

雷电灾害风险评估系统开发与应用^{*}

焦 雪^{1,2}, 冯民学^{1,2}, 王尧钧¹, 钟颖颖², 张艳华¹

(1. 江苏省防雷中心, 江苏 南京 210009; 2. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044)

摘 要: 根据国标《GB/T21714.2-2008 雷电防护》的雷电灾害风险评估原理和方法, 结合国标《GB50057-1994 (2000 年版) 建筑物防雷设计规范》和《GB50343-2004 建筑物电子信息系统防雷技术规范》的相关方法, 利用 Delphi7.0 开发了集评估项目地理位置定位、闪电资料分析、建筑物评估和区域评估等功能的综合性雷电灾害风险评估系统。介绍了系统的需求分析、功能、特点和其中涉及的风险评估算法。利用该系统可快速、方便地完成各类项目雷电灾害风险评估工作, 并自动生成 word 报告。

关键词: 雷电灾害; 风险评估; 区域评估; 算法; 评估系统

中图分类号: P427.32⁺1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2011)02-0072-05

雷电灾害风险是指由雷击发生及其造成损失的概率。雷电灾害风险评估是雷电灾害研究的重要内容, 是科学防雷、全面防雷的工作基础, 也是灾害评估的一种方法。但由于雷电灾害具有很强的随机性和瞬时性^[1], 很难对某一地区未来的危险性和易损性进行评估。我们现在要做的就是利用现有的雷电监测数据等资料, 有效地对雷电灾害风险进行预测。国外, 国际电工委员会(IEC)和国际电信联盟(ITU)等组织对雷电灾害风险评估做了大量的研究并提供了相应的评估标准: IEC62305^[2]、ITU-T K. 39 等^[3]; 国内雷电灾害风险评估的成果主要包括雷击危害风险评估^[4]和 QX 3-2000 等标准^[5]。近几年来, 随着人们对雷电灾害的重视, 雷电灾害评估应用领域越来越广, 一般依靠繁琐的手工计算或计算机的简易辅助来对雷电灾害风险作出评估, 其繁杂费时效率低下难以满足雷电灾害风险评估业务发展的需要。复杂或重大雷电灾害风险决策, 涉及面越来越广, 要求解决的问题越来越多, 迫切需要融合风险评估和风险管理等技术软件系统的支持。计算机技术的发展和雷电灾害风险评估工作的深入, 为研发这样的软件系统提供了理论基础和现实需求。张春燕^[6]根据 IEC62305 设计了雷电灾害风险管理系统; 林溪猛^[7]使用 Delphi 语言开发了较实用的雷电风险评估软件, 但这些软件都只实现了相对简

单的风险计算, 没有对风险评估中涉及到的地闪密度或者土壤电阻率等参数进行分析的功能。

江苏省作为全国雷暴较高发的区域, 人口密集、经济发达, 各类大型企业、住宅小区和智能建筑等密集, 做好雷电灾害风险评估工作是非常必要的。本研究对国内各省市雷电灾害风险评估软件系统作了广泛深入的调查, 以 GB/T21714.2《风险管理》等作为参考标准, 并根据国内及江苏省雷电灾害风险评估业务开展的具体情况, 设计并开发了雷电灾害风险评估系统。该系统的成功研发有利于推动全省雷电灾害风险评估工作的迅速发展。

1 雷电灾害风险评估系统功能简介

本系统利用 Delphi 7.0 作为开发工具, 采用模块化方法进行程序设计, Firebird 作为后台数据库, 实现对评估数据及结果的保存、查询和调用, 同时融合了 Google 地图搜索功能、TCAD 控件、Adobe Reader、Microsoft Word 等计算机技术, 研究完成了一套程序化、智能化、规范化的多功能系统, 极大地提高了雷电灾害风险评估的工作效率。

整个系统(图 1)分为两个平台: 系统管理平台和项目评估平台。其中系统管理平台包括参数设置、项目管理、统计查询和系统维护 4 个子系统;

