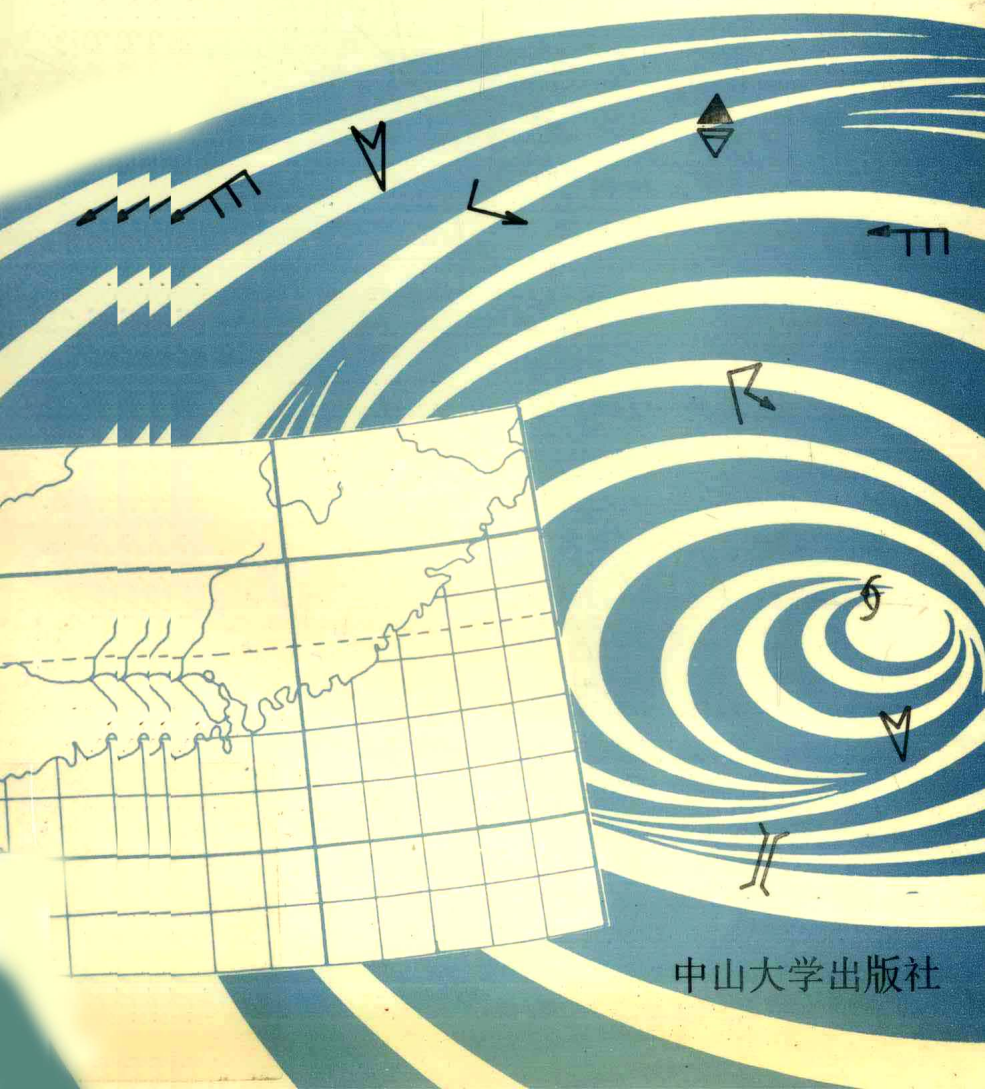


珠江三角洲 局地强风暴

主编 罗会邦 副主编 贺海晏 吴池胜 林应河



中山大学出版社

珠江三角洲局地强风暴

主 编：罗会邦

副主编：贺海晏 吴池胜 林应河

中山大学出版社

· 广州 ·

(粵)新登字 11 号

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

珠江三角洲局地强风暴/罗会邦 主编.

