



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 38121—2023/IEC 62793:2020

代替 GB/T 38121—2019

## 雷电防护 雷暴预警系统

Protection against lightning—Thunderstorm warning systems

(IEC 62793:2020, Thunderstorm warning systems—  
Protection against lightning, IDT)

2023-05-23 发布

2023-12-01 实施



国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	I
引言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语、定义和缩略语 .....	2
4 雷暴阶段以及用于警报的可探测现象 .....	5
5 雷暴探测仪及其性能说明 .....	6
6 警报方法 .....	7
7 安装 .....	10
8 维护 .....	10
9 性能评估 .....	11
10 雷暴预警系统的应用 .....	12
附录 A (资料性) 雷电现象概述 .....	13
附录 B (资料性) 雷暴探测技术 .....	16
附录 C (资料性) 推荐的预防措施 .....	18
附录 D (资料性) 雷暴预警系统评估示例 .....	19
附录 E (规范性) 雷暴探测仪测试方法 .....	23
附录 F (资料性) 应用指南 .....	28
参考文献 .....	33

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 38121—2019《雷电防护 雷暴预警系统》，与 GB/T 38121—2019 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了标准的范围(见第 1 章,2019 年版的第 1 章)；
  - b) 删除了术语“驻留时间”“大气电场仪”“闪电”“雷击”“物理损害”“雷击点”“雷暴”及对应的缩略语(见 2019 年版的第 3 章)；
  - c) 增加了术语“静电场探测仪”“有效警报率”“雷电相关条件”“预警率”“无效警报”“警报总数”及对应的缩略语(见第 3 章)；
  - d) 删除了缩略语“EMI”“OI”“RFI”“RFM”“RF”(见 2019 年版的第 3 章)；
  - e) 将“雷暴探测仪分类及其性能”更改为“雷暴探测仪及其性能说明”，删除了雷暴探测仪分类，增加了雷暴探测仪技术参数(见第 5 章,2019 年版的第 5 章)；
  - f) 更改了“一次警报示例”(见图 3,2019 年版的图 3)；
  - g) 将“预警评估”更改为“性能评估”，该章节内容进行了更改(见第 9 章,2019 年版的第 8 章)；
  - h) 附录“雷暴探测仪测试方法”作用由“资料性”更改为“规范性”(见附录 E,2019 年版的附录 F)；
- 本文件等同采用 IEC 62793:2020《雷暴预警系统 雷电防护》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 为与现有标准协调，将标准名称改为《雷电防护 雷暴预警系统》；
- 为了便于理解，在 3.1.12 的定义中增加了注；
- 为了符合我国使用习惯，将表 1 中“×”更改为“√”；
- 图 3b)中监测区域(MA)和周边区域(SA)所示区域与图例不一致，进行了更正；
- 将附录 D 中虚报率、有效警报率计算公式中的分母由 20 更正为 18。根据公式(2)、公式(3)及警报总数(TNA)定义，TNA 为虚报、有效警报、无效警报的数量总和，而表 D.2 中序号 12 和序号 19 中的个例未发出警报，不应算到 TNA 中，故 TNA 应为 18。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国雷电防护标准化技术委员会(SAC/TC 258)提出并归口。

本文件起草单位：重庆市防雷中心、国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所、四川中光防雷科技股份有限公司、广东电网有限责任公司电力科学研究院、上海电力大学、南京元钛智能科技有限公司、中国标准化协会、东华工程科技股份有限公司、广西壮族自治区防雷中心、国网福建省电力有限公司电力科学研究院、重庆莱霆防雷技术有限责任公司、中山市新立防雷科技有限公司、北京建筑材料检验研究院股份有限公司、上海市岩土工程检测中心有限公司、深圳科安达电子科技股份有限公司、上海晨辉科技股份有限公司、中科天际科技股份有限公司、泰兴市威特新材料科技有限公司、合肥佳讯科技有限公司、广东高尔德集团有限公司、广东立信防雷科技有限公司、山东天科防雷工程有限公司。

本文件主要起草人：许伟、任照环、谷山强、程浩、姚喜梅、丁海芳、肖桐、袁月、何静、杨国华、彭向阳、边晓燕、朱宣竹、盛巍巍、吴大伟、植耀玲、方超颖、张建培、曾宇、王肖虹、郭凌宇、张帆、李雄、高攀亮、易小萍、周红伟、张松、杨川林、何锡华、孙冠群。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

**GB/T 38121—2023/IEC 62793:2020**

——2019年首次发布为38121—2019；

——本次为第一次修订。

## 引 言

自然界中的雷电活动,特别是地闪,对人类的生命和财产构成了极大威胁。因雷击直接或间接导致的人员伤亡事件每年都有发生。

雷电会产生如下影响:

- 可影响大规模的体育、文化和政治活动,如有必要时需暂停活动和疏散人员;
- 可影响工业活动,如因雷击断电而导致生产流程意外中断;
- 可中断各类运输,如人们的日常出行,以及能源与信息的传输等;
- 可随着工业、运输和通信行业对雷电敏感型电子元件的广泛使用,导致雷击事故数逐年攀升;
- 可对存在环境风险的作业构成威胁,例如敏感、易燃、易爆或化学物品的作业;
- 可引发火灾。

在过去的几十年里,包括专门用于实时监测自然大气电活动和雷电的系统在内的相关技术系统经历了非凡的发展。这些系统实时提供雷暴发生的高质量和有价值的信息,如果与详细的行动计划相协调,可实现更有价值的应用。

尽管这些信息允许用户采取预期的临时预防措施,但需要注意的是,系统用户需要按照相关规则事先制订基于监测信息所采取的一切措施。措施的有效性在很大程度上取决于所涉及的风险和拟采取的措施。本文件给出了可能采取的措施(见附录 C)。

与许多自然现象一样,雷电和雷暴具有统计学上的不确定性。虽然不能获得单独一次雷击发生的时间和地点的精确信息,但是本文件确定的统计参数可以帮助用户选择适当的防护措施。



# 雷电防护 雷暴预警系统

## 1 范围

本文件描述了雷暴预警系统的特征,以便采取措施预防雷电危害。

雷暴探测仪和/或由其组成的探测网(如雷电定位系统)均能用作雷暴预警系统。

本文件规定了用于准确采集雷电相关参数、实时提供雷电活动信息的探测仪及探测网的基本要求。

本文件以预警和历史数据的形式描述了上述探测仪及探测网所采集数据的应用。

本文件包括:

- 关于雷暴预警系统可采用技术的总体描述;
- 警报方法指南;
- 可能的预防措施的资料性示例。

本文件不适用于以下情况:

- a) 雷电防护装置,IEC 62305(所有部分)<sup>[1]</sup>规定的该类装置;
- b) 雨、冰雹、风等伴随雷暴的相关现象;
- c) 基于卫星和雷达的雷暴探测技术;
- d) 便携式设备(传感器位置不固定的装置)。

注:由于校准和测试的原因,便携式设备可能不足以提供有效的预警。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

IEC 60068-2-75:2014 环境试验 第 2-75 部分:试验方法 试验 Eh:锤击试验(Environmental testing—Part 2-75: Tests—Test Eh: hammer tests)

注:GB/T 2423.55—2006 电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Eh:锤击试验(IEC 60068-2-75:1997,IDT)

IEC 60529 外壳防护等级(IP 代码)[Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)]

注:GB/T 4208—2017 外壳防护等级(IP 代码)(IEC 60529:2013,IDT)

IEC 61000-6-4 电磁兼容性(EMC) 第 6-4 部分:通用标准工业环境中的发射[Electromagnetic compatibility(EMC)—Part 6-4: Generic standards-Emission standard for industrial environments]

注:GB 17799.4—2022 电磁兼容 通用标准 第 4 部分:工业环境中的发射(IEC 61000-6-4:2018,IDT)

IEC 61180 低压设备的高压试验技术定义、试验和程序要求、试验设备[High-voltage test techniques for low-voltage equipment—Definitions, test and procedure requirements, test equipment]

注:GB/T 17627—2019 低压电气设备的高电压试验技术定义、试验和程序要求、试验设备(IEC 61180:2016,MOD)

IEC 62561-1 雷电防护系统部件(LPSC) 第 1 部分:连接件的要求[Lightning protection system components(LPSC)—Part 1: Requirements for connection components]

注:GB/T 33588.1—2020 雷电防护系统部件(LPSC) 第 1 部分:连接件的要求(IEC 62561-1:2017,IDT)

IEC 62561-4 雷电防护系统部件(LPSC) 第 4 部分:导体的紧固件要求[Lightning protection

system components(LPSC)—Part 4:Requirements for conductor fasteners]

注: GB/T 33588.4—2020 雷电防护系统部件(LPSC) 第4部分:导体的紧固件要求(IEC 62561-4:2017,IDT)

### 3 术语、定义和缩略语

#### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 在以下网址持续更新术语用于标准化的数据库:

