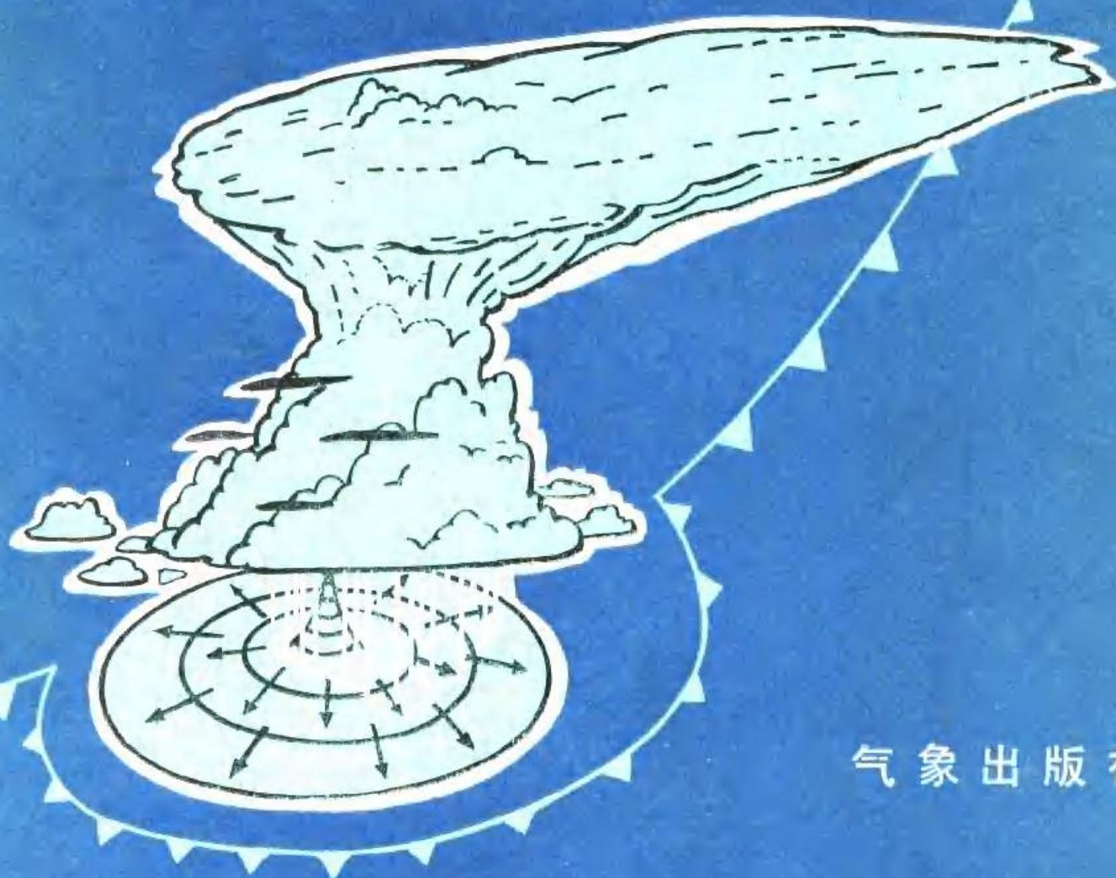


Downburst

下击暴流

〔美〕T. T. 藤田著



气象出版社

流 暴 击 下

[美] T. T. 藤田 著

张 杏 珍 译

张丙辰 陶永昕 校



北林图 A00068090



273796

气 象 出 版 社

1 9 8 1

内 容 简 介

本书对产生在风暴中的尺度很小、突然阵性爆发的一种向下及物、破坏性很大的下击暴流现象,搜集了大量资料并进行比较系统的描述,特别从雷达回波和卫星图象上如何识别及其与陆龙卷的关系和区别均作了比较深入细致的分析研究。

本书可供气象业务、教学和科研人员以及航空、建筑、交通、工业等部门的有关科技人员参考。

T. T. Fujita

MANUAL OF DOWNBURST IDENTIFICATION FOR PROJECT NIMROD

SMRP Research Paper No. 156

(Department of the Geophysical Sciences, Chicago University)

May 1978

下 击 暴 流

〔美〕T. T. 藤田 著

张 杏 珍 译

张丙辰 陶永昕 校

* * *

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所 各地新华书店经售

* * *

1981年11月第一版 1980年11月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 7.5

字数: 150,000 印数: 1—3,000

科技新书目: 14—99 统一书号: 13194·0053

定价: 1.00元

译 者 的 话

这译本系根据藤田教授1978年出版的著作译出的。

由于经济和国防建设的发展需要，中小尺度天气系统的研究工作越来越显得重要。伴随这种天气系统而来的灾害，已早为人们所熟悉。对于这种尺度天气的产生和发展及其与较大尺度之间的关系，固然是不可忽视的；但对其本身内部结构的研究也是重要的。产生在风暴中的尺度很小、突然阵性爆发的一种向下及物、破坏性很大的下击暴流，就是近年来令人注目的问题之一。本书作者对这一现象搜集了大量资料并作了比较系统的描述，特别从雷达回波和卫星图象上如何识别及其与陆龙卷的关系和区别均作了比较详细的分析研究，这对从事气象业务、教学和科研工作的同志都会有启发和参考意义的。

在译本出版之际，感谢中国科学院大气物理研究所陶诗言和丁一汇同志热情向我们提供原文书。

本书原名为《Manual of Downburst Identification for Project NIMROD》，其中NIMROD一词系National Intensive Meteorological Research On Downburst的缩写。Downburst译为“下击暴流”，以示其突然、向下、猛烈和及物。为方便起见，本书名简称为《下击暴流》。因水平有限，文中不妥或错误之处，敬希读者指正。

1980年6月

引 言

本书的目的在于应用现有资料提出下击暴流出现的证据。可以预期,通过美国下击暴流精深的气象研究计划(NIMROD)的实施,有关这类风暴的新的资料将会迅速积累起来。NIMROD是一个两年的研究计划,旨在收集全国范围的气象资料。美国天气局所属台站将向NIMROD执行单位报告重要的下击暴流和(或)陆龙卷事件,并在可能情况下协助进行灾害调查。1978年5—6月,以北伊利诺斯三台多普勒雷达组成台站网的启用作为此计划的开始。

直线风通常以看来有些吓人的滚轴云作为前导,它可在雷暴区内及其周围造成大范围的风灾。这种灾害性风维持时间一般较短,阵风很强,而且能够严重影响地面建筑物和低空飞机。

对直线风扫过的地区进行广泛的空中照相和制图,发现在整个直线气流中嵌有辐散型灾害。1977年美国独立日北威斯康星风暴的分析是这次研究的一个重大突破。低空飞机至少对25个地区的下击暴流的辐散气流进行了观测制图。