——广州: 中山大学出版社, 1994. 5

ISBN7—306—00823—4

I 书名

II ①罗会邦②贺海晏③吴池胜④林应河

III ①珠江三角洲②局地风暴

IV P40

责任编辑: 周定番 李 慈 责任校对: 贺海晏

绘 图: 林小华 刁远清 封面设计: 方楚娟

中山大学出版社出版发行

(广州市新港西路 135 号)

广州嘉松印刷厂印刷 广东省新华书店经销

850×1186 毫米 1/32 开本 5.125 印张 12.7 万字

1994 年 5 月第 1 版 1994 年 5 月第 1 次印刷

印数: 0001—1000 册 定价: 5.90 元

序

据估计,自然灾害中大约有60%—70%属于气象灾害。而局地强风暴是造成重大灾害的气象因素之一。80年代以来,珠江三角洲地区局地强风暴异常活跃,重大灾害屡见不鲜。仅1983年3月1日的一次飑线过程就导致内河客船翻沉,147人丧生,令人触目惊心。局地强风暴,如飑线、龙卷风和冰雹等具有来势凶猛,破坏力大等特征。国外对它的研究相当重视,美国专门建立了局地强风暴预报中心(SLSFC)和国家强风暴实验室(NSSL),采用最先进的技术装备,如多普勒雷达、风廓线仪、试验飞机以及专门发射的强风暴观测卫星(SSOS)等,组织了一系列大型的观测和理论研究。

在我国这项研究工作起步较晚,技术也不如国外先进。但在“七·五”期间成功地组织了适合我国国情,具有我们自己特色的攻关研究课题。由罗会邦教授主持的“珠江三角洲局地风暴(含冰雹、龙卷、雷雨大风)预报研究(75—09—02—10)”就是“七·五”攻关课题中的一个专题。该专题从不同侧面分析了珠江三角洲非暴雨强对流天气活动的时空分布气候规律,揭示了关于这类强对流活动新的观测事实,提出了一些新见解。例如高空急流对强对流天气过程有重要作用等;较好地运用尺度分离技术,揭示了大气中的非地转运动特征;分析了珠江三角洲地区Mcc的中尺度结构,以及对流层低层水热源汇分布。在动力学理论研究方面,还提出了重力波发展使波趋于破碎激发对流活动的机制,以及局地波导方向趋于与环境稳定度等值线平行,从而对观测到的一部分强对流天气区位于稳定度正负过渡带的现象进行了理论上的解释。

像本专题这样关于局地强风暴的有系统的深入研究国内还不多见,这一研究取得了不少填补我国空白的成果,有些成果达到国际先进水平。本书较系统地总结了这一专题的观测和理论研究成果。我相信,它的出版为今后该领域的进一步开拓与研究奠定了一个良好的基础,并提供了丰富而有价值的借鉴。

中国科学院学部委员 高由禧

1993年9月

前 言

局地强风暴灾害是珠江三角洲地区的重大气象灾害之一。尤其是 80 年代以来,该地区屡遭强风暴袭击,多次出现令人触目惊心的内河翻船水难事件,经济损失严重,引起了政府和气象界的关注。作为国家“七·五”科技攻关项目的专题之一,“珠江三角洲局地风暴(含冰雹,龙卷,雷雨大风)预报研究”(75—09—02—10)专题,组织了来自中山大学大气科学系、中国科学院大气物理研究所、广州中心气象台、广州热带海洋气象研究所和南京大学大气科学系等单位的几十位气象专家、学者和业务预报工作人员,对珠江三角洲地区的局地强风暴进行了多方面比较系统的研究,包括其气候特征、天气尺度和中尺度背景条件、卫星云图和雷达回波特征、激发机制与能量平衡和能量转换过程等方面的观测分析和理论研究以及局地强风暴预报方法专家系统(详见书末所附专题和子专题名称及主要研究人员名单)。本书就是根据这项研究的主要理论成果综合整理编辑而成的。由于篇幅所限,有些材料如具体预报方法等未能编入。书中第一章和第三章由林应河撰写;第二章及第五章 5.6 由吴池胜撰写;第四章和第五章 5.1—5.5 由贺海晏撰写。全书章节和内容由罗会邦拟定并定稿。由于我们水平有限,书中错漏难免,敬请读者指正。

