

基于城市综合观测的雷电戒备服务 系统设计与实现

■ 罗欣 蔡然 庄红波 苏琳智 郭宏博 杨悦新

围绕以用户为中心的服务理念，从过程前、过程中、过程后三个时间节点介绍了深圳市雷电戒备服务系统的功能架构。系统的设计突出以提供定点雷电戒备的个性化服务为核心理念，实现基于雷电风险的戒备警示服务，服务受众多、应用广，提升了气象服务水平与效益，取得良好的服务效果。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.03.040

深圳作为中国雷暴高发地区之一，近年来受全球极端天气与气候背景影响，雷电次数和强度均呈现出历史高值，雷电灾害的危害程度和造成的经济损失及社会影响也越来越大。近年来，国内外也在加强对雷电监测预警方面的研究。例如，香港天文台开发了“机场雷电预警系统”，系统利用实时闪电定位信息和天气雷达数据，自动为香港国际机场员工发出闪电预警；中国气象科学研究院开发了雷电临近预警系统软件，能够综合利用各类观测资料，自动生成雷电活动潜势预报结果和雷电临近预警结果。我国雷电预警预报技术和方法的研发刚刚起步，然而目前仍缺少面向用户的定点个性化服务系统。

随着应急决策指挥和安全生产的要求越来越高，对雷电预警与灾害评估工作也提出了更高的要求，建立一个基于定点雷电戒备、具有个性化服务功能的雷电戒备服务系统，为雷电防御重点用户提供精准、及时、有效的定点雷电监测与预警服务显得尤为必要。深圳市气象服务中心于2016年建立了深圳市雷电戒备服务系统，目前已有效运行2年，为深圳市雷电灾害防御工作提供了重要的技术支撑。

1 系统介绍

1.1 系统基本情况

雷电戒备服务系统是面向气象灾害防御重点用户开发的专业服务系统。系统在雷电天气多维特征分析、典型天气物理特征研究的基础上，总结目前我国短时雷电监测、预警、预报技术和应用，开展面向戒备主体（立足于用户）的雷电临近预警方法和防护策略，开发点对点的雷电戒备系统，将成果直接转化

成减灾应用。系统根据短时预警技术为用户提供全方位、个性化的定点雷电戒备服务，为雷电防御重点用户、旅游景点、大型户外活动场所等提供更专业、全面、便捷的气象监测与预警信息。同时在移动终端配置了微信公众号，实现多渠道的雷电预警戒备信息接收及实时跟踪化预警戒备服务。

系统设计并实现了针对雷电防御重点用户的雷电定点预报及戒备服务与雷电灾害风险区划动态评估等功能。系统在雷电预警信息发布方面，突破了传统的大区域预警方式，结合重点用户自身的个性化需求，实现了雷电定点预警戒备服务；同时还根据雷灾历史数据、实时天气资料，为用户动态发布雷电灾害风险区划提示，进一步提升雷电预警戒备服务质量与防灾效果。

1.2 系统技术实施路线

1) 体系结构选型

基于系统特征和使用需求，系统采用基于GIS组件的二次开发模式，地理信息系统平台采用ArcGIS Server 9.3，项目数据库平台采用Oracle10G以上，WEB系统平台采用ASP.NET或HTML5技术。

2) 开发语言及实施路线

在保障系统稳定性和高效性的基础上，依据项目模块功能特征，系统开发语言总体采用C/C++、JAVA、C#等开发语言。网络架构采用B/S和C/S混合体系结构，C/S结构程序（后台程序）运行于服务端，以多线程并发的方式执行，用于数据的解析计算以及各类产品的生成、入库等。客户端作为B/S结构程序（前台程序），为用户的操作平台，用于信息的综合展示以及人机交互操作等。

