

国外雷电监测 和预报研究

主编：许小峰 郭 虎 廖晓农
梁 丰 张 薈 吴宝俊

气象出版社

国外雷电监测和预报研究

主编：许小峰 郭 虎 廖晓农
梁 丰 张 薏 吴宝俊

气象出版社

内 容 简 介

本书介绍了近年国外在雷电监测和预报方面引入的一些新技术、新方法、新概念、新参数化方案,以及利用探测手段、数值模拟与资料统计揭示出的一些新事实。

本书为从事雷电监测、预报和防护业务(包括管理)人员提供一些新知识、新思路与新方法;为雷电监测、预报和防护人员以及高校有关专业师生提供一些新的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

国外雷电监测和预报研究/许晓峰,郭虎等主编.北京:气象出版社,2003.10

ISBN 7-5029-3641-6

I. 国… II. ①许…②郭… III. 雷-监测-研究-国外②闪电-监测-研究-国外
③雷-天气预报-研究-国外④闪电-天气预报-研究-国外 IV. P427.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 086388 号

气象出版社出版

(北京中关村南大街 46 号 邮编:100081)

网址:<http://cmp.cma.gov.cn> Email:qxcs@263.net

责任编辑:郭彩丽 终审:陈云峰

封面设计:王 伟 责任技编:都 平 责任校对:时 人

*

北京京科印刷有限公司印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:53.5 插页:8 字数:1350 千字

2003 年 10 月第一版 2003 年 10 月第一次印刷

定价:150.00 元

编 委 会

主 编： 许小峰 郭 虎 廖晓农
梁 丰 张 蔷 吴宝俊

副主编： 宛 霞(以下按姓氏笔划排序)
王荣华 冯桂力 陈大任
陈鲜艳 孟 青 孟 婵
孟遂珍 张明英 臧传花
时少英

编委及工作人员(承担检索、查新、下载、扫描、
预审预查、编写索引、复印以及录入的人员):

金永利 刘 珂 尤翠敏
(以下按姓氏笔划排序)
付宗钰 刘洪恩 伏建国
李志楠 李晓艳 李浚河
张琳娜 秦莲霞

前 言

雷电灾害是自然灾害的一种,每年因雷击造成的人员伤亡和火灾事故时有发生。20 世纪初期,电讯和电力事业的发展受到了雷电灾害的影响,避雷和防雷工程引起人们的重视。70 年代以来,伴随着尖端科学的发展,特别是航天、计算机部门频频遭受雷害,损失惊人,这促使雷电的监测、预报和防护在技术及理论上都取得了很大的发展,出现了大量新的研究成果。为了深入了解国外雷电监测和预报技术研究的最新进展,我们检索、查阅和翻译了大量有关文献,汇集成内部参考材料,并提供给有关人员。以此为基础,进行了进一步加工,并结合我们对雷电监测和预报研究的认识,编成此书。

全书选入了近百篇文章,内容包括雷电监测和预报技术方法及基础知识两大部分,主要涉及以下几个方面的新内容:

- 已经投入业务使用的地基闪电监测网(例如 NLDN,包括 1994 年升级后的)、闪电监测系统(例如 SAFIR)以及星基闪电探测系统(例如 OTD 与 LIS)。

- 新近引入的闪电频数参数化方案、云闪与地闪比例的经验公式。

- 新近引入的概念模型,例如雷暴云中电荷垂直分布的概念模型、龙卷爆发时云地闪极性和地面相当位温之间关系的概念模型、闪电频数“跃变”时刻与强天气出现时刻关系的概念模型。

