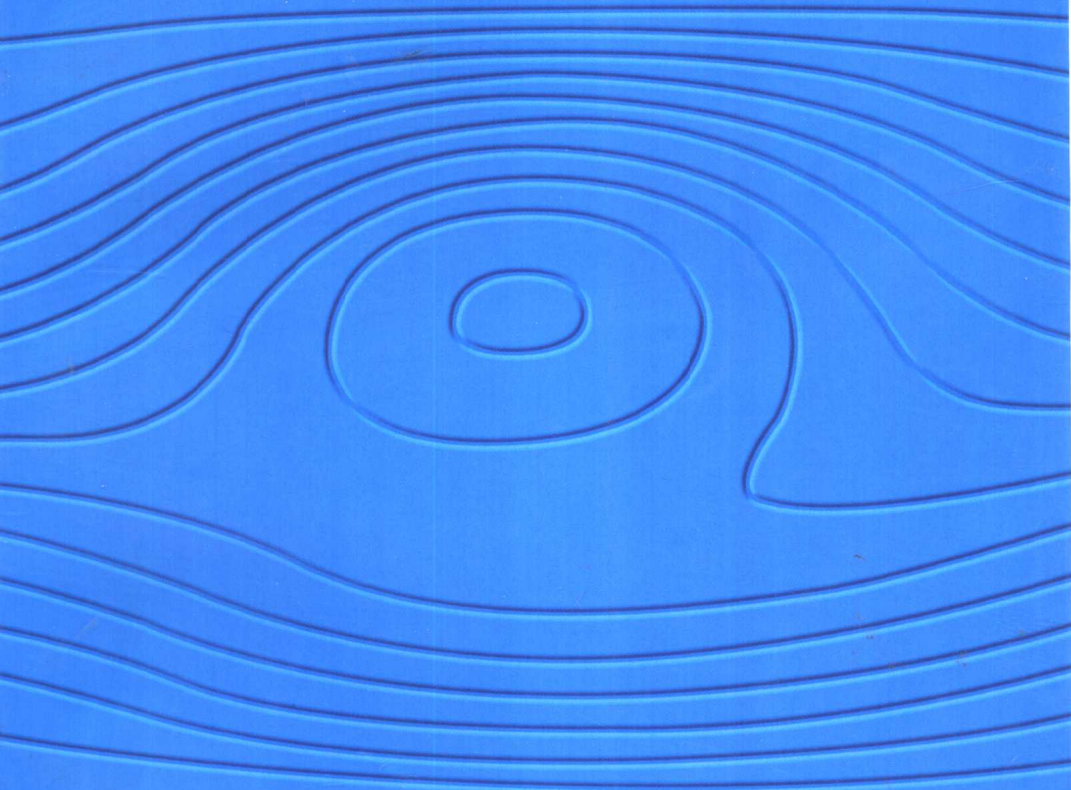


阻塞非线性动力学

罗德海 著



气象出版社

阻塞非线性动力学

罗德海 著

气象出版社

内容简介

书中首先论述了前人所提出的阻塞理论的优点和缺点,然后在此基础上根据作者所提出的阻塞波与天气尺度波相互作用方程建立了许多新的阻塞理论模型.书中主要论述了阻塞的生成,维持和崩溃与上游天气尺度波的关系,并指出开展强迫包络 Rossby 孤子理论的研究可能是解决阻塞问题的关键。

本书可供大气科学,海洋科学以及数学和力学等方面的科研工作者参考,也可作为气象院校和科研机构大气动力学专业研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

阻塞非线性动力学/罗德海著,一北京:气象出版社,2000.5

ISBN 7-5029-2931-2

I. 阻… II. 罗… III. 阻塞-非线性动力学:动力学
IV. P0354

中国版本图书馆(CIP)数据核字(2000)第 25781 号

阻塞非线性动力学

罗德海 著

责任编辑:李太宇 吴庭芳 终审:周诗健

封面设计:沈辉 责任技编:吴庭芳 责任校对:黄慧靖

气象出版社 出版

(北京白石桥路 46 号,邮编:100081)

*

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

北京宏远兴旺印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:8.25 字数:214 千字

2000 年 6 月第一版 2000 年 6 月第一次印刷

印数:1~800 定价:16.00 元

前 言

阻塞形势是大气环流中最重要的环流形式,它的存在常造成区域天气的持续性异常.因此自从阻塞现象被观测到以来,阻塞的动力学研究一直是大气环流研究的核心问题.阻塞的观测,数值模拟以及动力学方面的研究论文浩如烟海,数量非常之多.然而遗憾的是阻塞的动力学机制问题至今尚未完全解决.

