

# 雷电临近预警系统的运行试验

孟 青<sup>1</sup> 张义军<sup>1,2</sup> 吕伟涛<sup>1,2</sup> 姚 雯<sup>1</sup> 马 颖<sup>1</sup>  
王 飞<sup>1</sup> 马 明<sup>1</sup> 郑 栋<sup>1</sup> 郭 虎<sup>3</sup> 熊亚军<sup>3</sup>

(1. 中国气象科学研究院雷电物理和防护工程实验室, 北京 100081;  
2. 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室; 3. 北京市气象局)

**提 要:** 介绍了中国气象科学研究院研发的雷电临近预警系统(CAMS\_LNWS)在北京地区开展的业务运行试验。通过运行测试以及预警结果与闪电监测结果的对比评估,表明:CAMS\_LNWS能够稳定运行,定时读取多种探测资料、自动生成并循环显示雷电发生概率、雷电活动区域移动趋势和重点区域雷电危险度等级三种雷电临近预警产品;CAMS\_LNWS的雷电发生概率预警产品具有较高的命中率,能够较好地 对0~30min内可能发生闪电的区域进行有效预警;随着预警时间的延长,CAMS\_LNWS的预警效果会有所降低。

**关键词:** 雷电 临近预警 运行试验 评估

## Operational Experiment of Lightning Nowcasting and Warning System

Meng Qing<sup>1</sup> Zhang Yijun<sup>1,2</sup> Lv Weitao<sup>1,2</sup> Yao Wen<sup>1</sup> Ma Ying<sup>1</sup>  
Wang Fei<sup>1</sup> Ma Ming<sup>1</sup> Zheng Dong<sup>1</sup> Guo Hu<sup>3</sup> Xiong Yajun<sup>3</sup>

(1. Laboratory of Lightning Physics and Protection Engineering, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081;  
2. State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences; 3. Beijing Meteorological Bureau)

**Abstract:** The operational experiment result of Lightning Nowcasting and Warning System (which is developed by Chinese Academy of Meteorological Sciences, CAMS\_LNWS) in Beijing area is reported. The comparison and evaluation between the lightning nowcasting products and lightning monitoring data show that CAMS\_LNWS can work stably, obtain many observation data regularly, automatically generate and circularly display three types of lightning nowcasting and warning products, namely the lightning occurrence probability, the moving trend of lightning activity region and the lightning risk grade of key region. The

课题资助: 中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2005M12)、中国气象局业务项目“雷电监测预警业务系统建设”、国家重点基础研究专项(2004CB418300)

收稿日期: 2008年3月5日; 修定稿日期: 2009年2月24日

lightning occurrence probability products of CAMS\_LNWS have a relatively high Probability of Detection (POD), and it can effectively nowcast and warn the regions that may occur lightning flashes within 0—30 min. However, with the extension of the nowcasting and warning lead time, the effect of CAMS\_LNWS products will deteriorate.

**Key Words:** lightning nowcasting and warning operational experiments evaluation

## 引 言

我国是雷电灾害的多发区之一,据不完全统计,每年有上千人因遭受雷击而伤亡,每年损失超过百万元的雷灾事故都有几十起<sup>[1]</sup>,而且随着我国经济和科技的高速发展,以电力和电子为基础的现代化生活日渐普及,微电子器件和信息技术的应用越来越广,雷电灾害造成的经济损失也会越来越大。因此,对雷电进行有效地监测、预测和研究具有非常重要的社会和经济效益和科学价值<sup>[2]</sup>。

中国气象科学研究院雷电物理和防护工程实验室在长期研究的基础上<sup>[3-5]</sup>,开发了雷电临近预警系统(Lightning Nowcasting and Warning System, CAMS\_LNWS),该系统是一套自动化程度较高的集成化雷电预警系统,它集多种探测资料及算法于一体,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,并参考天气形势预报产品和雷暴云起电、放电模式的预报产品,自动生成雷电发生概率、雷电活动区域移动趋势和重点区域雷电危险度等级的临近预警产品<sup>[6]</sup>。为了促进 CAMS\_LNWS 在气象业务中的推广和应用,对 CAMS\_LNWS 进行检验和评估,发现其不足并进行改进,完善可用于业务的诊断和预报技术和雷电预警和预报服务产品,使其更好地满足业务应用的需求,我们在北京地区开展了 CAMS\_LNWS 业务运行试验,本文将对试验情况进行介绍并详细分析试验结果。