- 新近引入的一些概念,例如地闪雷暴、正地闪雷暴、负地闪雷暴与逆转雷暴。

- 新近引入用于解释起电机制的参数,例如有效上升气流在 $-10 \sim -25^{\circ}\text{C}$ 之间持续的时间。

- 新近利用探测手段揭示出的一些新事实,例如与闪电有关的平流层和中间层瞬间发光事件:光盘、光柱和蓝色射流。

本书介绍的上述内容,可以为从事雷电监测、分析、预报和服务的工作人员提供一些新思路、新方法,为雷电应用研究人员提供一些新的参考资料。

本书的编者来自多个单位,从事的工作及视野有些差异,故对材料的取舍及列出文献的多寡有些不同。容许这种不同,也许能够照顾到不同读者的需求。

本书有些专题选入的各篇编译文章之间,存在着某些不甚协调的地方,这也许是本书有些专题目前发展状况的真实反映。

20 世纪 70 年代~80 年代,美国发生过多次雷击航天发射器事故,损失惨重。而后,美国肯尼迪(宇宙)空间(研究)中心(KSC)、美国空军、联邦航空管理局(FAA)、美国航空航天局(NASA)、兰利研究中心和新墨西哥理工大学等单位联合进行研究,经过 10 多年的努力,建立起了闪电监测网和 KSC 发射场的雷电预警系统,并制定出了严密的管理条例。在这之后,就很少再出现设备和人员遭雷击的事故。这段历史,虽然讲述的是美国航天发射器防雷方面的,但对于研究雷电监测和预报的人们来说,也值得借鉴。

上述雷电预警系统,可划分为 3 个部分:

●短期雷暴潜势预报;

●雷暴的监测、辨识、跟踪、分析和临近预报;

●当预计某地 8 km 范围内可能有地闪(落雷)时,发布雷电警报或甚临近预报(时效 $\leq$ 30 min)。

从上述 3 个部分看出,在制作雷电预报时,首先要制作短期雷暴潜势预报以及雷暴的监测、辨识、分析和临近预报。正是由于上述原因,本书收入了以下专题的部分文章:雷暴潜势预报、雷暴自动-临近预报系统、AWIPS 与 WDSS 以及雷暴初生的临近预报。

对于雷电的甚临近预报(时效 $\leq$ 30 min),书中介绍了美国空军第 45 天气中队(45WS) Roeder 与 Pinder (1997)提出的闪电经验预报方法。

我国的国家重点工程项目“大气监测自动化系统工程”,计划 2003 年底在气象部门建成拥有 90 个闪电探测子站的全国闪电监测网。但愿在怎样利用全国闪电监测网资料方面本书能起到一定的作用。

本书的编写和出版得到了北京市科委项目“北京地区雷电监测、预报及防护技术研究和防雷示范工程”以及“人工防雹应用新技术研究”的资助,北京市科委副主任刘振刚、委员王丽水、农村处处长张光连,北京市气象局原局长恽耀南、现局长谢璞、副局长王晓云、业务科教处处长王玉彬、副处长薄莉,中国气象局北京城市气象研究所王迎春所长与谭晓光总工程师,以及空军航空气象研究所刘健文总工程师等领导和专家给予了大力支持和帮助,气象出版社陈云峰副总编、郭彩丽副编审等审核了书稿,并提出了许多宝贵意见。

本书的取材、编排方式和内容有许多可商榷之处,疏漏之处也在所难免。衷心希望读者对本书批评指正。

编 者

2003 年 9 月

目 录

第一部分 雷电监测和预报技术方法

美国国家闪电监测网

NLDN 及其在地闪风暴监测中的应用举例	郭 虎等(5)
1994 年 NLDN 升级后监测到的闪电数和峰值电流变化	许小峰等(11)
1994 年 NLDN 升级后监测到的闪电数和峰值电流变化的原因分析	彭治班等(19)
1989~1996 年美国地闪密度和年雷暴时数	彭治班等(26)
1992~1995 年美国地闪密度特征	付宗钰等(34)
1995~1997 年美国云地闪监测资料分析	金永利等(42)

SAFIR 与闪电监测系统应用举例

SAFIR 系统及其应用简介	廖晓农等(55)
与雷暴(日)定义有关的几个问题	张 蕾等(60)
闪电水平分布的形态学分类	臧传花等(67)
佛罗里达州闪电频数跃变与强雷暴天气出现时间的关系	冯桂力等(75)