此后,外流直径不到3英里的微尺度下击暴流(微下击暴流),在美国其他地区相继发现。1975—1977四次以及1956年的一次飞行事故,均与规模同跑道长度相仿的微下击暴流有关。由于微下击暴流范围小,其灾害性风又只持续几分钟,所以对它进行探测极为困难。

与陆龙卷一样,微下击暴流的灾害常具有显著的地区性,甚至有经验的研究人员如不绘制大区域灾害性风的方向图,并非总能识别风暴的性质。陆龙卷与邻近的下击暴流之间有明显的相互作用,其路径可受下击暴流的影响而产生向左、右或甚至U形的偏转。一个陆龙卷涡旋可被强下击暴流所消灭,也可由扭转的下击暴流供应涡度而得到加强。

本书对研究结果如何在业务工作中应用也提出一些见解。不管制定业务工作指导方法需待进一步研究并在实践中检验,然而上述这些估计对确定风暴灾害与陆龙卷或下击暴流的关系将是有益的。

芝加哥大学教授

美国天气局局长

T. T. 藤田

G. P. 克雷斯曼

(T. Theodore Fujita) (George P. Cressman)

1978年5月1日

目 录

译者的话

引 言

第一章 雷暴外流的尺度·····	1
第二章 下击暴流灾害的空中照相·····	6
第三章 下击暴流和微下击暴流的定义和尺度·····	17
第四章 微下击暴流——一种航空危险天气·····	24
第五章 雷达回波的特征·····	31
第六章 GOES /SMS 的红外图象·····	43
第七章 下击暴流与陆龙卷的关系·····	63
附录 I: 下击暴流实例(见下击暴流与陆龙卷的彩色图 1 — 9)·····	85
附录 II: 美国下击暴流精深的气象研究计划(1978—1979)·····	95
参考文献·····	97

第一章 雷暴外流的尺度

强直线风、温度速降和气压突增，常是雷暴外流区前缘的特征。而在与飑线相联的典型情况下，甚至在比较“温和”、孤立的夏季雷阵雨中，也能出现这些迅速的变化。

80多年前，杜兰德-格雷维尔(Durand-Gréville, 1892)以惊人的精度绘制了从柏林附近到奥地利南部的一个飑线的气压型。萨克史托尔夫(Suckstorff, 1938)研究了雷暴内及其周围地面气压的扰动后,发现外流是由于降水冷却以及在云下气层中积聚冷空气的结果。

随着30年代空中活动的增加，与飑线有关的事故和困难在世界各地相继发生，这就需要对雷暴和飑线的环流作更好的了解。

林登贝尔格测飑网(Lindenberger Squall Network)于1939年在柏林附近建立，旨在集中收集1940—1941年的资料。在资料分析中，特别重视确定第一个阵风通过台站网的运动情况和强度。图1.1为分析实例，详见参考文献中（以下同）科希米德(Koschmieder, 1955)的著作。

1940年，日本气象厅将前桥雷暴台站网（由间隔为5—7英里的21个记录站组成，位于东京西北面60英里的前桥附近）投入业务使用。作业后的分析证明，在外流区内地面气压是升高的(见图1.2),详情可参阅藤原(Fujiwara, 1943)的著作。

美国的雷暴计划台站网于1946年(佛罗里达州)和1949年(俄亥俄州)开始工作。收集的基本资料，为我们更好了解与单个雷暴和群体雷暴有关的雷暴环流提供了依据，详情可参阅拜尔斯和布雷厄姆(Byers and Braham, 1949)的著作。

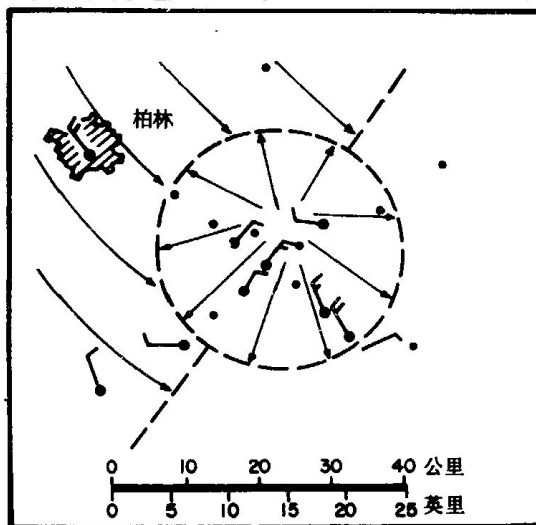


图 1.1 林登贝尔格台站网的一个外流场
(1940年8月6日19:00地方标准时“以下同”，它形成在柏林的滕珀尔霍夫东南面并向别处移去，台站未受影响)
(外流前缘以36公里/小时或22英里/小时速度向东南移动，在台站网中心附近的林登贝尔格出现15米/秒或34英里/小时的峰值阵风)

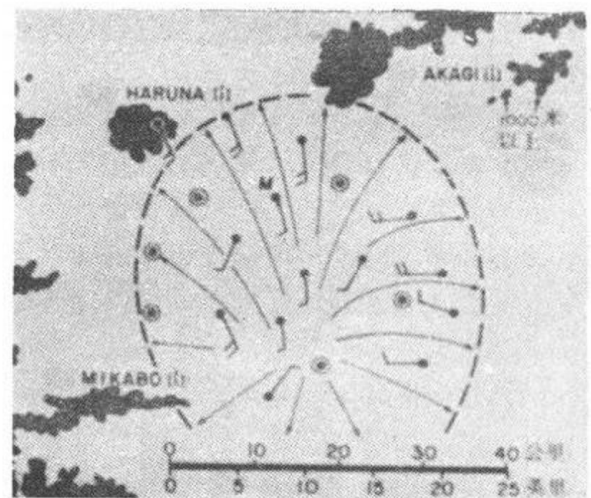


图 1.2 东京西北面前桥台站网的一个冷空气外流型(1940年7月27日16:00)
(图中外流为早期消亡阶段，其特征是在长30英里、宽25英里的大椭圆形面积内出现弱的且一般为反气旋性的轨迹)

原注：撰写本文时应用了各种资料来源，因而不可能有标准化单位。

图 1.3 为第一条阵风线从俄亥俄雷暴计划台站网西南角的孤立单体中伸展出来时阵风速率的变化。峰值阵风速率是向源地增加的,因而最大阵风速率很可能正好出现在下沉气流中心外边。为了测定时间的和空间的最大风速,需要具备很密的地面台站网。

