



当代中国科普精品书系
应对自然灾害卷丛书

中国科普作家协会
中国科学院院士刘嘉麒
中国灾害防御协会

总策划
总主编
强力推荐



NATURAL DISASTER

地球大气中的涡旋

——揭秘气象灾害

主 编 徐祥德 李泽椿 柳崇健
副主编 陈联寿 许健民 任阵海 丁国安



科学普及出版社
POPULAR SCIENCE PRESS



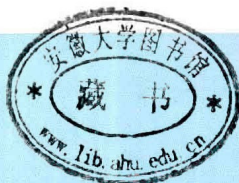
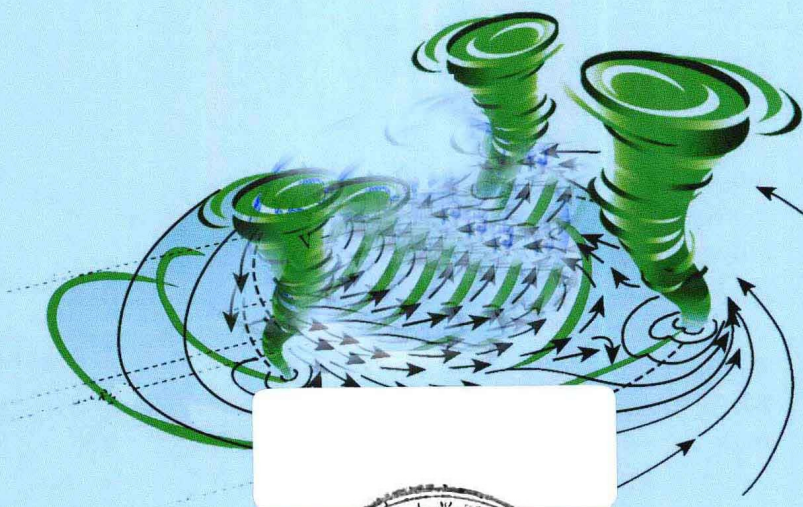
当代中国科普精品书系
应对自然灾害卷丛书

地球大气中的涡旋

——揭秘气象灾害

主 编 徐祥德 李泽椿 柳崇健

副主编 陈联寿 许健民 任阵海 丁国安



科学普及出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

地球大气中的涡旋：揭秘气象灾害 / 徐祥德，李泽椿，
柳崇健主编. —北京：科学普及出版社，2012.7

(当代中国科普精品书系·应对自然灾害卷)

ISBN 978-7-110-07780-1

I. ①地… II. ①徐…②李…③柳… III. ①气象灾害—
普及读物 IV. ①P429-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第125270号

策划编辑	许 慧 张 楠
责任编辑	张 楠 高雪岩
责任校对	赵丽英
责任印制	张建农
装帧设计	中文天地

出版发行	科学普及出版社
地 址	北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编	100081
发行电话	010-62173865
传 真	010-62179148
投稿电话	010-62176522
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm×1092mm 1/16
字 数	227千字
印 张	16.25
版 次	2013年1月第1版
印 次	2013年1月第1次印刷
印 刷	北京市凯鑫彩色印刷有限公司

书 号	ISBN 978-7-110-07780-1/P·99
定 价	56.00元

(凡购买本社图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责调换)

《当代中国科普精品书系》总编委会成员

(以姓氏拼音为序)

顾 问：王麦林 章道义 张景中 庄逢甘
主 任：刘嘉麒
副 主 任：郭曰方 居云峰 王 可 王直华
编 委：白 鹤 陈芳烈 陈有元 方 路 顾希峰 郭 晶
郭曰方 何永年 焦国力 金 涛 居云峰 李桐海
李新社 李宗浩 刘嘉麒 刘泽林 刘增胜 倪集众
牛灵江 彭友东 任福君 孙云晓 田如森 汪援越
王 可 王文静 王直华 吴智仁 阎 安 颜 实
殷 皓 尹传红 于国华 余俊雄 袁清林 张柏涛
张增一 郑培明 朱雪芬

