

# 雷电临近预警产品评估方法及其软件

马 颖 孟 青 吕伟涛 姚 雯 张文娟

(中国气象科学研究院雷电物理和防护工程实验室,北京 100081)

**提 要:** 为了适应雷电业务发展的需求,对已经投入业务运行试验的雷电临近预警系统的预警效果做出客观评估,中国气象科学研究院雷电物理和防护工程实验室开展了雷电临近预警产品评估方法的研究,并开发了配套的应用软件。评估方法通过雷电预警结果和实际监测结果的对比,得到命中率 POD、虚警率 FAR 和 TS 评分三项指标,实现对雷电预警产品的评估。评估软件的实际运行表明:该方法不仅能够检验 CAMS\_LNWS 预报雷电活动的的能力,还能对预警方法的改进起到一定的指导作用,能够满足雷电业务产品评估的需要。

**关键词:** 雷电 临近预警 评估方法 软件

## Evaluation Method and Software of Lightning Nowcasting and Warning Products

Ma Ying Meng Qing Lv Weitao Yao Wen Zhang Wenjuan

(Laboratory of Lightning Physics and Protection Engineering,  
Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** In order to make an objective assessment of the effect of the Lightning Nowcasting and Warning System (which is developed by the Chinese Academy of Meteorological Sciences, CAMS\_LNWS), the evaluation method of CAMS\_LNWS products has been studied and a software has been developed by the Laboratory of Lightning Physics and Protection Engineering. Three indicators, POD (Probability of Detection), FAR (False Alarm Rate) and TS (Threat Score) are used in the evaluation method. They not only can assess the forecast effect of CAMS\_LNWS products, but also can guide the improving of lightning nowcasting and warning methods partially. Owing to the reasonable design, comprehensive functions, easy-to-use interface and rich products, the assessment software can meet the needs for evaluation of lightning operational products.

**Key Words:** lightning nowcasting and warning evaluation method software

## 引 言

在高速发展的现代社会,雷电灾害对公众的影响越来越大,造成的损失也越来越严重,因此对雷电预警预报的需求越来越迫切。中国气象科学研究院雷电物理和防护工程实验室近几年积极开展了雷电临近预警方法的研究<sup>[1-3]</sup>,在国内率先开发出了雷电临近预警系统(Lightning Nowcasting and Warning System, CAMS\_LNWS),该系统采用了多资料、多参数和多算法集成的雷电临近预警方法,能够综合利用雷达、卫星、闪电监测系统、地面电场仪和探空仪等的观测资料以及天气形势预报产品和雷暴云起电、放电模式,结合区域识别、跟踪和外推算法与决策树算法,自动生成雷电活动潜势预报以及雷电发生概率、雷电活动区域移动趋势和重点区域雷电发生概率等临近预警产品<sup>[4]</sup>。

CAMS\_LNWS 系统开发完成以来,已经参加了 2006 年、2007 年北京地区的奥运气象服务演练以及 2008 年北京和青岛地区的奥运气象保障服务,并在全国气象部门进行了业务推广和运行试验,在多个省市气象台投入了业务运行<sup>[5]</sup>。对于一套临近预报系统来说,产品的准确性和可靠性是极其重要的,对其预警产品的预报效果进行客观地产品检验和效果评估,是一个必要的环节和流程。通过对预警结果进行评估,并根据评估结果对预警方法进行改进,也是完善这套系统、提升雷电临近预警效果以推动我国雷电业务的长期发展所必须的。

因此,针对雷电预警产品的特点,参照并结合其他气象预报产品的评估方法,雷电物理和防护工程实验室继续开展了雷电临近预警产品评估方法的研究,并开发了相应的软件系统,实现了对业务运行试验中雷暴天气过程实例的预警效果的评估。本文将就所采

用的评估方法和软件开发情况进行详细阐述,并以天气过程评估个例说明软件的实际使用效果。

## 1 雷电临近预警产品的评估方法

CAMS\_LNWS 雷电临近预警结果包括雷电发生概率预报、雷电活动移动趋势预报和重点区域雷电发生概率预报三种产品,其中移动趋势预报和重点区域预报均是基于雷电发生概率预报的结果做出的。雷电发生概率是利用各种尺度的气象观测资料分析得到的预警范围内每个格点区域内未来发生闪电的可能性(0~100%),属于天气预报产品中的概率预报产品,是雷电预警产品评估系统评估的对象。为便于显示,在 CAMS\_LNWS 中利用蓝、黄、橙、红四种颜色在地理信息背景下显示相应的位置及概率分布,分别对应四个概率范围(0~25%、25%~50%、50%~75%和 75%~100%)。