收稿日期：2018年11月30日；修回日期：2019年4月10日

2 系统功能

围绕以用户为中心的定位，系统开发建设了三大功能模块，包括：雷暴预警预报服务模块、雷暴监测戒备服务模块、雷电数据智能分析模块。三个模块分别从过程前、过程中、过程后三个时间节点提供雷电监测与预警服务，从用户角度出发，提供更具有针对性和专业化水平的防灾减灾专业专项服务。过程前，雷暴预警预报服务模块提供定点雷击概率预报产品和雷电灾害影响评估，为用户的应急防御预留准备时间，并为防雷减灾规划提供科学依据。过程中，雷暴监测戒备服务模块为用户多气象要素叠加显示，同时根据当前雷暴的预报及实况给予声光警示并推送雷电戒备信息，结合手机移动端提供跟踪化服务，让用户能够全方面、多渠道、更便捷地掌握雷电等气象信息，有利于用户更及时地开展各项应急工作。过程后，利用系统的雷电信息查询分析、雷电数据统计分析等手段，用户能直观了解本次过程或历史过程的雷暴信息，评估雷电活动发生的历史趋势及未来趋势，为下一步防灾减灾工作提供指引。系统的功能架构如图1所示。

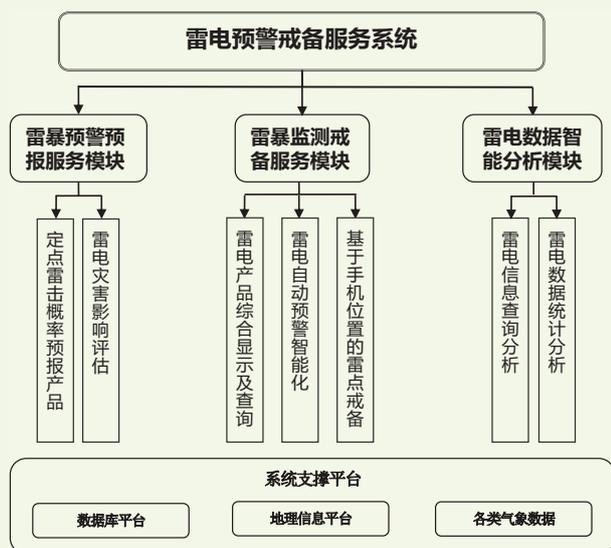


图1 深圳市雷电戒备服务系统架构图

2.1 雷暴预警预报服务模块

1) 基于雷电预测模型的定点雷击概率预报

随着社会和生产的发展，雷电防御重点单位对安全生产的需求日益提高，面向公众发布的全市雷电预警甚至分区雷电预警已经不能满足安全生产单位的需要，因此系统提供定点雷击概率预报产品，留有一定的提前量和防御准备时间，有利于用户做好预防措施及应急准备，最终实现防灾减灾的目标。

首先建立雷电预测模型如下：

$$P=k+f_1x_1+f_2x_2+f_3x_3+\dots+f_nx_n,$$

式中， k 为误差修正值， f_1, f_2, \dots, f_n 为各个预报因子对应的权重系数， x_1, x_2, \dots, x_n 为各个预报因子。同时结合深圳市各区域实际情况，对深圳历史雷暴天气过程个例进行综合分析，最终确定误差修正值、预报因子，以及各个预报因子对应的权重系数，形成雷电预测模型。其次通过将多普勒雷达基数据进行网格化处理、雷电短时临近预报外推计算及订正，同时依靠雷电预测模型综合分析雷达回波强度（ Q ）、回波高度（ H ）和垂直积分液态含水量（ VIL ）与雷电发生可能性和强度之间的相关性，并结合闪电监测定位系统监测出的实况修正，构建定点雷电短时临近预报系统，外推出戒备点未来1~3 h雷电出现的概率和雷电强度。

根据用户个性化指定的戒备点区域（如戒备点5 km范围内），利用定点雷电短时临近预报系统的外推结果，点对点为用户提供未来1~3 h定点雷电发生概率与强度逐6 min预报，效果如图2所示。