闪电频数的一种简单参数化方案及其应用举例

闪电频数的一种简单参数化方案	郭 虎等(91)
圭亚那闪电频数的参数化方法	廖晓农等(101)
新墨西哥州的闪电预报	宛 霞等(105)
用 GCM 模拟全球闪电的空间分布	梁 丰等(110)
用 GCM 模拟全球闪电的时间变化	梁 丰等(117)

多普勒天气雷达在雷电监测和预报中的应用

多普勒天气雷达预测云地闪的功能	冯桂力等(125)
WSR-88D 雷达显示的闪电开始特征	张鹏锐等(132)
有 CG 闪雷暴与无 CG 闪雷暴的对比分析	刘 欣等(142)
热带“热塔”雷电的研究	陈大任等(151)

人造(气象)卫星在雷电监测和预报中的应用

气象卫星在雷电监测和预报中的应用	张 蕾等(165)
------------------------	-------------

闪电活动和不同雷暴云参量之间关系的研究·····	张志光等(173)
使用雷达和卫星资料监测和预报积云增长·····	杨 洁等(184)
OTD 观测资料应用举例·····	陈鲜艳等(189)
俄克拉何马州三维地基闪电映像观测和星基 LIS 观测结果的比较·····	宛 霞等(196)
卫星闪电观测资料的校正·····	梁 丰等(204)
闪电频数和雷暴数目的变化对全球闪电变化的影响·····	张志光等(215)

数值预报在雷电监测和预报中的应用

将中尺度 NWP 模式作为对流早期预警的诊断工具(1)

——对流及其环境条件的诊断分析·····	李 君等(229)
----------------------	-----------

将中尺度 NWP 模式作为对流早期预警的诊断工具(2)

——预报试验·····	李 君等(235)
-------------	-----------

中尺度分析和诊断参数在深对流临近预报中的应用(1)·····

时少英等(246)

中尺度分析和诊断参数在深对流临近预报中的应用(2)·····

廖晓农等(256)

雷暴潜势预报

雷暴预报与闪电预报的关系·····	郭 虎等(271)
-------------------	-----------

阿拉斯加地区雷电的客观预报方法·····	张琳娜等(273)
----------------------	-----------

季风爆发前德里地区的雷暴预报·····	时少英等(279)
---------------------	-----------

两种雷暴预报方法的对比·····	张鹏锐等(289)
------------------	-----------

德国南部的雷暴及其运动学特征·····	臧传花等(295)
---------------------	-----------

对流参数及其在雷暴分析和预报中的应用

强风暴参数在雷暴分析预报中的应用·····	廖晓农等(305)
-----------------------	-----------

匈牙利使用强对流参数预报强风暴的一些体会·····	姜冬梅等(307)
---------------------------	-----------

特拉维夫雷暴中正地闪与垂直风切变的关系·····	廖晓农等(316)
--------------------------	-----------

风暴强度指数(SS1)及其应用举例·····	李浚河等(324)
------------------------	-----------

一次强天气过程的天气尺度和中尺度分析·····	郑美琴等(329)
-------------------------	-----------

气块起始抬升高度选择方法对 CAPE 计算值的影响·····	张琳娜等(340)
--------------------------------	-----------

与 CIN 计算有关的两个问题·····	张琳娜等(350)
----------------------	-----------

集合预报在强对流天气预报中应用举例·····	王东勇等(356)
------------------------	-----------

利用众例对多种对流参数进行评比的一种工具·····	廖晓农等(361)
---------------------------	-----------

雷暴自动-临近预报系统

雷暴自动-临近预报系统简介及其应用举例·····	郭金兰等(371)
--------------------------	-----------

雷暴自动-临近预报系统的现场试验情况·····	李浚河等(380)
-------------------------	-----------

用于 0~2 h 雷暴预报的雷达和其他变量性能的评估·····	张琳娜等(384)
---------------------------------	-----------

对流单体一种新跟踪算法(TRACE3D)的初步结果·····	杨 洁等(390)
--------------------------------	-----------