针对天气预报产品的不同类型,天气预报的验证评分方法也是不一样的。目前通用的评估方法,首先是按照 Brounlee 在 1965 年设计的两变量预报验证列联表(见表 1)<sup>[6]</sup>,把预报结果和实际观测结果做出关联,然后就可以利用表中的相关元素,组合成各种预报评分方法<sup>[7-9]</sup>,如:

表 1 预报和观测列联表

		观测	
		有	无
预报	有	X	Z
	无	Y	W

命中率(Probability of Detection)

$$POD = X/(X + Y) \quad (1)$$

虚警率(False Alarm Rate)

$$FAR = Z/(X + Z) \quad (2)$$

伪击率(Probability of False Detection)

$$PDFD = Z/(Z + W) \quad (3)$$

失误率(Frequency of Misses)

$$FOM = Y/(X + Y) \quad (4)$$

TS 评分(Threat Score)

$$TS = X/(X + Y + Z) \quad (5)$$

再针对需要评估的预报产品的预报属性、特性和评估需求,选取合适的评分方法。

针对雷电预警预报服务产品的预报属性和时空特点,参照相关业务规范和国际通用方法,考虑科学性、实用性和可行性,评估方法通过预警结果和实际监测的对比,计算出命中率 POD、虚警率 FAR、TS 评分三个评估指标,实现对雷电临近预报结果的准确率和时效性的评估。

预警结果和实测结果的格点化是评估的前提。CAMS\_LNWS 系统概率预报产品是将预警区域按用户设定的分辨率划分成若干小区域,给出每一个小区域在预警时段内雷电发生的概率,这样预警产品本身就是格点化的。将该区域实测的闪电数据按照同样的网格进行划分,统计不同网格中闪电发生的情况(对于地闪定位数据来说,统计的是地闪次数,对于 SAFIR 干涉仪的观测数据来说,统计的是闪电辐射源的个数),这样就完成了实测数据的格点化处理。预警结果中每一个格点的数据是预警时效内该格点范围发生雷电活动的概率,评估时采用指定的预警概率阈值归类为预报“有”(有闪电活动)或是预报“无”(无闪电活动):当格点预报的雷电发生概率高于预警阈值时,该格点为预报“有”,反之分类为预报“无”。对于实测格点化数据,也有对应的实测阈值,当该格点内发生雷电活动的情况高于实测阈值,该格点被标记为实测“有”,反之则为实测“无”。经过格点化处理后的实测和预警结果就可以按照列联表的分类对每一个格点的情况进行分类统计,根据 POD、FAR、TS 评分的公式,算出三个评估分值,完成对一次概率预报的评估。考虑到闪电监测系统的差异、CAMS\_LNWS 系统格点化设置的灵活性等因素,为了更加

合理地雷电临近预警结果进行评估,在评估时应根据网格化的情况和实测闪电数据的质量对预警和实测数据的阈值进行设定。

## 2 评估软件的开发

以雷电业务产品评估为目的开发的 CAMS\_LNWS 评估软件,是雷电业务平台建设的一部分。软件以 Windows 操作系统为运行平台,采用 POD、FAR、TS 评分三项定量的指标对雷电临近预警结果进行分析,客观地对 CAMS\_LNWS 概率预报产品的预警效果做出评估,给出评估指标的统计结果,并以多种图形化的显示方式结合预警产品的显示直观地描述预警效果,满足业务评估的需求。

### 2.1 软件功能和特点

CAMS\_LNWS 评估软件所需的全部数据和文件均基于 CAMS\_LNWS 的图像和数据产品,该软件不仅实现了对预报产品的评估,还外延了实测闪电数据的格点化处理、评估结果简要分析等实用功能,采用数据和图像结合的显示方式,力求做到直观、便捷。

#### 2.1.1 评估

软件的核心功能是评估。CAMS\_LNWS 的概率预报产品,每 15min 生成一次,每次生成逐 15min 共 60min 的 4 个预报产品,预警时效分别为 0~15min、15~30min、30~45min 和 4~60min<sup>[4]</sup>。软件根据用户选择的评估时段和预警时效,自动在设定的目录中寻找符合条件的实测和预警的格点化数据文件,对符合用户设定条件的每个预警产品的预警结果按照雷电临近预警产品的评估方法进行评估,分别给出 POD、FAR 和 TS 评分值。在评估时用户可以根据具体情况设置实测阈值和预警阈值,以便对预警效果做出更合理、灵活的评估检验。

### 2.1.2 显示

对评估结果的显示是评估软件设计的另一个重要功能。不仅要满足直观、清晰、准确的要求,还应该便于对比、分析。根据需要,软件用户界面分割为三部分(图 1,见彩页):左上为图像、数据显示区,右上为用户交互区,下部为统计分析显示区。