《应对自然灾害》分卷编委会

编 委：何永年 徐祥德 吴树仁 程晓陶 邹文卫

《地球大气中的涡旋》编委会

主 编：徐祥德 李泽椿 柳崇健
副 主 编：陈联寿 许健民 任阵海 丁国安
编写成员：邵立勤 陈渭民 陆龙骅 何金海 高守亭
周明煜 陆春谷 刘黎平 张义军 刘玉洁
苏福庆 吴正华 孙效功 刘文泉 李跃清
刘益民 康红文 王鹏云 彭世球 宋海斌
施晓晖 杨昌军 陈 斌 张胜军 于淑秋
姚文清 姜 艳
技术编辑：丁 毅 黎 晨 滑 桃 蔡雪冰



总 序

以胡锦涛同志为总书记的党中央提出科学发展观、以人为本、建设和谐社会的治国方略，是对建设中国特色社会主义国家理论的又一创新和发展。实践这一大政方针是长期而艰巨的历史重任，其根本举措是普及教育、普及科学、提高全民的科学文化素质，这是强国富民的百年大计、千年伟业。

为深入贯彻科学发展观和《中华人民共和国科学技术普及法》，提高全民的科学文化素质，中国科普作家协会以繁荣科普创作为己任，发扬茅以升、高士其、董纯才、温济泽、叶至善等老一辈科普大师的优良传统和创作精神，团结全国科普作家和科普工作者，充分发挥人才与智力资源优势，采取科普作家与科学家相结合的途径，努力为全民创作出更多、更好、高水平、无污染的精神食粮。在中国科协领导的支持下，众多科普作家和科学家经过1年多的精心策划，确定编创《当代中国科普精品书系》。

该书系坚持原创，推陈出新，力求反映当代科学发展的最新气息，传播科学知识，提高科学素养，弘扬科学精神和倡导科学道德，具有明显的时代感和人文色彩。书系由13套丛书构成，共120余册，达2000余万字。内容涵盖自然科学的方方面面，既包括《航天》、《军事科技》、《迈向现代农业》等有关航天、航空、军事、农业等方面的高科技丛书；也

有《应对自然灾害》、《紧急救援》、《再难见到的动物》等涉及自然灾害及应急办法、生态平衡及保护措施的丛书；还有《奇妙的大自然》、《山石水土文化》等有关培养读者热爱大自然的系列读本；《读古诗学科学》让你从诗情画意中感受科学的内涵和中华民族文化的博大精深；《科学乐翻天——十万个为什么（创新版）》则以轻松、幽默、赋予情趣的方式，讲述和传播科学知识，倡导科学思维、创新思维，提高少年儿童的综合素质和科学文化素养，引导少年儿童热爱科学，以科学的眼光观察世界；《孩子们脑中的问号》、《科普童话绘本馆》和《科学幻想之窗》，展示了天真活泼的少年一代对科学的渴望和对周围世界的异想天开，是启蒙科学的生动画卷；《老年人十万个怎么办》丛书以科学的思想、方法、精神、知识答疑解惑，祝福老年人老有所乐、老有所为、老有所学、老有所养。

科学是奇妙的，科学是美好的，万物皆有道，科学最重要。一个人对社会贡献的大小，很大程度上取决于对科学技术掌握及运用的程度；一个国家、一个民族的先进与落后，很大程度上取决于科学技术的发展程度。科学技术是第一生产力，这是颠扑不破的真理。哪里的科学技术被人们掌握得越广泛、越深入，哪里的经济、社会就发展得越快，文明程度就越高。普及和提高，学习与创新，是相辅相成的，没有广袤肥沃的土壤，没有优良的品种，哪有禾苗茁壮成长？哪能培育出参天大树？科学普及是建设创新型国家的基础，是培育创新型人才的摇篮。我希望，我们的《当代中国科普精品书系》就像一片沃土，为滋养勤劳智慧的中华民族、培育聪明奋进的青年一代提供丰富的营养。

刘嘉麒

2011年9月



分卷序

地球是茫茫宇宙中一颗蓝色的星球，是我们人类诞生以来唯一的家园。地球，一方面以其宜人的气候和丰富的资源为人类的繁衍生息提供条件，另一方面又有各种各样频繁发生的自然灾害威胁着人类的生存，制约着人类社会的发展和进步。

