

曾金全,朱彪,王颖波,等. 基于雷电临近预警技术的主动防雷应用. 应用气象学报,2015,26(5):610-617.  
doi:10.11898/1001-7313.20150510

## 基于雷电临近预警技术的主动防雷应用

曾金全<sup>1)2)</sup>\* 朱彪<sup>2)</sup> 王颖波<sup>2)</sup> 张焯方<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京 100081)

<sup>2)</sup>(福建省防雷中心,福州 350001)

### 摘 要

为了使雷电临近预警技术在雷电灾害防御业务中更好地发挥作用,针对电子系统的雷电灾害特点,在传统被动防雷技术基础上,提出基于雷电临近预警的主动防雷技术,应用雷电临近预警和远程控制等技术,开发以 B/S 结构为架构的雷电临近预警应用系统。对 2013 年 8 月—2014 年 8 月福建省泉州市 4 个无线电监测站的主动防雷应用效果进行两种方法的预警效果检验。检验结果表明:主动防雷技术是对被动防雷技术的一个较好的完善和补充。采用闪电数量对比分析,4 个监测站的有效预警率为 69%,采用预报评分方法对比分析,4 个监测站的平均准确率为 53%,对雷电活动发生较为集中的区域预警效果较好,对雷电活动发生较为零散的区域预警效果有所降低。

**关键词:** 雷电临近预警; 主动防雷; 远程控制; 效果检验

### 引 言

雷电是发生在大气中的一种强烈的放电现象,其放电过程中产生的大电流、高电压和强电磁辐射常常会导致人员伤亡、设备损毁等并造成重大的经济损失。随着社会经济的发展和现代化水平的提高,特别是由于信息技术的快速发展,电子信息设备极易遭受雷击电磁脉冲影响导致系统错误或设备损坏,雷电灾害<sup>[1-3]</sup>的危害程度和造成的经济损失及社会影响越来越大。

通常防雷装置主要由接闪器、引下线、接地装置、等电位连接及电涌保护器等组成,它主要的防护思想是被动等候雷电来临,定向引导雷电流入地泄放,因此,称之为被动防雷技术。被动防雷能够在一定程度上减少或避免雷电灾害的损失,但对一些精密电子设备其保护作用有限,特别是雷暴高发区的敏感设备,往往不能满足其正常运行的安全需求,发展和运用新的防雷技术必不可少。随着雷电预警技术发展,引入主动式的防雷技术是一个新的发展方

向。雷电临近预警是针对一定时段内雷电发生的预测技术,国内外的研究人员<sup>[4-11]</sup>在利用雷达和卫星等探测资料进行雷电临近预报方面进行大量深入的研究工作,近年取得了快速发展,中国气象科学研究院采用多资料、多参数和多算法集成的雷电临近预警方法开发出了雷电临近预警系统(CAMS-LNWS)<sup>[12-14]</sup>,该系统能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雷电临近预警产品。雷电预警预报信息传递手段比较单一,认读性也较差,没有将雷达、卫星、闪电定位、大气电场、预报预警等信息集成化、形象化地进行展示,需求用户在获得预警信息后,需要经过人为的决策判断采取相应的雷电防护措施,用户对雷电预警信息的响应程度较低,不能很好地利用雷电临近预警信息及时做出科学防雷决策,目前对雷电临近预警信息的应用及其效果分析还不多见。

为弥补上述不足,在 CAMS-LNWS 预警概率产品的基础上,利用雷电临近预警和远程自动控制等技术,开发了以 B/S(browser/server,浏览器/服

2015-01-16 收到,2015-06-10 收到再改稿。

资助项目: 灾害天气国家重点实验室开放课题(2013LASW-B01),福建省科技计划社会发展重点项目(2013Y0021)