TITAN:一种基于雷达的雷暴辨认、跟踪、分析和临近预报方法·····	李浚河等(397)
-------------------------------------	-----------

AWIPS 和 WDSS

美国先进天气人机交互系统(AWIPS)简介	谭晓光等(407)
决策树方法在雷电临近预报中应用举例	廖晓农等(415)
美国对流分析和临近预报系统(SCAN)简介	罗伯良等(421)
NSSL 的新一代警报决策支持系统(WDSS)	罗伯良等(424)

雷暴初生的临近预报

对 1~2 h 美国全国雷暴初生预报的初步探讨	李 津等(433)
反射率晴空回波与折射率在对流初生预报中的应用	廖晓农等(439)
滚轴雷暴日与滚轴非雷暴日的区别	石增云等(444)
小尺度湿度变化对雷暴产生的影响	石增云等(454)

闪电的甚临近预报

雷前预报的时效:甚临近预报	郭 虎等(463)
云闪比地闪超前的几个例证	张 蕾等(465)
甚临近(≤ 30 min)闪电预报的经验预报方法	廖晓农等(470)

第二部分 雷电监测、预报基础

雷暴云内电场的垂直结构

MCS 雷暴对流区内电场垂直结构的概念模型	许小峰(481)
雷暴对流区内电场垂直结构的综合分析结果	郭 虎等(490)
超级单体雷暴内电场的垂直结构	陈鲜艳等(498)
新墨西哥州雷暴内电场的垂直结构	刘诗军等(510)
超级单体雷暴强上曳气流内电场垂直结构的探测	杜 辉等(520)

雷暴云内电场垂直结构的探测

用移动实验室进行强风暴电学研究	陈大任等(529)
雷暴对流区内电场垂直结构的探测仪器及资料分析方法	陈大任等(534)
MCS 雷暴对流区内电场垂直结构的探测和分析方法	冯桂力等(543)
MCS 雷暴对流区上升气流内电场垂直结构的探测结果及其解释	王 庆等(548)
MCS 雷暴对流区非上升气流内电场垂直结构的探测结果及其解释	刘诗军等(559)
雷暴内对流上升速度和电场垂直结构之间关系的统计分析	梁 丰等(570)

雷暴云的起电与放电

强风暴的起电	李秀连等(579)
新墨西哥州雷暴的起电	宛 霞等(582)

对流风暴内的闪电频数和闪电类型(1)——模式简介	梁 丰等(591)
对流风暴内的闪电频数和闪电类型(2)——观测结果和方法论	郭 虎等(600)
对流风暴内的闪电频数和闪电类型(3)——结果和讨论	杜 辉等(610)
雷暴对流区内电场垂直结构成因的探讨	郭 虎等(622)
雷暴云放电过程的一种简单图像	张鹏锐等(627)

云模式闪电参数化

云模式闪电参数化方案依据的基本物理过程	梁 丰等(633)
一种新的数值云模式闪电参数化方案	梁 丰等(642)
利用数值云模式的闪电参数化方案模拟的个例	梁 丰等(655)

与 $Z(N_{IC}/N_{CG})$ 有关的问题

$Z(N_{IC}/N_{CG})$ 对纬度、地面高度、总闪电频数及风暴形态的依赖性	金永利等(665)
美国 $Z(= (N_{IC}/N_{CG}))$ 的地理分布特征	金永利等(673)
决定 $Z(= (N_{IC}/N_{CG}))$ 值大小的因子	廖晓农等(679)

雷电气候学

全球闪电(总闪、云闪和地闪)数目的估算模型	梁 丰等(689)
全球总闪电数的时空变化	胡 博等(702)
爪哇岛周围闪电活动的时空分布特征	孙翠艳等(710)
阿拉斯加地区雷电活动的气候学特征	张琳娜等(719)

大峰值电流云地闪与大气高层瞬间发光事件

美国夏季大峰值电流云地闪电的分析	王荣华等(731)
MCS 内云地闪电峰值电流的特征	时少英等(748)
与闪电有关的平流层和中间层瞬间发光事件	王荣华等(755)