本书是作者的另一本书,《大气中大尺度包络孤立子理论与阻塞环流》的姊妹篇.本书主要是根据作者自己的研究成果写成,书中约有五分之四的内容是作者最新的研究成果.本书详细论述了阻塞形势的生成,维持和崩溃与上游天气尺度波之间的相互关系.通过本书大量篇幅的论述,不难发现开展强迫包络 Rossby 孤立子的动力学研究才是搞清阻塞产生机理的关键.目前强迫包络 Rossby 孤立子动力学研究的重要性无论是在国内还是在国际上都还未被气象学家所认识,作者希望通过这本书以及作者的另一本书的介绍能够有助于读者对强迫包络 Rossby 孤立子理论的了解,并以此加入到研究强迫包络 Rossby 孤立子理论的行列中.若达此目的,我想,作者写这两本书所花的心血也就没有白费.

本书分为十一章,第一章主要介绍阻塞的观测事实和阻塞非线性动力学研究概况;第二章主要介绍 McWilliams(1980)所提出的偶极子阻塞形成的 Modons 理论以及它的缺点;第三章主要介绍大尺度扰动超嫡的产生和广义 Liapunov 稳定性以及与阻塞发展的关系;第四章主要介绍强迫 Rossby 孤立子理论并指出它在描述阻塞形成机理中所存在的严重缺陷;第五章主要根据作者所建立的阻塞和天气尺度波相互作用方程[如方程(5.1.1)式和(5.2.1)式]介绍了大气阻塞形成的强迫准共振理论;第六章根据 Pedlosky(1971)所提出的有限振幅斜压波理论,主要介绍了有限振幅行星尺度斜压 Rossby 波与天气尺度波之间的相互作用;第

七章主要介绍了天气尺度波强迫 Rossby 波的准共振相互作用的局地理论;第八章主要介绍了阻塞形成的行星尺度包络 Rossby 孤立子理论;第九章主要介绍了在天气尺度波强迫作用下行星尺度包络 Rossby 孤立子之间的耦合相互作用理论;第十章主要介绍成熟阻塞具弱频散性的观测证据。第十一章主要介绍所存在的问题和展望。

本书第四章至第十章的工作为作者主持国家自然科学基金项目《近似可积的大尺度包络孤立子系统的动力学研究及其应用》(项目编号为 49775266)资助的部分成果,均系第一次公开发表。在作者的科研工作中一直都得到中国科学院院士,南京大学大气科学系教授伍荣生先生的热情鼓励和支持,作者在此向他们表示感谢。需要感谢的还有作者的导师纪立人先生,先生的深邃的学术思想和朴实的学风一直影响着作者。在本书完成过程中曾得到中国科学院大气物理研究所研究员穆穆先生的热情鼓励以及李建平博士的帮助支持,特此表示感谢。

在本书的写作过程中得到了我的同事卢燕和学生徐辉等同志的大力帮助,她们设计了部分程序并作了部分计算,特此表示感谢。

作为一本专著,本书可能会有它的偏见,不可能将所有有关阻塞的文章都提到,这一点还望读者谅解。另外鉴于作者学识所限,书中难免存在错误和不当之处,欢迎读者批评指正

罗德海

于青岛海洋大学

2000年1月



作者简介

罗德海，男，四川广安人，1963年11月24日生。现为青岛海洋大学气象系主任、教授、博士生导师。1996年获中组部、人事部和科协第五届中国青年科技奖。现主要从事大气动力学和大洋环流方面的研究工作，在国内外核心刊物上发表论文五十余篇，代表性论著有专著《大气中大尺度包络孤立子理论与阻塞环流》，论文《Planetary-scale baroclinic envelope Rossby solitons in a two-layer model and their interaction with synoptic-scale eddies》(刊于Dynamics of Atmospheres and Oceans) 和《The influence of negative viscosity on wind-driven, barotropic ocean circulation in a subtropical basin》(刊于Journal of Physical Oceanography)。