自古以来，人类与自然灾害进行着不懈的抗争。在我国，“女娲补天”、“后羿射日”、“精卫填海”、“鲁阳挥戈”、“愚公移山”等古老的寓言故事折射出古人应对干旱、洪水、暴风雨、地震、火山喷发、山崩、滑坡、泥石流等自然灾害的思想和实践。虽然，随着人类社会经济、科技和文明的进展，人类预防和减轻自然灾害的能力得到增强，防灾减灾的效果也在提高，但是，总体上看人类在大自然面前还是渺小的，自然灾害依然是地球人类生死存亡所面临的重大威胁，也是人类文明进步的严重制约。

数千年来，特别是近数十年来人类与自然灾害周旋的经历和经验告诉我们，依靠科技进步、依靠灾害管理以及依靠公众参与是能否取得预防和减轻自然灾害的三个关键环节，而科技进步则是其中的核心，因为灾害的管理和公众的参与都需要以科技为基础。人们必须了解灾害的成因、特点和后果，才有可能找到预防和减轻灾害的途径。

作为《当代中国科普精品书系》的组成部分，本系列《应对自然灾害》包含了《当大地发怒的时候》、《地球大气中的涡旋》、《山崩地裂》、《水多水少话祸福》和《地球气候的变迁：过去、现在与未来》5册，分别讲述有关地震和火山喷发、热带气旋（如台风）、地质灾害（崩塌、滑坡、泥石流）、洪涝与干旱灾害以及全球气候变化等方面的科学内容。编者希望通过这些小册子向读者传递相关的知识，增强读者的防灾减灾意识，提高社会的防灾减灾能力。

我们说，灾害是可怕的，严重的灾害可能让我们在转瞬间遭遇灭顶之灾，使我们费尽九牛二虎之力积累起来的财富顷刻间付诸东流；但是，灾害又不可怕，因为今天人类掌握的科学技术和社会经济力量可以帮助我们有效地预防和减轻灾害，真正可怕的是对于潜在的灾害缺乏防范意识，如何应对灾害缺少必要的知识。无灾时高枕无忧，优哉游哉；遭遇灾害时惊恐万状，茫然不知所措，这才是最要命的！

但愿这些科普小册子在提高读者科学素质的同时，还教会人们防灾减灾的知识，以确保个人平安、家庭平安、社会平安！

何永年
2011年11月



我们赖以生存的地球被大气紧紧包围，人类的生存与发展和大气息息相关，大气的任何变化都会影响人类的生产与生活。大气时时刻刻在地球表面永不停息，又随着地球一起往复旋转，使得大气中充满了形形色色、大大小小的旋涡，进而在地球大气舞台上演绎出一幕幕令人难以忘怀的并影响着地球人类生存的惊心动魄的“戏剧”，为人们诠释着“气象万千”的深刻内涵和丰富表象。破解大气运动的内在奥秘，探寻风、雨、雷、电的幕后真相，不仅是广大气象科技工作者的重要职责，也是广大人民群众的热切期盼。中国气象局徐祥德、李泽椿、陈联寿、许健民和中国环境科学研究院任阵海诸位院士以及柳崇健、丁国安等专家、学者以其深厚的知识素养和丰富的实践经验，历时两年完成的《地球大气中的涡旋》一书，堪称是融合了科学性与通俗性、专业性与大众性、知识性与趣味性的科普精品读物。本书是中国科普作家协会根据国务院《全民科学素质行动规划纲要》和我国科普工作政策方针，组织专家编写的《当代中国科普精品书系》之一，揭示了涡旋这一地球大气和相关自然灾害的本质规律与普遍现象，使人们更清晰地理解和认识地球大气涡旋和大气运动规律。

在各类地球大气的神秘气象灾害中，大气涡旋是最典型的自然现象，

从瞬息而至的龙卷风到影响上百千米的台风灾害，都是以大气涡旋形式表现的。龙卷风与台风等涡旋亦是造成全球死亡人数众多、突发性与破坏性极强的气象灾害。本书通过深入浅出的科学阐述、生动活泼的写作风格，向读者展现了各类气象灾害的生成、发展和消亡的生命史及致灾成因，揭开了灾害成因中各类大气涡旋机制的神秘面纱。此外，随着我国沿海社会经济的高速发展，各类与大气涡旋相关的气象灾害及其影响越来越受到各级政府与社会公众的关注。因此，本书聚焦于对致灾大气涡旋成因理解与认识，对重大气象灾害的预报和预警服务具有重要意义。