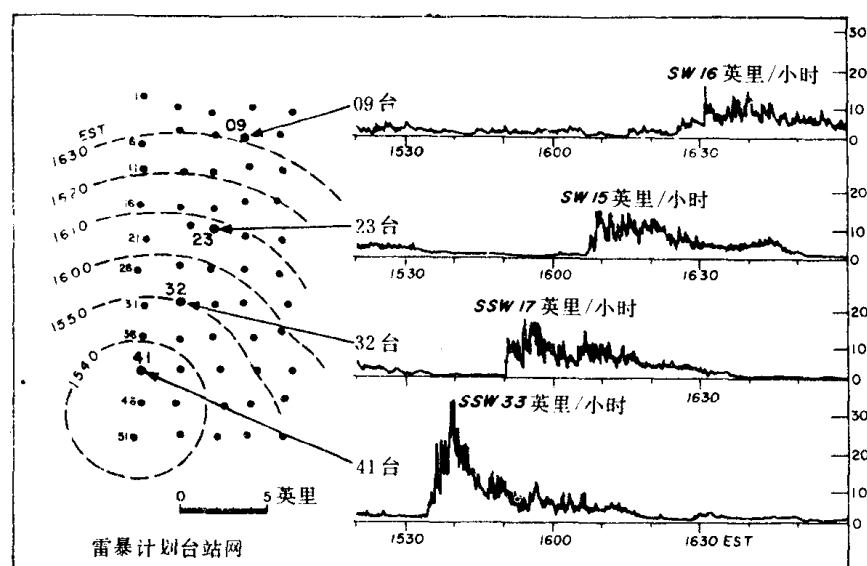


图 1.3 从孤立的雷暴单体中伸展出来的第一条阵风线实例 (1947年 8 月13日)

(峰值阵风速率向源地从10英里/小时增加到33英里/小时,如果在下沉气流中心及其周围的台站网比较密则可记录到更大的峰值速率)

雷暴计划台站网描绘出了象牛顿 (Newton) 1950 年分析的那样大尺度阵风锋。图1.4为一条前进的阵风锋(或切变线)穿过台站网的实例。可见约20分钟后,当阵雨出现时锋后气流性质则明显改变。

尽管单站记录多能有效描绘气象参数的时间变化,然其表示在时间剖面图上时则经常引起误解。例如,仪器塔上的记录常在 $z-t$ (高度对时间) 和 $z-x$ (高度对距离) 座标上进行分析,这易于造成错误认为分析场在垂直于系统移动的 y 方向上保持不变。所以应该把时间序列记录与塔周围二维风场结合起来估计三维空间的流场,图 1.5 为这种结合分析的实例(声探微波雷达紧靠下沉气流中心,但离20海里/小时等风速线围成的最大峰值阵风区有几英里)。

灾害性风的水平范围,不能总是根据中尺度台站网的记录来确定。有些风系的水平范围很小,如欲分析其生消变化,除非网点相距很近,否则现有的台站网已不起作用。

1947年,福斯特 (Faust) 对1941年 7 月13日受到飊线灾害的德国法兰克福附近的森林作了一次广泛的调查。在法兰克福机场,这条飊线伴有7毫巴的气压跳跃和33米/秒(74英里/小时)的峰值阵风。福斯特绘制受灾图时,根据森林受灾程度分为1—12级。图 1.6 中灾害等级的等值线,说明有大风带和大风穴存在。因其宽度只有1/2到1英里,故可认为嵌在整条飊线内的灾害性风的系统是非常小的。

缪尔德奈 (Müldner, 1950) 绘制了1948年 7 月22日受到飊线灾害的树木方向图(见图 1.7)。他发现有两种尺度的灾害性风:一是大尺度的直线风,另是小尺度的辐散气流(宽度只有2—3英里)。这种小尺度外流系统,叫做微下击暴流(其定义见第三章)。

为了对各种规模的风系进行分析,必须选择合适的台站网分辨率。范围为1,000英里的

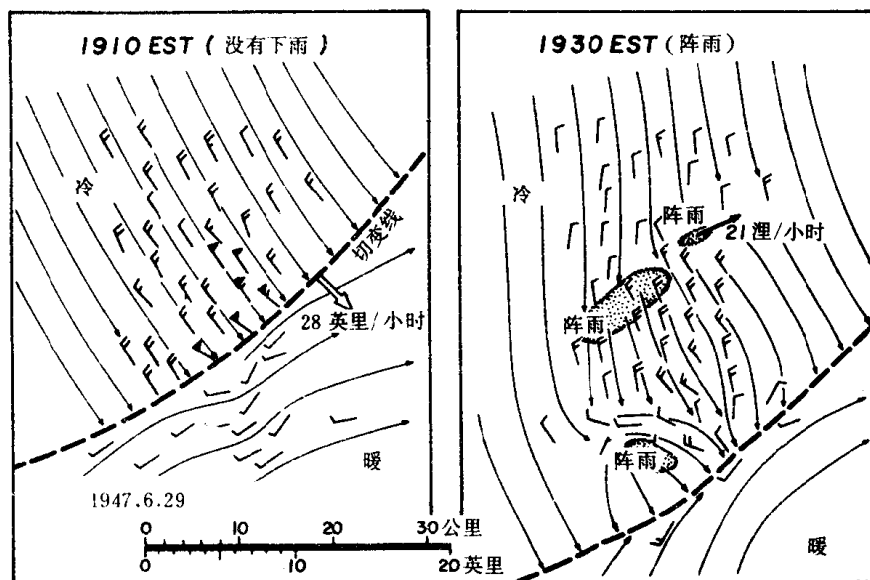


图 1.4 在穿过俄亥俄雷暴台站网的一条切变线后面发展起来的辐散场
(如辐散场影响重大,切变线就会出现一个凸出部分,它比整条切变线移动得快)