## 1 业务运行试验总体情况

2006年7—9月,CAMS\_LNWS在北京参加了由中国气象局组织的奥运气象服务演练试验。6月24日,中国气象科学研究院雷电物理和防护工程实验室在北京市气象局的天气会商室对 CAMS\_LNWS 进行了安装调试,并根据北京市气象台的实际情况,调整了 CAMS\_LNWS 各种探测资料的接口,保证 CAMS\_LNWS 在对雷电活动进行预警时能够使用到最新的实时探测资料。另外,CAMS\_LNWS 的研发人员还在试验前期对北京市气象台的业务人员进行了雷电临近预警系统及其产品使用的培训。

在2006年整个奥运气象服务演练试验期间,CAMS\_LNWS 运行稳定,能够24h连续自动运行,无需人工值守,可以定时读取多种探测资料,生成预警结果,并自动循环显示不同的预警产品,为北京气象台预报人员在天气预报中获取雷电预警信息提供了重要的参考工具。因此,在2007年和2008年的夏季,CAMS\_LNWS 继续在北京市气象局的天气会商室运行,一直处于准业务运行状态,为预报人员提供雷电预警信息。

试验期间,CAMS\_LNWS 每15min自动生成一次雷电0~1h临近预警产品,每次包含6个结果文件,其中雷电发生概率预报按照时间段0~15min、15~30min、30~45min和45~60min分为4个,雷电活动区域移动趋势和重点区域雷电危险度等级预报产品各1个。雷电发生概率预报产品给出了每个格

点区域(如  $5\text{km} \times 5\text{km}$ , 用户可以指定)内在相应时间段内发生雷电事件的概率, 其它两种预警产品均是基于雷电发生概率预报产品而生成, 因此, 我们将雷电发生概率预报产品和相对应时间段内实际的雷电监测资料(这里采用的是架设于北京地区的 SAFIR 系统<sup>[7]</sup>)进行比较, 采用命中率(POD)、虚警率(FAR)和 TS 评分三个指标来对 CAMS\_LNWS 的预警产品进行评估, 具体的评估方法和软件请参见文献[8]。

表 1 给出了 2006 年 7—9 月北京地区 16 次雷暴天气过程中 CAMS\_LNWS 预警产品的评估参数的中值。从评估参数的中值变化来看, 总体上预报的效果随预报时效的延长是呈下降趋势的。15min 以内的预报效果最好, POD 超过了 50%, 而 45min 以后的预报产品 POD 则仅有 27%。

表 1 2006 年 7—9 月 CAMS\_LNWS 预警结果评估参数中值(样本数: 418)

|          | 0~15min | 15~30min | 30~45min | 45~60min |
|----------|---------|----------|----------|----------|
| 命中率(POD) | 57%     | 46%      | 35%      | 27%      |
| 虚警率(FAR) | 76%     | 82%      | 86%      | 89%      |
| TS 评分    | 0.19    | 0.15     | 0.11     | 0.08     |

## 2 雷电临近预警系统运行试验个例

### 2.1 2006 年 7 月 12 日试验

#### 2.1.1 过程实况

受对流云带影响, 2006 年 7 月 12 日北京地区经历了一次自西北向东南的较强雷雨天气过程。此次过程降雨范围广泛, 雨量分布不均匀。气象站观测到的最大雨量为门头沟的 44mm。其间, 延庆、怀柔、密云和通州出现了短时大风, 八达岭还出现了冰雹天气。图 1(见彩页)给出了 02:45—11:45 时段内 SAFIR 监测得到的闪电辐射源的定位资料。

#### 2.1.2 预报情况

图 2(见彩页)为此次过程中 05:45

CAMS\_LNWS 给出的雷电发生概率预报产品与实测闪电资料的叠加显示。该时次 CAMS\_LNWS 给出的 0~1h 雷电临近预警概率预报产品的命中率 POD 在 22%~61% 范围内变化, 虚警率 FAR 变化范围为 28%~40%, 对应的 TS 评分为 0.19~0.49, 预报和实测还是比较一致的。

图 3 为此次过程中各项评估参数对 CAMS\_LNWS 0~15 分钟预报产品的评估结果随时间的变化曲线, 从曲线变化也可以看出, 该系统在过程强盛期间的预报效果比较好, POD 能达到 60% 以上, 虚警率低于 40%, TS 评分优于 0.4, 远好于初始发展阶段和末期移出或消亡阶段。

