

雷电监测与防护技术丛书


雷电灾害风险评估

Lightning Disaster Risk Assessment

郭在华 胡如江◎著

Lightning Monitoring and Protection



 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

雷电监测与防护技术丛书

雷电灾害风险评估

郭在华 胡如江 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING



内 容 简 介

本书首先介绍了自然灾害及与之相关的影响因素,以及自然灾害与这些因素之间的影响关系,在此基础上引申到雷电灾害及其致灾机制。全书系统介绍了雷电灾害风险评估的体系与方法,其中重点介绍了区域雷电灾害风险评估理论与方法体系。在区域雷电灾害风险评估相关章节中,介绍了区域雷电灾害风险评估的基本概念、影响因子与层次关系,以及区域雷电灾害风险评估的理论、计算方法、数据获取及处理方法等。针对建(构)筑物与服务设施的雷电灾害风险评估,以 IEC 62305-2 为基础,介绍了风险评估方法、参数选取与采集、计算及分析等。另外,通过多个不同行业的风险评估的雷电灾害实例,实现了区域雷电灾害风险评估方法和基于 IEC 62305-2 风险评估方法的应用,并基于上述评估方法开发了应用软件,详细介绍了软件的应用方法。

本书可作为高等院校雷电防护本、专科专业和气象安全类专业的课程教材,也可作为从事气象灾害防御、防雷工程等技术人员的培训教材,还可作为气象灾害风险评估的研究与参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

雷电灾害风险评估 / 郭在华等著. —北京: 电子工业出版社, 2019.4
(雷电监测与防护技术丛书)

ISBN 978-7-121-32592-2

I. ①雷… II. ①郭… III. ①雷—灾害防治—研究②闪电—灾害防治—研究 IV. ①P427.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 212780 号

策划编辑: 李 敏

责任编辑: 李 敏 特约编辑: 刘广钦 刘红涛

印 刷: 天津嘉恒印务有限公司

装 订: 天津嘉恒印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 13.5 字数: 326 千字

版 次: 2019 年 4 月第 1 版

印 次: 2019 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 69.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: 010-88254753 或 limin@phei.com.cn。

前言



人类自古以来就在经受不同的自然灾害，人类发展史也是一部与自然灾害奋斗抗争的历史。自然灾害不仅破坏了人类的家园，也破坏了人类赖以生存的自然环境。

雷电灾害是人类进入信息社会之后的一大公害，近年来，雷电灾害总体呈增加趋势。究其原因，主要来自以下三个方面：一是全球气候变化，使极端灾害性天气出现频率增加，客观上增加了雷电出现的概率；二是随着人类社会的发展，大量电子与电气系统，特别是微电子设备的应用，大大降低了雷电致灾的能量水平，增加了承灾体的数量；三是大量高耸建（构）筑物的出现，如高楼、铁塔、桥梁、输电线路等，增加了地面设备接闪的概率。在雷电灾害增加的同时，雷电致灾已由人类社会早期阶段的人身伤亡、物理损坏发展到服务中断、设备损毁与经济损失。损害途径也由最初的直接雷击发展到从三维空间全方位侵入影响设备及造成人身安全。因此，对雷电灾害进行全面、科学的风险评估，是现代发展的需要。

雷电灾害风险评估主要研究雷电、雷电致灾环境、雷击承灾体与雷电灾害损失风险之间的关系。雷电灾害风险评估有两个目标：一是通过计算雷电灾害损失率、雷电致灾概率、预计雷击次数来确定不同雷电灾害损失的风险，这是目前雷电灾害风险评估的通用评估方法；二是通过建立雷电灾害的致灾模型，进行层次分析，得到评估对象的雷电灾害等级，该方法适用于较大范围的雷电灾害风险。

本书主要内容来自已有标准与编者近年的科研实践，主要介绍了雷电灾害风险评估的方法与应用实例。引言部分介绍了我国雷电灾害的发生情况和我国雷电灾害的分

布与统计数据。第1章主要介绍气象灾害风险，涵盖风险的基本概念、气象灾害影响评估、雷电灾害风险评估的概要内容。第2章、第3章是建筑物的雷击风险评估方法和评估应用，该部分基于 IEC 62305-2 评估体系，介绍了目前应用广泛的基于建筑物与服务设施的雷电灾害风险评估方法和应用。第4章介绍了区域雷电灾害风险评估的数学方法。第5章介绍了区域雷电灾害风险评估体系，包括评估模型的建立、雷电灾害风险评估体系及危险等级划分等。第6章介绍了雷电灾害风险评估软件设计及应用。第7章、第8章介绍了区域雷电灾害风险评估的具体应用案例。