作 者

目 录

序

前 言

1 珠江三角洲局地强风暴的气候特征	(1)
1.1 风暴频数与时间分布特征	(1)
1.1.1 风暴日频数	(1)
1.1.2 日变化	(2)
1.1.3 年变化	(3)
1.1.4 年际变化	(4)
1.2 地理分布特征	(5)
1.2.1 总风暴日数的区域分布	(5)
1.2.2 各类风暴的地理分布	(6)
1.3 风暴“源地”和移动路径	(8)
1.3.1 风暴“源地”分布特点	(8)
1.3.2 移动路径	(9)
参考文献	(12)
2 珠江三角洲局地强风暴的大尺度和中尺度背景场特征	(13)
2.1 强风暴天气的大尺度环流特征	(13)
2.1.1 500 百帕的环流特征	(13)
2.1.2 春季连续强风暴过程的 200 百帕环流特征	(18)
2.2 急流系统	(26)
2.2.1 强风暴与高、低空急流的统计关系	(26)
2.2.2 与急流核相联系的辐散风和次级环流	(29)
2.3 强风暴区的物理量场特征	(35)

2.3.1	层结特征	(35)
2.3.2	温度和水汽的平流输送	(38)
2.3.3	复合的稳定度指数	(39)
2.3.4	环境风的垂直切变	(42)
2.4	背景流场的非地转特征	(44)
2.4.1	强风暴的发生发展 与非地转风时空变化的关系	(44)
2.4.2	非热成风	(45)
2.4.3	视热源和视水汽汇	(47)
2.5	中尺度环流和系统	(49)
2.5.1	尺度分离与强风暴中尺度环境流场	(49)
2.5.2	中尺度对流系统	(56)
	参考文献	(68)
3	珠江三角洲局地强风暴的云图和雷达回波特征	(69)
3.1	云图特征	(69)
3.1.1	春季风暴的云图特征	(69)
3.1.2	夏季风暴的云型特征	(73)
3.2	风暴的雷达回波特征	(73)
3.2.1	风暴回波的统计特征	(74)
3.2.2	强风暴的典型回波形态特征	(77)
	参考文献	(89)
4	珠江三角洲局地强风暴的背景场动能收支	(90)
4.1	动能平衡方程	(90)
4.1.1	总动能平衡方程	(90)
4.1.2	旋转风与辐散风动能平衡方程	(91)
4.2	春季强对流天气背景场的动能收支	(93)
4.2.1	总动能收支	(94)
4.2.2	辐散风和旋转风动能的收支与转换	(97)

参考文献	(107)
5 非均匀大气中的惯性重力波与强对流天气	(109)
5.1 非均匀介质中的波动	(109)
5.2 基本方程组	(112)
5.3 非均匀层结大气中的惯性重力波	(119)
5.3.1 频散关系	(119)
5.3.2 广义波作用量守恒	(122)
5.3.3 非均匀层结对重力波发展的影响	(123)
5.3.4 重力波激发对流的可能机制	(126)
5.4 非均匀切变流场中重力波的发展	(128)
5.4.1 发展方程	(128)
5.4.2 切变流场对重力波发展的影响	(132)
5.5 非均匀介质中重力波的折射	(135)
5.5.1 重力波的折射	(135)
5.5.2 强对流天气落区与环境稳定度的实例分析	(138)
5.6 地形对重力波发展的影响	(143)
5.6.1 基本方程	(143)
5.6.2 频散关系	(145)
5.6.3 波的稳定度	(146)
5.6.4 地形对扰动发展的影响	(147)
参考文献	(151)
附 录 珠江三角洲局地风暴(含冰雹, 龙卷, 雷雨大风)预报研究(75—09—02—10 专题)子专题设置及主要研究人员	(153)

1 珠江三角洲局地强风暴的气候特征

珠江三角洲（下简称三角洲）位于东亚大陆东南缘，经度 112—124°E，纬度 22—24°N。它北依南岭，南临南中国海，东西两侧山系连绵，是一个顶角在北的三角形丘陵性平原。属亚热带气候，盛行季风，全年气温较高，水分充沛。每年春夏之交，这里处在冬、夏季风转换期，受锋面和西风扰动系统影响；夏秋之间，又是从热带气旋、东风波等低纬天气系统影响转为受冬季风控制的时期。在这种天气气候背景下，这里除了多产生暴雨之外，也常出现局地性风暴。区域内各测站 13 年风暴记录统计分析发现，这里的局地风暴具有活动期长、类别多、频数高、局地性显著、过程明显等特征。由风暴造成的经济损失十分严重^①。