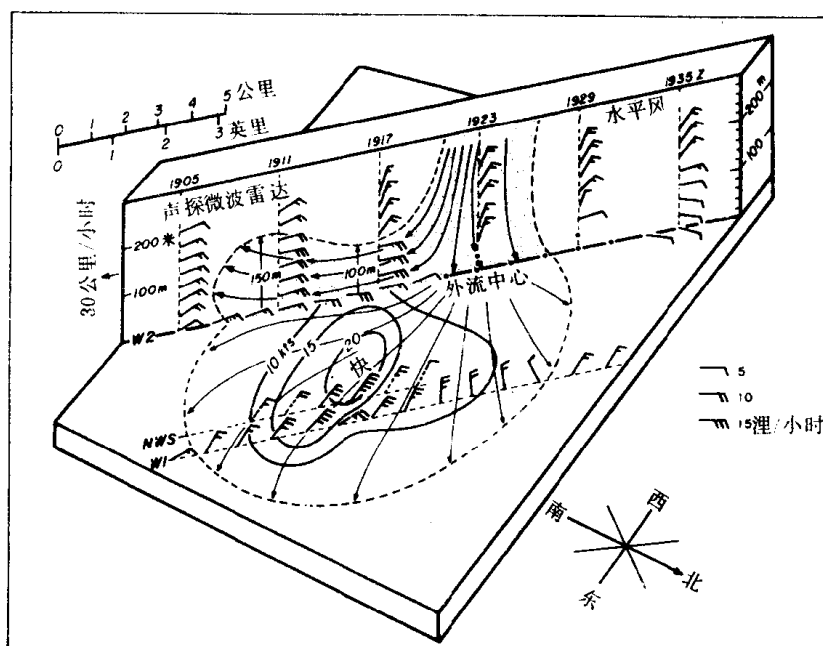


图 1.5 弗吉尼亚州杜勒斯机场一个环型外流的分析(1977年5月18日19:05—19:35世界时)

注: 哈德斯蒂 (Hardesty) 等人1977年测得的声探微波雷达记录和贝达德(Bedard)等人1977年测得的气压传感器记录, 均由博尔德美国海洋大气局波传导实验室提供。

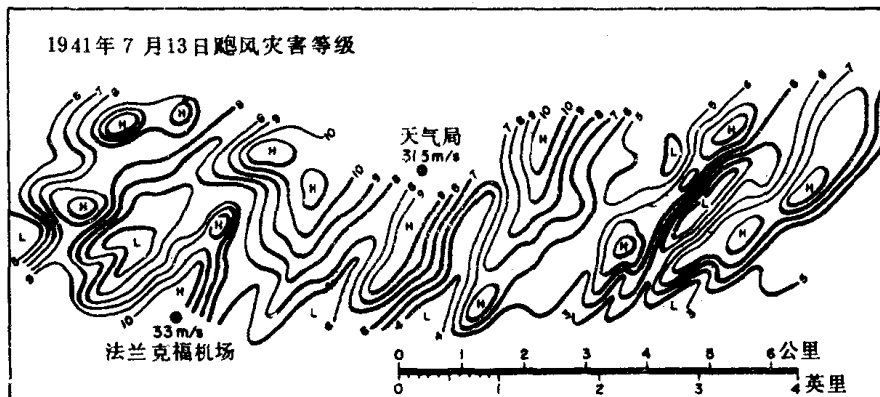


图 1.6 灾害程度分为1—12级的灾害性风型（根据福斯特，1947）

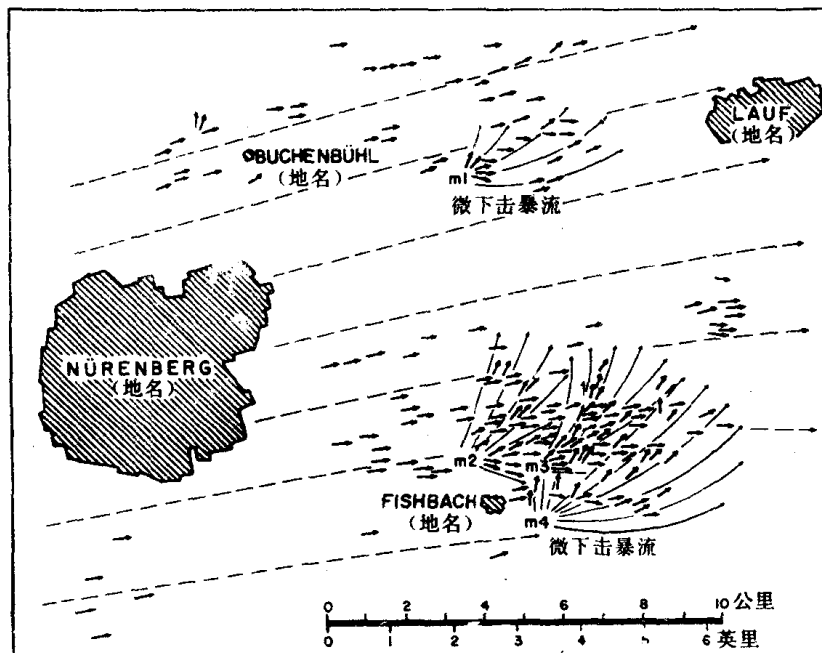


图 1.7 根据1948年7月22日树木倒下方向绘成的两种尺度外流场（按缪尔德奈，1950）

注：用m1，m2，m3和m4标示的四种辐散型，可能是微下击暴流（这将在下面详细提到）。

气旋可在气象台为100英里分辨率的天气图上分析，但这种台站网则不能描绘诸如小的中高压。

藤田(1963)把中尺度台站网分为 α ， β ，和 γ 三类，其平均台站间距为30, 5和1英里。但图1.8表明，甚至象 γ 类的中尺度台站网密度，仍不足以绘成微下击暴流图。要绘成微下击暴流流场，则需用 $\frac{1}{8}$ 英里（200米）分辨率或 δ 台站网。

1978年，石崎(Ishizaki)分析了日本多良间岛上沿720米一条线上的25个风速表记录的风的微尺度变动。风速表之间的距离为30米，属于一维 ϵ 台站网等级。但是，不论 δ 还是 ϵ 台站网间距，其二维台站网由于空间范围太小和费用太高，因而都不够实用。为克服这一困