作者

2019年3月

目 录

引言	1
第 1 章 气象灾害风险	8
1.1 风险基本概念	8
1.1.1 风险的定义	8
1.1.2 风险的构成	9
1.2 气象灾害影响评估	10
1.2.1 气象灾害影响评估概述	10
1.2.2 气象灾害风险评估	11
1.2.3 气象灾害损失评估	16
1.3 雷电灾害风险评估	22
1.3.1 雷电灾害风险评估的发展	22
1.3.2 常用的评估方法	22
1.3.3 区域评估方法	26
第 2 章 建筑物的雷击风险评估方法	29
2.1 基本概念	30
2.1.1 损害成因	30
2.1.2 损害类型	31
2.1.3 损失类型	31
2.1.4 风险和风险分量	32
2.2 风险组成	33
2.3 风险管理	34

第3章 建筑物的雷击风险评估应用	39
3.1 风险评估的体系结构	39
3.2 高层建筑的雷击风险评估	40
3.2.1 项目概况	40
3.2.2 数据采集与分析	40
3.2.3 评估因子参数采集	41
3.2.4 评估因子计算	42
3.2.5 建筑物各雷击风险计算	44
3.2.6 建筑物防雷类别确定	44
3.2.7 接地电阻值估算	45
3.2.8 结论报告	46
3.2.9 综合防雷措施建议	47
3.3 居民区风险评估	47
3.3.1 项目概况	47
3.3.2 数据采集及分析	47
3.3.3 雷击损害风险评估计算	49
3.3.4 评估结论及建议	59
第4章 区域雷电灾害风险评估的数学方法	61
4.1 模糊数学理论的基础知识	61
4.1.1 模糊集合与隶属函数的基本概念	62
4.1.2 隶属函数的确定	62
4.2 层次分析法	65
4.3 模糊综合评价	68
4.3.1 模糊综合评价的术语及定义	68
4.3.2 模糊综合评价的步骤	68
第5章 区域雷电灾害风险评估体系	72
5.1 雷电风险	73
5.2 地域风险	74
5.3 承灾体风险	76
5.4 防御风险	78
5.5 区域雷电灾害风险评估体系危险等级划分	79
5.5.1 目标危险等级划分	80
5.5.2 雷电风险的危险等级划分	80
5.5.3 地域风险的分级标准	82

5.5.4	承灾体风险的分级标准	85
5.5.5	防御风险的分级标准	91
5.6	区域雷电灾害风险评估模型的参数分析	92
5.6.1	评估指标参数的分析	92
5.6.2	评估指标参数的预处理	97
5.7	区域雷电灾害风险评估模型的计算	100
5.7.1	评估指标权重的计算	100
5.7.2	模糊综合评价	101
5.7.3	评估等级划分	104
第6章	雷电灾害风险评估软件设计及应用	105
6.1	评估系统的总体规划	105
6.1.1	评估系统建设的总体任务	105
6.1.2	评估系统运行环境	106
6.2	评估系统的功能体系	106
6.2.1	评估系统的功能需求分析	106
6.2.2	评估系统安装登录	109
6.2.3	评估平台应用	110
6.2.4	项目生成	111
第7章	案例与应用——大型民用建筑工程	118
7.1	项目概况	118
7.2	项目所在地雷电活动规律分析	119
7.2.1	雷暴活动特征分析	119
7.2.2	闪电活动特征分析	120
7.3	数据采集与计算分析	123
7.3.1	地形地貌	123
7.3.2	土壤电阻率勘测与分析	124
7.3.3	地下水水质分析	125
7.3.4	周边环境	125
7.4	确定评估指标的隶属度	125
7.4.1	雷电风险各指标隶属度的确定	125
7.4.2	地域风险各指标隶属度的确定	126
7.4.3	承灾体风险各指标隶属度的确定	128
7.5	三层综合评价	131
7.5.1	第三级指标的综合评价	131
7.5.2	第二级指标的综合评价	135