^{*} 收稿日期: 2010-09-25

基金项目: 江苏省科技支撑计划(社会发展)项目(BE2009693)

作者简介: 焦雪(1982-), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 工程师, 主要从事雷电防护和雷电灾害风险评估的研究工作。

E-mail: jiaoxue2046@126.com

项目评估平台由气象资料分析、雷电灾害风险评估、防雷设计主要参数分析和评估报告 4 部分组成。

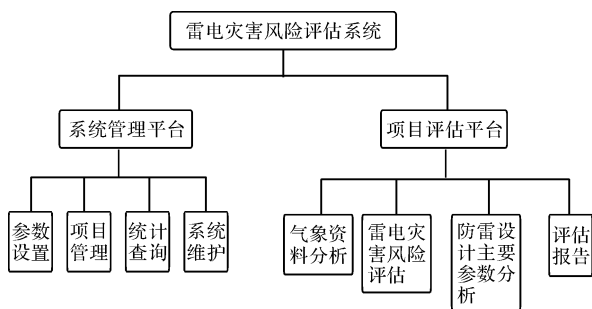


图1 系统组成示意图

各个子系统又包含多个功能模块：参数设置中可以对省、市、县、行业类别、人员职责等和评估相关的一些编码进行管理；评估机构、评估人员、地理气象、检测仪器、用户操作权限、工作提示、闪电资料分析级别、区域评估权重设置等信息进行预先设定，并可以实时地维护闪电资料，还可以进行查询；在项目管理子系统中可以新建项目，填写资料齐全时，则进入待评项目子系统，可进入评估；如资料不全，则进入资料不全项目，等待进一步的完善；评估项目查询可方便查看某个时间、某个行业或由某个评估人员完成的报告；统计功能则可以按时间、行业、评估人员等进行归类统计，有助于及时了解评估项目情况；系统维护主要是为确保用户个人操作信息安全而设定的密码修改功能；对某个项目进行评估时，要进行闪电资料、土壤电阻率的分析；对电源系统雷击过电流、接地电阻、内部磁场强度和建筑物电子信息防雷等级等防雷设计主要参数按项目需要选取适当参数进行估算；根据项目实际情况进行建筑物单体评估或区域评估，并在评估过程中依据风险计算结果，提出相应的雷电防护指导、施工过程防雷意见；完成整个项目的评估后，使用报告生成功能自动生成 word 报告。

2 雷电灾害风险评估系统特点

2.1 自动定位并分析闪电资料

本系统实现了输入评估项目经纬度后，自动连接 Google 地图搜索目标位置(连接网络)，并实现截图，然后以目标经纬度为中心，统计其周围一定半径范围内的闪电记录，计算该项目所在位置地闪密度，作为风险评估的依据，较之人工雷暴日计算的地闪密度值，更符合实际情况。同时

给出雷电流分布特征与地闪的月、时变化规律，为项目的设计、施工以及人员活动等提供雷电防护指导。

2.2 区域风险评估

为了给大范围的区域规划提供有效的防雷指导意见，系统加入了区域风险评估模块，使得区域防雷设计有据可依。进行区域雷电灾害风险评估时，首先确定区域需考虑的风险类型，并对不同风险类型分别建立风险评估模型(图2)，根据灾害产生因素，从致灾体的危险度(灾害发生的可能性)、孕灾环境的敏感度(雷灾发生的成灾环境)以及承灾体的易损性^[8-11]等三个方面来进行分析评估。其次，对于不同的风险类型，收集三个方面相关的资料，并选取相关的评估指标及各指标的权重，最终通过一定关系式得出各区域雷电灾害风险值。最后考虑各个风险类型对整个区域雷电灾害风险的影响，赋予每个风险类型一定的权重，得出区域综合风险值，在确定风险划分等级后，对区域进行风险区划。系统使用了气象指标(年均地闪密度)、地物环境指标(环境因子、土壤电阻率因子)、承灾体风险指标(人员活动影响因子、建筑物类型因子、线缆敷设方式因子、经济密度因子)和评估修正指标(建筑物雷电防护特性、易损建筑物的修正系数)进行各区域风险值计算，并实现在项目平面图上勾画各区域，然后将平面上的区域和该区域的各指标值和风险结果相关联，实现自动为区域划分等级并着色(图3)，各区域的风险一目了然。