IEC: <http://www.electropedia.org/>

ISO 在线浏览平台: <https://www.iso.org/obp>

##### 3.1.1

**警报 alarm**

表明给定区域可能遭受雷暴和与之相伴的雷电相关事件(LREs)影响的信息。

##### 3.1.2

**地闪 cloud-to-ground lightning; CG**

云地间的大气放电现象,由一个或者多个雷击组成。

##### 3.1.3

**覆盖区域 coverage area; CA**

给定的预警设备能够以足够高探测效率(DE)和/或精度提供预警的地理区域。

##### 3.1.4

**探测效率 detection efficiency; DE**

被雷暴探测仪或探测网探测到的闪电放电占实际发生闪电放电的百分比。

##### 3.1.5

**有效警报 effective alarm; EA**

在警报期(TAD)内周边区域(SA)有雷电相关事件(LRE)发生的警报。

注:只有监测到雷电相关事件(LREs)才能认定为有效警报。若未监测到雷电相关事件(LREs),雷电相关条件(LRC)可界定警报的有效性,见图3 a)。

##### 3.1.6

**有效警报率 effective alarm ratio; EAR**

有效警报(EA)数与警报总数(TNA)的比率。

##### 3.1.7

**警报续留时间 time to clear; TTC**

监测区域(MA)最后一次雷电相关事件(LRE)发生与警报解除之间的时间间隔。

##### 3.1.8

**漏报 failure to warn; FTW**

周边区域(SA)发生了雷电相关事件(LRE),但并未发出警报。

##### 3.1.9

**漏报率 failure to warn ratio; FTWR**

漏报次数和影响周边区域(SA)雷电相关事件(LREs)总数的比率。

##### 3.1.10

**虚报 false alarm; FA**

系统发出警报,但监测区域(MA)并未发生雷电活动。



示例：因雷暴预警系统设备故障导致的，或由非雷电信号（如大雪、沙尘、电磁干扰等）触发的警报。

## 3.1.11

**虚报率 false alarm ratio; FAR**

虚报数占警报总数(TNA)的比率。

## 3.1.12

**静电场探测仪 electrostatic field sensor; EFS**

通过传感器以持续监测与雷暴有关的大气静电场的仪器。

示例：场磨式大气电场仪。

注：又称大气电场仪、大气场强仪或静电场传感器。

## 3.1.13

**云闪 intra-cloud lightning; IC**

发生在雷暴云内、云间或雷暴云与大气之间的放电现象。

## 3.1.14

**提前时间 lead time; LT**

从警报开始到周边区域(SA)首次雷电相关事件(LRE)发生的时间间隔。

注1：任何有效预防措施都宜在提前时间结束前完成。

注2：在监测到雷电相关事件(LREs)时才能给出提前时间。未监测到雷电相关事件(LREs)时，雷电相关条件(LRC)可定义一个估算的提前时间，见图3 a)。

## 3.1.15

**雷电相关事件 lightning related event; LRE**

周边区域(SA)内发生一次或多次地闪(CG)的事件。

## 3.1.16

**雷电相关条件 lightning related conditions; LRC**

静电场达到足够高的水平，以致周边区域(SA)随时可能发生雷击。

## 3.1.17

**中值定位精度 median location accuracy**

实际雷击位置与雷电定位系统确定的雷击位置之间距离的中值。

## 3.1.18

**监测区域 monitoring area; MA**

为了对周边区域(SA)进行有效预警而选取的，可以监测到闪电或即将发生的闪电(闪电预计可以在任何时间发生)活动的地理区域。

注：监测区域(MA)小于或等于覆盖区域(CA)。

## 3.1.19

**预防措施 preventive action**

根据预警信息并基于应急预案而采取的、宜在提前时间结束之前实施的临时性防护措施。

## 3.1.20

**周边区域 surrounding area; SA**

环绕并包围目标(TA)，且存在因雷电相关事件(LRE)引发潜在危险的地理区域。

注：任何在周边区域(SA)发生的雷电相关事件(LRE)均对目标(TA)有潜在危险。当评估一个雷暴预警系统时，该区域用于确定漏报率(FTWR)和其他性能参数。

## 3.1.21

**目标 target; TA**

需要进行雷暴预警的物体或地理区域。

3.1.22

**雷暴探测仪 thunderstorm detector**

能评价与雷暴活动电特性相关的一个或多个参数的设备。

注 1: 雷暴探测仪可由单个或多个组网的静电场探测仪、雷电定位子站组成。

注 2: 从定义上看, 仅在第一次雷击发生时才确认雷暴的存在。

3.1.23

**雷暴预警系统 thunderstorm warning system; TWS**

含有雷暴探测仪的系统, 该系统能监测到监测区域(MA)的雷电活动, 并能通过处理所得数据对特定周边区域(SA)发出与雷电相关事件(LREs)或雷电相关条件(LRC)有关的有效雷电警报(预警)。

注: 又称雷电预警系统。

3.1.24

**警报期 total alarm duration; TAD**

从警报开始到结束的时间。

3.1.25

**预警率 probability of detection; POD**

有效警报数(EAs)与影响周边区域(SA)的雷电相关事件(LREs)总数之比。

注:  $POD=1-FTWR$ 。

3.1.26

**提前  $x$  分钟的预警率 probability of detection with a lead time of  $x$  min;  $POD_x$**

提前时间(LT)大于或等于  $x$  分钟发出的有效警报数(EAs)与影响周边区域(SA)的雷电相关事件(LREs)总数之比。

注:  $POD_{10}$  指提前时间大于或等于 10 min 发出警报的百分比。

3.1.27

**无效警报 non-effective alarm; NEA**

在警报期(TAD)内周边区域(SA)没有雷电相关事件(LRE)发生的警报。

注: 只有监测到雷电相关事件(LREs)才能认定为有效警报。若未监测到雷电相关事件(LREs), 雷电相关条件(LRCs)可界定警报的有效性, 见图 3 a)。

3.1.28

**警报总数 total number of alarms; TNA**

包含虚报、有效警报、无效警报的数量总和。

注:  $TNA=EA+FA+NEA$ 。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CA: 覆盖区域(coverage area)

CG: 地闪(cloud-to-ground lightning)

DC: 直流(direct current)

DE: 探测效率(detection efficiency)

EA: 有效警报(effective alarm)

EAR: 有效警报率(effective alarm ratio)

EFS: 静电场探测仪(electrostatic field sensor)

EMC: 电磁兼容(electromagnetic compatibility)

FA:虚报(false alarm)  
 FAR:虚报率(false alarm ratio)  
 FTW:漏报(failure to warn)  
 FTWR:漏报率(failure to warn ratio)  
 HV:高压(high voltage)  
 IC:云闪(intra-cloud lightning)  
 IP:外壳防护等级(index of protection)  
 LA:定位精度(location accuracy)  
 LF:低频(low frequency)  
 LLS:雷电定位系统(lightning location system)  
 LPS:雷电防护装置(lightning protection system)  
 LT:提前时间(lead time)  
 LRC:雷电相关条件(lightning related conditions)  
 LRE:雷电相关事件(lightning related event)  
 MA:监测区域(monitored area)  
 MCS:中尺度对流系统(mesoscale convective systems)  
 MDF:磁定向法(magnetic direction finder)  
 NEA:无效警报(non-effective alarm)  
 POD:预警率(probability of detection)  
 POD<sub>x</sub>:提前  $x$  分钟的预警率(probability of detection with a lead time of  $x$  min)  
 SA:周边区域(surrounding area)  
 TA:目标(target)  
 TAD:警报期(total alarm duration)  
 TNA:警报总数(total number of alarms)  
 TOA:到达时间(time of arrival)  
 TTC:警报续留时间(time to clear)  
 TWS:雷暴预警系统(thunderstorm warning system)  
 UV:紫外线(ultraviolet)  
 VHF:甚高频(very high frequency)  
 VLF:甚低频(very low frequency)

#### 4 雷暴阶段以及用于警报的可探测现象

雷暴生命周期可根据探测到的现象(见附录 A)划分为 4 个阶段:

——阶段 1:初始阶段

本阶段在云内发生电荷分离,正负电荷分布在云内不同区域,并产生一个在地面上可测量的静电场。静电场或静电场变化被认为是一次雷暴产生的第一个可探测的现象。

注 1:静电场能产生潜在的危险,甚至在没有雷电活动的情况下也能发生静电感应。

——阶段 2:发展阶段

本阶段的特征是发生首次云闪或地闪。在云内电荷区域发展到一定程度后,出现首次云闪。在某些情况下,首次云闪与首次地闪之间并无明显时间差。

注 2:雷暴产生的大部分雷电活动是云闪。不同雷暴过程中云闪/地闪比例的变化较大。

——阶段 3:成熟阶段

本阶段的特征是地闪和云闪均有发生。

——阶段 4:消散阶段

本阶段的特征是云闪和地闪发生率均开始衰减,且大气静电场降低至晴天时的水平。

### 5 雷暴探测仪及其性能说明

探测雷暴有多种方法,可通过下列方式实现:

- a) 本地探测仪(如场磨式大气电场仪等静电场探测仪);
- b) 探测网(如由多个本地探测仪联网组成);
- c) 雷电定位系统(见 IEC 62858<sup>[2]</sup>)。

表 1 给出了与雷暴探测仪技术相关的主要参数。

表 1 雷暴探测仪技术参数

参数	静电场探测仪 (本地探测仪或探测网)	电磁场探测仪 (本地探测仪)	雷电定位系统
地闪(CG)		√*	√
有效警报(EA)	√	√	√
无效警报(NEA)	√	√	√
有效警报率(EAR)	√	√	√
漏报(FTW)	√	√	√
漏报率(FTWR)	√	√	√
云闪(IC)		√*	√
定位精度(LA)			√
提前时间(LT)	√	√	√
雷电相关条件(LRC)	√		
雷电相关事件(LRE)	√	√	√
预警率(POD)	√	√	√
提前 $x$ 分钟的预警率 ( $POD_x$ )	√	√	√
警报期(TAD)	√	√	√
警报续留时间(TTC)	√	√	√
* 该探测仪可能无法区分地闪与云闪。			

本地探测仪可以探测到附近的雷暴。通过探测静电场,本地探测仪可以在周边区域出现首个云闪/地闪之前发出预警。探测网可提供与本地探测仪相同的预警信息,而且信息覆盖的区域更大。雷电定位系统发出局地预警是基于大面积的、性能一致的全域监测信息,由于具备雷电定位功能和雷暴跟踪