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 阻塞的观测事实	(2)
1.2 阻塞非线性动力学研究概况	(5)
1.2.1 Rossby 波的共振理论	(5)
1.2.2 多平衡态理论	(6)
1.2.3 Modons 理论	(7)
1.2.4 Rossby 孤立子理论	(7)
1.2.5 包络 Rossby 孤立子理论	(8)
1.2.6 振荡型 Rossby 孤立波理论	(11)
第二章 偶极子阻塞形成的 Modons 理论	(13)
2.1 引言.....	(13)
2.2 相当正压模式和 Modons 解	(13)
2.3 小结.....	(16)
第三章 大尺度扰动超熵的产生和广义 Liapunov 稳定性 以及与阻塞发展的关系	(17)
3.1 引言.....	(17)
3.2 大尺度扰动超熵的产生.....	(18)
3.3 Liapunov 函数和稳定性问题	(20)
3.4 广义 Liapunov 函数与 E-P 通量的关系	(21)
3.5 讨论.....	(25)
第四章 强迫 Rossby 孤立子理论	(26)
4.1 瞬变涡动强迫的 Rossby 孤立子	(26)
4.1.1 引言.....	(26)
4.1.2 模式方程和 KdV 方程的导出	(27)

4.1.3	强迫 Rossby 孤立子的扰动解	(30)
4.2	热源强迫的 Rossby 孤立子	(34)
4.2.1	引言	(34)
4.2.2	模式方程	(34)
4.2.3	本征值问题	(37)
4.2.4	扰动孤立子解和讨论	(37)
第五章	大气阻塞形成的强迫准共振理论	(42)
5.1	Berggren 型阻塞形成的天气尺度波强迫的准共振 正压波相互作用理论	(42)
5.1.1	引言	(42)
5.1.2	模式方程	(43)
5.1.3	瞬变波强迫作用下三波准共振相互作用与 30~60 天和准两周低频振荡	(49)
5.1.4	在天气尺度波强迫作用下 Berggren 型阻塞的 形成、维持和崩溃	(53)
5.1.5	小结	(57)
5.2	在天气尺度波强迫作用下行星尺度斜压 Rossby 波 的准共振相互作用理论	(57)
5.2.1	引言	(58)
5.2.2	模式方程	(58)
5.2.3	阻塞的生成和天气尺度波的变形	(70)
5.2.4	小结	(76)
第六章	有限振幅行星尺度斜压 Rossby 波与天气尺度波 之间的相互作用理论	(78)
6.1	引言	(78)
6.2	模式方程和天气尺度波强迫的有限振幅方程	(79)
6.3	有限振幅斜压行星尺度波与天气尺度波相互作用时的 振荡行为	(89)
6.4	在天气尺度波强迫作用的情况下行星尺度斜压波和	

	纬向基流之间的非线性反馈与斜压 Berggren 型偶极子阻塞的形成	(92)
6.5	小结	(100)
第七章	天气尺度波强迫 Rossby 波的准共振相互作用的局地理论	(101)
7.1	引言	(101)
7.2	相当正压模式和三波准共振相互作用方程	(102)
7.3	准共振的三个行星波与天气尺度波相互作用的数值解	(104)
7.4	Berggren 偶极子阻塞的生成、维持和崩溃以及天气尺度波的变形	(106)
7.5	小结	(112)
第八章	阻塞形成的行星尺度包络 Rossby 孤立子理论	(114)
8.1	行星尺度包络 Rossby 孤立子与天气尺度瞬变涡动之间的相互作用:局地 Berggren 型阻塞形成的一个理论	(114)
8.1.1	引言	(114)
8.1.2	相当正压涡度方程和天气尺度瞬变涡动的强迫	(116)
8.1.3	瞬变涡动强迫的非线性 Schrödinger 方程	(119)
8.1.4	在天气尺度瞬变涡动强迫作用下包络 Rossby 孤立子的变形以及偶极子阻塞的形成	(120)
8.1.5	小结	(133)
8.2	行星尺度包络 Rossby 孤立子与局地天气尺度波之间的相互作用	(133)
8.2.1	引言	(134)
8.2.2	相当正压模式和支配方程	(135)
8.2.3	行星包络 Rossby 孤立子与天气尺度波之间	