\* email: 58803572@qq.com

务器模式)结构为构架的福建省雷电临近预警应用系统。通过 GIS(Geographic Information System, 地理信息系统)可视化技术,集约化展示雷电活动过程的监测、预警及终端控制机构的执行情况等,还能通过回放技术对任意时段内的雷电监测、预警等叠加回放。结合远程控制技术和电源切换模块,当雷电发生概率达到设定阈值时,系统能实时通过指令远程控制用户端的电操控制机构,自动阻断闪电电涌入侵通道,且当警报解除后能自动恢复,也可根据实际情况随时进行人工切换控制,最大限度地减少或避免雷电灾害造成的损失,对防雷减灾具有较好的针对性和实用性,特别对雷电敏感行业能够提供有效的雷电防御服务,并在 4 个无线电监测站(大坪山站、泉港站、石狮站和石鼓山站)进行实践与应用分析。为了方便用户数据库管理,在福建省雷电临近预警应用系统的平台上独立出泉州无线电监测网雷电预警系统。

## 1 资料与方法

本文所使用的雷电监测资料包括两部分:一部分由福建省 ADTD(Advanced Direction and Time Detecting)闪电定位系统提供,目前该系统在福建省有 10 个探测站,可及时为用户提供实时的雷电观测资料,该资料的内容包括云地闪的发生时间、位置和极性参数;另一部分闪电监测数据来源于雷电流峰值记录仪(安装于 4 个无线电监测站塔顶接闪杆引下线处,记录流经引下线的雷电流峰值和发生时间)。

雷电临近预警应用系统以选取重点区域的方式对 4 个无线电监测站进行雷电预警服务,根据雷电流幅值和安全距离的关系设置了重点区域的范围,预警应用系统根据 CAMS-LNWS 预警概率产品对 4 个无线电监测站的重点区域预警级别设为安全(0~30%)、一般(31%~70%)、危险(71%~85%)和很危险(86%~100%)4 个级别,当某个重点区域的预警级别达到危险及以上级别时,预警应用系统自动发布远程控制指令。为了检验雷电预警的服务效果,对 2013 年 8 月—2014 年 8 月的分合闸数据进行统计,并结合福建省 ADTD 闪电定位系统和雷电流峰值记录仪数据对系统运行期间的预警效果进行评估与分析。

## 2 关键技术

雷电临近预警应用系统主要由雷电监测预警单元、指令输出单元、远程控制单元、终端电操控制单元及用户管理平台等组成,将雷电监测资料、预警信息、自动控制等有机地融为一体,灵活应用于被保护设备的闪电电涌侵入通道的自动阻断,构成主动防雷系统,并在 GIS 图层上动态显示重点监控对象区域、实时预警级别、终端控制类型及执行情况等立体图标。为了较好地解决雷电监测、预警与自动控制等信息的实时综合立体展现,建立了具备友好人机交互界面的雷电监测与预警应用平台,它可依据雷电临近预警系统输出的预警信息自动生成相应的控制指令,远程控制用户端的电操机构自动阻断闪电电涌入侵通道或自动解除。整个系统运用雷电临近预警、远程自动控制和主动防雷等多项技术,并对各种雷电综合数据进行集约管理。

### 2.1 雷电临近预警

雷电临近预警系统(CAMS-LNWS)综合了卫星、雷达、闪电定位等监测资料,通过区域识别、跟踪和外推等算法,自动生成雷电发生概率、雷电活动区域移动趋势等雷电临近预警产品。在系统模块中,对每种监测资料的应用由独立设计的模块完成,利用卫星资料的云顶亮温、雷达资料的回波强度及其变化率和闪电定位系统资料等信息,预测将要发生雷电活动的区域。区域识别、跟踪和外推算法主要用于闪电、雷达和卫星资料应用模块以及综合预报模块中,通过识别已经发生闪电的区域和可能发生闪电的区域,利用多个时次的监测资料对这些区域进行跟踪和外推,预测可能发生闪电的区域,生成各种时空尺度的雷电预警产品。在 4 个无线电监测站布设了地面大气电场仪,地面大气电场资料目前尚未加入到综合预警模块进行运算,主要由于其安装环境对观测资料采集的敏感性以及前期对大气电场参数阈值的应用积累不够。随着各无线电监测站点大气电场观测资料的不断丰富和应用分析,在下一步工作中,将把大气电场资料运用到雷电临近预警系统中,作为雷电临近预警的重要依据。

### 2.2 远程自动控制

针对无线电监测站机房无人值守的特点,预警应用系统制定了基于 TCP/IP 远程通信协议的远程自动控制方案<sup>[15]</sup>,采用远程控制模块将预警数据传