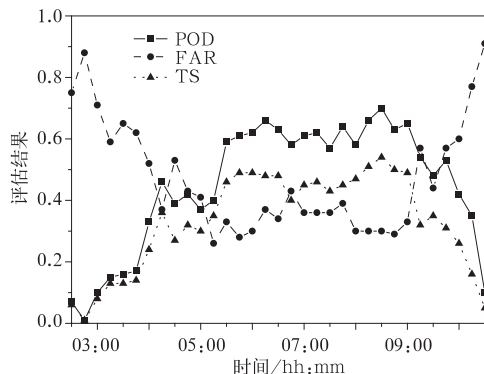


图 3 2006 年 7 月 12 日 02:30—10:30 时段内 CAMS\_LNWS 0~15 分钟雷电发生概率预报产品评估结果的变化曲线

### 2.2 2006 年 7 月 24 日试验

#### 2.2.1 过程实况

7 月 24 日下午, 受对流云团的影响, 北京市大部分地区出现了雷阵雨。这次降雨分布范围较广, 雨量分布不均, 部分地区达到暴雨, 房山霞云岭地区还出现了短时冰雹。截止到 25 日 06:00, 气象站观测到的最大降雨出现在车道沟, 雨量为 88mm, 城区的平均降雨量为 41.4mm。此次雷阵雨天气过程同样伴随着大量的闪电活动, 图 4(见彩页)给出了 7 月 24 日 14:00—20:00 北京地区 SAFIR 系统得到的闪电定位结果, 可以看

到:与7月12日的过程不同,此次过程的雷电活动区域非常广,在某一时间段内,北京地区多个区域同时有雷电活动发生。

### 2.2.2 预报情况

这里首先以16:00 CAMS\_LNWS 给出的16:00—17:00的雷电发生概率预报结果为例说明其临近预报的效果,如图5(见彩页)所示。可以看到,对于部分雷电发生区域,CAMS\_LNWS做出了比较理想的预警,而有些区域存在漏警和虚警现象,评估指标较低,图6也较为全面地体现出了这一点。

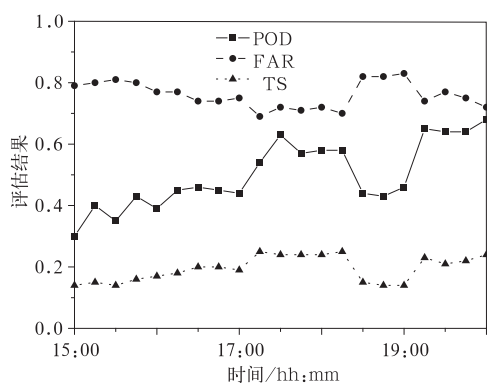


图6 2006年7月24日15:00—20:00时段内AMS LNWS 0~15min雷电发生概率预报产品评估结果的变化曲线

对于这次过程,CAMS LNWS 给出的0~15min的雷电发生概率预报结果的评估指标随时间的变化比较小,POD在40%~70%之间,而FAR则基本在70%~80%范围内变化,TS评分则稳定在0.2左右。相对于7月12日的天气过程,这次过程中CAMS LNWS的预警效果不是很理想,究其原因,主要是由于这次过程中雷电发生区域比较离散,存在多个单体的生消发展,造成预警结果漏警和虚警的情况比较多。

### 2.3 2007年8月1日试验

受强对流云团的影响,8月1日午后到夜间北京市自北向南先后出现了强雷雨天气,由图7(见彩页)可以很明显地看出此次过程中雷电活动区域从北向南移动的情况。

从连续27个时次的预报结果与实测结果对比得到的POD、FAR和TS评分的中值(表2)可以看到:在该次过程中,预警软件获得了较好的预警效果,在4个时段当中的评估得分都比较高。这与此次过程的雷暴活动较有规律性有关,从闪电监测结果来看,此次过程自北向南扫过北京地区,虽然闪电活动范围很大,但雷电活动区域移动方向一致性较好,CAMS\_LNWS中采用的区域识别、跟踪和外推算法对于这样的天气过程能够较好地预测将要发生雷电活动的区域。

表2 2007年8月1日17:00—23:30 CAMS LNWS 预警结果评估参数中值(样本数:27)

|          | 0~15min | 15~30min | 30~45min | 45~60min |
|----------|---------|----------|----------|----------|
| 命中率(POD) | 58%     | 47%      | 38%      | 32%      |
| 虚警率(FAR) | 62%     | 71%      | 73%      | 73%      |
| TS评分     | 0.32    | 0.23     | 0.19     | 0.17     |