7.5.3	第一级指标的综合评价	137
7.6	区域雷电灾害风险评估结论	138
7.6.1	风险等级	138
7.6.2	影响因子(第二级)雷电灾害风险评估结论	138
7.6.3	影响因子(第三级)雷电灾害风险评估结论	140
7.6.4	雷电灾害主要风险分析	142
7.6.5	雷电灾害次要风险分析	142
7.6.6	项目防雷设计总体建议	142
第8章	案例与应用——石油化工项目工程	144
8.1	项目概况	144
8.2	区域雷电灾害风险评估对象分析	145
8.3	确定评估指标的隶属度	146
8.3.1	雷电风险各指标隶属度的确定	146
8.3.2	地域风险各指标隶属度的确定	146
8.3.3	承灾体风险各指标隶属度的确定	149
8.4	三层综合评价	152
8.4.1	第三级指标的综合评价	152
8.4.2	第二级指标的综合评价	174
8.4.3	第一级指标的综合评价	187
8.4.4	区域雷电灾害风险小结	191
8.5	区域雷电灾害风险分析	193
8.5.1	罐区区域雷电灾害风险分析	193
8.5.2	办公区域雷电灾害风险分析	196
8.5.3	消防及工艺装置区域雷电灾害风险分析	198
8.5.4	铁路及辅助设备区域雷电灾害风险分析	201
8.5.5	辅助用房区域雷电灾害风险分析	203
8.5.6	码头区域雷电灾害风险分析	205

引 言



雷电是云和云之间或云和地之间发生的剧烈放电过程。在此放电过程中，由于闪电通道温度骤增，使空气体积急剧膨胀，导致放电通道的气压增大，形成等离子通道，产生冲击波，同时出现强烈的闪光和轰鸣声，这就是人们见到和听到的闪电、雷鸣。雷电因强大的电流、炙热的高温、猛烈的冲击波及强烈的电磁辐射等物理效应，能够在瞬间产生巨大的破坏力，导致人员伤亡，损坏建（构）筑物、供配电系统、信息网络设备，引发森林火灾，以及仓储、油库等易燃易爆场所的燃烧甚至爆炸，直接威胁人民的生命和财产安全。

雷电灾害已经被联合国十年减灾委员会列为“最严重的十种自然灾害之一”，其造成的损害仅次于洪涝灾害和干旱灾害，在北半球，每年夏季为雷电高发期。最新统计资料表明，雷电造成的损失已经上升到自然灾害的第三位。全球每年因雷击造成的人员伤亡和财产损失不计其数。

在诸多自然灾害之中，雷电灾害与人类的活动、社会发展程度联系最为密切。随着科学技术的发展和社会的进步，电子与电气设备应用渗透到人类生产和生活的各个领域，导致受到雷电破坏的概率增加，雷电产生的灾害明显上升。总结起来，可以归结为以下几个因素。一是全球气候变化，导致极端天气现象发生频率增加，局地强对流天气就是其中之一。在局地强对流天气发生过程中，常常伴有闪电、大风、冰雹或强降水。因此，全球气候变化为雷电的产生提供了良好的孕育温床，雷电灾害的致灾环境得到加强。二是随着社会的发展与进步，人类的生活方式发生了巨大变化。摩天大楼、电视塔、通信铁塔、电力高压杆塔等高耸建（构）筑物大面积出现，承灾体数量增加，提高了自然接闪概率，致使直接雷击灾害频繁出现。三是电子与电气系统的广泛应用，使得雷电电磁脉冲致灾成为现实。这些系统自身对高电压与强电流的抗扰能力弱，易受到雷电产生的电磁脉冲的破坏与干扰，因此，雷电导致这些系统的损坏也是现代雷电灾害的突出表现。

我国地处东亚季风区，幅员辽阔，自然条件复杂，是世界上自然灾害最严重的国家之一，其中气象灾害占自然灾害的70%以上。从《气象灾害年鉴》的统计情况来看，2004年气象灾害及其衍生灾害导致2457人死亡，其中雷电灾害造成770人死亡，占气象灾害导致人员死亡总数的31%，仅次于暴雨洪涝灾害（滑坡、泥石流）造成的1370人死亡。据不完全统计，我国平均每年因雷电灾害造成的人员伤亡近千人，财产损失达上百亿元。

根据多年来闪电定位网的闪电监测资料数据统计，我国平均每年发生的云地闪的次数

为 1000 万次以上, 说明我国的雷电活动是很频繁的。

但我国的雷电活动具有时段性, 可大致分为三个时段: 每年 1—3 月雷电活动一般, 但会有几次较强的雷电活动, 并伴随较恶劣的天气; 每年 4—9 月为雷电活跃期, 由于此时段正值春、夏季, 强对流天气活跃, 雷暴天气出现频率增加, 因此, 雷电活动频繁, 其中 6—9 月为雷电活动高发期, 各地都应加强防范; 每年 10 月之后, 各地雷电活动相对较弱。