送至电操控制单元,由电操控制单元完成隔离阻断闪电电涌侵入通道,有效解决了对机房设备供电电源进行远程操控的需求。远程自动控制单元将预警控制指令输出并嵌套在传输信息中,通过传输网络,自动寻址并发送到电源切换模块。电操控制单元通过网络自动接收和识别控制指令信息,应用逻辑电路和电操控制机构实现对闪电浪涌侵入通道的远程自动操作。电源切换模块中的状态采集电路对电操控制机构的分合闸状态进行采集,并馈送给预警应用系统控制平台。远程控制模块完成继电器驱动、继电器切换状态检测、远程切换命令接收和通信状态字发送等功能。

### 2.3 主动防雷

主动防雷技术是在雷电临近预警技术基础上提出的,当雷暴临近时,提前发出雷电预警指令并通过远程控制模块,自动阻断被保护对象的闪电电涌侵入通道的一种防雷技术。根据重点保护对象的电气结构特点,设计出可依据雷电临近预警指令,通过远程控制装置和电操执行机构,实施全自动(也可人工手动强制操控)方式对重点保护对象的闪电电涌侵入通道进行阻断隔离。当雷暴临近重点区域,且雷电预警级别达到设定的阈值时,控制指令即通过远程控制装置自动启动电操机构,切换保护对象的电源供给方式,减少或避免电子设备通过交流电源通道引雷入室的雷电安全隐患。当雷暴远离,且预警级别低于设定的阈值时,系统自动发出解除指令,被保护对象恢复常态。

## 3 区域选取及环境分析

### 3.1 重点区域选取

雷电流辐射的电磁场,可在任何闭合的导线环内产生感应电流,可在任何开口的金属回路内产生感应过电压。对于普通工业设备来说,这样的过电压不足以造成威胁和干扰,但对于微电子设备来说,可能导致破坏其稳定工作的伤害或损坏。1971年美国通用研究公司试验表明,由于雷击电磁脉冲干扰,在无屏蔽状态下,当环境磁场强度大于0.07 GS时,信息设备会发生误动作<sup>[16]</sup>。根据式(1)和(2)求出安全距离,安全距离作为重点区域的选取依据,正极性首次雷击雷电流幅值按200 kA取值<sup>[17]</sup>,若按极端情况200 kA进行计算,可求得安全距离为5.7 km,考虑到自然界中绝大多数闪电电流幅值小于200 kA,

本研究中,将4个重点区域半径设置为5 km可以避免雷电流辐射对电子信息设备的干扰。

$$B = H \times \mu_0, \quad (1)$$

$$H = i/2\pi S_a. \quad (2)$$

其中, $\mu_0$ 表示真空的磁导系数(取 $4\pi \times 10^{-7}$ ), $B$ 表示磁场感应强度(单位:T), $H$ 表示无衰减时产生的无衰减磁场强度(单位:A/m), $i$ 表示雷电流强度(单位:A), $S_a$ 表示雷击点与屏蔽空间之间的平均距离(单位:m)。

### 3.2 雷电环境分析

在确定重点区域范围之后,对4个无线电监测站进行前期勘察,发现4个站所处的地势较高,福建省闪电定位系统近8年监测数据显示,2005—2012年4个无线电监测站所处的重点区域每年都超过了100次闪电(具体分布见图1),尤其是南安站年平均雷击次数高达608次,属于雷电高发区。为了将主动防雷技术更好地应用到实际雷电防御业务中,详细分析了雷电入侵监测站的主要途径及监测站设备工作特点,通过雷电预警应用系统将主动防雷技术应用到雷电灾害较重的无线电监测站的防雷中。

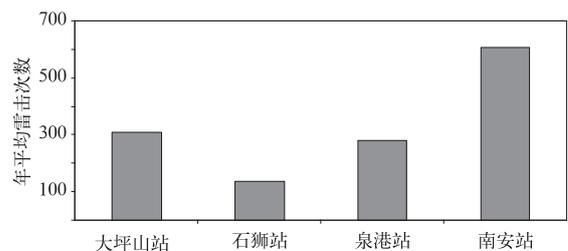


图1 2005—2012年4个无线电监测站年平均雷击次数

Fig. 1 The number of annual mean lightning strokes at 4 monitoring stations from 2005 to 2012