的相互作用和阻塞的生成以及天气尺度波 的变形	(144)
8.2.4 绝对涡度与流函数的关系图(散布图)	(154)
8.2.5 小结	(158)
第九章 在天气尺度波强迫作用下行星尺度包络 Rossby 孤立子之间的耦合相互作用	(159)
9.1 引言	(159)
9.2 耦合的强迫的非线性 Schrödinger 方程	(160)
9.3 波数为 2 的包络 Rossby 孤立子(偶极子经向结构)与 波数为 1 的包络 Rossby 孤立子(单极子经向结构)之 间的耦合相互作用	(169)
9.4 波数为 1 的包络 Rossby 孤立子(偶极子经向结构) 与波数为 2 的包络 Rossby 孤立子(单极子经向结构) 之间的耦合相互作用	(185)
9.5 小结	(195)
附录(计算机程序)	(197)
第十章 基本流和不同尺度的天气尺度波对 Berggren 阻塞 形成的影响:理论与观测事实的比较	(208)
10.1 引言	(208)
10.2 模式和方程	(209)
10.3 在天气尺度波强迫作用下阻塞的形成、维持和衰亡	(213)
10.4 为什么天气尺度波能够强迫、维持和耗散阻塞 ..	(223)
10.5 在阻塞生命循环中散布图(Scatter diagram)的演变	(226)
10.6 阻塞系统从频散向弱频散甚至非频散转换的观测 证据	(228)
10.7 小结	(232)

第十一章 结语	(234)
11.1 主要结果.....	(234)
11.2 问题.....	(236)
参考文献	(237)

Nonlinear Dynamics of Blockings

by LUO Dehai

Contents

Chapter I Introduction	(1)
1.1 Observational evidence of blockings	(2)
1.2 Survey on nonlinear dynamical studies of blockings	(5)
1.2.1 Resonant theory of Rossby waves	(5)
1.2.2 Multiple equilibria theory	(6)
1.2.3 Modons theory	(7)
1.2.4 Rossby soliton theory	(7)
1.2.5 Envelope Rossby soliton theory	(8)
1.2.6 Oscillatory Rossby soliton theory	(11)
Chapter II Modons Theory of Dipole Blockings	(13)
2.1 Introduction	(13)
2.2 Equivalent barotropic model and Modons solution	(13)
2.3 Summary	(16)
Chapter III Production of the Large-Scale Excess Entropy, Liapunov Stability and Their Relation to the Development of Blockings	(17)
3.1 Introduction	(17)
3.2 the excess entropy production of large-scale distur- bances	(18)
3.3 Liapunov functional and stability problem	(20)
3.4 Generalized Liapunov functional and its relation to	

E-P flux	(21)
3.5 Discussions	(25)
Chapter IV Forced Rossby Soliton Theory	(26)
4.1 Transient eddy forced Rossby soliton	(26)
4.1.1 Introduction	(26)
4.1.2 Model equation and Derivation of KdV equation	(27)
4.1.3 Perturbed solution of forced Rossby soliton	(30)
4.2 Heating forced Rossby soliton	(34)
4.2.1 Introduction	(34)
4.2.2 Model equation	(34)
4.2.3 Eigenvalue problem	(37)
4.2.4 Solution of perturbed soliton and discussion	(37)
Chapter V Forced Quasi-Resonant Theories of Atmospheric Blocking Formation	(42)
5.1 Barotropic quasi-resonant theory of transient eddy forced Rossby waves and Onset of Berggren-type blockings	(42)
5.1.1 Introduction	(42)
5.1.2 Model equation	(43)
5.1.3 Quasi-resonant interaction of three transient eddy forced Rossby waves and 30-60 day low- frequency oscillation and quasi-two week oscill- ation	(49)
5.1.4 Onset, maintenance and break-down of Berggren -type blockings under the forcing of synoptic- scale waves	(53)