我国国土面积辽阔, 由于各地区地势条件和地理位置的差异, 导致雷电活动分布情况也不均匀。

我国雷电发生频率最高的地区是海南及云南南部, 每年雷暴日在 100 天以上。广东珠江三角洲、四川盆地东部、上海、浙江、江苏南部、安徽南部、江西北部、福建东部沿海地区为云地闪高密度区域。北方地区(如山东、河南、河北、辽宁等)部分区域为雷电高密度区域。此外, 在高原地区(如青藏高原、川西高原)雷电活动也极为频繁。目前的闪电定位系统由于受到高原地区高山与深谷等地形因素的影响, 部分云地闪不易探测, 但统计显示局地某年雷暴出现天气可超过 100 天。在我国西北地区(如新疆、内蒙古、甘肃等), 因气候原因, 雷电日较少, 但经常会出现较多的冰雹天气, 其带来的闪电天气也不可轻视。

从全世界范围雷电发生的频率来看, 据 1995 年 9 月至 1996 年 8 月的观测资料统计, 每年全球约有 12 亿次云地闪, 平均每小时发生 2000 次, 而且约 75% 的云地闪出现在 $30^{\circ} \text{N} \sim 30^{\circ} \text{S}$, 对我国影响较为明显。就整个地球表面而言, 每秒云地闪电就有 30~100 次。而在世界各地, 有时候顷刻之间就有 2000 次左右的闪电, 每次闪电释放出约 $1.98 \times 10^8 \text{J}$ 的能量, 强大的雷电流通过泄流通道引发的电压降容易导致各种破坏性损害。

雷电的危害分为直接雷害和间接雷害。直接雷害主要是指雷电泄流通道因其强电流造成的人畜伤亡, 以及因雷击引起的爆炸、着火等, 此类灾害易导致人员伤亡。间接雷害是指雷电在向大地放电过程中, 强电流脉冲引发的电磁效应、静电感应等形式引起的电磁辐射的危害。根据目前我国 31 个省(直辖市、自治区)上报的 1997—2006 年雷电灾情数据(见表 1), 可得出我国雷电灾害的时空分布及灾情特点(未包括中国港澳台地区雷电灾情数据)。图 1~图 3 给出了 1997—2006 年统计的雷电灾害概况。

表 1 1997—2006 年我国雷电灾情概况

年 份	雷电灾害 事故数(例)	财产损失 雷灾数(例)	人员伤亡 雷灾数(例)	人员死亡 数(人)	人员受伤 数(人)	人员死伤 总数(人)	雷灾直接 损失(万元)	雷灾间接 损失(万元)	雷灾损失总 额(百万元)
1997 年	556	439	117	114	169	313	6133.84	1955.13	20
1998 年	1102	932	170	217	266	483	15669.75	3138	26
1999 年	1467	1268	199	239	212	451	8126.62	737.1	20
2000 年	2099	1733	366	430	345	775	14120.3	701	25
2001 年	1995	1602	393	458	467	925	11314.92	1361.6	19
2002 年	3498	3066	492	549	506	1055	31316.49	1679.34	36
2003 年	4041	3572	442	450	355	805	30023.58	3742.3	54
2004 年	5753	5003	750	770	817	1587	25057.84	3839.5	46
2005 年	5622	4724	598	579	573	1152	24541.21	2788	45
2006 年	6256	5505	730	712	610	1322	38398.23	9598.38	59
总计	32071	27784	4287	4488	4320	8808	204730	29540	350