## 4 效果及个例分析

### 4.1 效果分析

经过对4个无线电监测站前期勘察与雷电环境分析,在传统防雷技术的基础上引入主动式防雷技术,通过现场设备的调试和安装,于2013年8月开始对4个无线电监测站进行雷电预警应用服务。为了评估预警应用系统的服务效果,以终端电控装置为节点,以分合闸动作时间和ADTD监测数据为依据,采用两种方法对预警终端服务效果进行评估,一种是根据闪电发生数量进行效果评估,根据重点区域的范围和服务时间得到闪电总数量,统计分期期

间(预警级别为危险和很危险)闪电发生的数量,从而计算对闪电的有效规避效率;另一种是对分合闸信号的准确性进行评估,计算出准确率 POD、虚警率 FAR、准确率 TS 评分 3 个评估指标。

①闪电数量评估。由于闪电过程往往由强对流天气过程引起,短时间内往往发生大量闪电,一旦预警系统提前给出预警信号便能规避这些闪电对无线电监测站的影响。对发出分闸和合闸指令的时间进行记录和保存,并结合福建省闪电定位系统数据和雷电在线监测系统(主要是雷电流峰值记录仪)数据进行分析。2013 年 8 月—2014 年 8 月根据闪电定位系统查询得到 4 个站 5 km 范围内共发生闪电 1560 次,再结合分合闸的时间记录,在系统分闸期间 4 个站的闪电记录为 1080 次,表明系统在服务期间对 4 个无线电监测站 5 km 范围内 69%的闪电进行有效预警和防御。4 个站总闪电发生数量和分闸期间的闪电数量具体分布见图 2。

②分合闸准确性评估。针对雷电预警预报服务产品的预报属性和时空特点,参照天气预报评分方法<sup>[18]</sup>,考虑科学性、实用性和可行性,对预警结果和实际监测数据进行对比,通过公式计算出准确率、虚警率、准确率 TS 评分 3 个评估指标,实现对雷电临近预报结果的准确率评估。系统服务期间,共发出 249 次分闸指令,其中,62 次分闸指令期间重点区域发生了闪电,187 次分闸指令重点区域内未发生闪电,4 个重点区域内也出现了漏报的闪电,以 15 min

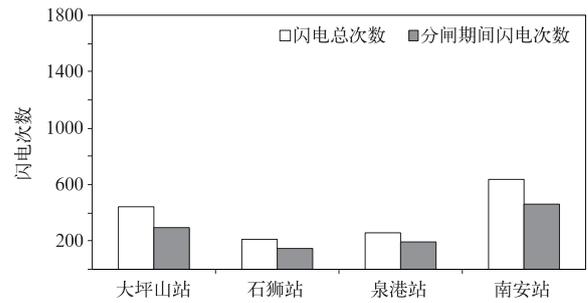


图 2 2013 年 8 月—2014 年 8 月 4 个无线电监测站雷电预警服务统计  
Fig. 2 Lightning warning service statistic of 4 monitoring stations from Aug 2013 to Aug 2014

为间隔进行统计,共出现 54 次闪电漏报。计算得到系统分闸的准确率为 53%,虚警率为 75%,TS 评分为 0.21,图 3 为具体评估结果。通过闪电数据统计发现,系统的虚警率较高,这与现有的闪电监测数据有关,现有的 ADTD 系统只能监测地闪数据,而自然界的闪电数量中云闪占大多数,由于云闪监测数据的缺失,在效果评估时没有相关的闪电数据与预警结果相对应,在一定程度上造成了虚警率较高。另外,在某些特定的时段会出现小范围的雷电活动,统计时作为闪电漏报,降低了系统分闸准确率,说明系统对小范围雷电过程的预警效果不理想,但对由于强对流天气过程所引起的强雷电过程具有很好的预警效果。