1.1 风暴频数与时间分布特征

1.1.1 风暴日频数

局地风暴，通常指产生冰雹、龙卷、灾害性大风（阵风 ≥ 8 级）的强雷暴^②。为方便统计，规定在一天中三角洲区域内，有一个站点以上出现上述强天气，便定为一个风暴日。考虑到研究和应用的需要，将风暴再按季节和天气现象分类。据此标准，对三角洲内 30 个站点 13 年（1971—1983）资料分别进行统计结果发现：三角洲的风暴日频数，平均每年达 34 日，极端最多年份达 51

① 林应河、珠江三角洲风暴的时空分布和地理特征。见：珠江片攻关办，珠江三角洲灾害性天气预报技术会议文集，1989. 222

② 珠江三角洲灾害性天气预报研究（75—09—02）第十课题攻关办的规定。

日 (1980 年), 最少 22 日 (1976, 1977, 1979 年)。出现风暴日最早的月份是 2 月, 终止最迟月份是 8 月, 其中 4 月和 8 月的日数最多, 平均值分别为 5.5 和 6.2 日。1980 年 7 月出现了 12 日, 是 13 年中最多的一次。

在风暴日频数中, 占比例最大的是灾害性雷雨大风 (简称雷雨大风, 点总数的 57%), 其它依次是飏暴 (26%), 冰雹 (13%), 龙卷 (4%)。

1.1.2 日变化

表 1.1 是不同季节、各类风暴的日变化比率。从 1.1 表中清楚地看到, 雷雨大风在春 (2—5 月)、夏 (6—10 月) 两季均呈日单峰型, 峰值出现在午后 (12—20 时); 谷值出现在上半夜 (20—0 时)。冰雹和飏暴在春、夏两季均呈双峰型。峰值在午后和下半夜 (0—08 时), 谷值分别在上午和上半夜 (20—0)。龙卷也呈日单峰型, 春季峰值在下半夜, 夏季在午后。

表 1.1 风暴日变化

类 别	月 时 比率 %	2—5 月				6—10 月			
		0—8	8—12	12—20	20—0	0—8	8—12	12—20	20—0
冰雹		33	17	44	6	20	×	80	×
龙卷		38	31	31	×	×	14	86	×
飏暴		40	15	40	5	15	10	69	6
雷雨大风		15	15	65	5	10	10	74	6
全季风暴		28	16	51	5	11	10	73	6

如果不分类, 风暴的日变化规律是, 春季日变化呈双峰型, 峰值分别出现在午后和下半夜, 谷值在上午和上半夜; 夏季风暴的日变化则呈单峰型, 峰值在午后。从春到夏, 夜间 (20—08) 风暴的变化规律是由多到少, 白天 (08—20) 风暴则由少到多。

1.1.3 年变化

图 1.1 是风暴的年变化特征。由图 1.1 知，总风暴的年变化呈双峰型，峰值分别是 4 月和 8 月。不同天气现象的风暴有不同的年变化规律，其中雷雨大风呈单峰型出现在 8 月；而冰雹和龙卷也呈单峰型，但峰值不是发生在热力条件充足的夏季，而是分别发生在 4 月和 5 月。图 1.2 为不同风暴的月距平变化。由 1.2 图可进一步看到，总风暴仍呈双峰型，而雷雨大风虽然各月频数较高，但呈单峰型，峰值出现在 8 月。综合图 1.1 和 1.2 可知，分类后各类风暴的年变化规律有着明显的不同，这对研究风暴成因很有意义。

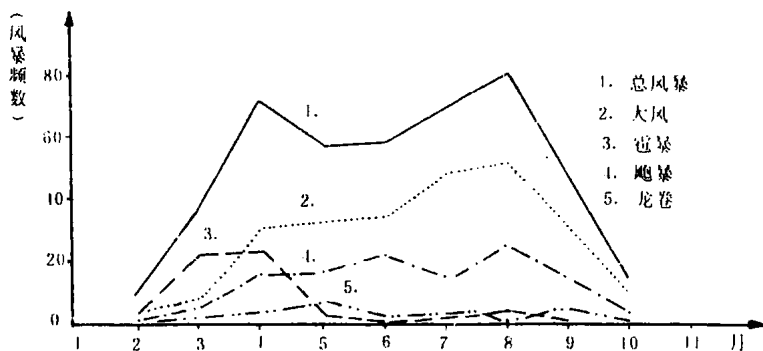


图 1.1 珠江三角洲风暴的年变化 (1971—1983)