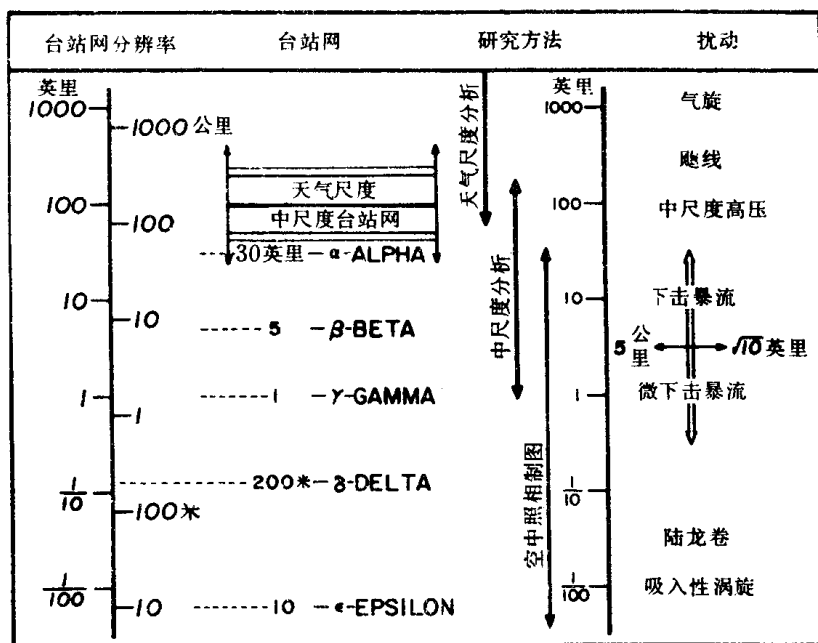


图 1.8 扰动大小与台站网分辨率的比较（除藤田1963年最初提出的三种分辨率： α ， β 和 γ 台站网外，还增加 δ 和 ϵ 台站网）

注：为了描绘气流型，在一个扰动内需有几个站。例如，台站网分辨率如果不是比 γ 间距更好的话，那末微下击暴流的特点则不是总能描绘的。

难，作者在过去几年研制了空中照相法和照相制图法。

对灾害性风造成的灾害进行空中照相制图，能够重现空气运动带(或轨迹)。这些带并不总是代表瞬间气流(或流线)，但因这种风的生命史较短，故常能从照相制图绘成的带而推测出流线来。

图1.8为可用空中照相制图的扰动范围。依靠空中照相的高分辨率，有可能绘制出比10米分辨率更好的流型。微下击暴流的标准范围为1公里，这就是为什么只用 α 和 β 台站网记录不可能反映出微下击暴流的缘故。

把中尺度台站网记录与空中照相结合起来是最理想的。由于前者用低空间分辨率来阐明事件的时间序列，而后者则用高空间分辨率来揭示对时间累积的型式 (time-integrated pattern)。因而，通过这些记录的结合分析，我们就能把风对地面物体的效应整理成小尺度扰动随时间变化的解，否则是无法描述的。

第二章 下击暴流灾害的空中照相

在空中摄影测量期间，从空中和地面拍摄了许多受灾照片并绘成彩色图1-9。检验这些照片发现，强下击暴流造成的灾害，常与陆龙卷相似。例如，有时屋顶被揭走，留下许多直立的墙壁；结构脆弱的建筑物和小的地窖则全被吹走，只剩下地基。森林里许多树木基本上朝一个方向倒下，有人觉得这可能是直线风所致。但在有些情况下，部分重叠的下击暴流却造成杂乱的废墟。因此，不详细绘制所探讨风暴区内的风向和风速图，就很难确定灾害性风的性质。

图 2.1 为在萨伊县东端拍摄的受北威斯康星州下击暴流13影响的松树林倒下的情景（见彩色图 4），这表示了直线风造成的典型灾害。

把倒下的树木绘成详细的图，即可发现下击暴流13存在扇形的辐散气流。由于整条气流方向上每英里只变化 5° ，因此这类风可认为是直线风。

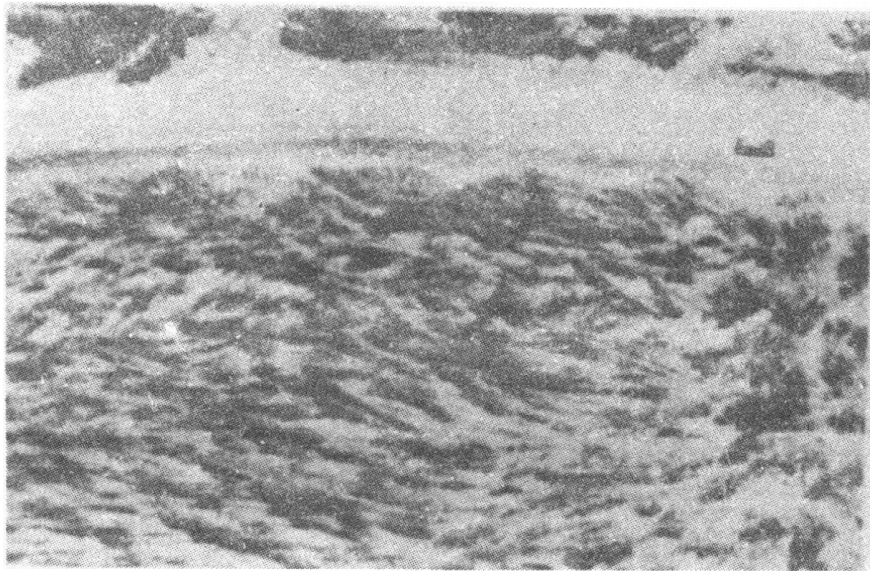


图 2.1 1977年7月4日遭受北威斯康星州下击暴流13而倒下的一片松树林

注：空中照片是在弗拉姆博河西面拍摄的，此河朝南是一条菲利普斯—温尔德公路（见彩色图 4）。

图 2.2 表示从左(西南西)向右的大风把一片桦树吹倒的情景，这张照片是在菲利普斯东北 7 英里墨瑟湖西岸附近（即彩色图 4 中下击暴流区中心附近）拍的。当一架低空塞斯纳（Cessna）飞机从湖向南飞时，在约10英里内，气流方向由西南西变到西，最后变到西北。沿着 z 字形飞行后，判定外流源为下击暴流19。