功能,可在雷暴接近目标时以更长的提前时间发出预警。

本地探测仪能够测量当地电磁场或静电场状况,其特征见表 2。

根据其性能,雷电定位系统能够提供雷暴的距离、方向以及每次闪电的位置(见 IEC 62858)。

表 2 本地探测仪特征

类型	探测到的主要参数	雷暴阶段(见第 4 章)	探测范围	优势	劣势	维护
电磁场探测仪	电磁场	2,3,4	数十千米	范围大	探测率与准确性低; 首个地闪击中周边区域时不能提前探测	据制造商说明书表明无需特殊维护
静电场探测仪	静电场	1,2,3,4	≤20 km	能监测到靠近周边区域以及在周边区域形成的雷暴	范围小; 无闪电位置信息	如果没有松动的部件,则无需进行特殊维护; 如果存在因损坏和阻塞造成的松动部件时,则可能需要更换; 上述两种情况参考制造商说明书

## 6 警报方法

### 6.1 一般规定

为了让用户采取所有可能的预防措施,雷暴预警系统应对受到雷电相关事件(LRE)威胁的目标提供警报。警报的产生来自对雷电活动(地闪、云闪,或监测区域内静电场,或它们的组合)的监测,还可结合其他气象观测手段,例如气象雷达等。

警报的建立包括三个步骤:

- 区域定义;
- 警报触发与解除;
- 警报信息发布。

以上三个步骤宜进行记录。6.2~6.4 给出了建立警报的准则。

### 6.2 区域定义

#### 6.2.1 目标(TA)

对目标的精确描述宜包含需要预警的实际范围。目标可以:

- 限制在单一地点,例如有工人作业的塔、规模有限的工厂等,见图 1 a);
- 扩展到较大的区域,例如大型建筑、风电场、高尔夫球场等,见图 1 b);
- 考虑与之相连的服务设施,例如电力线路、通信线路、金属管道等,见图 1 c)。

注:对于与电力线路相连建筑物中的过电压敏感系统,根据 IEC 62305-2 规定,通常将需要考虑的线路部分限定在距离建筑物 1 km 范围内。

#### 6.2.2 周边区域(SA)

周边区域是紧邻目标的区域(见图 1),其间 LRE 或 LRC 的出现表明目标遭受雷击风险较高。

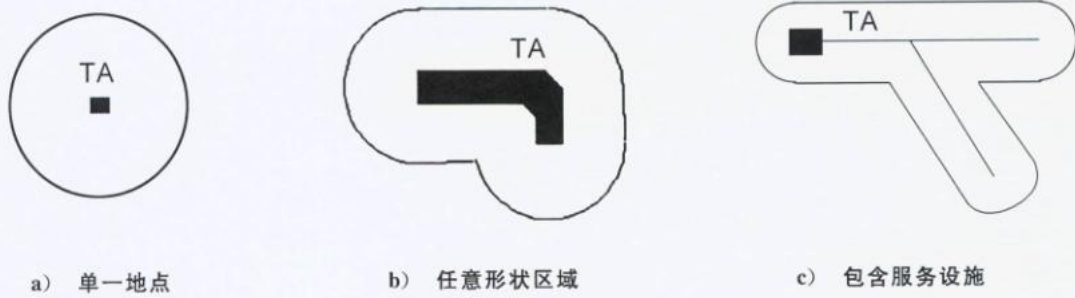


图 1 不同类型的目标及周边区域示例

### 6.2.3 监测区域(MA)

监测区域是指雷电临近或发生时需触发警报的区域。监测区域的大小及形状宜根据用户需求(如提前时间、有效警报率等)进行调整。使用本地探测仪一般无法调整监测区域。

### 6.2.4 覆盖区域(CA)

一旦确定了监测区域,宜划定一个包含监测区域的覆盖区域。对于本地探测仪,通常覆盖区域等于监测区域。

当覆盖区域远大于监测区域时,实时数据可提供补充信息(如雷暴单体追踪等)。

覆盖区域、监测区域、周边区域及目标的分布示例见图 2。

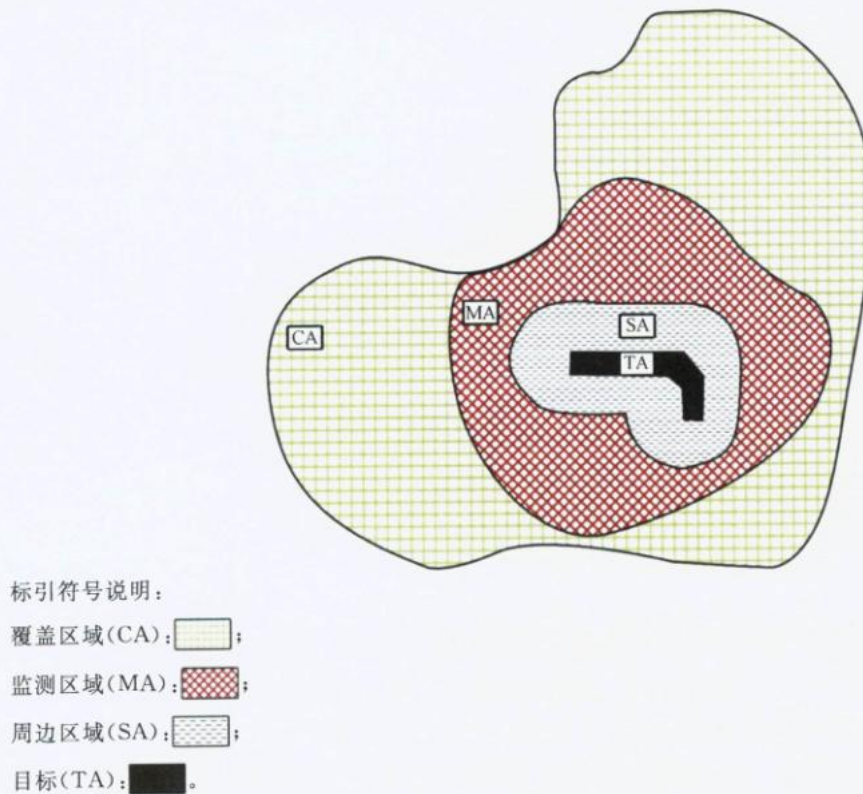


图 2 覆盖区域、监测区域、周边区域和目标分布示例

## 6.3 警报触发与解除

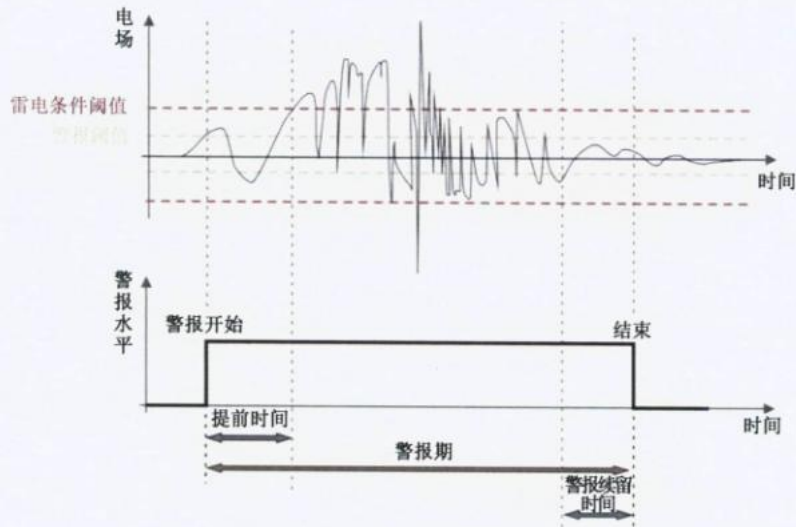
一般情况下,一旦在监测区域内探测到雷电或雷电条件,就会触发警报。



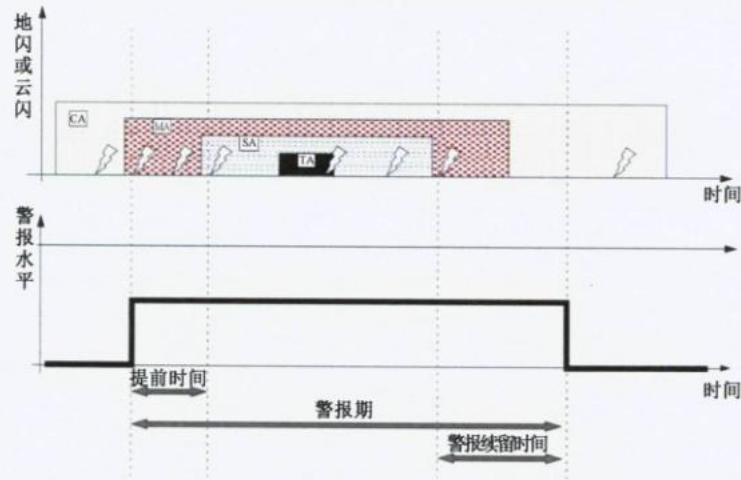
注：将监测区域一分为二并分别关联到两个不同程序，有利于某些场景的应用。例如，当第二个程序断网或断电时，第一个程序能用来疏散危险区域中的人员。

警报触发判据宜依据雷暴预警系统自身特性及其在监测区域内的性能确定，例如发生一个或多个地闪，一个或多个云闪，一定的静电场强度，静电场极性，以及这些条件的组合。

一次雷电警报的示例见图 3。



a) 基于电场测量的警报



标引符号说明：

覆盖区域(CA): ;

监测区域(MA): ;

周边区域(SA): ;

目标(TA): .