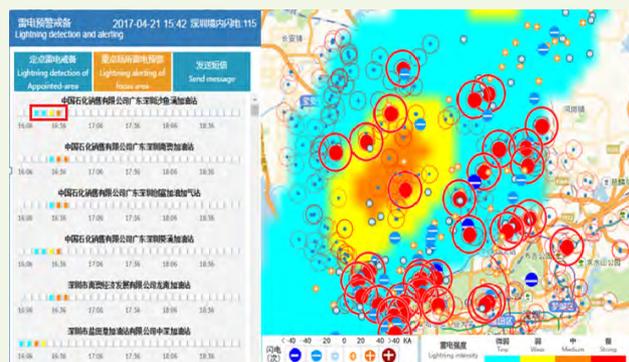


图2 定点雷电发生概率与强度逐6 min预报

2) 雷电灾害影响评估

根据深圳近10年来的地闪资料、雷电灾害资料以及45年的雷暴日资料，以深圳的自然环境、人文环境、气候环境为背景，分析雷电灾害分布特征，提取多个雷灾易损性评价指标，用主成分分析方法对深圳市的雷灾易损性评价指标进行综合评估，通过聚类分析法建立深圳的雷灾易损度区域划分图（图3）。用户可通过动态设置闪电密度、人员密度、危化场所、雷灾等级等数据权重进行风险区划产品制作。用户结合单位信息，可对比分析自身风险等级在深圳市的水平，为区域防雷减灾规划提供科学依据，进一步提高雷电灾害防御能力。

同时，基于雷暴天气闪电实况数据资料、雷达外推资料、预警信号生效资料，结合深圳市雷电灾害风险区划的结果，对定点区域的雷电风险进行实时的动态评估（图4），为用户提供实时更新的雷击风险值，对防灾单位的防雷安全工作具有指导意义。

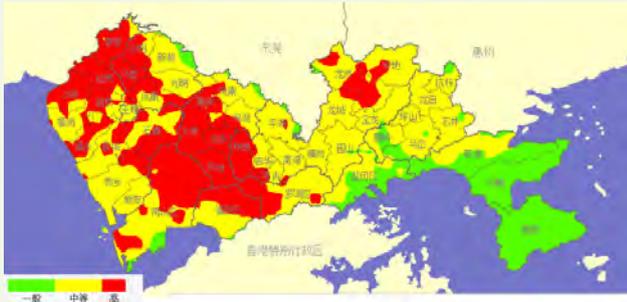


图3 基于聚类分析法所得深圳雷电灾害风险区划



图4 定点区域的雷电风险动态评估

2.2 雷暴监测戒备服务模块

1) 雷电产品综合显示及查询

研究表明,雷暴中的闪电放电能够产生强静电场以及电磁辐射场,可见雷电活动与电场等气象要素的变化密切相关。系统基于GIS及可视化技术,可在电子地图上叠加显示:雨量图、闪电、风暴中心、雷达图,实时显示大气电场(图5)、温度、风向、风速、闪电定位数据等产品。用户可以个性化设置叠加的气象要素,通过多气象要素综合显示实现用户对当前气象实况了解需求,为防灾安全工作提供多要素实况支撑。

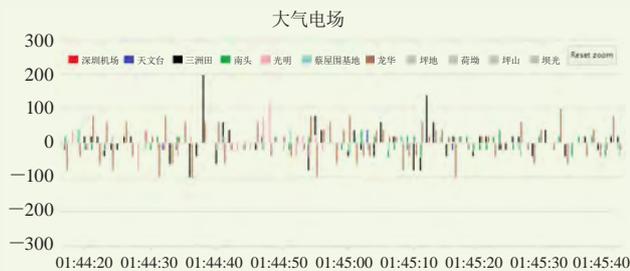


图5 大气电场产品综合显示

2) 基于观测的雷电自动预警智能化

利用定点雷电短时临近预报系统外推出戒备点未来1~3 h雷电出现的概率,并结合雷暴过程的实时动向,当实况和预报出现超过该用户设定的阈值标准时,系统自动给予声光警示,向用户推送雷电戒备信息(图6),并自动连接应急预案:当发布雷电预

警信号时,用户应根据自身应急预案做好相应防雷措施;如逢正上方雷击或周边几千米范围内发生闪电时,要立即停止作业并禁止人员在空旷处停留,必要时关掉控制电源,防止雷击损坏设备。