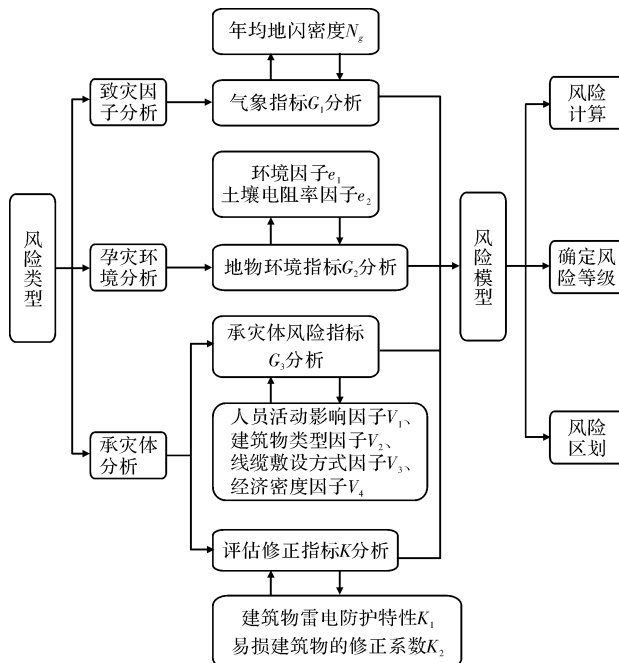


图2 区域雷电灾害风险评估模型

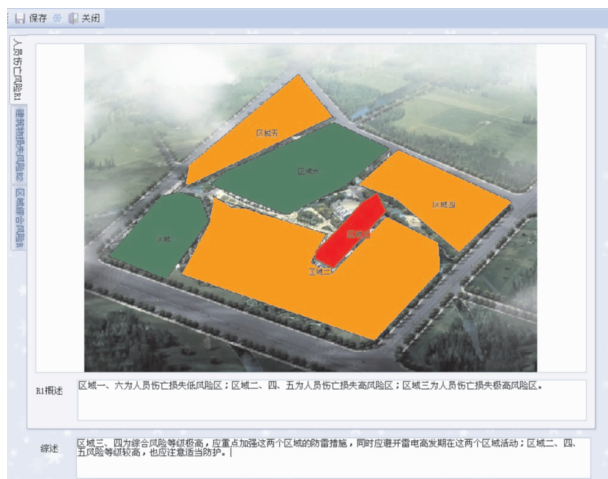


图3 区域雷电灾害风险评估结果显示界面

2.3 整合现有雷电灾害风险评估方法

本系统集成国标《GB/T21714.2-2008 雷电防护》的算法,评估人员只需根据项目中需评估的建筑单体的特性、周围环境情况等填写 GB/T21714.2 中涉及的因子,然后系统根据规范算法自动计算风险结果,并判断风险是否在允许范围内,操作简单,准确率高。如无风险,则建筑单体评估结束;有风险,则进入修改方案填写界面。假设对建筑物采取某种防护措施,再计算其风险值,如还存在风险,则继续修改,直到风险值降到允许范围内,保存方案,评估人员可继续提出另外的方案,只要能把风险降到允许值范围内即可。最后,我们的系统还可以对各个方案进行成本效益分析,得出最经济可行的方案,可指导评估人员填写指导意见,为评估单位提出技术和经济上都最优的方案。