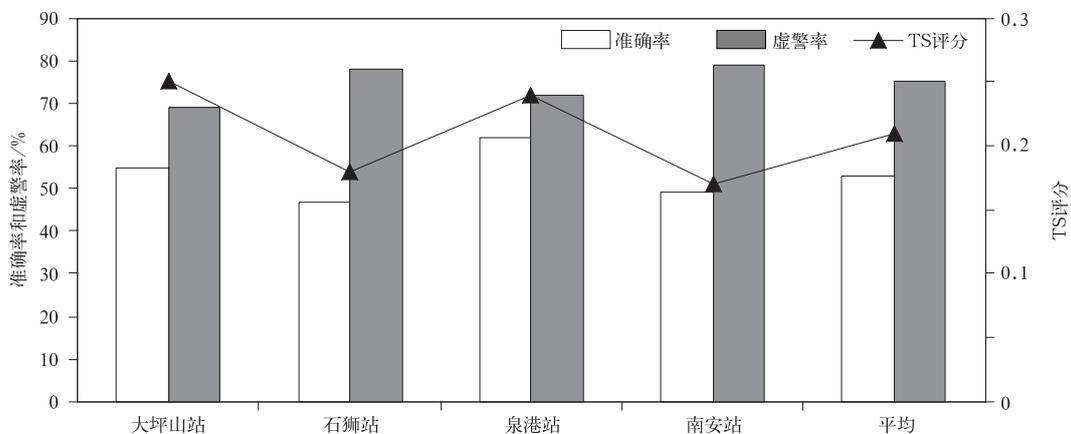


图 3 2013 年 8 月—2014 年 8 月 4 个无线电监测站分合闸指令评估统计  
Fig. 3 The statistic of sub-closing order evaluation of 4 monitoring stations from Aug 2013 to Aug 2014

## 4.2 主动防雷技术应用

### 4.2.1 2013 年 8 月 14 日过程

一对流云团由广东省境内向福建省境内移动,

受该对流云团影响,2013 年 8 月 14 日凌晨起福建省泉州地区经历了一次自南向北的雷雨过程。无线电监测站周边发生了大量闪电活动,临近预警系统

的预警结果和闪电的实际发生区域有较好的吻合度,预警系统较准确预测出 05:30—06:45(北京时,下同)闪电的发生区域,具体预警级别和分合闸状态见表 1。05:30 开始,大量的闪电活动开始伴随降水过程发生,闪电的活动区域逐渐向无线电监测站方向移动。从预警数据来看,石狮站(05:30)附近的雷电概率为危险级别,达到了预警应用系统发布电源切换指令的预警阈值,预警应用系统对石狮站机房发布了电源切换指令,机房设备由 UPS(uninterruptible power system,不间断电源)电源供电,06:00 系统监测到该区域的雷电活动过程增强,预警应用系统给出了很危险预警级别。06:45 以后,无线电监测站附近地区雷电活动过程减弱,预警系统给出的预警概率低于危险级别,预警应用系统依据预警级别发布合闸指令,监测站机房电源恢复市电供应。在系统分闸期间(05:30—06:45),一次雷电击中了监测站塔顶,安装于监测站塔的雷电监测仪于 06:17:06 在石狮站记录到 1 次雷电信息,该系统通过无线传输网络向中心服务器实时传输数据。雷击发生之后,监测站员工对设备进行了检测,确认该监测站设备均正常运行,未遭受雷电灾害损失,有效避免了雷击对监测站设备的影响。

表 1 2013 年 8 月 14 日 05:30—07:00 石狮站  
预警级别和分合闸状态

Table 1 Warning level and sub-closing status for Shishi Station from 0530 BT to 0700 BT on 14 Aug 2013

时段	预警级别	分合闸状态
05:30—05:45	危险	分
05:45—06:00	危险	分
06:00—06:15	很危险	分
06:15—06:30	很危险	分
06:30—06:45	很危险	分
06:45—07:00	一般	合

#### 4.2.2 2013 年 8 月 29 日过程

受对流云带影响,2013 年 8 月 29 日福建省泉州地区经历了一次大范围的降水过程,此次降水过程产生了大量的雷电活动,预警系统对此次雷电过程的发生区域进行了准确预报,4 个无线电监测站均出现了预警,预警应用系统对无线电监测站发出了预警指令,并进行了分闸操作(4 个监测站具体分闸情况见表 2~表 5)。统计表明:4 个站 5 km 范围内共发生闪电 133 次,其中在分闸期间发生 117 次闪电,合闸期间共发生闪电 16 次,预警应用系统使监测站有效规避了期间 88% 闪电对其影响。泉港