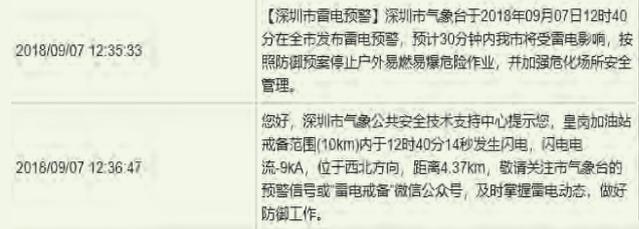


图6 基于观测的雷电戒备短信推送

3) 基于手机定位的雷点戒备

随着移动互联网的发展,人们现在可以使用智能手机通过互联网随时随地地获取最新的气象资讯。为提高系统的便捷性,在PC端的基础上,系统还在“深圳天气”微信公众号上提供雷电定点预警服务。重点用户可根据手机定位实时获取自己所在位置当前雷暴戒备信息,包括雷击概率、预警级别及说明、避险预案、雷达资料、气象要素等产品(图7),信息获取更加便捷化。

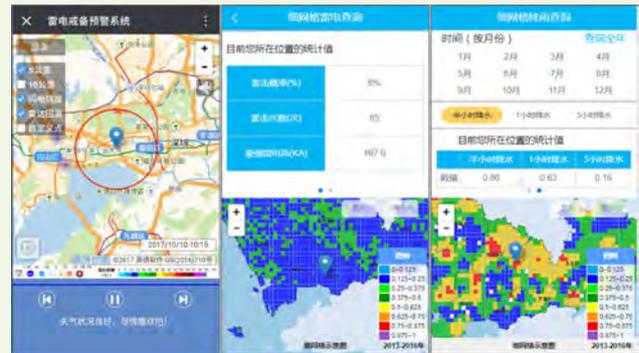


图7 雷电戒备服务微信公众号界面

2.3 雷电业务基础数据统计分析功能

1) 雷电信息个性化查询分析

系统支持各种查询方式,提供图元属性查询(点、矩形、半径、多边形和区域查询)、条件查询(如雷电强度值或雷电发生的时间)、行政区域查询等查询方式,提升用户对雷电信息的查询与浏览体验。

2) 基于历史过程的雷电数据统计分析

系统针对已经监测到的单次或多次、单时段或多时段的雷暴发生情况,可以进行独立历史过程的分析或多历史过程的比较。用户通过分析报告可了解到地闪次数统计、密度分布、参数分布等信息(图8),通过与历史过程的比对分析,进一步评估本次雷电活

(下转245页)

测、雷灾事故鉴定、灾害风险评估、防雷技术评价、防雷装置检测等功能点。

- 信用体系：下设信用事件记录、问题投诉处理、机构信用管理、企业信用管理等功能点。

- 管理决策：下设数据统计中心、隐患企业监控、高风险场所监控等功能点。

- 数据对接：下设监管平台数据、应急部门数据、住建部门数据、执法机构数据、法制机构数据、行政处罚数据、app数据、微信公众号数据等功能点。

4 结语

通过信息化技术的应用将防雷安全管理的企业主体、技术服务机构、行政审批、监管执法、技术支持、信用体系、数据对接等全领域融合贯通，信息化技术成为防雷安全精细化管理的基础。防雷安全管理是一个系统工程，需要各方面的限界与配合，借助统一的信息技术平台的支持，使防雷安全管理的部门内

协作、部门外互通成为可能，实现了各类数据的集约化管理和大数据分析，极大地提升了防雷安全管理的信息化程度，进一步增强了雷电灾害防御能力。随着信息化技术的不断发展，防雷安全产业的不断发展，物联网、射频识别技术以及地理信息技术等先进的数据采集技术的应用，也必将会使城市防雷安全管理更加现代化与规范化，为我国气象现代化进程的发展提供良好的技术支撑。

深入阅读

戴岚岚, 林雨人, 郭宏博, 2010. 基于B/S架构的防雷业务信息管理系统设计与应用. 广东气象, 32(3): 69-72.
刘敦训, 郭宏博, 2015. 雷电灾害防护检测机构业务现代化建设实践与应用. 科技展望, (14): 234-237.
邹林林, 2016. 湖南长沙市防雷安全管理现状及发展对策. 科技与创新, (19): 52.