萨伊县哈佛东北部下击暴流 6（见彩色图 4）的特点，即在 2 英里内树木倒下的方向改变 90° 。

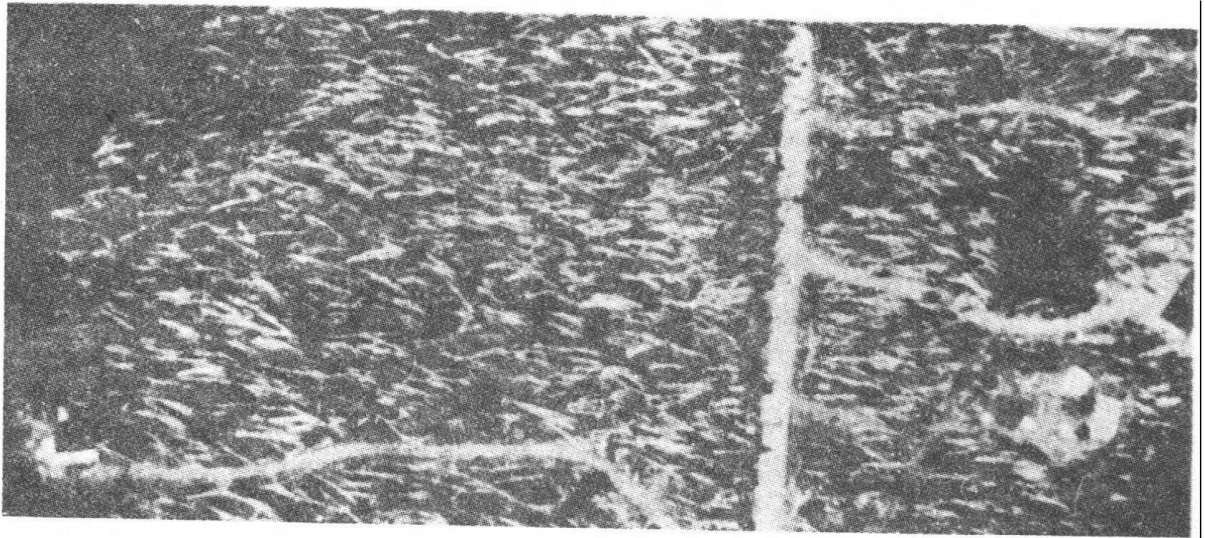


图 2.2 在菲利普斯东南 7 英里的墨瑟湖附近遭受下击暴流19（见彩色图 4）吹倒的一片桦树

因此可以得出，只要所涉及的区域比辐散风系源至少小一个量级，其发生的就是直线风。

下击暴流出现期间屋顶被揭走，这是由于升力的动力作用。在美国气象学会出版的《气象学词典》（1959）中，升力被定义为空气作用于飞机或机翼的合力中垂直于相对风而位于对称面上的分力。

图 2.3 为彩色图 4 中下击暴流19“直线风”揭走的农场建筑物大屋顶，许多大小物件也被吹进丛林，造成象陆龙卷那样的灾害。

图 2.4 为位于 A 处的工棚锡制屋顶碎片吹落在耕地上的情景（见彩色图 6）。在农场另一些地方的房屋受灾较轻，从空中看那里没有别的建筑物受灾。

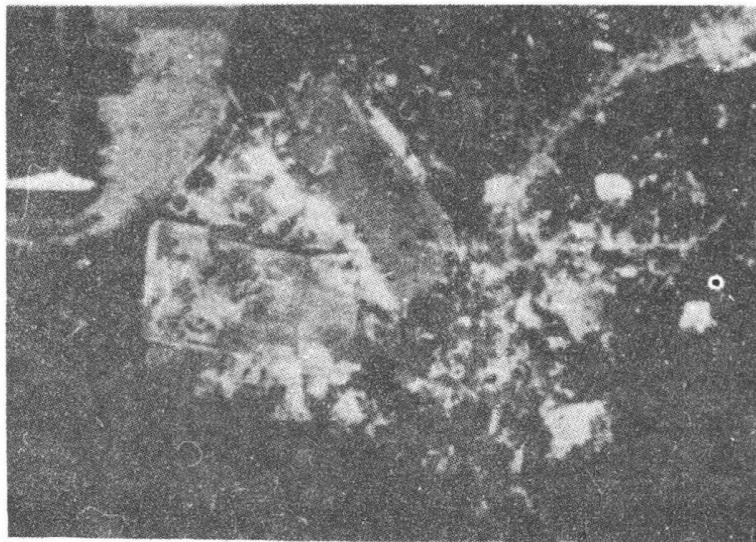


图 2.3 在菲利普斯西面遭受北威斯康星州下击暴流19毁掉的一座大的农场建筑物

注：估计灾害等级为 F 2（见表 2.1）

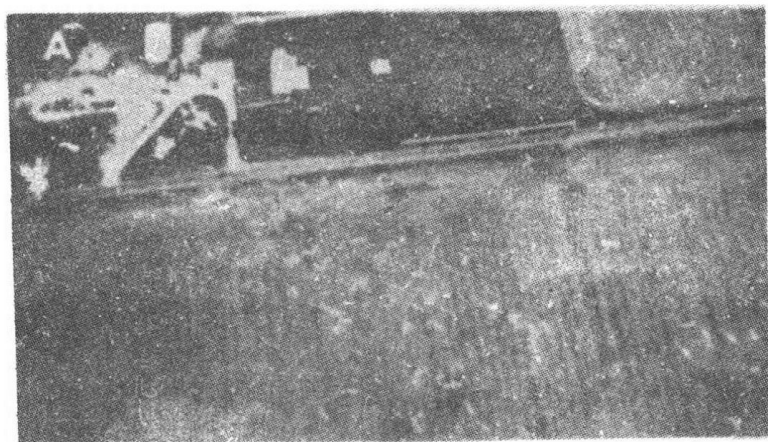


图 2.4 在印第安纳州丰当县华莱士附近下击暴流7造成的工棚碎片（见彩色图6）

注：估计灾害等级为F1（见表2.1）。

仓库和小地窖容易受到下击暴流的袭击。图 2.5 中东南东A处的仓库连地基都被拔掉，随后，它一半时间在空中，一半时间在地面且移动了 $\frac{1}{2}$ 英里。这一灾害是由1976年6月13日衣阿华州中部的微下击暴流m 7引起的（见彩色图3）。当中气旋从吉尔伯特西面向斯托雷城移动时，在其右象限产生微下击暴流。