党的十七届六中全会提出，要推进社会主义文化大发展大繁荣。广大气象科技工作者有责任发展科学、先进、大众的气象文化，努力创新气象文化载体，不断丰富气象文化产品，深入普及气象科学知识，加快构建现代化的气象信息传播体系，促进全社会气象防灾减灾的意识和能力的提高。作为一名气象科技工作者和大气科学研究的实践者，我很荣幸成为本书的第一名读者，同时也十分高兴地看到气象科学家和气象科技工作者力求把浩瀚大气科学中深奥的理论和极其复杂的天气系统、大气现象归纳为神奇的大气涡旋物理图像，使气象科学理论走出学术殿堂，走进社会、走进大众。

本书不仅可供研究生，大、中专学生和社会公众阅读，亦可作为气象、资源、环境、能源、生态和灾害领域从事管理、业务教学工作和科研人员的参考读物。

中国气象局局长 郑国光
2011年10月28日于北京

地球是人类共同生活的家园，数亿年来这颗蓝色星球默默地在宇宙中围绕着太阳周而复始地旋转着，在漫长的岁月中孕育了亿万的生命，包括万物之灵的人类。地球外表被一层厚厚的、引起我们无数遐想的大气圈所包围。

大自然无比瑰丽的景色让无数艺术大师们激动不已，而其中变化万千的大气现象（气象）尤其给他们留下了深刻的印象。且不说巴金的爱情三部曲是以《雾》、《雨》、《电》作书名的，就是那著名的诺贝尔文学奖得主罗曼·罗兰也说道：“莫扎特的作品是河畔的一片草原，是江上飘浮的一层透明的薄雾，是一场春天的细雨，或者是一道五彩的虹”，名义上是在发表音乐评论，措辞却是“薄雾”、“细雨”、“彩虹”。更有甚者，名画家科克希卡借作品《暴风雨》展示了这样的惊骇图景：他自己是画中人，而四周全是上下急促翻滚的涡旋云团，他眼如铜铃，未敢入眠。至于钱理群在《丰富的痛苦》中俨然以气象专家的口吻描述了堂·吉珂德和哈姆莱特这两个典型的西方文学形象的东移过程，描绘了近400年欧亚两大陆上之精神气象图，一股是来自地中海（西班牙骑士）的暖流，一股是来自北大西洋（丹麦王子）的寒流。气象万千只缘大气变幻无穷，她有时如温柔舒展灿烂的峨眉宝光那样绚丽多彩，给人们留下无数美丽的神话，但有时犹如“一石激起千重浪”，她会在地球大气内部产生无穷涡旋，引发一次次巨大的气象灾害，如一场暴雨洪灾或台风引发的风暴潮便会摧毁城镇，甚至夺去

无数生命。

涡旋是自然界普遍的现象，不但在路边能看到一阵旋风将掀起的尘土卷上天空，即使在波光粼粼的湖泊、滚滚东流的江河，甚至浩瀚的宇宙空间、光怪陆离的天穹都能感受到神奇涡旋现象的存在。台风就是来自热带海洋并常常引发严重灾难的巨大涡旋。因为夏半年台风涡旋频频登陆，往往袭击人口密集的沿海，扰乱人们宁静的生活，并带来难以估测的惨重的生命财产及社会经济损失。另外，龙卷风瞬间“横祸”从天而降，威力超强的龙卷涡旋往往使人们谈虎色变。从全球来说，每年有记录的龙卷风在1 000个以上，其中美国占到一半。我国大多省（区、市）都有龙卷风的踪迹，平均一年有几十个，其中长江三角洲是龙卷风相对高发区。面对这些神秘而强大的大自然涡旋现象，人们常常会感到困惑，为什么地球大气会隐藏着如此巨大能量的形形色色的涡旋？这些给人类带来毁灭性灾难的大气涡旋是如何生成、发展或消亡的？地球自转、大地形结构与下垫面陆地、海洋热力过程等对大气涡旋的形成起了什么作用？大气涡旋与大气能量、水分循环机制有何本质的联系？所有这些读者感兴趣的与神秘大气涡旋密切相关的谜团都将在本书中逐层展开探讨。