中尺度对流系统(MCS)的云地闪电特征

MCS 结构演变与 CG 闪活动关系的个例分析	杜 辉等(763)
地闪频数和风暴参数关系的个例分析	杜 辉等(775)
中尺度对流系统(MCS)内云地闪电特征	时少英等(785)

几类强天气的闪电特征

龙卷爆发时云地闪的极性和地面相当位温之间的关系	宛 霞等(801)
瑞土地闪活动与雷达探测的冰雹动能的关系(1)——资料及其处理方法	卢兆民等(811)
瑞土地闪活动与雷达探测的冰雹动能的关系(2)——结果	卢兆民等(819)
佛罗里达州强雷暴天气的总闪电活动特征	冯桂力等(829)

附录:国家雷电监测网的建设与技术分析	许小峰(836)
--------------------------	----------

第一部分

雷电监测和预报技术方法

美国国家闪电监测网

NLDN 及其在地闪风暴监测中的应用举例

郭 虎¹ 张 菁² 孟 青³ 陈大任¹ 编译

(1 北京市气象台,北京 100089)

(2 北京市人工影响天气办公室,北京 100089)

(3 中国气象科学研究院,北京 100081)

摘 要—本文介绍了 Orville 等(1990)关于美国国家闪电监测网(缩写为 NLDN)方面的文章。文章中介绍了美国国家闪电监测网(NLDN)的探测原理、组建经过及其对一次地闪风暴监测的情况。

关键词—美国国家闪电探测网 地闪风暴 峰值电流 探测效率

1 引 言

虞昊等(1995)的《现代防雷技术基础》一书中指出:雷电科学是现代防雷技术的基础,雷电科学理论是建立在实验探测的基础之上的。另外,今天的雷电探测还是现代防雷技术的重要措施之一——“躲”的重要手段,因此,应该对当代雷电探测与预警有一些基本了解。

雷电探测还有另一个重要作用,那就是发生雷灾之后的抢救善后工作也需要利用它。正因为如此,美、法、俄等国都已先后建立起了全国性的雷电监测网,其他国家也正在努力赶上。

张霭琛(2000)在《现代气象观测》一书中指出:

闪电定位系统是一个网络系统,它覆盖的范围越大,信息传输手段越先进,其系统的定位精度越高,越能满足对资料的实时性的要求。按目前的技术水平,闪电定位资料技术要求达到下述指标:

(1)能分辨出对云、对地闪击以及云间闪击;对云、对地闪击应能分辨出首次以及随后各次的闪击。

(2)对于大的地闪,如峰值电流在 16 kA 以上的闪击探测效率为 90%。

(3)闪击落地的定位精度应达到 500 m。

美国对于闪电监测网曾做过两次现场检验工作,确认其系统已接近了上述指标。

鉴于以上情况,本文介绍 Orville 等(1990,下称 OHP90)关于美国国家闪电监测网(NLDN)方面的文章。

OHP90 指出,美国国家闪电监测网是在联邦气象服务和保障研究部门的协调支持和鼓励下,于 1987 年夏天建成的。这个国家网由三个区域网组成,即土地管理局(BLM)管理运行的西部大型网、由国家强风暴实验室(NSSL)管理的中西部较小的网,以及纽约州立大学奥尔巴尼分校(SUNYA)管理运行的美国东部网。这些网内的所有定向探测器工作原理是磁定位原理并且由亚利桑那州的塔克森闪电定位公司制造。

2 闪电探测原理

OHP90 认为,关于宽带定向探测器的闪电探测网,以前已由几位作者论述过(例如 Krider 等 1976,1980;Orville 等 1983;Mach 等 1986)。简单地说,这类网是由一个正交磁环天线、一个平板天线和用来处理云地闪电辐射信号的相应电子线路所组成。天线系统的带宽是较宽的,约为 1~400 Hz,从而使闪电波形的形状和极性得到保存,正交磁环天线感知来自闪电的磁场,并且在每个环上产生一个电压,该电压正比于磁场的微分乘上天线环平面与输入场传播方向夹角的余弦。在正交磁环天线中累积电压的比值提供了闪电的方向。在方向中 180°的不定性问题用天线消除,该天线能感知下落到地面的电荷的极性,用电子设备仅仅把那些具有云地闪回击特征场的波形接收下来,云中闪电被剔除掉。