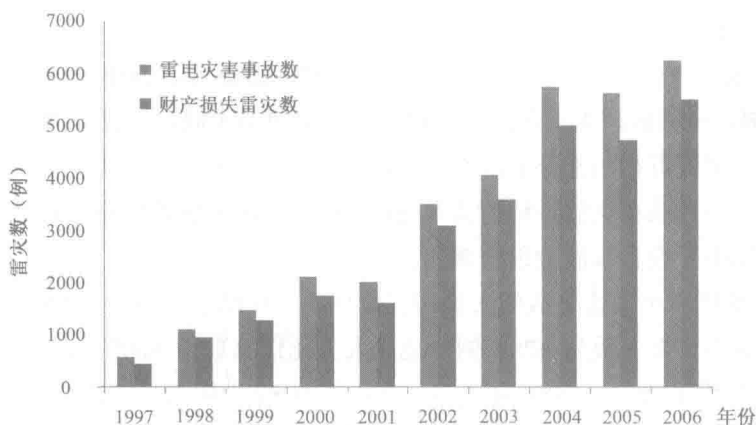


图1 1997—2006年雷电灾害事故数和财产损失雷灾数统计

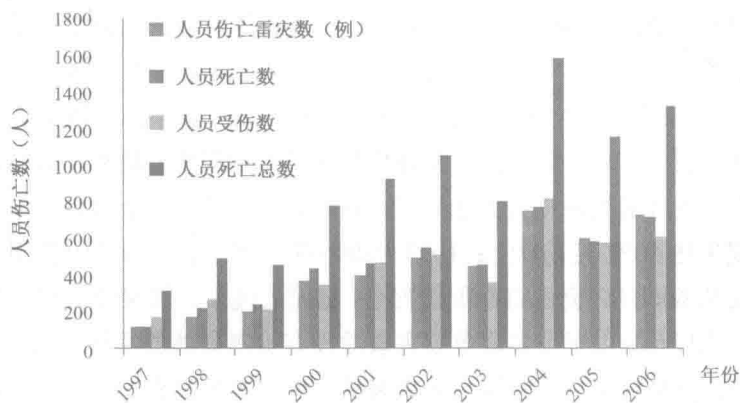


图2 1997—2006年人员伤亡雷灾数和因雷灾导致人员伤亡数统计

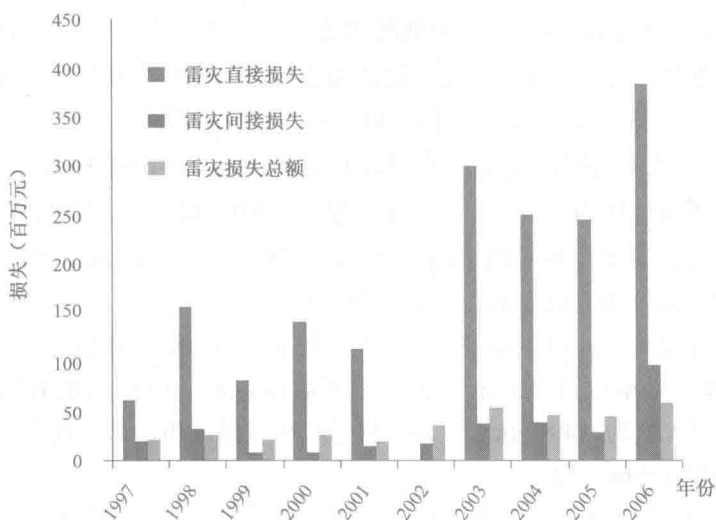


图3 1997—2006年因雷灾造成的损失统计

从表 1 中可以得到以下几点特征。

(1) 10 年来雷电灾害统计数呈上升趋势。1997—2006 年, 雷电灾害上报数从 556 例增加到 6265 例。一方面, 由于各地雷电灾害上报渠道的不同, 以及早期雷电灾害调查统计工作才起步, 可能有相当部分的雷电灾害没有及时上报; 另一方面, 随着办公自动化、信息网络相关电子产品在全国各地的普遍使用, 电子产品及仪器的精密程度不断提高, 间接雷电灾害损坏电子设备事故数也在增加。

(2) 10 年来因雷电灾害造成的人员伤亡数也在不断增加。1997—2006 年, 据不完全统计, 全国人员伤亡雷灾数为 4287 例, 造成人员死伤总数为 8808 人, 其中, 死亡人数 4488 人, 受伤人数 4320 人。2006 年 6 月, 全国就有 82 人因遭受雷击身亡。防雷意识差、农村防雷设施不健全是造成雷击人员伤亡事故的主要原因。2004 年 6 月 26 日, 浙江省临海市杜桥镇村前多人在一块约 100m^2 的闲宅基地上的 5 棵大树下避雨, 不幸惨遭雷击, 造成 17 人死亡、13 人受伤。2006 年 6 月 24 日, 江西省萍乡市芦溪县银河镇天柱岗村, 13 名村民在凉亭下避雨时遭到雷击, 导致 2 人死亡、6 人重伤、3 人轻伤。