在陆龙卷的几英里以内，常出现类似于这一个例的灾害。在详细绘制的受灾区域图上，表明这种灾害通常由其附近的下击暴流而不是直径为几英里的陆龙卷引起的。

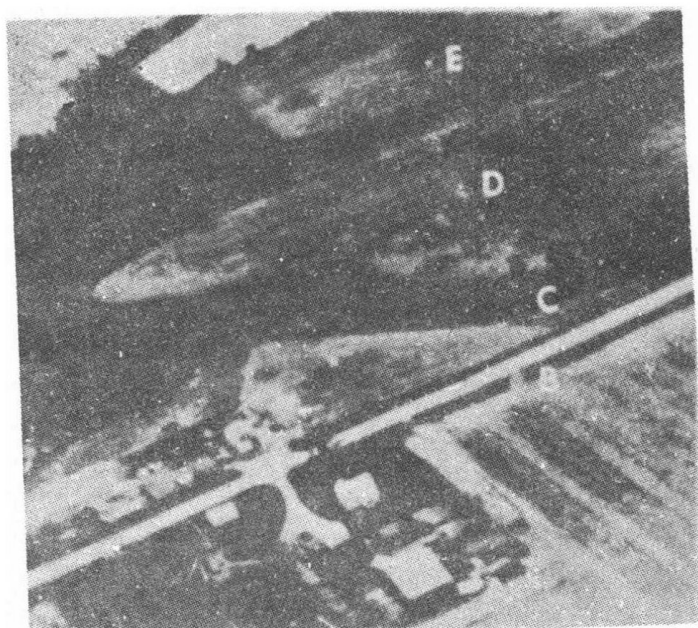


图 2.5 在衣阿华州中部吉尔伯特东北面的微下击暴流m 7把仓库吹走的情景（见彩色图3）

（仓库从A地吹走后，击坏路边B处的草坪，拆断C处几根树枝，然后散落在D和E之间）

根据茜莉亚飓风在得克萨斯州科珀斯克里斯蒂市内及郊区造成的灾害，觉得其中有下击暴流存在(见彩色图9)。在正常情况下，我们原认为最强的风出现在移动性飓风的右边。但出乎意料，当飓风中心向西北西方向即向城市北面移动约10英里时，西南西风则使城市受到严重灾害。

出现灾害性风时，科珀斯克里斯蒂市位于雷达回波眼中。显然，灾害性风来自产生在扩大眼的西南边的雷暴的方向。

图2.6为科珀斯克里斯蒂市的典型受灾情况。在一条东西向公路的右边，一座大型汽车游客旅馆屋顶的两大组件被吹掉；在活动住屋集中地区的一些活动房子互相撞倒，有些被翻转，有些被吹滚到田野而毁坏。

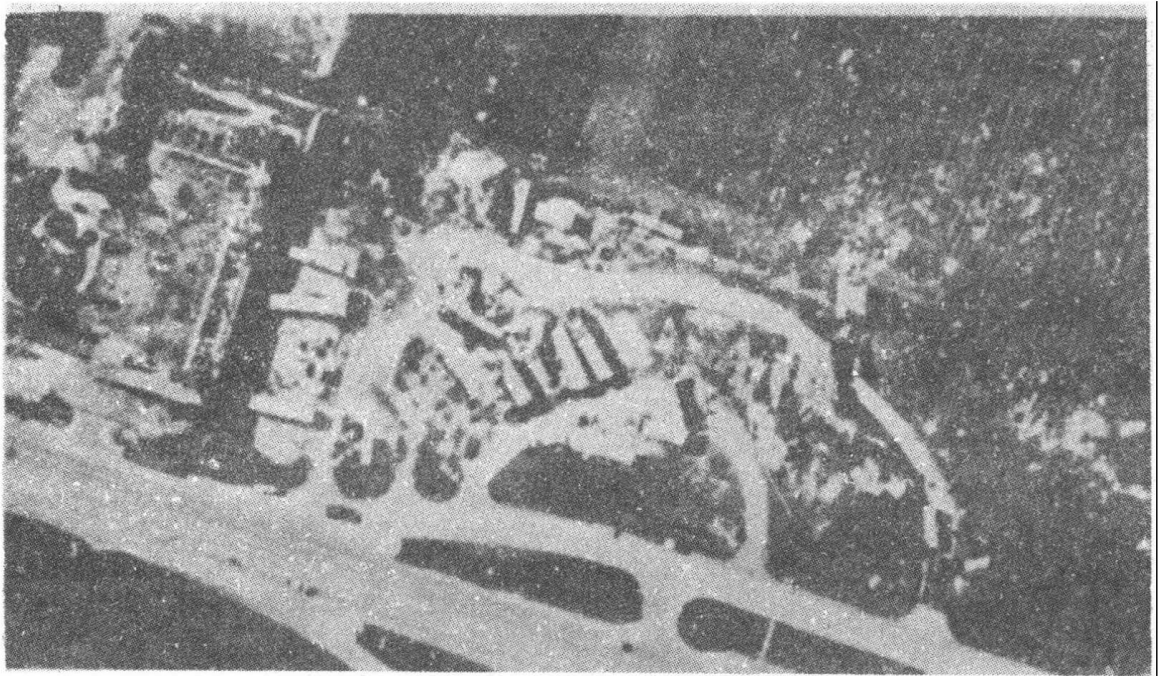


图 2.6 科珀斯克里斯蒂市商业区西面的汽车游客旅馆和活动房子遭受茜莉亚飓风中的下击暴流灾害的情景(见彩色图9)

(灾害性风来自西南西方向，其等级高于F1或低于F2，城市北面的飓风中心以16英里/小时的速度向西北西方向移动)

没有拴绑的活动房子，宛如大风中的风滚草或火柴盒(见图2.15)。图2.7中的活动房子(在伊利诺斯州丹维尔附近)建在A处的基石上，在其南面有一丙烷槽(根据它的影子，约高2—3英尺)。下击暴流从北面把活动房子抬起，并吹落在玉米地中，活动房子则没有把丙烷槽损坏。

在伊利诺斯州另一所活动房子(见图2.8)也被从基石抬起，扔落在后院。据在照片顶部中心附近屋子内的一位目击者说：“下着雨，突然听到砰击声，看到有一幢毁坏了的活动房子朝我飞来，我立即躲起来，以为这是陆龙卷。”此外，呈条状排列的废墟A和B，清楚显示出一个辐散型，这说明与陆龙卷无关。