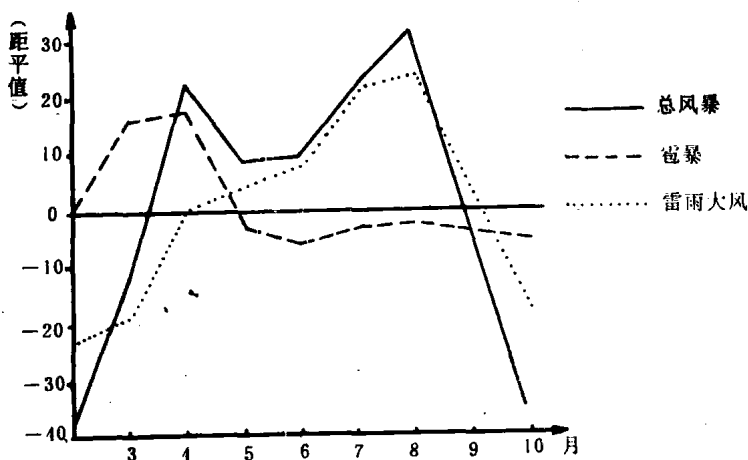


图 1.2 珠江三角洲风暴的月距平变化

1.1.4 年际变化

用 13 年的资料，分析得到的风暴的年际变化趋势、各季风暴年际变化和不同类风暴的年际变化特点。图 1.3 反映了前两种变化的特点。风暴的变化趋势是 3—4 年偏多（或偏少），在偏多（偏少）的年份中，出现了在零距平线以上（下）的双峰（双谷）变化特征。各季风暴的年际变化特点大致是：当年的春季风暴多时，夏季风暴则减少；反之亦然。不同天气现象的风暴，其年际变化有各自的特征，如冰雹和雷雨大风各有约 8 年周期的变化趋势。但两者变化位相恰好相反。由于各类风暴的年际变化位相不同，因此，把它们归在一起时，便呈现了上述的双峰、双谷不规则起伏现象。

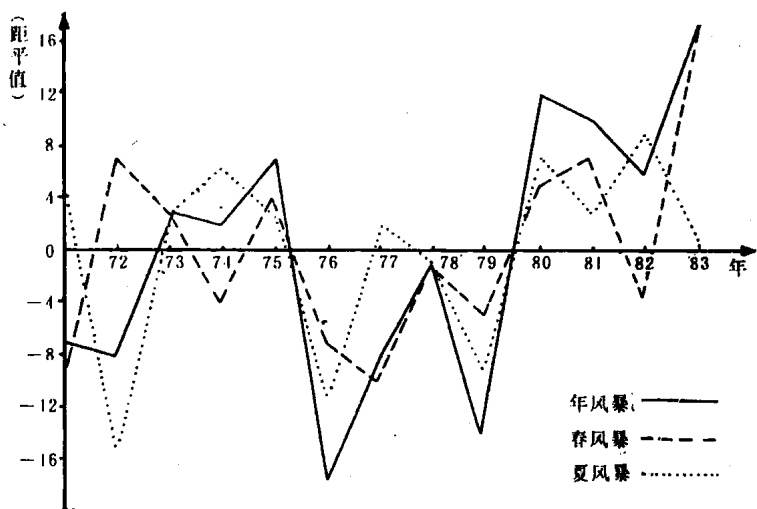


图 1.3 年、季风暴的年距平变化

1.2 地理分布特征

1.2.1 总风暴日数的区域分布

分析三角洲各站同年限的总风暴日数等值线可清楚地看到，以西江、东江和珠江为界，江北区风暴日数高于江南区，江北区的等值线呈西南东北走向，高值中心在从化县；江南区等值线呈南北走向，高值中心在台山县至珠海市。如果把春季风暴与夏季风暴分开，可进一步看到，从春到夏，江北区大值中心自从化北移到英德县，江南区则从台山东移到珠海市。