目前的评估工作中还会涉及到 GB/T21714.2 风险计算之外的一些评估方法,因此系统中还集成《GB50057-1994(2000 年版) 建筑防雷设计规范》^[12]中对建筑物内部磁场强度的估算方法和接地电阻的计算以及和《GB50343-2004 建筑物电子信息系统防雷技术规范》^[13]中建筑物电子信息系统防雷等级估算,评估人员只需填写相关因子,就可在一个平台上完成所有评估工作。

2.4 自动生成报告

传统的雷电灾害风险评估是评估人员在一份类似的雷电灾害风险评估报告上进行修改,将报告中不同的部分替换掉,报告里需要计算查询的东西,往往通过繁琐的手工计算,或者登录不同系统查询计算出需要的结果,再手工将结果写入报告。而该雷电灾害风险评估系统只要将需要的

评估参数、经纬度信息和土壤电阻率等输入平台,最后使用报告生成功能,自由选择报告的章节以及各章内容,系统就可自动、快捷地生成一份准确、可行并能指导项目雷电防护工作的雷电灾害风险评估报告。

2.5 适用范围广

本系统可以根据项目现状,以及实际需要,灵活选择评估方式:对于正在规划的建设项目进行预评估;针对有初步设计的建设项目,可以进行方案评估;对已建设完成或防雷整改过的项目进行现状评估。充分满足了新建项目防雷装置及专业防雷工程的设计审核和防雷装置常规安全检测的业务需求,提高了防雷技术服务能力。同时可以根据项目的规模选择建筑单体评估或区域评估。系统中对所有项目进行人员损失风险(R_1)和经济损失风险(R_4)的评估,对于一些特殊行业或建筑如大型水、电厂和车站等公共场所以及古建筑、寺庙等文化古迹可以由评估人员选择是否进一步分析公众服务损失风险(R_2)和文化遗产损失风险(R_3),所以该系统可以广泛地适用于各个行业。

3 风险计算算法简介

3.1 建筑物风险评估算法

建筑物中可能需要计算的风险包括:人员生命损失风险(R_1)、公众服务损失风险(R_2)、文化遗产损失风险(R_3)和经济损失风险(R_4)。各风险都可以参考 GB/T21714.2-2008 或者 IEC62305-2 的公式计算得出:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X, \quad (1)$$

式中: N_X 是危险事件的次数; P_X 是损害概率; L_X 是间接损失。最后将 R_1 等风险与各自风险容许值 R_T 比较,如果 $R \leq R_T$,防雷不是必需的;如果 $R > R_T$,应当采取保护措施以减小对象遭受的所有风险,使得 $R \leq R_T$ 。然后将未采取措施年均总损失 C_L 和采取了保护措施后的年均残余损失 C_{RL} 、选择的保护措施的年均费用 C_{PM} 比较,如果 $C_L < C_{RL} + C_{PM}$,认为采取防雷措施不经济;如果 $C_L \geq C_{RL} + C_{PM}$,证明在建筑物的使用年限内,采取防雷措施是经济合理的^[2,4]。

另外对建筑单体内部磁场强度和接地电阻进行计算时本系统使用了 GB50057-1994(2000 年版)中的方法,建筑物电子信息系统防雷等级估算算法则参考了 GB50343-2004。总之,本系统全面

考虑建筑物雷电灾害风险评估工作中需要进行的估算, 综合了现有的比较成熟的算法。

3.2 区域评估算法

区域评估中计算的雷电灾害风险主要为人员伤亡损失风险(R_1)和建筑物遭受雷击损失风险(R_2)。灾害的发生是由致灾环境的危险性和承灾体的脆弱性决定^[14], 因此本系统从气象指标、地物环境指标、承灾体的风险指标和建筑物的防护指标对区域雷电灾害风险进行分析。

气象指标 G_1 的取值主要是依据地闪密度, 使用闪电定位资料分析各个子区域的地闪密度并将其与 IEC 的计算公式^[2] $N_g = 0.1 \times T_d$ (T_d 取所在地区雷暴日值) 进行比较, 得出风险等级并赋值。