### 2.4 2008年5月14日试验

受东移南下冷空气影响,5月14日午后开始,北京地区自西北向东南方向出现了一次较强雷阵雨天气过程,石景山等地区还出现短时冰雹。

CAMS\_LNWS对此次天气过程中的雷电活动进行了准确地预警预报:北京范围内最早的雷电预警出现在15:00,预警区域位于昌平区西部和门头沟区北部;随后预警等级逐渐增强,预警区域向东南方向移动;16:15时系统对北京城区发布概率为75%~100%的红色雷电预警;17:00时预警达到最强,预警区域几乎覆盖整个城区和南部地区;18:30时预警强度开始减弱,最后经由大兴—通县线路移出北京。实际观测结果显示(如图8所示,见彩页)。此次雷电过程最早出现于门头沟区;随后,雷电活动区域自西北向东南方向移动;大约在16:15左右开始影响北京城区;在16:45—17:00左右雷电活动达到最强;最后经由大兴县逐渐移出北京。

预警产品与实测资料得到了较好的吻合,CAMS\_LNWS雷电临近预警系统从预警



区域的出现时间、范围和移动趋势(图9,见彩页)等方面为北京市气象台发布雷电黄色预警信号提供了重要参考依据。

### 3 结论和讨论

初步的运行试验表明: CAMS LNWS 能够稳定运行,定时读取多种探测资料、自动生成并循环显示雷电发生概率、雷电活动区域移动趋势和重点区域雷电危险度等级三种雷电临近预警产品;对于大部分雷暴过程, CAMS LNWS 均能成功进行雷电发生概率预警,预警产品具有较高的命中率,能够较好地对 0~30min 内可能发生闪电的区域进行有效预警,随着预警时间的延长, CAMS LNWS 的预警效果会有所降低。

与雷电活动区域相对简单时的情况(如个例1和3)相比, CAMS LNWS 在雷电活动分布比较复杂时的预报效果稍差一些(如个例2),这主要是因为 CAMS LNWS 是基于区域识别、跟踪和外推算法进行临近预报的。对于单体雷暴过程来说,该算法能够更准确地预报出有可能发生雷电的区域,而对于结构比较复杂的雷暴过程来说,可能包含多个单体,雷电活动虽然也会较为集中在某些区域,但雷电发生区域比较广,也有许多雷电会发生在离散的区域,这些雷电事件会影响 CAMS LNWS 的 POD,并且,这类天气过程会不断有对流过程生成、发展和消亡,外推算法对这些过程中的雷电活动的预报效果还不是很理想。

从2006年夏季开始至今, CAMS LNWS 不仅在北京市区气象台进行了试运行试验,还在上海、武汉、昆明、青岛、沈阳等多个省市气象台以及中央气象台业务会商平台投入应用,为各地区顺利开展雷电临近预警业务工作奠定了基础。中国气象科学研究院雷电物理和防护工程实验室通过 CAMS LNWS 的准业务运行试验,不断对 CAMS LNWS 进行改进和完善,丰富其功能,以使其能

够更好地为预报员提供支持。试验期间, CAMS LNWS 的雷电临近预警产品还通过域名为 lightning.cma.gov.cn 的雷电监测预警信息网页及时提供给用户,并且向奥运演练气象服务产品的数据交换的 FTP 服务器发布了多个时次的雷电临近预警产品,实现了雷电临近预警产品的生成和共享。

另外,从试验也可以看到,随着预警时效的增加, CAMS LNWS 预警的雷电活动区域的 POD 会降低, FAR 会升高,这些同样是受外推算法的准确性和时效性所限。在下一步工作中,我们将进一步深入分析奥运演练试验的每一次雷暴过程的资料,通过对雷电预警产品和雷电监测实况资料进行比较,对雷电临近预警的结果进行评估,发现 CAMS LNWS 的不足,提出雷电临近预警方法和系统的改进方案,开发功能更加强大、产品更为丰富的雷电临近预警系统。虽然 CAMS LNWS 的预报效果还需通过大量深入的研究来提升,但 CAMS LNWS 为我国雷电预警预报的业务化提供了一个基础平台,填补了国内相关业务系统的空白,具有广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1] 马明,吕伟涛,张义军,等. 1997—2006 年我国雷电灾情特征[J]. 应用气象学报,2008(In Press)
- [2] 许小峰. 雷电灾害与监测预报[J]. 气象,2004,30(12): 17-21.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 吕伟涛,张义军,孟青,等. 雷电临近预警方法和系统的研发[J]. 气象,待发表
- [7] 孟青,葛润生,朱小燕. SAFIR 闪电监测和预警系统[J]. 气象科技,2002,30(3): 135-138.
- [8] 马颖,孟青,吕伟涛,等. 雷电临近预警产品的评估软件[J]. 气象,待发表