(作者单位: 深圳市气象服务中心)

(上接242页)

动的影响, 通过历史趋势分析未来雷电活动的发生趋势, 为减灾决策提供参考。

序号	区域/街道	时间	面积(平方公里)	闪电次数 ↓ ↑	闪电次数 ↓ ↑	闪电密度(次/平方公里) ↓ ↑
0	马田	2017-01-01至2018-01-01	16.88	33	135	8
1	凤凰	2017-01-01至2018-01-01	21.91	31	163	7.44
2	公明	2017-01-01至2018-01-01	22.91	37	165	7.2
3	沙井	2017-01-01至2018-01-01	37.54	41	247	6.58
4	松岗	2017-01-01至2018-01-01	29.28	31	189	6.45
5	罗湖	2017-01-01至2018-01-01	78.42	39	506	6.45
6	光明	2017-01-01至2018-01-01	30.9	39	199	6.44
7	福田	2017-01-01至2018-01-01	76.27	39	490	6.42
8	福永	2017-01-01至2018-01-01	32	39	201	6.28
9	新桥	2017-01-01至2018-01-01	27.04	31	167	6.18
10	玉塘	2017-01-01至2018-01-01	20.16	27	123	6.1

图8 历史雷电过程分布分析

3 小结

雷电监测和雷暴预警服务作为气象服务中的新产品, 具有广泛的推广和应用价值。系统以定点雷电戒备个性化服务为核心, 服务受众多、应用广, 有效提高了气象服务质量, 提升了气象服务水平, 取得良好的服务效果。系统服务范围已完全覆盖深圳市505家气象灾害防御重点单位, 还涵盖了建筑施工、港口、旅游、供水供电、石化燃气、海事船舶、涉氨、粉尘、易燃易爆等危化行业的2000余家单位。系统提出的“预警-戒备”的思路, 通过面向用户的定点个性化服务, 有效地弥补了单一预警信号指导防灾减灾工作的短板, 得到了用户的好评, 为城市雷电灾害防御工作思路提供了有效的参考, 同时还在“雷、雨、大风”的综合气象灾害防御工作的推广与应用方面积累了宝贵的经验, 为今后该领域的工作研究提供了重要

的借鉴意义。

在系统应用过程中, 发现部分用户需求未在系统功能中充分考虑, 如雷电持续时间对于用户的应急响应调度有重要参考意义, 其与用户的防灾应急工作息息相关, 然而系统未充分考虑雷电持续时间对用户的影响, 为进一步满足用户的实际需求, 因此计划下一步结合降水、雷达等气象资料, 优化预警算法, 提供雷暴过程持续时间预报, 同时针对气象灾害防御重点单位以及城市安全重点行业单位的风险敏感点与个性化需求, 继续深化雷电、台风、暴雨内涝等其他城市灾害的预警与戒备服务。

深入阅读

郭宏博, 邱宗旭, 杨悦新, 等, 2017. 粤港澳闪电定位系统与深圳高塔雷电光学观测对比分析. 广东气象, 39(6): 60-63.
李国梁, 李俊, 李享, 2018. 一次强雷电天气特征分析. 气象科技进展, 8(5): 17-22.
刘华麟, 2017. Web GIS实时雷电监测预警系统的设计. 自动化与仪器仪表, (11): 67-68.
刘三梅, 吕海勇, 陈邵东, 等, 2014. 广东省雷电风险区划研究. 资源科学, 36(11): 2337-2344.
吕伟涛, 张义军, 孟青, 等, 2009. 雷来临近预警方法和系统研发. 气象, 35(5): 10-17.
马琰钢, 沈萍月, 邓闯, 2015. 基于ArcGIS Mobile的“智慧气象”数据服务技术研究. 数字技术与应用, (9): 62.
张义军, 张阳, 2016. 雷暴闪电放电活动对电离层影响的研究进展. 应用气象学报, 27(5): 570-576.
曾庆峰, 张其林, 赖鑫, 等, 2015. 深圳市闪电定位资料误差分析及其优化. 气象科技, 43(3): 530-542.

(作者单位: 深圳市气象服务中心)