5.1.5	Summary	(57)
5.2	Baroclinic quasi-resonant theory of transient eddy forced Rossby waves and Onset of Berggren-type blockings	(57)
5.2.1	Introduction	(58)
5.2.2	Two-layer model equations	(58)
5.2.3	Onset of blockings and deformation of synoptic-scale waves	(70)
5.2.4	Summary	(76)
Chapter VI Interaction between Finite-Amplitude Planetary-Scale Baroclinic Waves and Synoptic-Scale Waves		
(78)		
6.1	Introduction	(78)
6.2	Two-layer model and eddy forced finite-amplitude equation	(79)
6.3	Oscillatory behavior of finite-amplitude planetary-scale baroclinic waves interacting with synoptic-scale waves	(89)
6.4	Nonlinear feedback between finite-amplitude planetary-scale baroclinic waves and zonal basic flow under the forcing of synoptic-scale waves and Onset of baroclinic Berggren-type blockings	(92)
6.5	Summary	(100)
Chapter VII Local Theory of Quasi-Resonant Interaction between Rossby Waves Forced by Synoptic-Scale Waves		
(101)		
7.1	Introduction	(101)
7.2	Equivalent barotropic model and quasi-resonant three-wave interaction equations	(102)
7.3	Numerical solution for interaction between quasi-	

resonant three Rossby waves and synoptic-scale waves	(104)
7.4 Onset, maintenance and break-down of Berggren-type blockings and deformation of synoptic-scale waves	(106)
7.5 Summary	(112)
Chapter VIII Planetary-Scale Envelope Rossby Soliton	
Theories of Blocking Onset	(114)
8.1 Interaction between planetary-scale envelope Rossby soliton and synoptic-scale waves (transient eddies): A theory of local Berggren-type blocking	(114)
8.1.1 Introduction	(114)
8.1.2 Equivalent barotropic model and forcing of synoptic-scale waves	(116)
8.1.3 Eddy forced nonlinear Schrödinger equation	(119)
8.1.4 Amplification and deformation of planetary-scale envelope Rossby soliton under the forcing of synoptic-scale waves and formation of dipole blockings	(120)
8.1.5 Summary	(133)
8.2 Interaction between planetary-scale envelope Rossby solitons and localized (upstream) synoptic-scale waves	(133)
8.2.1 Introduction	(134)
8.2.2 Equivalent barotropic model and governing equation	(135)
8.2.3 Interaction between planetary-scale envelope Rossby soliton and upstream synoptic-scale	

waves and onset of blocking and splitting of synoptic-scale waves	(144)
8.2.4 Relationship between absolute vorticity and streamfunction (Scatter plot)	(154)
8.2.5 Summary	(158)
Chapter IX Coupled Interaction between Two Planetary- Scale Envelope Rossby Solitons under the Forcing of Synoptic-Scale Waves	(159)
9.1 Introduction	(159)
9.2 Forced coupled nonlinear Schrödinger equations	(160)
9.3 Coupled interaction between envelope Rossby solitons for zonal wavenumber 2 (dipole merid- ional structure) and for zonal wavenumber 1 (monopole meridional structure)	(169)
9.4 Coupled interaction between envelope Rossby solitons for zonal wavenumber 1 (dipole meridional structure) and for zonal wavenumber 2 (monopole meridional structure)	(185)
9.5 Summary	(195)
Appendix (program for computing)	(197)
Chapter X The Influences of Background Westerly Wind and Different-Scale Synoptic-Scale Eddies on the Establi- shment of Berggren-Type Blocking: Comparison between Theory and Observations	(208)
10.1 Introduction	(208)
10.2 Model and equation	(209)
10.3 The establishment, maintenance and break-down of blocking by synoptic-scale eddies	(213)

10.4	Why can the synoptic-scale eddies reinforce, maintain and dissipate blocking?	(223)
10.5	Evolution of Scatter plot during the life cycle of blocking	(226)
10.6	Observational evidence of the transfer of blocking system from dispersion to weak dispersion even nondispersion	(228)
10.7	Summary	(232)
Chapter XI Concluding Remarks		(234)
10.1	Main results	(234)
10.2	Questions	(236)
	References	(237)