# 孟青等：雷电临近预警系统的运行试验

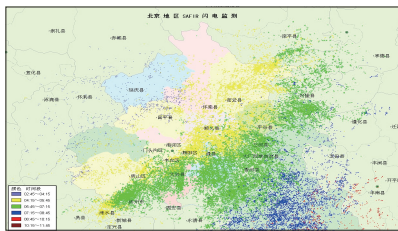


图 1 2006年7月12日02:45—11:45北京地区 SAFIR系统监测得到的闪电活动情况

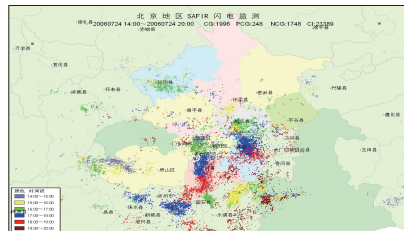


图 4 2006年7月24日14:00—20:00北京地区 SAFIR系统监测得到的闪电活动情况

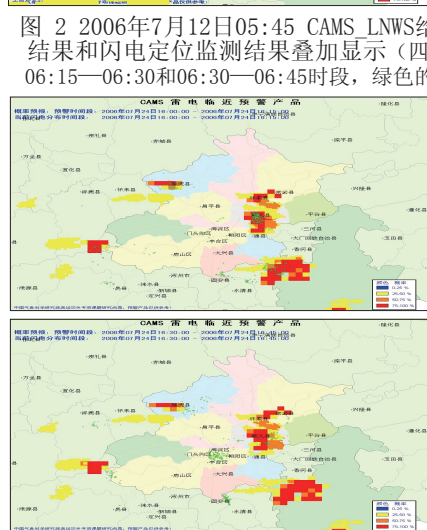
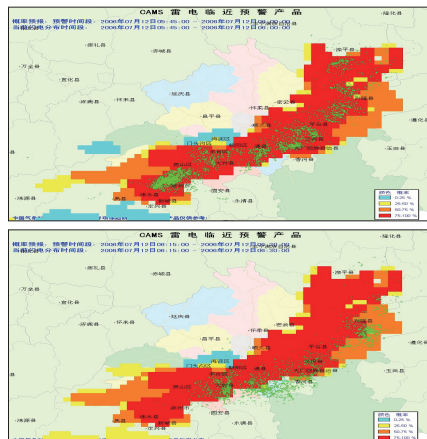


图 2 2006年7月12日05:45 CAMS LNWS给出的05:45—06:45雷电发生概率预报结果和闪电定位监测结果叠加显示（四张图依次对应05:45—06:00、06:00—06:15、06:15—06:30和06:30—06:45时段，绿色的点为SAFIR监测得到的闪电辐射源定位结果）

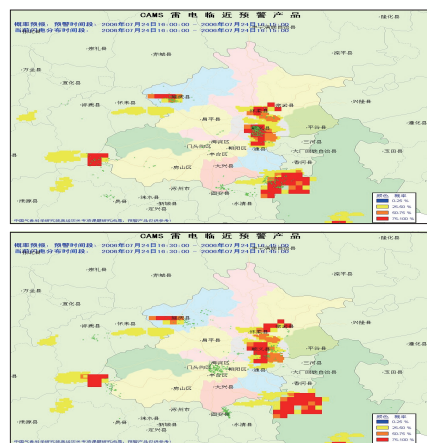


图 5 2006年7月24日16:00CAMS LNWS给出的16:00—17:00雷电发生概率预报结果和闪电定位监测结果叠加显示（四张图依次对应16:00—16:15、16:15—16:30、16:30—16:45和16:45—17:00时段，绿色的点为SAFIR监测得到的闪电辐射源定位结果）

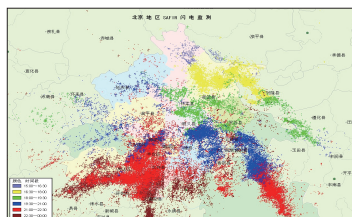


图 7 2007年8月1日15:00—24:00北京地区SAFIR系统监测得到的闪电活动情况



图 8 2008年5月14日18:00—18:30北京地区SAFIR系统监测得到的闪电活动情况



图 9 2008年5月14日18:00 CAMS LNWS给出的雷活动区域移动趋势预报结果