b) 基于雷电定位的警报

注 1：雷电条件阈值代表了 LRE 大概率发生的条件。达到雷电条件阈值时的警报能视为有效警报。

注 2：图 3a) 中的提前时间只是为了与图 3b) 进行比较而预估的，因为根据定义，提前时间只能在发生 LRE 并被监测到时才能被计算出来。

图 3 一次警报示例

提前时间是指在周边区域发生首次雷电相关事件(LRE)之前可用于采取预防措施的时间。

为了避免频繁切换预警状态,雷暴预警系统可利用警报续留时间来设置维持警报的最小时间。使用静电场强度值及其突变来触发警报的雷暴预警系统,同样可使用静电场来结束警报。

警报期对应从警报触发到解除的时间间隔。

表 3 给出了有效警报、无效警报、虚报以及漏报的判定方式。

表 3 与 LRE 相关的警报

事件	在周边区域发生 LRE	在周边区域未发生 LRE
发出警报	有效警报(EA)	无效警报(NEA)或虚报(FA)
未发出警报	漏报(FTW)	—

#### 6.4 警报信息发布

宜建立一套定义明确的警报信息发布程序和协议,以确保终端用户正确接收警报信息,至少让用户收到警报开始和结束的信息。

建议评估警报发布的各种传输方式以提高警报发布的可靠性。在任何情况下都应有备用传输方式。

应监测雷暴预警系统和通信链路故障,将可能影响警报可用性和可靠性的故障检出并通知终端用户。

注:有的用户倾向于使用自动报警程序(例如,使用绿、橙、红等颜色的警示灯或者使用警报器),而有的用户则倾向于分析预警数据后基于警报程序进行人工本地决策。

## 7 安装

雷电定位系统和探测网由该系统(网络)的专业人员安装。

注:安装雷电定位系统或探测网时,探测仪不要求安装在目标内部或紧靠目标。

雷暴预警系统中各雷暴探测仪应根据制造商的说明书在最佳条件下安装,以保证其受到的环境干扰最少。为此,建议提前分析预计安装位置,以使探测仪适应特定的现场条件。雷暴探测仪的性能易受多种因素影响,故新安装的探测仪在达到最佳工作状态之前需要一段时间的调试。

宜进行雷电和电涌防护研究,以确保直接雷击和电涌不会对雷暴预警系统(尤其是使用单个雷暴探测仪时)产生影响。

按照说明书进行预先分析和规范安装是雷暴预警系统正常运行的关键因素。

## 8 维护

雷电定位系统和探测网由该系统(网络)的专业人员定期维护。

雷暴预警系统中各雷暴探测仪维护周期宜在制造商的说明书中规定,该维护周期会受到地域及环境因素的影响。环境因素(紫外线、海洋及工业污染、灰尘等)对探测仪不利影响的测试应按照附录 E 执行。对集成在雷暴预警系统中的子系统(包括警报传输)进行维护是必要的。雷暴预警系统信息的准确性直接取决于探测仪传感器的性能参数、环境(即植被、建筑物、塔楼等),以及探测仪传感器与控制单元之间、雷暴预警系统与终端用户之间的通信链路。



注：维护工作包括清洁、调整参数、定期校准、运行状态检验和通信能力测试等。

宜提供实时自检方法，以确保雷暴预警系统从采集雷电数据到向用户发送警报全过程正常运行。定期维护是保障雷暴预警系统长期正常运行的关键因素。

## 9 性能评估

### 9.1 一般规定

雷电定位系统和探测网由该系统(网络)的专业人员进行性能评估。

通过评估雷暴预警系统的运行情况，能够优化其参数以提升系统的质量和可靠性，从而使警报能更好地满足用户需求。

性能评估可为后续警报设置、预防措施改进提供有价值的信息，并有助于了解目标的雷电环境。性能评估宜基于雷暴预警系统制造商设定的程序开展。如有历史经验，则用户在评估程序中宜提供相关信息(例如警报数、可能的漏报数、有效警报数、虚报数、损害情况等)。

根据验证信息的可用性，能采用不同方式进行评估，例如：

- 与其他来源的信息相互关联，如源于其他雷暴预警系统、气象雷达、气象卫星等的数据；
- 处理归档数据以微调 and 验证警报参数的设置。

典型雷暴预警系统主要性能参数为：

- 以漏报(FTW)次数与应警报总数(FTW+EA)之比确定漏报率(FTWR)，见公式(1)：

$$FTWR = FTW / (FTW + EA) \quad \dots\dots\dots (1)$$

- 提前  $x$  分钟的预警率(POD <sub>$x$</sub> )，允许至少能提前  $x$  分钟采取预防措施，是以  $x$  为变量的函数；

- 以虚报(FA)次数与警报总数(TNA)之比确定虚报率(FAR)，见公式(2)：

$$FAR = FA / TNA \quad \dots\dots\dots (2)$$

- 以有效警报(EA)次数与警报总数(TNA)之比确定有效警报率(EAR)，见公式(3)：

$$EAR = EA / TNA \quad \dots\dots\dots (3)$$

为改善雷暴预警系统性能，可调整的主要参数有：

- 监测区域内的警报触发判据；
- 监测区域的大小和形状；
- 警报续留时间。

雷暴预警系统中单个参数的调整会导致多个性能参数的连带变化，例如：

- 监测区域面积的扩大将增加警报数、增长提前时间和警报期，以及降低有效警报率；
- 监测区域面积的减少可能会提高有效警报率，但增加漏报率和缩短提前时间；
- 提高警报触发判据的灵敏度将降低漏报率、增长提前时间，但可能降低有效警报率；
- 缩短警报续留时间将增加警报总数。

更多信息见附录 F。

### 9.2 利用其他来源的关联信息对雷暴预警系统的评估

一种最常用的雷暴预警系统有效性评估方法为：将包含代表性数量警报(建议不少于 30 个有效警报)对应时间段的雷暴预警系统警报状态日志文件与地面实况记录进行对比。

地面实况记录可通过雷电定位系统、视频观测等方式获取。

附录 D 给出了基于独立运行的雷电定位系统数据开展上述有效性评估的一个案例。当使用雷电定位系统进行评估时，探测效率和定位精度宜至少与 IEC 62858 中给出的值相同(闪电探测效率

80%，中值定位精度 500 m)。

将雷暴预警系统发布的警报状态数据进行存档，可用于验证雷暴预警系统的有效性，尤其是在系统出现故障或对雷暴预警系统性能存疑的情况下。

基于静电场探测仪的雷暴预警系统，可通过调整阈值等方式实现性能优化。基于雷电定位系统的雷暴预警系统，可通过调整监测区域的大小、形状和警报触发判据实现性能优化。

## 10 雷暴预警系统的应用

一般而言，雷暴预警系统有助于防止、控制或降低生命危险、经济损失(对商品、服务或财产造成的破坏)以及环境危害。雷暴预警系统的应用场景应具有普适性。一般情况下，雷暴预警系统通过预防措施降低雷电相关事件的风险。

雷暴预警系统提供了雷电活动的实时信息，因此即使雷暴活动较少的地区也可采取预防措施。在某一区域采取预防措施的合理性，取决于所开展活动的特性、暴露于雷暴的公共区域及其人员数量，以及依据雷暴预警系统提供的信息而采取有效防护措施的可能性。

典型的预防措施如下：

- 疏散(将人员转移到安全场所)或让人员处于安全场所；
- 断开电源线(如果有条件进行绝缘隔离)；
- 停止或推迟进行有风险的各种活动；
- 向应急部门(如消防队、值班小组)提供预警；
- 特殊的临时措施(如停止关键过程、系统备份、连接到其他网络或采用不间断电源供电等)。

仔细考虑每一种情况可能带来的损失极其重要。上述预防措施需要通过适当的安全程序来实施才能发挥效用。

虽然雷暴造成人身伤害的可能性不大，但是后果非常严重。因此，采取临时措施能够有效降低人身伤害风险时，建议使用雷暴预警系统。

雷暴预警系统的应用示例见附录 F，推荐采取的预防措施清单见附录 C。

**附 录 A**  
**(资料性)**  
**雷电现象概述**

### A.1 雷暴云的成因和起电

雷电是由带电的云产生的(见参考文献[3][4]),但并非所有的云都带电。产生雷电的雷暴云通常具有显著的垂直(对流)发展特征,同时云中存在过冷水滴、冰晶和霰(软冰雹)粒子。雷暴云也能产生强风和地面恶劣天气(如冰雹、龙卷风)。

雷暴是由上升气流产生的,这些上升气流最初都来自太阳对地球表面和大气边界层空气的加热。对流云形成的热力学基础是条件性热力不稳定和对该过程的初始触发。其触发机制可能主要包括:边界层内的热力抬升、大气锋面(冷暖锋的交互作用)与阵风锋边界之间的抬升、地形抬升(山区较典型)以及锋面动力抬升。当上升气流进入低压环境时,气流将膨胀并冷却,直到温度达到露点形成水汽,然后水汽凝结产生云,水汽凝结释放的潜热增强了抬升动力。如果该气流的温度降低到冰点温度以下,就会形成冰晶和霰,云就具备了起电的基础,并将产生雷电。

积雨云中典型雷暴单体的直径为 10 km,云顶高度为 12 km,生命周期小于 30 min。而其他类型的雷暴比如多单体雷暴带、雷暴簇、超级单体雷暴以及中尺度对流系统(MCS)具有更大的尺度,持续时间可能长达数小时。不同类型的雷暴往往出现在不同的地理区域内。