图 1.4 是按各站年平均风暴日所作的分区，从图可知，珠江三角洲风暴落区可划分 4 个等级：一级风暴区在从化，年平均出

现 5 次；二级在台山、广州、惠州，年均 3 次；三级是新兴、东莞、宝安，年均 1.5—3 次；四级区为三水、番禺、中山、年均 0.7—1.3 次。

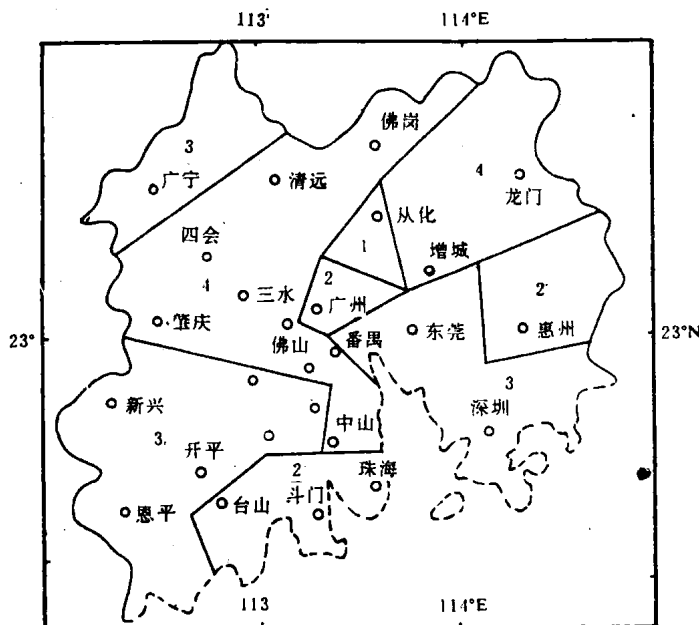


图 1.4 风暴区划图

1.2.2 各类风暴的地理分布

由于三角洲风暴以雷雨大风的频数为最高，如果不分类，容易受雷雨大风频率的掩盖，无法清楚地了解其它风暴的空间分布。经过分类后可以清楚地看到，不同天气现象的风暴，其地理分布有下述特征。

首先，三种频数较高的风暴——雷雨大风，冰雹、飑暴的高值中心不是重叠在同一地方。以春季风暴为例，冰雹的高值中心

分布在珠江三角洲的西侧，雷雨大风在中部，飑暴中心在东侧。

其次，冰雹、雷雨大风和飑暴的高值中心分别都呈带状分布，龙其冰雹最为显著（见图 1.5）。从图 1.5 可知，在江北区，自西向东大约每 km 公里间隔便出现西南东北走向的高值带，中心值向东依次减少。江南区也有类似特征。飑暴的高中心值自西向东呈带状递增。

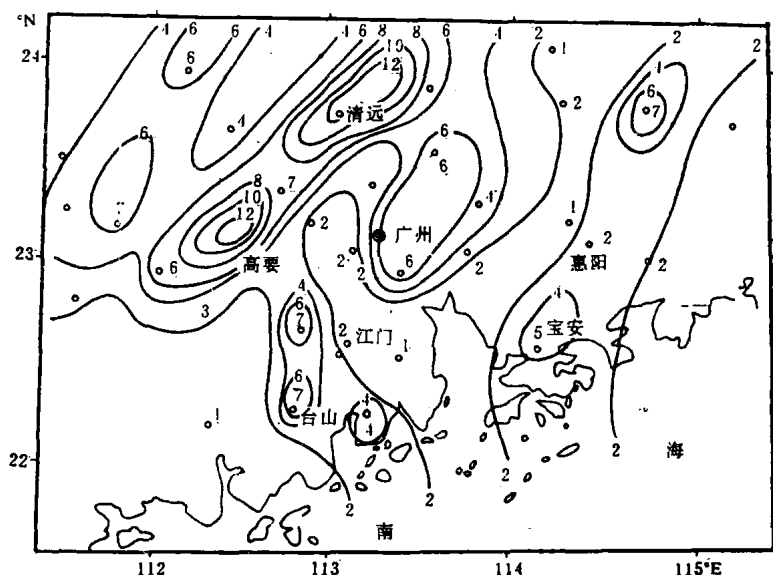


图 1.5 春季冰雹的分布

结合地形分析可初步看出，冰雹的带状分布与山谷分布比较吻合，高值带主要分布在背西风坡一侧及谷地。这种分布特征可能与春季雹云多从西侧移入三角洲有关。

1.3 风暴“源地”和移动路径^①

局地风暴是一种强雷暴，具有明显的中小尺度特征。有人曾对世界雷暴源地作过分析^[2]，但未提及风暴源地的概念。从气候观点看，同一气候条件下，某些区域比其周边地方出现风暴较多，我们把这种风暴多发区称为“源地”。珠江三角洲就是这种“源地”之一，说明这里有更多利于出现风暴的条件。