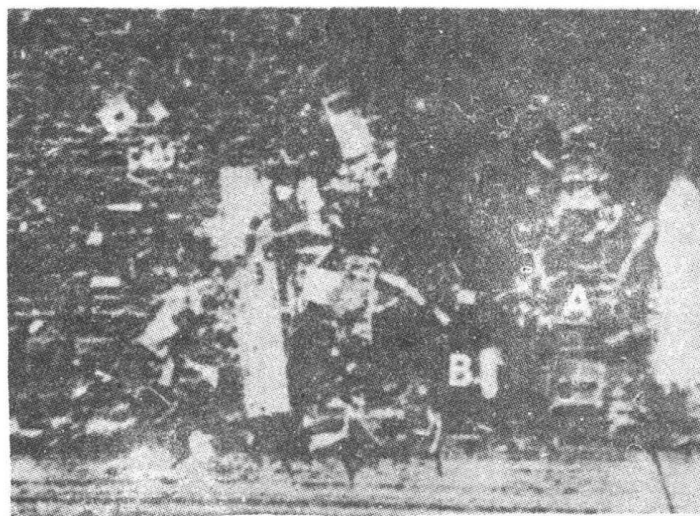


图 2.7 在伊利诺斯州丹维尔东南面的微下击暴流m 6 损坏的一所活动房子（见彩色图 6），只剩下基石A
（活动房子飞过丙烷槽B，撞碎在玉米地）

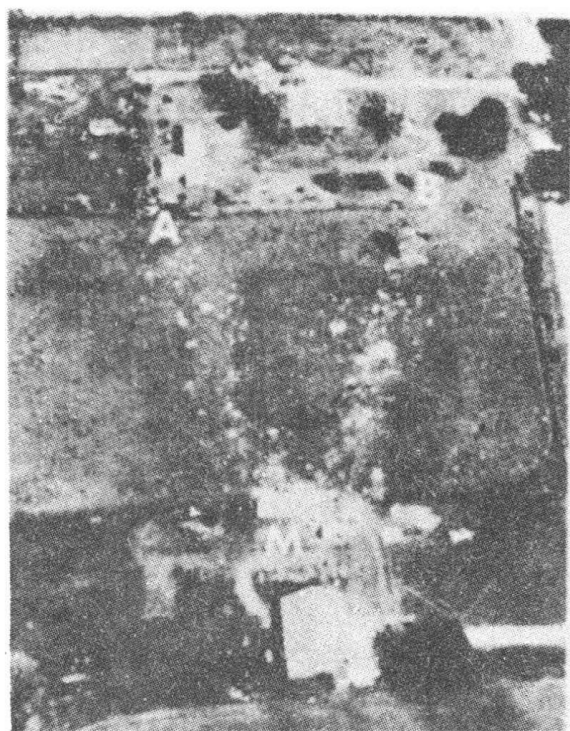


图 2.8 在伊利诺斯州丹维尔西北面的微下击暴流m 2 破坏的一座活动房子（见彩色图 6）
（这座房子位于佛米利恩县斯尼德南面约1.5 英里的地方，那里灾害性风是从南面吹来的。照片是朝北拍的，基石在字母“M”的南面。这一微下击暴流产生在雨中，有呼啸声和砰击声，很象陆龙卷的声音）

陆龙卷过后，通常可看到乔装的树木和电线杆。1973年5月11日，下击暴流3吹倒了一所乡村俱乐部（见彩色图1）。在下击暴流期间，建筑材料相继吹向一根没有倒下的电线杆。最后，这根电线杆被碎片装饰成如图2.9的样子。

下击暴流能把墓碑吹倒。这块墓碑高不到 2 英尺。这一灾害说明，强风是贴近地面的（见图2.10）。

下击暴流中心较难确定，因为它是漫散一片，而非一个几何点。

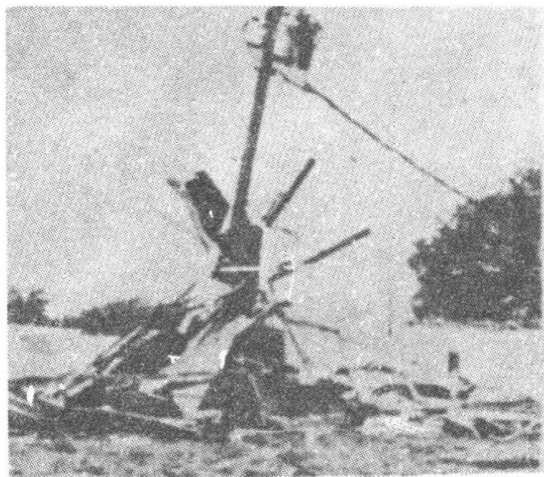


图 2.9 在堪萨斯州夏努特东南面的下击暴流 3 摧毁的乡村俱乐部建筑物废墟（见彩色图 1）
（许多碎片莫名其妙地围堆在电线杆周围）

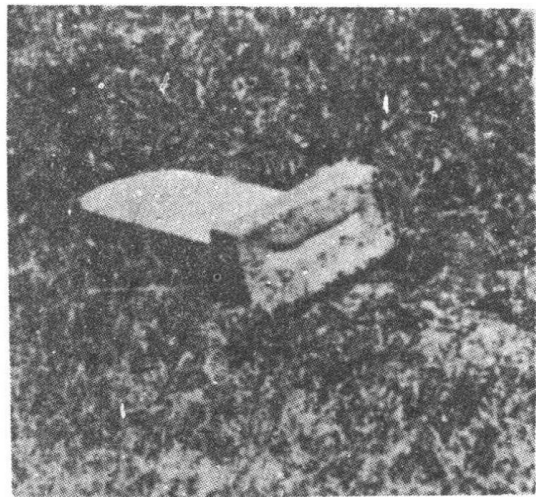


图 2.10 在堪萨斯州尼奥肖县的下击暴流 4 吹倒的墓碑（见彩色图 1）

图2.11为在微下击暴流中心附近吹倒的一片玉米杆。图上有许多扇形外流，每一外流的水平范围约100英尺；比较有组织的径向外流，则见于微下击暴流中心区外面。

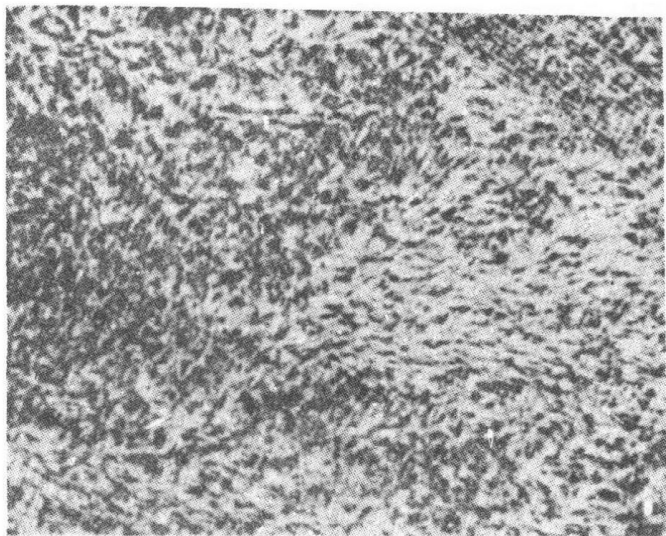


图 2.11 1977年9月30日微下击暴流m 8 中心附近的玉米地（见彩色图 6）
（显然，暴雨和雹块是随同微下击暴流一起降落的。在下击暴流中心附近，可以看到呈辐散状的倒伏玉米杆。这张照片是在离玉米地300英尺高度拍摄的）

偏转急流出现在下击暴流中心外面，因而推想在中心有下击暴流的倾斜气流存在。