(3) 10 年来雷灾带来的严重经济损失不断增加。表 1 给出的经济损失超过百万元的雷灾事故数每年都有几十例。随着经济和现代科学技术的发展, 精密仪器和设备经济价值更高, 雷电灾害造成的经济损失更加严重。据有关资料统计, 全世界每年因雷电灾害造成的直接经济损失达 50 亿美元以上; 1997—2006 年, 据不完全统计, 我国雷电灾害造成的直接经济损失从 6000 多万元人民币上升到 4 亿元人民币, 间接经济损失从千万元人民币上升到近亿元人民币。由于很多雷电灾害事故没有给出具体的经济损失, 同时因雷击造成的通信、电力、信息网络、交通等中断带来的间接损失也没有计算, 所以, 雷电灾害的实际经济损失要远大于表 1 统计的数值。

雷暴是一种中、小尺度天气过程, 伴随着强烈的雷电活动, 雷暴天气的活动规律在一定程度上反映了雷电的活动规律, 气象观测站某一天听到雷声, 则记录当地一个雷暴日。根据 GB 50343-2012 中 3.1.2 节的定义, 地区雷暴日可以根据雷暴日依次递增分为少雷区 (<25 天)、多雷区 ($25\sim 40$ 天)、高雷区 ($40\sim 90$ 天) 及强雷区 (>90 天)。根据全国 (不含中国台湾地区) 53 年平均雷暴日分布可以知道, 我国云南南部为强雷区, 平均年雷暴日超过 100 天; 华南地区为高雷区, 平均年雷暴日为 $80\sim 120$ 天; 青藏高原北缘和东缘由于地形的抬升作用, 雷暴日相对高于同纬度其他地区, 一般可达 $50\sim 80$ 天, 为多雷区; 而少雷区在戈壁、沙漠地带或盆地, 一般低于 20 天。

总闪电密度定义如下: 每年每平方千米发生的总闪电次数。该值能够较精确地反映全年雷电活动的多少, 单位是 $\text{fl}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。观测数据表明, 中国陆地的闪电密度平均为 $4.2\text{fl}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 极大值为 $34.8\text{fl}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 位于广东省湛江市; 其次是广东省广州市, 闪电密度平均为 $30.4\text{fl}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

据统计, 华南、云贵及川渝地区是中国闪电密度高值区 ($>15\text{fl}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$), 尤其是广东和海南; 华北、江淮、江南、东北、内蒙古, 以及西北地区中部和东部是闪电密度次高

值区 ($6\sim 15\text{fl}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$); 西北地区西部是闪电密度最低值区 ($< 1\text{fl}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$); 西藏地区则为闪电密度的次低值区 ($1\sim 6\text{fl}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)。雷暴日分布图和卫星观测闪电密度分布图(图略)反映的我国雷暴活动的地理分布基本一致,除了西藏地区。西藏地区总闪电密度不高但平均年雷暴日较高,这可能是因为高原地区的雷暴活动大多是时间较短的局地对流过程,被卫星观测到的概率较低。根据中国气象局国家雷电监测网统计,2007年我国雷电密度分布图也清楚地显示了雷电发生的密度分布情况,华南、华东部分地区闪电密度超过 $25\text{fl}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,西部大部分地区基本未监测到雷电发生,区域闪电密度为 $0.5\sim 5\text{fl}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

自然界中由雷电造成的损害可分为两类:直接雷击灾害和雷电感应灾害。

直接雷击灾害是指雷电直接击中人体、建(构)筑物、设备、树木或空旷地方等,并造成直接损害,是雷雨云对地强烈放电的现象。直接雷击的破坏作用在于其强大的电流和高电压,雷电击中人体、建(构)筑物、设备或树木时,强大的雷电流转变成热能,雷电流高温热能灼伤人体,引起建(构)筑物燃烧、设备部件损坏、树木燃烧等。直接雷击也会引起地电位上升而波及附近的电子设备,对设备产生反击而造成损害。例如,当 10kA 的雷电流通过导体入地时,假设接地电阻为 1Ω ,考虑到接地导体的感性负载,根据欧姆定律,当入地点处电压为 10kV 以上时,将足以使设备损坏。

雷电感应灾害与直接雷击灾害破坏的对象不同。直接雷击主要击坏放电通路上的建(构)筑物、输电线及人体等;雷电感应主要破坏电子设备,如电视、信息计算中心、监测系统,轻则造成电子设备的损害,重则造成整个通信中断、系统瘫痪。例如,2005年7月2日15时左右,玉林市博白县亚山镇一位农家妇女在瓦房内使用固定电话,突然被雷击中而身亡。据当地气象部门分析,当时该县大部分地区出现了强对流天气,局部地区出现了强雷暴降水天气,而亚山镇正是强雷暴区。击中这位农家妇女的,正是固定电话线路引来的雷电侵入波造成的过电压。