1.3.1 风暴“源地”分布特点

珠江三角洲虽然风暴较多，但并非均匀分布。为了寻找局地的有利条件，我们采用风暴日的区域平均距平方法滤去大尺度条件的影响，并且把正距平中心所在地视为“源地”。据此分析（图1.6）得到以下若干特点。

（1）三角洲可划分出三个“源地”：一是在北部的从化和佛岗区域，二是西南部台山市、斗门一带；三是东南部的宝安、惠州地区。我们分别称它们为北部、西南部和东南部“源地”。

（2）不同类别风暴的“源地”范围有所差别。如冰雹“源地”主要在北部的西侧清远至四会一带，其次是南部的台山。飑暴多发生在东南“源地”，龙卷因频数甚小，难以找出“源地”。

（3）在不同季节，风暴“源地”也有所不同。如冰雹，春季“源地”比较清楚，夏季冰雹频数少，“源地”不明显。雷雨大风的“源地”，从春到夏北部“源地”稍向北扩展，东南部“源地”向东北扩展，这一现象可能与夏季风盛行东南和偏南风有关。

（4）风暴“源地”主要分布在下垫面性质差别较悬殊的过渡

① 林应河，郭英琼。局地风暴“源地”和传播的气候特征。见：广州中山大学，局地风暴预报研究成果论文集。1990. 1

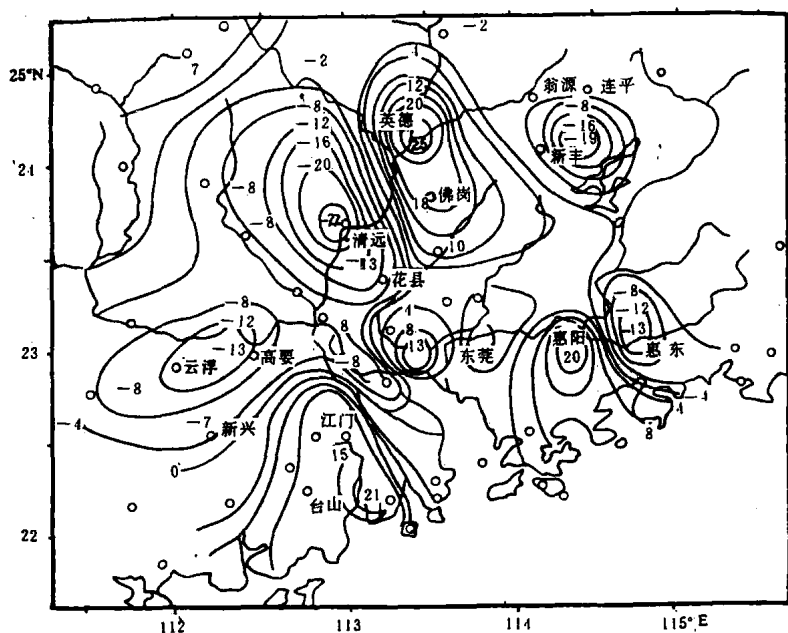


图 1.6 珠江三角洲风暴的距平分布

地带。而江河交错成网的地方多数为风暴日的区域平均负距平值。

1.3.2 移动路径

风暴可以在源地生消，也可以沿某一定方向或范围传播，移动路径的长短，取决于风暴自身的强度以及环境条件。确定移动路径主要依靠现场调查或雷达跟踪。由于三角洲风暴活动期跨春夏两季，所处的天气气候条件不同，各类风暴发生的具体地点及动态，又常因测站密度不够得不到详细记录，因此，只能根据各站历史记载的风暴时间，分析风暴活动特点及部分风暴的移动路径。