闪电定向探测器一般探测距离是 400 km,在此范围内,据估算,探测效率 η ($\eta = \frac{\text{探测到的闪电数}}{\text{实际上全部的闪电数}}$) 为 70%,亦即探测到的云地闪电为实际全部云地闪电的 70%。在 400 km 以外的距离,闪电虽仍能被记录到,但是探测效率变低。当闪电定向探测器感知一个闪电的时候,首次回击的时间、角度、信号幅度和极性均被储存在存储器中,直至这些信息被用于测绘这个闪电的最佳位置(Orville 1987)。闪电的位置通过卫星实时传到美国各地,并记录在磁带和光盘上,以便用于闪电特征的事后分析,如闪电密度、信号强度和每个闪电的回击数。

3 美国国家闪电监测网

美国国家闪电监测网的发展是 1984 年从东北部一个小型的区域网开始的,到 1988 年发展成为一个覆盖美国本土的网,发展最快的时期大概发生在 1987 年的夏天,当时由 BLM 和 NSSL 管理运行的网,加入 SUNYA 网,形成一个覆盖美国本土 75% 的网。随后,在 1988~1989 年的冬季,定向探测器加入 SUNYA 网,完成覆盖美国本土的国家闪电监测网。

1990 年,NLDN 覆盖了 $3 \times 10^6 \text{ km}^2$ 土地,使用将近 115 个磁定向探测器(图 1)。定向探测器分别由 BLM,NSSL 和 SUNYA 网使用和维护。来自定向探测器的全部信息被储存在 SUNYA 网中,定时绝对精度维持在 100 μs ,在 BLM 网内维持,但是与绝对时间无关。沿着 BLM 网另外两个网分开的子午线闪电计数可以进行多路记数。

4 将 NLDN 用于强局地风暴探测的一个例子

为了讨论简单,OHP90 仅仅选择了一次地闪风暴(引起地闪的风暴)系统,它发生在 1989 年 10 月 14~15 日。就一年中这段时间的地闪量来讲,这次风暴是奇异的。图 2 表示 10 月 14 日 2000 UTC 至 15 日 1000 UTC 期间 24 691 个地闪回击点的分布情况。负电荷降落接地的闪电称为“负地闪”,被画成点;而正电荷接地的闪电称为“正地闪”,用“+”号表示。如图 2 所示,地闪雷暴是从西北朝东南前进,沿风暴路径的北部边缘几乎只观测到正闪电,并在图 2 中以“+”号作为边缘。需指出的是,沿风暴路径的南部边缘几乎没有正闪电。