站(表 3)取得了较好的预警效果,该站点在一次分闸期间(17:45—20:45)共发生闪电 84 次,仅有 2 次闪电未被预报,说明预警系统对强雷电过程的预报效果好,石狮站(见表 4)预警效果较差,出现了一定的错误率,在合闸期间发生 7 次闪电,且发出了 2 次虚报。对于整个雷电活动过程,系统共发出了 8 次分闸指令,其中,4 次分闸指令期间均发生了闪电活动,且发生的闪电数量较多,因而预警准确率较高;4 次分闸指令期间未发生闪电活动,出现了一定的虚警率,可以得到预报准确率为 50%,虚警率为 50%,准确率 TS 评分为 0.33,对比分合闸时间发现,发生虚警的时间往往较短,基本上不会对无线电监测站

表 2 2013 年 8 月 29 日大坪山站分合闸与闪电数量  
Table 2 Sub-closing status and number of lightning for Dapingshan Station on 29 Aug 2013

时间	分合闸状态	发生闪电数量
15:30—15:45	合	0
15:45—16:45	分	24
16:45—20:45	合	4
20:45—21:00	分	0

表 3 2013 年 8 月 29 日泉港站分合闸与闪电数量  
Table 3 Sub-closing status and number of lightning for Quangang Station on 29 Aug 2013

时间	分合闸状态	发生闪电数量
15:00—16:45	合	2
16:45—17:15	分	0
17:15—17:45	合	0
17:45—20:45	分	84

表 4 2013 年 8 月 29 日石狮站分合闸与闪电数量  
Table 4 Sub-closing status and number of lightning for Shishi Station on 29 Aug 2013

时间	分合闸状态	发生闪电数量
16:00—16:30	分	0
16:30—16:45	合	0
16:45—17:00	分	0
17:00—20:15	合	7

表 5 2013 年 8 月 29 日南安站分合闸与闪电数量  
Table 5 Sub-closing status and number of lightning for Nan'an Station on 29 Aug 2013

时间	分合闸状态	发生闪电数量
15:30—18:15	分	8
18:15—18:45	合	0
18:45—20:00	分	1
20:00—21:00	合	3

设备造成影响,从发生的闪电数量看,分闸期间发生了较多的闪电,分闸的有效率较高,有效避免了此次雷电活动过程对监测站设备的影响。

#### 4.2.3 2014年6月2日过程

2014年6月2日福建省泉州地区经历了一次大范围的雷电过程,对比分合闸和闪电监测数据得到:预警系统最早在13:30—14:00对大坪山站发出雷电危险预警信号,但重点区域内未发生闪电,属于虚报,随着雷电过程逐渐强烈,系统在15:15—16:15再次对大坪山站发出危险雷电预警信号,期间大坪山站发生闪电108次,21:45—22:00发生闪电3次,但这一时段系统给出的雷电危险信号为一般级别,未发出分闸指令,对这一时段内的闪电出现漏报。14:30—15:30系统对南安站给出了危险的雷电预警级别信号,期间发生闪电24次,19:45—20:00雷电预警级别为一般,处于合闸状态,但南安站附近共出现6次闪电,系统对这一时段发生的闪电出现了漏报,20:00—20:30系统准确地对期间发生的闪电进行预报。15:30—16:15系统对泉港站发出危险预警信号,共发生闪电15次,18:00—18:15发生闪电3次,系统未能给出准确的预报结果,但在20:45—21:00系统发出分闸指令,成功预报发生闪电,22:00—22:30未发生闪电,系统给出雷电危险级别的预警信号,出现了虚报。系统未对石狮站发分闸指令,但该站22:45—23:00发生闪电7次,出现了漏报(4个无线电监测站具体分闸情况见表6)。整个过程4个站共发生闪电197次,系统准确预报178次闪电,有效规避了90%的闪电对无线