基本的积雨雷暴云电荷分布模型包含三个电荷区,雷云上部是较为分散的正电荷区,中部为集中的负电荷区,下部是一小正电荷区。雷电往往开始于负电荷区边缘或附近。如果雷电活动始于负电荷区的顶部附近,通常会发展为包含主负电荷区和主正电荷区的云闪。如果雷电活动始于负电荷区下缘或附近,通常产生下行负地闪。

### A.2 雷电现象

尽管地闪对人类活动危害最大,但大部分雷电为云闪,云闪不会到达地面。

当雷暴云中的电荷积累到一定程度后将会产生雷电。云闪通常出现在第一次地闪前几分钟,但也有例外。雷电的极性由传输到地面的电荷极性确定,其特征也取决于初始先导的方向,云对地闪电向下(下行地闪),地对云闪电则向上(上行地闪)。图 A.1 给出了标准的地闪分类。下行地闪最为常见,而上行地闪通常由高耸建筑物引发(如:高于 100 m 的建筑物或处于山区的较小建筑物)。

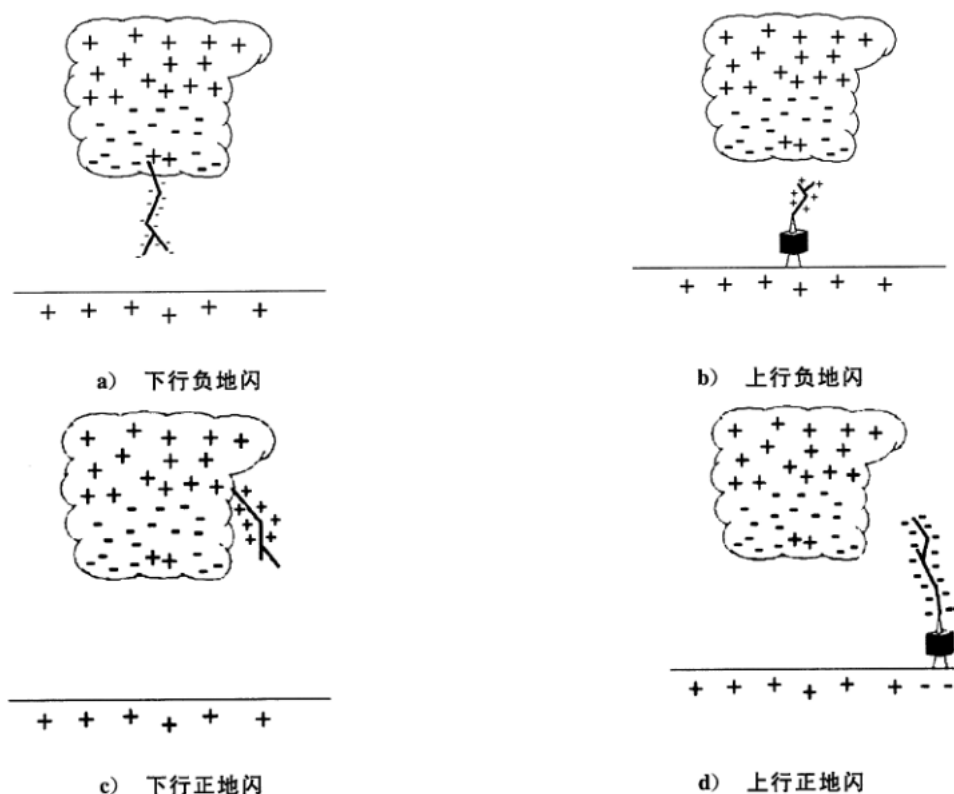


图 A.1 标准地闪分类

最常见的雷电类型是下行负地闪(通常约占 90%),但在一些特殊情况下并非如此,比如冬季雷暴、强雷暴或中尺度对流系统的层状云区域,正地闪可能占多数。通常,下行负地闪始于云内的初始击穿过程,紧接着产生下行先导,在向地面发展时呈现间歇性、多分支和阶梯式的特征,这个过程被称为梯级先导。当任何负极性梯级先导接近地面时,在先导下方电场作用下,最近的接地导体尖端产生一个或多个上行先导。当两个先导之间发生连接时,回击就开始了。回击是强烈的电流脉冲放电,它将电流传输到地面,并沿电离的先导通道以大约三分之一光速的速度向上传播。回击通道的温度峰值约为 30 000 K,它是最亮的闪电过程。回击过程的持续时间为几百微秒到几十毫秒,取决于连续电流的持续时间。

关于闪电参数的更多详情见参考文献[5]。

### A.3 用于雷暴预警的雷暴和雷电特性

#### A.3.1 静电场

雷暴云内的电荷在地面上形成一个强静电场,该静电场通常比晴天时强得多。这样,随着雷暴的发展和移动,通过探测电场值能提供一种预警因子,但这种方法也有一定的局限性。地面电场不是云电荷产生的真实电场,因为云和地面之间存在明显的空间电荷层,不可能确定一个与即将发生的雷击相对应的精确电场阈值;雷暴探测仪的电场探测范围有限,只能覆盖雷暴周边几千米的距离。

地闪和云闪产生的电场突变可用来探测雷电,如同时在多个站点测量到电场突变,则可以定位引起雷电变化的云内电荷的中心位置。然而,利用静电场变化来定位雷电位置的方法并不常用。

## A.3.2 电磁场

### A.3.2.1 概述

雷电放电产生的电磁辐射来自大电流快速、剧烈的变化,通过组合使用单项或多项技术,这种辐射通常被用于探测和定位雷电。附录 B 描述了目前使用的几种技术。

通过定位云闪、地闪或这两种闪电,能追踪雷暴以实现预警和预防雷电灾害。

### A.3.2.2 云闪探测

在雷暴中,云闪通常出现在首次地闪之前。因此,云闪常用于雷电预警。通常,云闪比地闪多两到三倍(见参考文献[6]),这为监测和跟踪雷电活动提供了更多手段。

相比地闪,云闪活动更加频繁,针对云闪的探测需要更强的数据处理能力。在甚高频(VHF)频段内可能有数以万计电磁辐射源,这种高发率可能将探测限制在几百千米范围内。

### A.3.2.3 地闪探测

地闪探测通常在低频或甚低频(LF/VLF)频段内进行,此频段的探测半径为几百千米。

## A.3.3 其他用于雷电探测的参数

### A.3.3.1 雷电放电间隔与频次

雷电放电的时间间隔和距离提供了有关雷暴活动的信息。雷电放电频次指单位时间内的放电次数,该参数常用于描述一次雷暴的雷电活动。

### A.3.3.2 云地闪比

云闪次数与地闪次数的比值,提供了雷电活动和雷暴类型的信息。

### A.3.3.3 地闪极性

正地闪在冬季雷暴和中尺度对流系统的层状云区较常见。此外,相对于负地闪,较高的正地闪占比可能预示有灾害天气。

上述参数直接影响雷电定位系统的性能(见参考文献[7])。

**附录 B**  
**(资料性)**  
**雷暴探测技术**

**B.1 概览**

单探测仪的雷暴预警系统可探测到雷暴。为了准确定位某个雷击点,需要采用多探测仪构成雷电定位系统。更多信息见参考文献[8]~[12]。

**B.2 单探测仪探测技术**

**B.2.1 概述**

雷暴探测仪的分类与雷暴阶段及其可探测的现象有关。一台雷暴探测仪也可以探测到一种或几种现象。

**B.2.2 静电场探测仪**

该类探测仪能够探测周边区域静电场的变化。雷暴中的首次放电可导致静电场发生变化,由于静电效应是雷暴活动早期电效应之一,因此可通过静电场的变化探测到处于初始发展阶段的局地雷暴。

地面上方大气带正电荷,天气晴朗时平坦地区地面静电场幅值范围为 100 V/m~150 V/m。在雷暴带电云层下方的地面静电场幅值可达每米几千伏特。由于空间电荷层的存在,雷暴云产生的电场通常受到屏蔽,因此地面静电场一般保持在 10 kV/m 以下。

用于探测电场的传感器应具有 200 V/m 的最小分辨率,并至少能测量 20 kV/m 的电场。初始阶段静电场的变化相对较慢,每隔几秒采样即可。在实际使用中,如需电场变化的信息,建议采样频率至少为每秒一次。

探测设备建议提供电场等级的信息,有些设备可以实时提供电场变化的信息。

这类探测设备能够探测带电云的存在与否,但无法确定首次雷电放电的静电场阈值。静电场受地理环境影响,附近任何雷电都会引起静电场的快速变化。

**B.2.3 电磁场探测仪**

该类探测仪可探测雷电引起的辐射电磁场,从而估算雷暴距离并提供预警信息。探测仪的探测范围受传感器频率带宽影响。

在测量电场和磁场时,该类探测仪可以给出雷暴过程的方向信息,并可通过电磁场信号的强度来估算距离信息。

**B.3 多探测仪定位技术**

**B.3.1 概述**

多探测仪雷电定位技术有多种类型,以下是几类常见的技术。

**B.3.2 磁定向法(MDF)**

磁定向法的原理是利用两个正交的磁场天线测量雷电辐射磁场的入射角。用两个或多个磁定向仪,通过测得的方向计算交叉点来确定雷击点的位置。

### B.3.3 到达时间法(TOA)

到达时间法的原理是利用脉冲从辐射源传播到传感器所需的时间延迟进行定位,较近的传感器将在较远的传感器之前探测到雷电信号。

### B.3.4 干涉法

干涉法通过测量密集布设的天线之间的相位差确定入射角。

注:有些定位系统通过磁定向法(MDF)、到达时间法(TOA)和干涉法三者或两两结合的方式提高定位精度。

**附 录 C**  
**(资料性)**  
**推荐的预防措施**

在较好地了解雷暴放电危害基础上,采取的预防措施很大程度上取决于所涉及的风险情况。因此,宜在具体行动计划中评估和应用这些预防措施。

许多情况和设施可安装雷暴预警系统。通过分析该系统提供的信息而采取的预防措施宜由最终用户或专门关注预防措施实现方案的设计师具体制定。为此,宜考虑安全和应急计划,或在流程和系统中进行相关的技术改造。