为了便于大众了解大气科学，认识各种涡旋的奥秘，掌握它们的来龙去脉及其生成、发展和消亡生命史，特别是更深刻地了解致灾涡旋的影响规律，以便于防患灾祸于未然，作者有幸承接了中国科协组织的编写《当代中国科普精品书系》的任务，历时两年精心撰写了此书。要把如此之多的大气涡旋相关气象知识及其灾害浓缩在一本科普册子中并非易事。气象学及其分支学科内容诸多，理论深奥，涵盖了天气、气候领域中系统的概念和理论，大量的数学、物理与化学知识，对于公众来说恐怕一时难于理解。因此，我们力求摆脱教科书理论化表达风格以及趣味性颇少的缺憾，希冀把浩瀚大气中极其复杂的大气涡旋，用通俗易懂的语言，深入浅出的方式加以科学地描述，并尽可能配以生动活泼的图片，以期给读者耳目一

新的感觉。但是做到这一点，编写过程中的困难难以想象，尽管作者花费了很多时间，力求避开生涩的学术专业语言，但还是难免出现这样或那样的不足。本书历经多次统稿，易稿十几次，才终于脱稿，以飧读者。

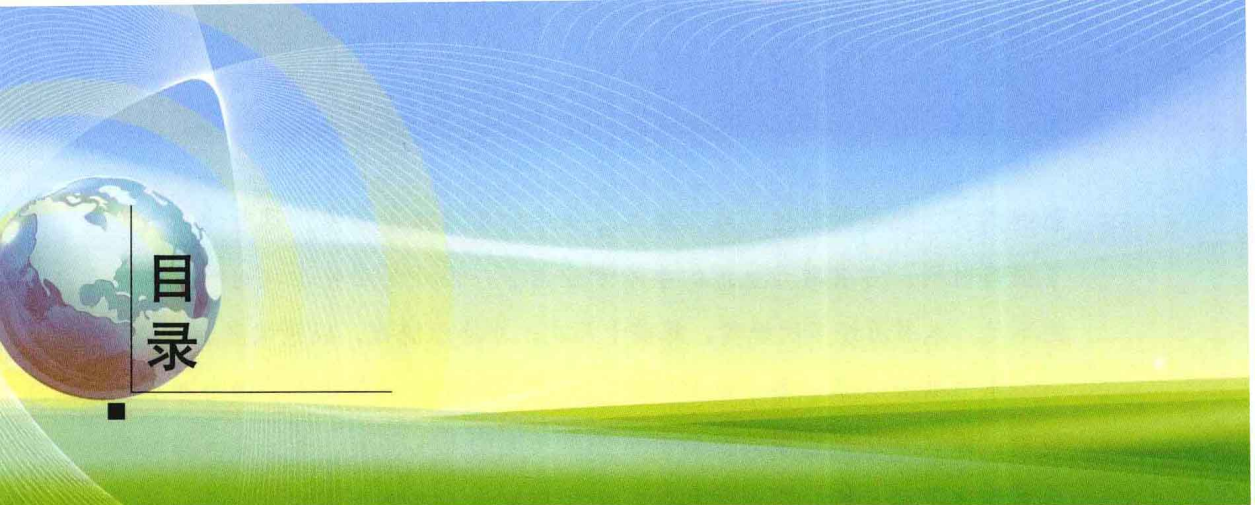
本书共分八章。第一章为综述，反映了涡旋这一自然界普遍与神奇的现象；第二章从全球观的视角剖析各类尺度的大气涡旋；第三章至第七章主要描述不同尺度、不同结构特征的涡旋发生、发展与消亡的特征；第八章从大气涡旋灾害追踪监测与预警角度出发，阐述气象业务新技术发展与防灾减灾的理念。

本书的完成得到了中国工程院咨询研究项目“气候变化对三江源与青海湖水资源影响评估、未来趋势估测与应对”（项目编号：2012-XY-11）、国家自然科学基金重点项目“青藏高原对梅雨区水分循环及降水变异的影响”（项目编号：41130960）、科技部行业专项“高原环流系统对东部地区天气的影响技术分析”（项目编号：GYHY201006009）等项目的资助，并得到了中国科学技术协会、中国气象局灾害天气国家重点实验室、中国气象学会、北京气象学会、计算物理学会、中国现场统计研究会等单位的大力支持和协助，在此表示由衷地感谢。