电监测站的影响,尤其是大坪山站,在1次分闸时段内共发生闪电108次,对闪电的有效规避率较高。系统共发出分闸指令9次,其中,5次预报准确,虚报4次,共出现4次漏报情况,计算得到预报准确率为56%,虚警率为44%,准确率TS评分为0.38,系统对一些小范围内局地的闪电未能准确发出分闸信号,影响了系统的准确率和TS评分。

## 5 结论与讨论

福建省雷电临近预警应用系统在4个无线电监测站进行应用实践,通过比对分合闸数据和福建省闪电定位系统数据进行了雷电临近预警应用效果评估,结果表明:

1) 通过闪电定位系统数据查询得到4个站5 km范围内共发生闪电1560次,对比分合闸记录和闪电监测数据,在监测站机房电源分闸期间4个站共发生闪电1080次,系统对4个无线电监测站5 km范围内69%的闪电进行了有效预警和防御。

2) 系统服务期间,共发出249次分闸指令,包括62次命中、187次虚警和54次漏报指令。系统分闸指令的准确率为53%,虚警率为75%,准确率TS评分为0.21。对比数据发现对雷电活动发生较为集中的区域预警效果较好,对一些雷电活动发生较为零散的区域预警效果会有所降低。

3) 对于不同的雷电过程,预警效果会有差异,比较分合闸指令的时间和闪电数量,虚警时间往往较短,对设备正常运行的负面影响较小,而分闸期间的闪电数量较多,说明分闸有效率较高,能有效避免雷电活动对监测站设备的影响。

通过运行实践,也发现雷电临近预警应用系统存在一些不足之处。现阶段针对重点区域预警概率的选取算法还不够完善,目前主要通过选取重点区域内所有格点(1 km×1 km)的最大预警概率值代表该区域的预警概率,这种算法对由于雷暴云移动而产生的雷电活动能取得较好的预警效果,系统能提前预测雷电的发生和影响区域,采取避险措施规避雷电灾害,但在一定程度上增加了虚警率。预警级别量化的阈值选取也需要进一步完善,预警级别阈值的设定对预警效果有较大影响,阈值过高会出现漏报,阈值选取过低会增加虚警率,导致预警应用系统对监测站所处的重点区域频繁发布分合闸指令。在后续的应用实践中,需要进一步完善重点区

表6 2014年6月2日福建省泉州地区4个无线电监测站分合闸与闪电数量

Table 6 Sub-closing status and number of lightning for four monitoring stations on 2 Jun 2014

时间	站名	分合闸	发生闪电数量
13:30—14:00	大坪山站	分	0
14:30—15:30	南安站	分	24
15:15—16:15	大坪山站	分	108
15:30—16:00	泉港站	分	15
16:45—17:15	南安站	分	0
18:00—18:15	泉港站	合	3
19:45—20:00	南安站	合	6
20:00—20:30	南安站	分	20
20:45—21:00	泉港站	分	11
21:45—22:00	大坪山站	合	3
22:00—22:30	泉港站	分	0
22:15—22:45	大坪山站	分	0
22:45—23:00	石狮站	合	7

域预警概率算法,不仅要充分考虑重点区域所处的地理环境和气候环境差异,还要结合大气电场仪的局地场强值和场强变化率进一步优化该算法。通过对雷电过程资料的不断累积,总结每个重点区域的地理环境和大气环境特征,调整和完善体现重点区域预警概率和预警级别阈值的最佳算法,为重点区域提供及时、准确的预警服务,提升雷电临近预警产品的应用价值。另外,由于闪电定位系统数据存在一定误差以及雷电在线监测系统的局限性,云闪数据的缺失在一定程度上增加了虚警率,随着福建省三维闪电定位系统投入使用,监测数据能为预警系统效果评估提供更科学的数据。同时,对于雷电预警效果的检验还需要更加多元化的手段,如增加入户线路闪电电涌进行监测,可以与预警应用系统的结果进行直观比对,增加预警效果检验的手段,也为预警效果的改进提供了更加丰富的雷电监测资料。