以下是几个雷击灾害的实例。

1989年8月12日9时55分,中国石油总公司管道局山东省胜利输油公司黄岛油库 $2.3\times 10^4\text{m}^3$ 原油储量的5号混凝土油罐突然爆炸起火,失控的外溢原油像火山喷发出的岩浆,在地面上四处流淌。火海席卷着整个生产区,沿着新港公路向位于低处的黄岛油库烧去,大火共燃烧了104小时,如图4所示。部分外溢原油沿着地面管沟、低洼路面流入胶州湾,大约600吨原油在胶州湾海面形成了几条几十千米长、几百米宽的污染带,造成了胶州湾有史以来最严重的海洋污染。

这次特大火灾爆炸事故造成19人死亡、100多人受伤,直接经济损失达3540万元人民币。经调查,起火原因是非金属油罐的固有缺陷,如油面暴露面积大、油气易泄漏、钢筋混凝土罐体对雷电效应屏蔽能力差、存在多处引发雷电火花隐患等,而造成黄岛油库此次特大火灾爆炸事故的直接原因极有可能是非金属油罐遭受对地雷击,产生的感应火花引爆油气。

雷电也是造成航空、航天事故的重要因素。自从人类开展航天活动以来,已发生过多次雷击航天器的事故。据韩国媒体报道,2006年6月9日17时45分左右,韩国“亚洲航空公司”一架载有200多名乘客的空中客车321航班在韩国金浦机场准备降落时,在距

离地面 300m 的地方突然遭到雷电。闪电击坏了飞机的天线罩，雷达系统随即失效，装有雷达的机头被打落，如图 5 所示。更糟糕的是冰雹击碎了驾驶舱的前窗，严重影响了机长的视线。事故发生后，飞机开始大幅度摇摆，机长向机场管制塔发出紧急着陆请求，因为挡风玻璃被击碎，机长及副驾驶的视线几乎完全模糊，但在机场管制塔的紧密配合下，两人开始尝试人工降落，第一次尝试着陆失败，两人再次拉升飞机，最终在 18 时 14 分安全降落，仅比预定着陆时间晚了 15 分钟。飞机上除一些乘客出现呕吐外，无人受伤。据机长事后介绍，冰雹击落了机鼻，击碎了驾驶舱前的挡风玻璃，他们不得不在几乎看不到前方的情况下人工着陆。

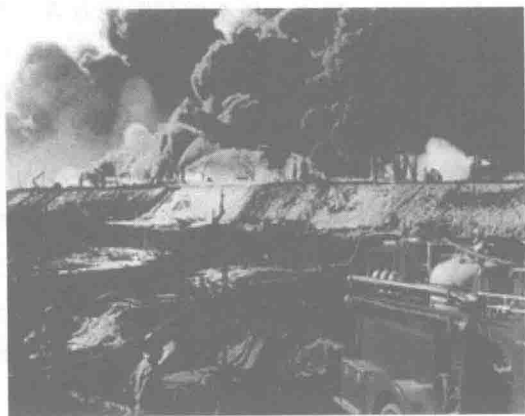


图 4 黄岛油库遭受雷击发生爆炸



图 5 韩国客机被雷电击坏的机头

2007 年 5 月 23 日下午，一场大范围的雷暴天气袭击了开县。当日 16 时 30 分左右，重庆市开县义和镇兴业村小学突然遭受雷击，正在上课的两个班级的 51 名学生被雷电击中，7 人当场身亡，44 人不同程度受伤。此次雷击事故中，死亡学生全部靠近窗户，身上都有大面积的灼烧伤痕。有的胸口、腿部有雷电灼伤痕迹，有的头发被烧焦。受伤学生有腿软、脚麻、胸闷、心跳过速等现象。