建议注意预防措施的选择可能涉及将措施(自动、手动、声音等)系统化地纳入其流程中。

为了对可能采取的预防措施提供指导意见,根据雷暴预警系统给出的预警信息,列出了一些可以实施的指令示例。警报等级的划分由用户确定(在下列示例中共有两个等级)。根据雷暴严重程度,采取的预防措施应有一个合理的分级,以确定应达到的响应水平。

a) 无警戒

在目标范围正常工作。

b) 警报触发/解除

1) 警报等级 1

- 一级预防措施,包括远程、视觉或声音的信息通知;
- 激活辅助电源系统;
- 在暴露区域不要安排或开展活动。

2) 警报等级 2(紧急)

- 二级预防措施;
- 激活辅助电源系统;
- 断开关键、敏感的系统;
- 尽可能将暴露区域的人群疏散到有雷电防护装置保护的安全区域;
- 检查上述措施是否已经有效进行;
- 跟踪雷电活动的演变;
- 如果上述措施已经进行,无需采取其他措施。

3) 警报解除

- 返回目标范围正常工作;
- 若已有 LRE 或 LRC 发生,根据规定检查雷电防护装置的工作状态。

当发生故障时雷暴预警系统能发出警报通知用户。

建筑物外部降低雷击风险的安全程序示例可见参考文献[13]。



**附录 D**  
(资料性)  
**雷暴预警系统评估示例**

**D.1 风力发电机组的雷暴预警系统评估示例**

风力发电机组的雷电防护见参考文献[14]。本示例中,雷电定位系统的雷电数据可用于触发预警,现场的雷电发生实际情况可用于评估雷电警报的有效性。图 D.1 展示了风力发电机组 5 km 范围内 15 年(2000 年—2014 年)期间的地闪活动情况。

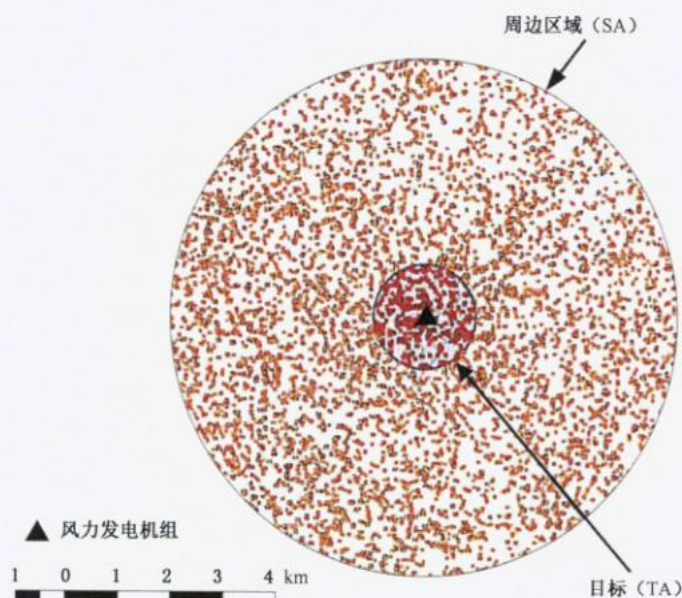


图 D.1 目标及周边区域 15 年(2000 年—2014 年)雷电活动

目标是环绕风力发电机组半径为 1 km 的圆形,假定周边区域(SA)是风力发电机组周围半径 5 km 的圆形(见图 D.1)。监测区域未在图中展示,亦为环绕风力发电机组的圆形。

该示例包含的可变参数有:

- 监测区域的半径(10 km、15 km 和 20 km);
- 触发判据(闪电次数及闪电脉冲间隔时间);
- 警报续留时间(TTC):10 min、20 min、30 min。

所有性能的评估结果见表 D.1。

表 D.1 基于 15 年(2000 年—2014 年)雷电历史数据的雷暴预警系统性能评估结果(含关键参数)

监测区域半径 km	监测区域内触发警报的雷电次数	监测区域内触发警报的雷电间隔时间 min	TTC min	15 年间 TNA	年均 TNA	EA	FTW	NEA	EAR	FTWR	POD	POD <sub>10</sub>	POD <sub>20</sub>
10	2	5	30	347	23	221	5	126	63.7%	2.2%	97.8%	76.6%	53.0%
15	2	5	30	524	35	235	1	289	44.8%	0.4%	99.6%	90.2%	79.0%
20	2	5	30	627	42	235	1	392	37.5%	0.4%	99.6%	91.8%	84.0%
20	1	—	30	1 326	88	266	1	1 060	20.1%	0.4%	99.6%	95.1%	87.0%
20	3	5	30	519	35	221	2	298	42.6%	0.9%	99.1%	91.8%	84.0%
20	5	5	30	401	27	205	4	196	51.1%	1.9%	98.1%	87.3%	76.0%
20	2	2	30	593	40	233	2	360	39.3%	0.9%	99.1%	91.8%	84.0%
20	2	4	30	619	41	235	1	384	38.0%	0.4%	99.6%	91.8%	84.0%
20	2	5	20	706	47	240	1	466	34.0%	0.4%	99.6%	91.8%	84.0%
20	2	5	10	926	62	256	2	670	27.6%	0.8%	99.2%	87.3%	79.0%

EA:有效警报;  
 EAR:有效警报率;  
 FTW:漏报;  
 FTWR:漏报率;  
 MA:监测区域;  
 NEA:无效警报;  
 POD:预警率;  
 POD<sub>10</sub>:提前 10 min 的预警率;  
 POD<sub>20</sub>:提前 20 min 的预警率;  
 TNA:警报总数;  
 TTC:警报续留时间。

此示例中虚报数 FA=0,目标(TA)和周边区域(SA)的半径分别为 1 km 和 5 km。  
 15 年间,目标(TA)和周边区域(SA)发生 LRE 的总数分别为 287 和 4 576。

D.2 使用雷电定位系统评估雷暴预警系统的有效性

在本示例中,待评估的雷暴预警系统生成了 20 个警报结果。根据所涉 10 个 LREs(其中部分地闪发生位置在目标范围内)对系统效率进行评估,结果见表 D.2。

该结果均源于真实情况,可用作该方法的示例。此外,为了获得具有代表性的统计指标,需要更多的数据(不少于 30 个 LREs)。

表 D.2 警报评估示例

序号	地面实测数据(源于 97%探测效率及 150 m 定位精度的雷电定位系统)		雷暴预警系统的警报结果	评估			评价
	LRE 发生日期	周边区域首次雷电发生时间(围绕目标半径 2 km 范围内)	警报时间	漏报	提前 10 min 及以上发出警报	虚报	
1	2012/04/30	15:05	2012/04/30 14:00		<input checked="" type="checkbox"/>		有效警报
2	2012/05/05	17:12	2012/05/05 16:38		<input checked="" type="checkbox"/>		有效警报
3	—	—	2012/05/25 10:52			<input checked="" type="checkbox"/>	无雷暴
4	2012/06/15	05:57	2012/06/15 05:25		<input checked="" type="checkbox"/>		有效警报
5	—	—	2012/07/12 16:42				周边区域出现无地闪的雷暴
6	—	—	2012/08/04 18:58			<input checked="" type="checkbox"/>	无雷暴
7	2012/09/12	12:31	2012/09/12 12:30				提前时间不足
8	—	—	2012/10/05 20:34			<input checked="" type="checkbox"/>	无雷暴
9	—	—	2012/11/11 11:45				周边区域出现无地闪的雷暴
10	2012/12/16	10:35	2012/12/16 10:03		<input checked="" type="checkbox"/>		有效警报
11	—	—	2013/01/24 22:34			<input checked="" type="checkbox"/>	无雷暴
12	2013/02/11	06:43	无触发	<input checked="" type="checkbox"/>			漏报
13	—	—	2013/03/30 15:54				周边区域出现无地闪的雷暴
14	—	—	2013/05/10 19:35				周边区域出现无地闪的雷暴
15	2013/06/06	17:57	2013/06/06 17:47		<input checked="" type="checkbox"/>		有效警报
16	2013/06/07	10:15	2013/06/07 09:35		<input checked="" type="checkbox"/>		有效警报
17	2013/06/07	12:07	2013/06/07 12:39	<input checked="" type="checkbox"/>			警报过晚
18	—	—	2013/07/14 23:34				周边区域出现无地闪的雷暴

表 D.2 警报评估示例 (续)

序号	地面实测数据(源于 97%探测效率及 150 m 定位精度的雷电定位系统)		雷暴预警系统的警报结果	评估			评价
	LRE 发生日期	周边区域首次雷电发生时间(围绕目标半径 2 km 范围内)	警报时间	漏报	提前 10 min 及以上发出警报	虚报	
19	2013/07/20	18:19	无触发	☒			漏报
20	—	—	2013/08/01 09:30				周边区域出现无地闪的雷暴
主要结果							
参数	漏报率(FTWR)	预警率(POD)	提前 10 min 的预警率(POD <sub>10</sub> )	虚报率(FAR)	有效警报率(EAR)		
结果	30%	70%	60%	22%	33%		