#### 参考文献

- [1] 马明,吕伟涛,张义军,等.我国雷电灾害及相关因素分析.地球科学进展,2008,23(8):856-865.
- [2] 马明,吕伟涛,张义军,等.1997—2006年我国雷电灾情特征.应用气象学报,2008,19(4):393-400.
- [3] 高焱,张义军,张文娟,等.我国雷击致人伤亡特征及易损度评估区划.应用气象学报,2012,23(3):294-303.
- [4] Orville R E, Huffines G R. Lightning ground flash measurements over the contiguous United States; 1995-97. *Mon Wea Rev*, 1999, 127(11): 2693-2703.
- [5] Reap R M. Climatological characteristics and objective prediction of thunderstorms over Alaska. *Wea Forecasting*, 1991, 6(3): 309-319.
- [6] 许小峰.雷电灾害与监测预报.气象,2004,30(12):17-21.
- [7] 张其林,邵程远,路明月,等.雷电监测预警系统在青岛地区试验结果分析.气象科技,2010,38(5):594-598.
- [8] 郑栋,孟青,吕伟涛,等.北京及其周边地区夏季地闪活动时空特征分析.应用气象学报,2005,16(5):638-644.
- [9] 张义军,孟青,马明,等.闪电探测技术发展和资料应用.应用气象学报,2006,17(5):611-620.
- [10] 张义军,周秀骥.雷电研究的回顾和进展.应用气象学报,2007,17(6):829-834.
- [11] 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.应用气象学报,2008,19(2):153-160.
- [12] 吕伟涛,张义军,孟青,等.雷电临近预警方法和系统研发.气象,2009,35(5):10-17.
- [13] 孟青,张义军,吕伟涛,等.雷电临近预警系统的运行试验.气象,2009,35(4):20-24.
- [14] 马颖,孟青,吕伟涛,等.雷电临近预警产品评估方法及其软件.气象,2009,35(11):101-106.
- [15] 李绍斌.一种基于TCP/IP远程通信协议的新型远程智能电源监控切换系统.现代电子技术,2012,35(11):115-119.
- [16] 曹和生,吴少丰,匡本贺.建筑物防雷装置检测技术规范. GB/T 21431—2008. 2008.
- [17] 建筑物防雷设计规范. GB50057—2010. 2010.
- [18] 丁金才.天气预报评分方法评述.南京气象学院学报,1995,18(1):143-150.

## The Application of Initiative Lightning Protection Technology Based on Lightning Nowcasting and Warning

Zeng Jinqun<sup>1)2)</sup> Zhu Biao<sup>2)</sup> Wang Yingbo<sup>2)</sup> Zhang Yefang<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

<sup>2)</sup> (Lightning Protection Center of Fujian Province, Fuzhou 350001)

### Abstract

Based on traditional passive lightning protection technology, an initiative of lightning protection technology is proposed on the basis of lightning nowcasting and warning system, considering features of electron system thunderbolt disaster. An application system is developed based on B/S framework. The system can automatically block lightning surge channel of protection when lightning is coming, and return to normal when the alarm is clear. Through the visualization of GIS, the process of lightning, the evolution of effective warning and the implementation of control terminal are shown dynamically. A survey is carried out on terrain conditions of four radio stations at Quanzhou, and the historical lightning environment and the main route of lightning wave invasion are analyzed in detail. The initiative lightning protection technology is used in the serious area of thunderbolt disaster by the way of key locations. Combining the electromagnetic field of the lightning current radiation and the anti-jam effect of electronic apparatus, the key location is determined within a 5-kilometer radius. In order to evaluate the effect, the response time of sub-closing and the advanced direction and time detecting (ADTD) of monitoring data of each terminal is analyzed. The efficiency of initiative lightning protection is tested by two methods in these four radio stations from August 2013 to August 2014. One method is to calculate the efficiency of thunderbolt disaster depending by counting the total number of lightning in range of key locations, the number of lightning when the warning level is at dangerous or too dangerous level. The forecast scoring method is also used to estimate the efficiency, giving the POD (probability of detection), FAR (false alarm rate) and TS (threat score).

The result demonstrates that the initiative lightning protection technology is a better improvement and supplement for the passive lightning protection technology. In contrast with the quantity of lightning flashes, warning results of 4 radio stations is 69%, and with the forecast scoring method the probability of detection is 53%. The system gives better warning result in the area where lightning activities are centralized than that in the area where lightning activities is scattered.

**Key words:** lightning nowcasting and warning; initiative lightning protection; remote control; effect test