雷击事件发生后的第二天，中国气象局召开紧急会议，派出工作队赶赴开县指导防雷减灾工作。重庆市委、市政府也在事故发生后第一时间启动应急预案，开县成立了“5·23 雷击事故应急处置指挥部”，重庆市气象局专家也赶赴现场勘测。事故主要原因已基本查明：兴业村小学是远离城镇的一个山区小学，校舍是由三座平房构成的“四合院”，房屋属于砖瓦结构，教室楼顶没有安装避雷设施，如图 6 所示。2007 年 5 月 23 日 16:00—16:30，义和镇兴业村小学教室多次遭受雷电闪击，并伴有球形雷的发生，当雷电直接击中教室金属窗时，由于该金属窗未做接地处理，雷电流无处泄放，靠近窗户的学生就成了雷电流泄放入地的通道，雷电流的热效应和机械效应导致学生出现伤亡。专家还发现，兴业村本来就处于雷电多发区，而兴业村小学位于一个山包上，位置突出，周围又有水田和水塘，教室前面还种了大树，种种因素都增加了雷击事故发生的概率。



图6 兴业村小学遭受雷击

2011年11月5日11时20分左右,贵州省铜仁梵净山风景名胜区金顶发生雷击事件,造成正在景区的34名游客和工作人员受伤,其中19人重伤。据相关部门专家介绍,梵净山金顶一带海拔达2400多米,加上梵净山金顶山体孤立、高大,非常接近云层,如图7所示,一旦遇到强对流天气,梵净山金顶一带极易产生雷暴。根据贵州省防雷中心雷电监测网监测到的数据,2011年11月5日当天,梵净山共发生雷电闪击10次,最大闪电强度为259kA,受冷空气和暖湿气流的共同影响,铜仁市冷暖气流交汇,导致梵净山局部产生强对流天气,发生罕见球状闪电,导致雷击事件发生。

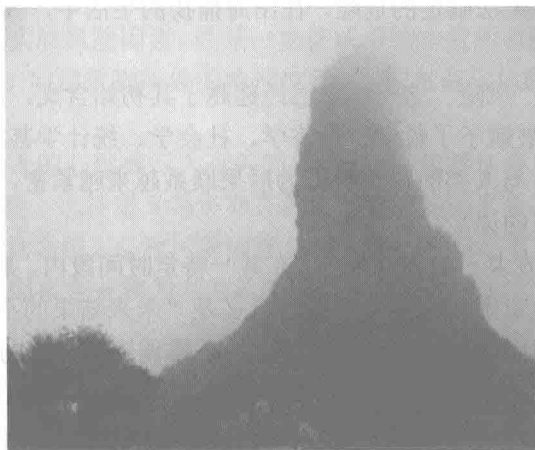


图7 梵净山风景名胜区遭受雷击

雷电灾害给社会和人民造成了严重的损失。如何面对气象灾害特别是雷电灾害风险,是一个现实的问题。本书将从气象灾害的风险防控开始引述,重点对雷电灾害的风险管理与评估方法进行阐述,并通过应用软件平台和个例分析来体现雷电灾害风险评估理论与方法。

1.1 风险基本概念

1.1.1 风险的定义

“风险”一词由来已久。一种说法是，在远古时期，以捕捞为生的渔民们，每次出海前都要祈祷，祈求神灵保佑自己能够平安归来，其中主要的祈祷内容就是让神灵保佑自己在出海时能够风平浪静、满载而归。渔民们在长期的捕捞实践中，深深地体会到“风”给他们带来的无法预测、无法确定的危险，在出海捕捞的生活中，“风”即意味着“险”，因此有了“风险”一词。

随着社会的发展，“风险”这一概念已经超越了其初始含义，演变成“遇到破坏或损失的机会或危险”，并被赋予了哲学、经济学、社会学、统计学甚至文化艺术领域的更广泛、更深层次的意义，与人类的决策和行为后果联系越来越紧密，“风险”一词已成为人们生活中出现频率很高的词汇。

风险可被定义为：在某一特定环境下，在某一特定时间段内，某种损失发生的可能性。风险是潜在损失的变化范围与幅度，其核心含义是“未来结果的不确定性或损失”，可分为两个层次理解，一是强调风险的不确定性，二是强调风险带来的损害。

一般情况下，用概率来衡量风险的不确定性，用风险程度来衡量风险带来的损害。

风险是客观存在的，用 R 代表风险，风险 R 是不利事件的发生概率 P 和不利事件的损害程度 C 的函数：

$$R=f(P,C) \quad (1.1)$$

风险的存在与客观环境、某一特定的时空条件、人们期望达到的目标有关。当这些条件发生变化时，风险可能也会发生变化。

通常来说，风险是伴随着人类的生存、生产和生活而出现的，如果没有人类的活动，也就不存在所谓的风险。