评估软件的显示功能设计如下:

首先,用户选择的评估时段内的预警产品的三项评估结果会以折线统计图的方式显示于统计分析显示区,折线图以时间为横坐标、评估分值为纵坐标。按时间序列、将三个评估分值绘于一张图的方式便于使用者直观、全面地了解在一个完整天气过程中 CAMS\_LNWS 的预警效果。另外,用户在此处还可以选择直方图的形式对每一个评估分值进行显示(图 2,见彩页)。

同时,每个预警结果的图像产品及其对应的评估指标分值也会分别显示于图像、数据显示区和用户交互区(参考图 1),用户可以点击交互区的翻页按钮,前后翻看各个评估对象的图像产品,对应的评估分值也会显示在交互区的信息框中。在翻页的同时,正在查看的预警结果所对应的时间点也会在折线统计图上以提示线的方式标出。用户可以根据实际条件和需要选择概率预报图像产品、闪电监测图像产品或预警和监测叠加的图像产品(图 3,见彩页)来进行显示。对应显示、灵活选择、逐个翻看的设计能够帮助用户方便地将评估结果和预警结果进行对比。

### 2.1.3 统计

为了便于对评估结果进行综合分析,软件还加入了部分统计功能:对用户选择的整个时间段内的预警产品的评估结果,①进行平均值的计算;②进行中值的统计;③将评估分值按  $<0.3$ 、 $0.3\sim 0.6$ 、 $\geq 0.6$  进行三段式比例统计,结果以饼式统计图的方式给出(图 4,见彩页)。

### 2.1.4 格点化数据

CAMS\_LNWS 系统中实测数据的格点化并不是必选项,这样有可能需要评估的预警产品没有对应的实测格点化数据,因此评估软件设计了实测数据的格点化功能,将符合 CAMS\_LNWS 软件格式规定的实测闪电数据文件进行格点化处理。为了保证实测数据的格点化处理和预警产品匹配,格点化处理所需的 3 个参数:预警中心经度、预警中心纬度、预警覆盖范围必须和 CAMS\_LNWS 预警时的设置一致,否则格点不对应,无法得到正确的评估结果。鉴于格点化参数设置的重要性,软件设计时将格点化参数设置和文件路径的设置及时间段选择放在一个对话框内以提醒用户(图 5)。



图 5 格点化闪电数据设置对话框

### 2.1.5 软件输出

一次评估所选取时间段内的每一个预警产品的 POD、FAR、TS 评分三项指标和统计分析结果以一个文本文件的方式存于默认目录下,用户可以使用本软件再次打开该文件,对数据进行查看、统计、分析和作图。格点化处理的实测数据文件以 CAMS\_LNWS 系统规定的二进制格式存于默认目录。

## 2.2 软件系统流程

根据要实现的功能,软件系统分为三个子流程:评估产品并统计、显示;读取评估结果文件并统计、显示;格点化实测闪电数据(图 6)。科学、灵活的评估和不同地区实测数据的格点化处理,都需要设定参数。为了

软件的灵活性和用户操作的便捷,除了预警时效信息,所有的参数均以参数文件的形式保存。将评估结果和从评估文件读取的数据作为统计分析、显示的共同数据源的设计,使得软件以功能块的方式相互独立,便于程序维护和功能的进一步扩展。

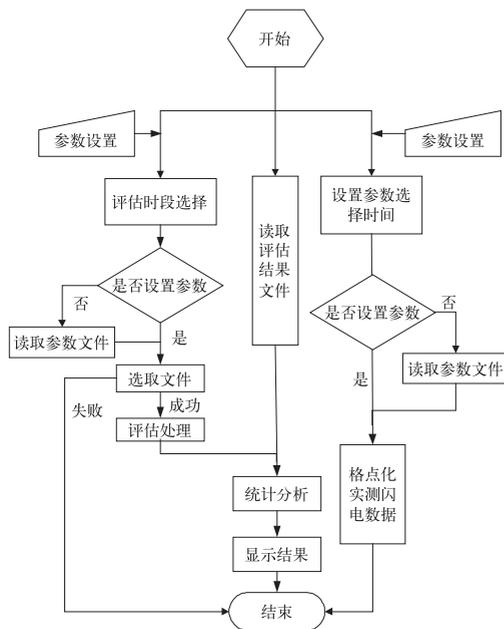


图 6 CAMS\_LNWS 评估软件系统流程图

### 3 应用及个例分析

应用评估软件便捷的统计分析结果,能够对完整雷暴天气过程中 CAMS\_LNWS 概率预报产品的预警效果做出全面、明确的分析。自评估系统完成以来,已经对 2006—2008 年 8 月北京、上海、昆明、武汉等地多个雷暴天气过程的预警情况进行了评估。以下将通过北京地区一次雷暴天气过程预警结果的评估来分析该软件的实际应用效果。