漏报率:  $FTWR = 3/10 = 30\%$

预警率:  $POD = 1 - FTWR = 70\%$

提前 10 min 的预警率:  $POD_{10} = 6/10 = 60\%$

虚报率:  $FAR = 4/18 = 22\%$

有效警报率:  $EAR = 6/18 = 33\%$

**附 录 E**  
(规范性)  
**雷暴探测仪测试方法**

**E.1 总则**

本附录仅适用于户外雷暴探测仪,不适用于需要专业运维的整套雷暴预警系统,也不包含软件和户内硬件。关于雷暴预警系统的测试方法正在研究中。

**E.2 实验室测试****E.2.1 一般要求****E.2.1.1 测试条件**

根据制造商或供应商的说明,按正常使用条件组装和安装样品进行测试。除非制造商另有规定,否则应对传感器进行测试,当某些测试需要遥控时,遥控装置应设置在实验室的控制室内。

除非另有规定,所有测试均对新样品进行。

在一个样品上进行测试,只有所有测试项目通过,才满足要求。如果样品由于装配或制造缺陷导致某项测试不合格,应重复该项测试和之前任何可能影响该项测试结果的测试项目。以下测试也应按照规定顺序在一组 3 个样品上进行,所有测试项目均应符合要求。

**E.2.1.2 提交测试的传感器或其组合(传感器+电缆+遥控装置)的确认**

应通过检查以下项目确认提交测试的探测仪:

- 标志和标识;
- 说明书,包括版本号及日期。

**E.2.1.3 探测仪的装配**

探测仪应按照制造商提供的装配说明书进行装配。

**E.2.1.4 环境温度条件**

除非另有规定,探测仪的测试应在 5 °C ~ 35 °C 环境温度下进行,测试期间温度变化不应超过 30 K。应防止探测仪受热或过度受冷。

**E.2.2 抗紫外线辐射试验(适用于非金属传感器外壳)**

户外使用的非金属传感器外壳应能承受紫外线辐射。

为了使传感器符合本文件要求,应根据 IEC 62561-4 进行环境试验。对于安装在户外或特定环境中的探测仪,此测试是必要的。

应根据制造商的安装说明进行传感器组装并将其固定在绝缘板上(例如砖块、聚四氟乙烯板)。

样品应按 IEC 62561-4 的规定进行包含紫外线测试的环境试验。

合格判据:在正常或矫正视力下目视样品,如未发现崩解迹象或裂纹,则判定样品通过本项试验。

### E.2.3 耐腐蚀性试验(适用于传感器的金属部件)

E.2.2 测试后的样品应按 IEC 62561-1 进行耐腐蚀性试验,包括盐雾试验以及其后的潮湿硫化气体试验。

合格判据:金属部件在温度为  $100\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  的干燥箱中干燥 10 min 后,其表面不宜出现任何锈迹。边缘锈迹或经简单擦拭可消除的淡黄色锈迹不视为锈迹。白锈不视为腐蚀性劣化。

### E.2.4 机械试验

E.2.3 测试后的样品应进行 3 次机械试验。

通过施加机械撞击对样品进行机械试验。

撞击施加在可能会意外受到机械应力的传感器可触及部件上。

按制造商文件规定的正常操作条件进行样品组装。

按 IEC 60068-2-75:2014 中第 4 章的规定,将样品安装在摆锤试验装置上。根据 IEC 60068-2-75:2014 中表 1,撞击元件的材料应为聚酰胺材料。根据 IEC 60068-2-75:2014 中表 2,其质量应为 200 g。

测试程序:将摆锤从 200 mm 的高度跌落,以便在每侧施加一次撞击,并尽可能使撞击方向垂直于装置。跌落高度是指释放摆锤时控制点位置与撞击点位置之间的垂直距离。

控制点位于撞击部分的表面,其线经过摆锤的钢管轴线交点和撞击部分,垂直于穿过两个轴的平面,交汇于表面。

机械撞击试验不适用于显示窗和连接器。

合格判据:试验后,在正常或矫正视力下目视样品,应无裂缝或类似损坏,也不应出现可能影响后续使用的损坏。

### E.2.5 外壳防护等级确认(IP 代码)

E.2.4 测试后的样品应根据 IEC 60529 进行外壳防护等级确认。

合格判据:样品应符合 IEC 60529 的要求。

### E.2.6 电气试验

#### E.2.6.1 一般要求

在 E.2.5 试验后,样品应进行以下电气试验。

根据 IEC 61180 进行试验。

#### E.2.6.2 直流电场试验

传感器安装在测试板下面,测试板尺寸选择应确保其下方中心区域的电场是均匀的(线性电场附近的变化小于 2%),该电场分布状况能通过仿真或测量获取。为达到电场均匀的要求,宜考虑测试板边缘的电场效应。

宜按照正常使用方式组装传感器,其最高点宜高于测试板下方的接地板 1 m。可以使用木质支架以达到该高度。

测试板宜设置在 2 m 高位置(确保高于传感器最高点 1 m),公差不大于 1 cm。

施加在测试板的电压宜为直流高压(负极性),以使传感器顶部区域获得  $1\text{ kV/m}\sim 10\text{ kV/m}$  的电场。

增加电压使传感器探头获得  $1\text{ kV/m}\sim 10\text{ kV/m}$  之间均匀分布的 10 个值。

采用传感器的线缆进行安装,并连接遥控装置。

合格判据:通过监测遥控装置采集的数据进行判定,本试验中探测仪宜不受干扰影响。

本测试中未使遥控装置产生有效指示(制造商规定的电场报警或测量值)的传感器,应能在 E.2.6.3 的测试中提供有效指示。否则,此项测试视为不合格。

无法满足一个或多个判据,则本项测试不合格。

### E.2.6.3 大电流冲击试验

按正常使用要求安装传感器,并将传感器放置于距离放电路径至少 5 m 处,电流发生器电极之间的距离至少为 1 m,冲击电流波形为 8/20  $\mu$ s。

按制造商的说明,传感器的灵敏度测试宜在可产生电磁场的实验室中进行。

合格判据:通过监测遥控装置采集的数据进行判定,本试验中探测仪宜不受干扰影响。

本测试中未使遥控装置产生有效指示(根据制造商的说明)的试品,应能在 E.2.6.2 的测试中提供有效指示。否则,此项测试视为不合格。

无法满足一个或多个判据,则本项测试不合格。

### E.2.7 标识试验

所有通过 E.2.6 试验的试品均应进行标识试验。

模制、压制或雕刻制成的标识不适用本试验。

通过检查和用一块浸水的布擦拭 15 s,再用一块浸湿浓度不低于 85% 的正己烷溶剂的布擦拭 15 s。

合格判据:测试后,标识应清晰可见。根据标识应能识别传感器。标识不宜轻易移除。

### E.2.8 电磁兼容性(EMC)

#### E.2.8.1 电磁抗扰度

探测仪应满足 IEC 61000-6-4 的要求。

#### E.2.8.2 电磁辐射

探测仪应满足 IEC 61000-6-4 的要求。

### E.3 自然雷电条件下户外平台测试(可选项)

由于在实验室中难以呈现自然雷电条件,探测仪的设计和使用宜在经第三方认可的有效测试方案下进行现场应用验证,也可在户外平台进行测试。

此平台宜位于易发生雷电的区域,测试周期不宜超过 1 年(最佳为雷雨季节中的 6 个月)。典型场地的地闪密度最低为 2 次/( $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ) (根据现场的雷电活动调整测试周期,见 IEC 62858)。

注:若无法获取地闪密度,则选取年平均雷暴日不低于 20 天。

此平台宜使用雷电监测系统作为参照,这种监测系统宜通过其他方法(由户外实验团队确认其合理性,例如在触发雷电条件下可核查该参考系统的参数)验证,以作为本试验的参照。该监测系统可以是一个经过验证的系统,可作为参照用于测试其他雷暴探测仪,也可以对两个雷暴探测仪进行相互比较,观察两者在同一事件下的测试效果。

用于参照的雷电监测系统应具有明确的探测效率,并尽可能包括云闪的探测。如果系统可定位地闪以及确定云闪比率,则能测试雷暴探测仪的提前预警能力和虚报率。系统定位精度宜不大于 500 m,这由户外实验团队通过地面真实数据确认。测试设备探测到的云闪,也宜被雷电监测系统

捕获。

此雷电监测系统也宜在指定时间内提供指定区域的雷电密度。使用分析工具,实现较可信地预测雷云移动的方向。

被测雷暴探测仪宜放置在制造商规定工作条件下的户外平台上。

影响电场的因素很多。不同雷暴探测仪的监测数据也存在明显的差异,故出现虚报和漏报很正常。例如,图 E.1 显示了两个不同雷暴探测仪(A 和 B)在同一雷电活动中测量的电场的变化曲线。此例中,两个探测仪的时间尺度不同。