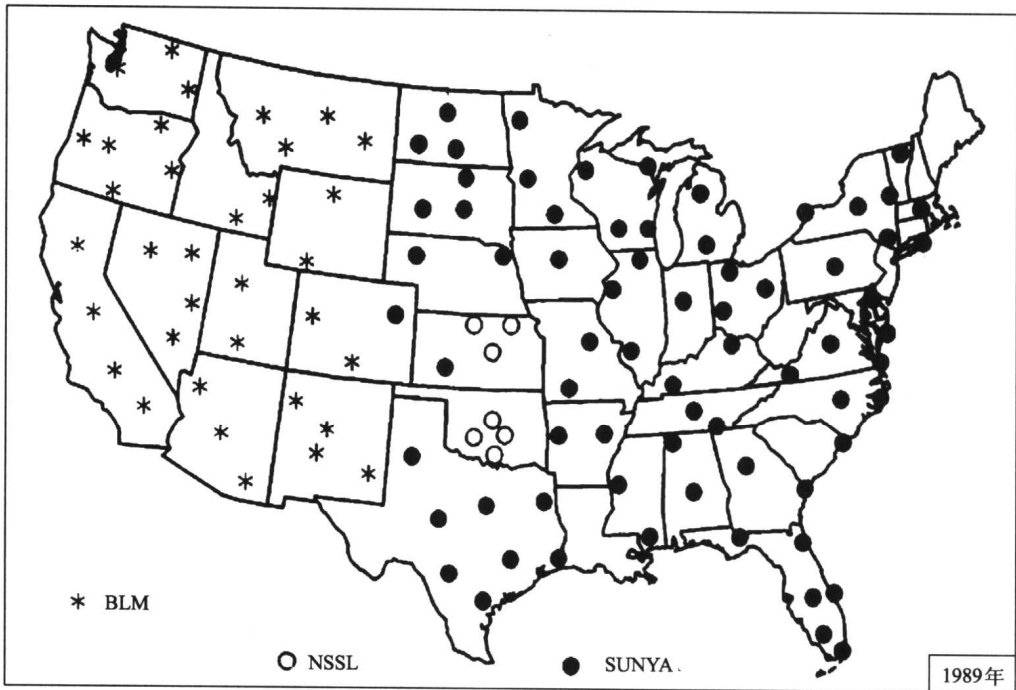


图1 由分布在美国的115个定向探测器所组成的国家闪电监测网
(其中35个定向探测器由土地管理局管理,其余的由纽约州立大学奥尔巴尼分校管理)

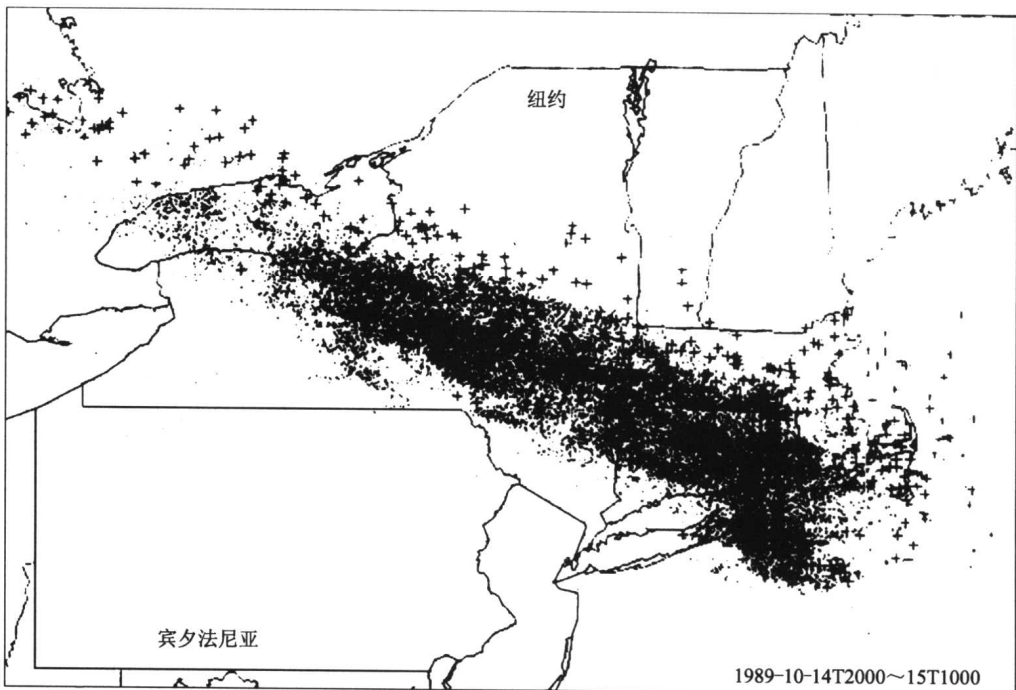


图2 从加拿大传播到纽约东南部到大西洋一带的一个秋季强局地风暴的地闪分布情况
(负地闪用“-”号表示,正地闪用“+”号表示)