2007 年 7 月 30 日,北京市受高空冷空气和副热带高压西侧偏南暖湿气流的共同影响,从下午到夜间自西向东经历了一次明显

的强降水天气过程。从 SAFIR 系统监测到的闪电活动来看,这次过程对城区的主要影响出现于大约晚上 19 时前后,由房山进入北京地区,并向东北方向移动进入市区。该时段闪电活动密度较大,分布相对集中,对市区影响较大。北京地区 SAFIR 系统在这次雷暴天气过程中观测到的闪电活动如图 7(见彩页)所示。

由图 7 可以看到,该次过程中的闪电活动密集的区域比较集中,基本呈西北向东南移动的趋势。对于这样的天气过程,比较适合采用外推算法进行预测,因此 CAMS\_LNWS 的预警结果比较好。0~15min 概率预报产品的评估结果如图 8(见彩页)所示。从图中能够直观看出,整个天气过程评估分值变化较为平稳且总体分值较高。但过程中期的评估三要素的分值要好于初期和末期,这是由于 CAMS\_LNWS 所采用的识别、跟踪和外推算法更适于对雷暴发展和移动阶段进行预警。雷暴全过程评估三项分值的均值和中值(图 9)变化表明,预警效果最好的是 0~15min,随着预警时效的延长,各项评估分值逐渐走低,这也符合跟踪外推算法的局限性<sup>[5]</sup>。

评估时段: 从: 20070730 19:15 至: 20070731 03:00			
评估均值及中值: POD:0.63 0.65 FAR:0.70 0.68 TS:0.24 0.28	评估均值及中值: POD:0.51 0.54 FAR:0.76 0.76 TS:0.19 0.23	评估均值及中值: POD:0.41 0.42 FAR:0.80 0.80 TS:0.15 0.15	评估均值及中值: POD:0.34 0.35 FAR:0.83 0.83 TS:0.12 0.12
预警时效:0~15min	预警时效:15~30min	预警时效:30~45min	预警时效:45~60min

图 9 2007 年 7 月 30 日 19:15—31 日 03:00 CAMS\_LNWS 不同预警时效评估结果统计

从以上个例能够看出,目前所选用的雷电临近预警产品的评估方法能够较好的体现出 CAMS\_LNWS 预警系统的优点和不足,评估方法直接、客观,具有科学性和实用性。评估软件的设计也满足了对 CAMS\_LNWS 预警产品评估的要求,直观的图形输出和对

比显示方式、以及适当的分析统计功能方便了对预警结果的进一步分析研究。

#### 4 结论和讨论

依据雷电活动发生的实测情况,对雷电临近预警产品的预报效果进行评估,并根据评估结果对预警方法进行改进指导,是雷电业务运行平台必要的组成环节,CAMS\_LNWS 评估系统就是为了实现这一业务流程而开发的。软件自 2007 年底研制并投入使用以来,已经对北京、上海、昆明、武汉等地的多次雷暴活动的预警结果进行了评估。使用结果证明:评估方法选用了简单易懂的值来表示评分结果,检验了 CASM\_LNWS 系统对雷电活动预警的能力,同时对预警方法的改进也具有一定的指导作用,评估结果是客观、合理、有效的;评估软件采用了模块化的设计方案,具有完善的功能、良好的人机交互环境、便捷的操作方式,不仅能够对单次预警结果进行评估,还能对用户指定时间段内所有预警产品的评估结果进行统计,并以多种统计图形式输出评估结果,能够满足目前雷电业务评估系统建设的需要。

鉴于雷电活动日益严重的危害性,能够提前对其做出有效的预警预报已经变得越来越重要。为了提升 CAMS\_LNWS 的预警效果,非常有必要对现有的预警方法做出的预警结果进行客观、合理、有价值的评估,这样才能发现预警方法的不足,提出针对性的改

进意见。但雷电活动本身的特点是非常复杂的,不同地区架设的雷电监测系统不一样,并且现有的雷电监测系统也还不能达到全面、精确地反映实际的雷电活动的标准,因此,在如何基于现有的观测资料对雷电预警产品进行合理、有效的评估方面也需要更深入的研究,这些将是下一步工作中评估方法研究和软件开发所需要考虑的。