地物环境指标 G_2 体现区域内建筑密度、建筑周围环境以及土壤状况, 分为环境因子(e_1)和土壤电阻率因子(e_2)。 e_1 的计算公式:

$$e_1 = k_0 \times ((D_b + H)/2), \quad (2)$$

式中: k_0 为子区域周边环境影响力因子; D_b 为区域内建筑密度因子, 为根据各子区域内建筑物规划用地面积占所在子区域总面积的百分比赋予的值; H 为区域内建筑高度因子。建筑密度对计算 R_1 和 R_2 时的影响不同, 所以相同的建筑密度, D_b 在这两种情况下取值会不同。根据计算公式:

$$e_{2i} = \rho_{\min} / \rho_i, \quad (3)$$

求得各区域 e_2 , 式中: e_{2i} 为第 i 个子区域的土壤电阻率因子, ρ_{\min} 为各子区域中平均土壤电阻率最小值, ρ_i 为第 i 个子区域的平均土壤电阻率值。 e_1 , e_2 同等重要, 权重都定为 0.5, 则:

$$G_2 = e_1 \times 0.5 + e_2 \times 0.5. \quad (4)$$

计算承灾体风险指标 G_3 值时, 人员和建筑物两种承灾体分别评估, 人员活动影响因子只在 R_1 中体现, 同样经济密度因子也只在 R_2 中体现, 并且人员密度和建筑物总价值较其他因子重要, 建筑物类型和线缆敷设方式重要程度相当, 赋予各因子一定权重, 得:

$$G_3(R_1 \text{ 评估}) = 0.4 \times V_1 + 0.3 \times V_2 + 0.3 \times V_3, \quad (5)$$

$$G_3(R_2 \text{ 评估}) = 0.3 \times V_2 + 0.3 \times V_3 + 0.4 \times V_4. \quad (6)$$

而由于人处于建筑物内外对 R_1 的影响不同, 则分两部分考虑, 人处于建筑物内时, 遭受雷击的概率减小, 人员伤亡损失风险就小, 因此取:

$$V_1 = D_p(\text{内}) \times 0.1 + D_p(\text{外}) \times 1, \quad (7)$$

式中: D_p 为区域内人员活动密度因子。人员活动

密度越大, V_1 值就越大; 建筑类型分为居住建筑、农业建筑、公共建筑和工业建筑, V_2 取值依次为 0.4、0.6、0.8 和 1; 线缆敷设方式为架空时 V_3 取 1, 埋地时取 0.1; 各区域内建筑物总价值越大, V_4 取值就越大。

建筑物的防护指标 K 包括雷电防护 K_1 和易损建筑物的修正系数 K_2 两部分。分析各个子区域现有建筑物的雷电防护状况, 保护越完善则雷电灾害风险越小, K_1 值越小, 建筑物雷电防护等级为一、二和三类时 K_1 分别取 0.01、0.05 和 0.1, 如果保护不全或存在风险取 0.8, 没有 LPS 保护时取 1。各个子区域的 K_2 值可由下式表示:

$$K_2 = (N_1 + N_2 + \dots + N_n) / n, \quad (8)$$

式中: n 为该子区域内所选取的进行雷电灾害风险评估建筑单体的数量; N_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 为单体建筑物雷电灾害风险评估结果的风险等级赋值)。

根据雷电灾害风险 R_1 和 R_2 的计算公式:

$$R_{1,2} = K_1 K_2 \sum_{j=1}^3 Q_j G_j, \quad (9)$$

式中: Q_j 为第 j 个指标的作用权重; G_j 为第 j 个指标的指数值。计算各个子区域的风险值。最后根据两种风险得出区域综合雷电灾害风险 R , 计算方法如下:

$$R = R_1 Q_{R_1} + R_2 Q_{R_2}, \quad (10)$$

式中: Q_{R_1} 为风险 R_1 的作用权重; Q_{R_2} 为风险 R_2 的作用权重。

4 小结

为了推进雷电灾害风险评估工作的顺利开展, 设计并开发了集区域评估、单体评估两种评估类型和预评估、方案评估、现状评估三种评估方式于一体的综合雷电灾害风险评估系统。本文从功能模块、特点和风险计算算法等方面介绍了该系统。