因本书涉及的知识面广，资料甚多，错误之处诚望读者不吝赐教。

作 者

2011年11月



目录

第一章 涡旋——自然界的神秘现象 1

第一节 太空涡旋 2

第二节 海洋涡旋 4

第三节 河流涡旋 6

第四节 大气涡旋 8

1 “旋风”现象 9

2 大气浮力现象 10

3 地球自转中的科氏惯性力 11

4 气压梯度力、摩擦力和离心力作用 15

5 大尺度涡旋现象 17

6 气旋与反气旋物理图像 19

7 热力驱动形成的涡旋 20

8 不同运动范围的大气涡旋 23

9 影响我国的主要涡旋系统 24

第五节 地球大气涡旋全球观 26

1 热力驱动的地球经圈环流模型 26

2 三圈环流物理图像 28

3 地球热力环流对应的纬向辐合、辐散带 28

4 大地形“激发”的涡旋 31

5	青藏高原涡旋与对流云特征	32
6	“长途跋涉”的移动涡旋——台风	34
7	中小尺度涡旋“杀手”	35
8	超单体雷暴物理图像	36
9	岛屿“诱发”的小尺度涡旋	37
第六节 大气涡旋效应与自然灾害		38

第二章 围绕地球的大气涡旋41

第一节 围绕极地的巨型涡旋——极涡		41
1	南极极涡与南极臭氧洞	44
2	极地涡旋与中纬环流异常的“跷跷板”效应	47
第二节 中纬度高压涡旋系统与云系特征		48
1	副热带高压结构与涡旋云系	50
2	副热带高压涡旋系统动态变化	51
第三节 热带对流与涡旋系统特征		53
1	热带辐合带与云系特征	54
2	东风波及云系特征	57
第四节 大气涡旋与天气灾害		58
1	寒潮	60
2	雨雪冰冻灾害	64

第三章 锋面与大气涡旋形成68

第一节 锋面涡旋生命史		69
1	典型的锋面涡旋——温带气旋	69
2	爆发性气旋特征	72
第二节 锋面结构与天气特征		74
1	冷锋与天气特征	74

2	暖锋与天气特征	75
3	准静止锋结构特征	77
4	锢囚锋结构与云系特征	77
5	锋面涡旋云系变化	79
第三节 暴雨涡旋系统与云系特征		80
1	与锋面相关的温带气旋特征	81
2	西南低涡	82
3	高空冷涡成因及强对流天气	85
4	“线状”中小尺度天气系统特征	88
第四节 锋面及相关涡旋灾害		90
1	强降水灾害	91
2	沙尘暴灾害	98
第五节 暴雨洪涝灾害应对与防范		106
1	暴雨洪涝灾害预测预警与灾害应急响应系统	107
2	暴雨洪涝灾害防御工程性措施	107
3	洪涝影响区域植树造林, 治理水土流失	108
4	增强暴雨洪涝灾害防御的公众意识	109
5	城市洪涝灾害应对与防范	109

第四章 热带气旋——台风

第一节 台风源地与移动路径		115
1	台风发生源地	115
2	台风内力与路径	116
第二节 台风“陀螺”现象与生命史		118
1	台风生成能量“自激反馈”效应	118
2	台风涡旋生成与环境动力效应	119
3	台风涡旋胚胎	120

4 台风的消亡	120
第三节 台风发展机制与预测技术	121
1 台风涡旋三维立体模型	121
2 双台风涡旋互旋现象	124
3 热带气旋中尺度结构	125
4 台风的预测技术	126
第四节 台风灾害案例分析	129
1 台风的危害	129
2 台风灾害历史记载	131
3 台风引发“758”特大暴雨	131
4 台风“水资源”	132
第五节 台风灾害应对防范	133
1 台风预警	133
2 街道、建筑与居民家庭防范台风的措施	134
3 台风期间地质灾害应对与防范	134
4 台风期间外出防范措施	135

第五章 线状雷暴群——飏线 136

第一节 飏线和飏线天气	136
1 飏线定义	136
2 与飏线有关的天气系统	137
3 飏线与“锋面”的异同	140
第二节 飏线的形成与演变	140
1 飏线成因	140
2 飏线的移动	141
3 飏线中的中小尺度涡旋系统	142
4 飏线的演变过程	144