#### 参考文献

- [1] 郑栋,张义军,吕伟涛,等. 大气不稳定性参数与闪电活动的预报[J]. 高原气象,2005,24(2):198-203.
- [2] 孟青,吕伟涛,姚雯,等. 地面电场资料在雷电预警技术中的应用[J]. 气象,2005,31(9):30-33.
- [3] 王飞,张义军,赵均壮,等. 雷达资料在孤立单体雷电预警中的初步应用[J]. 应用气象学报,2008,19(2):153-160.
- [4] 吕伟涛,张义军,孟青,等. 雷电临近预警方法研究与系统开发[J]. 气象,2009,35(4):20-24.
- [5] 孟青,张义军,吕伟涛,等. 雷电临近预警系统的运行实验[J]. 气象,2009,35(5):10-17.
- [6] K. A. Brownlee. Statistical theory and methodology in science and engineering, 2nd ed[M]. Krieger Pub Co. 1984, 590 pp.
- [7] 丁金才. 天气预报评分方法评述[J]. 南京气象学院学报, 1995,18(1):143-145.
- [8] Mason I. Dependence of the critical success index on sample climate and threshold probability[J]. Aust Met Mag,1989,37:75-81.
- [9] Charles A, Doswell III, Robrt Davies-Jones, et al. On summary measures of skill in rare event forecasting based on contingency tables[J]. Weather and Forecasting, December 1990, 5: 576-585.

# 马颖等:雷电临近预警产品评估方法及其软件

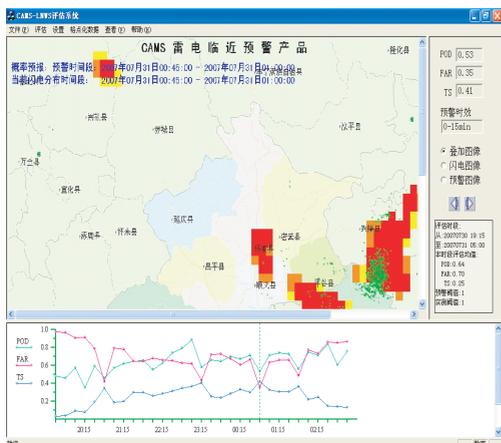


图 1 CAMS\_LNWS预警产品评估软件主界面



图 2 CAMS\_LNWS预警产品评估结果直方图示例



图 3 与评估结果对应显示的三种图像产品示例  
(a) 雷电监测产品; (b) 雷电临近预警产品; (c) 预警和监测叠加产品

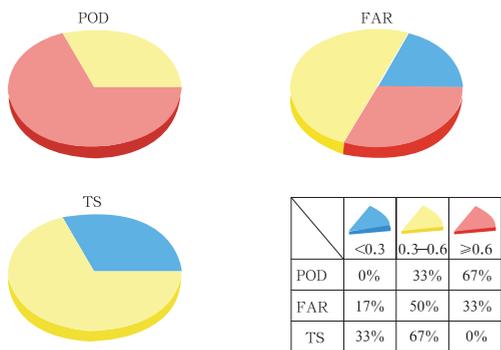


图 4 饼式统计图

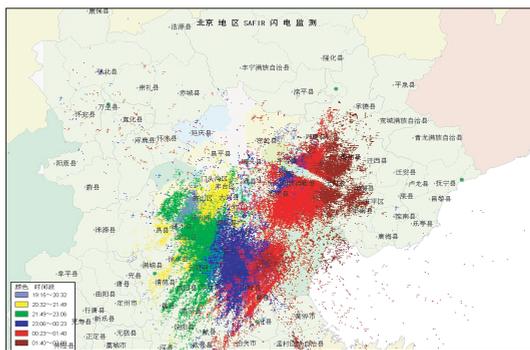


图 7 2007年7月30日19:15-31日03:00闪电实测分布  
(不同颜色对应不同的时间段,每个点对应SAFIR系统探测到的一个辐射源)

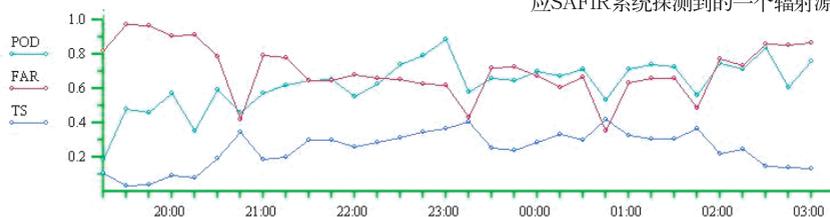


图 8 2007年7月30日19:15-31日03:00CAMS\_LNWS 0~15 min概率预报产品评估结果折线图