本系统构建了 2 个平台 8 个子系统 33 个模块, 实现了业务工作的流程化, 管理工作的规范化, 形成了软件平台统一应用的新格局, 提高了防雷服务的层次, 在雷电灾害风险评估服务内容和范围、方式、手段等方面实现了转变, 拓宽了服务领域, 也为防雷技术服务打下了坚实的基础。本系统采用模块化设计, 兼容性强, 组合灵活, 适用于不同地区、不同行业、不同项目阶段的雷电灾害风险评估工作, 具有十分广阔的推广前景。

参考文献:

- [1] 杨超. 江苏省雷电灾害风险研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2009.
- [2] IEC. IEC62305 - 2 Protection against lightning - Part 2: Risk management[S]. IEC, 2006.
- [3] ITU. ITU-T k. 39 标准(建议). 通信局站雷电损坏危险的评估[S]. ITU, 1996.
- [4] 国家质量技术监督局. GB/T 21714.2 雷电防护—第2部分: 风险管理[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [5] 中国气象局. QX 3 - 2000 气象信息系统雷击电磁脉冲防护规范[S]. 北京: 中国气象出版社, 2000.
- [6] 张春燕. 雷电灾害风险管理分析及其系统开发[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2008: 1 - 68.
- [7] 林溪猛. 雷电风险评估软件的设计与实现[C]//第六届中国国际防雷论坛论文摘编. 广州: 中国气象学会, 2007: 354 - 356.
- [8] 樊运晓, 罗云, 陈庆寿. 承灾体脆弱性评价指标中的量化方法探讨[J]. 灾害学, 2000, 15(2): 52 - 59.
- [9] 严春银, 吴高学, 朱建章. 区域雷灾易损性及其区划的实证分析[J]. 气象与环境学报, 2007, 23(1): 17 - 21.
- [10] 尹娜, 肖稳安. 区域雷灾易损性分析评估及易损度区划[J]. 热带气象学报, 2005, 21(4): 441 - 448.
- [11] 张腾飞, 尹丽云, 许迎杰, 等. 2007 年 5 ~ 8 月云南省雷电活动特点和致灾因子分析[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 73 - 79.
- [12] 国家质量技术监督局. GB50057 - 1994 建筑物防雷设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2000.
- [13] 国家质量技术监督局. GB50343 - 2004 建筑物电子信息系统防雷设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [14] 郭虎, 熊亚军, 扈海波. 北京市雷电灾害灾情综合评估模式[J]. 灾害学, 2008, 23(1): 14 - 17.

Development and Application of Lightning Risk Assessment System

Jiao Xue^{1, 2}, Feng Minxue^{1, 2}, Wang Yaojun¹,
Zhong Yingying² and Zhang Yanhua¹

(1. Jiangsu Provincial Lightning Protection Center, Nanjing 210009, China;

2. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: According to principles and methods of lightning risk assessment in GB/T21714.2 - 2008 Lightning Protection, and combing with related methods in GB50057 - 1994 (2000 edition) Design Code for Lightning-proof of Buildings and GB50343 - 2004 Technique Code for Lightning-proof of Building Electronic Information System, a comprehensive lightning risk assessment system, which is of positioning, lightning data analysis, building assessment and regional evaluation are developed by Delphi 7.0. Requirement analysis, modules, features and involved risk assessment algorithm of this system are introduced. With this system all kinds of lightning risk assessment projects can be done quickly and easily, and reports in format of word document could be generated automatically at last. Widely using of this system can promote lightning risk assessment in Jiangsu Province.

Key words: lightning disaster, risk assessment, regional assessment, algorithm, assessment system