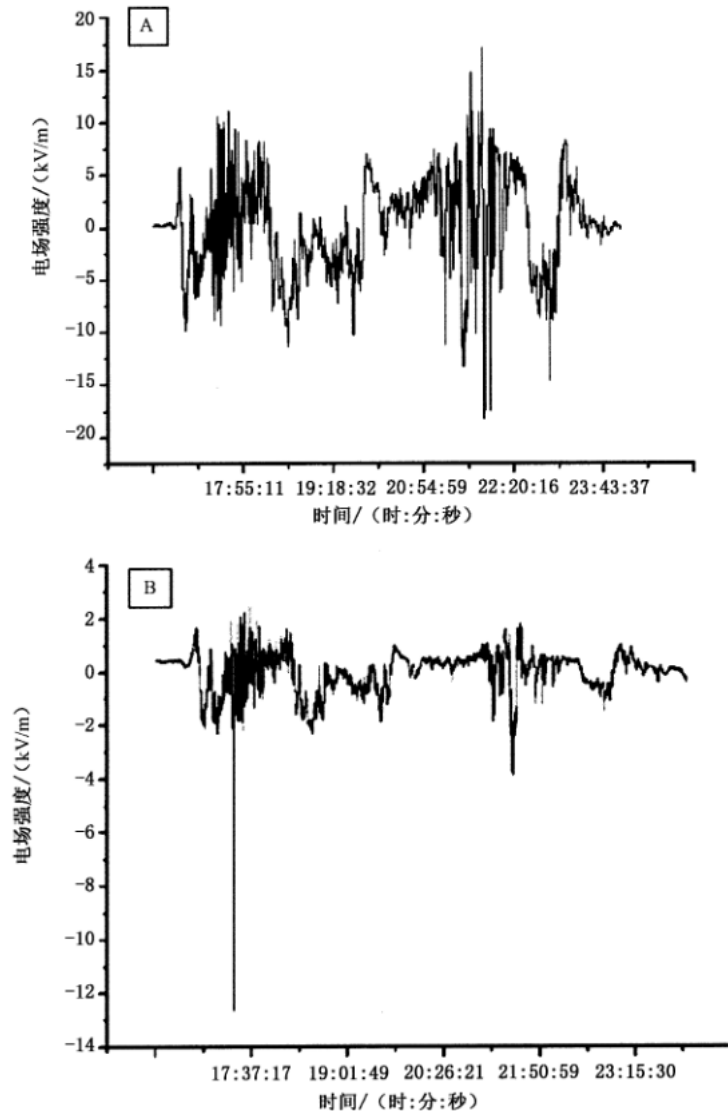


图 E.1 一次雷暴中电场测量的差异

即使在晴天,记录的电场并非总是完全相同。在雷暴情况下,差异变得更大。雷暴探测仪使用的软件和技术是专有的,但建议提供给用户的预警相似,或至少与雷暴探测仪性能数据表中所宣称的一致。

例如,在上述雷电活动中,两台测试设备的数据有明显的差别。如图 E.1 所示,其中一台设备记录的电场最大值和最小值分别为 17 kV/m 和 -17 kV/m,而另一台设备记录的电场最大值和最小值分别为 2.5 kV/m 和 -12.7 kV/m。雷暴探测仪的基础测试是检查其记录的雷电活动是否与参考系统一致。如果两者的数据经常不一致,那就表明雷暴探测仪不能按照所宣称的性能运行。因此,需要许多雷电记



录来验证雷暴探测仪的运行质量,一般预计至少需要 10 次。测试时间通常在六个月到一年之间。在实验室和被测雷暴探测仪的制造商之间达成协议后,可延长测试时间。

雷暴探测仪可出现虚报,需要对虚报进行评估。即使测量系统相同,由于电子处理和数值处理可不同,也将导致不同的结论和不同水平的可靠性。

户外测试平台测量的参数如下:

- LT:提前时间;
- $POD_x$ :提前  $x$  分钟的预警率;
- FAR:虚报率;
- FTWR:漏报率。

这些参数宜与制造商提供的性能数据表所定义的范围相关。

**附录 F**  
(资料性)  
应用指南

**F.1 总则**

一般而言,雷暴预警系统有助于防止、控制或降低生命危险、经济损失(对商品、服务或财产造成的破坏)以及环境危害。应用了雷暴预警系统的风险管理建议考虑各种不同情况。一般情况下,雷暴预警系统旨在通过事前的预防措施降低雷电相关事件风险,不能取代雷电防护装置或电涌保护装置。

在某一区域采取预防措施的合理性,取决于所开展活动的特性、暴露于雷暴的公共区域及其人员数量,以及依据雷暴预警系统提供的信息而采取有效防护措施的可能性。

当雷电事件可能危害人身安全时,宜使用雷暴预警系统。

在能采取预防措施的情况下,表 F.1 有助于用户决定是否使用雷暴预警系统。

如果根据 IEC 62305-2 的风险评估结果得出雷暴预警系统的使用要求,则无需采用表 F.1。

注:在某些情况下,如露天或临时场合,IEC 62305-2 给出的风险评估方法通常不适用。

**表 F.1 可应用雷暴预警系统提高安全性的典型危险情况**

序号	情况描述
1	人员在户外开阔场地进行如下活动:维修、劳作、运动、竞赛、农事活动、垂钓或其他大量人员聚集的活动
2	风电场、大型太阳能发电系统、供电线路
3	职业健康和预防
4	敏感设备,如计算机系统、应急系统、报警器和安全设备
5	生产经营过程
6	危险物品(如易燃、放射性、有毒或易爆性物品)的储存、加工及运输
7	具有静电放电特殊危险的特定环境或作业活动,例如航天器和飞行器操作
8	连续性非常重要的基础服务(如通信,能源生产、运输和配送,医疗服务以及急救服务)
9	基础设施:港口、机场、铁路、高速公路及索道
10	自然灾害防御:森林火灾、滑坡及洪水
11	可受益于雷暴早期探测的大范围网络(如输电网和通信网)
12	第三方影响(如雷击供电线路导致的停电风险)
13	工作场所的安全(雷暴发生时在工作场所活动存在风险)

**F.2 雷暴预警系统应用示例****F.2.1 高尔夫球场**

人们打高尔夫球身处露天环境,未处于 IEC 62305(所有部分)规定的雷电防护安全场所,在雷暴天

气情况下,雷击能造成死亡或严重的人身伤害。因此强烈建议安装雷暴预警系统为高尔夫球手提供预警,让人们有充足的提前时间(通常提前 10 min~30 min)乘车甚至步行返回有雷电防护装置的会馆等安全场所。如果球场较大,需要 15 min 以上才能返回,则还可在球场内沿途设置其他安全场所。高尔夫球场的漏报率宜保持较低水平(考虑到个别风险,漏报率不超过 10% 以确保人员安全)。

### F.2.2 储油设施

储油设施罐体的自然构成通常可使本体免遭雷击损坏。但仍需考虑其他风险来源,例如罐顶的排风管、进入储罐的传感器等。通常采取常规的防护措施能减轻风险,例如安装接闪杆保护排风管处免遭直击雷,采用电涌保护器和屏蔽电缆防止爆炸区域内传感器的线路触发危险火花放电。

而石油运输过程中(如从船上运输到油罐、从一个油罐运输到另一个油罐或从油罐运输到油罐车里),存在爆炸区域增加或石油泄漏风险。如遇雷击则可能引发火灾或爆炸。采用以下做法可以避免该风险。

- 遇雷雨天气通过具有低漏报率(考虑到对人群和/或环境的影响,最大不超过 5%)和充分提前时间(通常为 15 min)的雷暴预警系统来防范石油运输风险,足以确保人员在首次雷击发生时处于安全场所。若需要更长提前时间(如 30 min)进行防范,则可引起更多虚报。
- 石油运输一旦开始,一般不会停止,尤其是从船上转运。在这种情况下,雷暴预警系统用于在运输过程中保护人员安全,并确保消防队随时准备在雷击引发火灾时进行有效处置。

### F.2.3 起重机

起重机在雷雨天气可能对人造成危险。对于按 I 级雷电防护等级(IEC 62305-2 规定的最高雷电防护等级)安装了雷电防护装置的起重机实例,风险评估(人员风险)结果如图 F.1 所示。

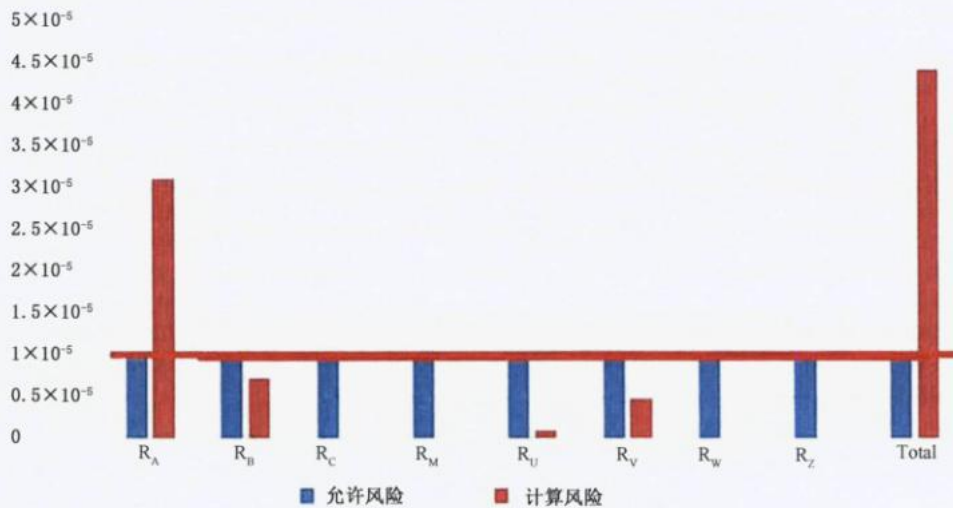


图 F.1 按 I 级雷电防护等级安装雷电防护装置的起重机的人员风险计算结果

从图 F.1 中能看出,计算风险明显高于允许风险(即表中红色横线所示)。

主要风险分量(根据 IEC 62305-2)如下:

- $R_A$ : 塔基附近因接触电压与跨步电压导致的人员风险;
- $R_B$ : 起重机遭受直击雷导致的人员风险;
- $R_U$ : 高处操作舱受雷击导致的人员风险;
- $R_V$ : 起重机内部设备故障导致的人员风险。

按照 IEC 62305-2 中的最高雷电防护等级(I级)进行防护并不能充分降低  $R_A$  风险分量(即起重机附近人员安全风险)。除雷电防护装置之外还需额外安装雷暴预警系统保障人员安全。起重机的漏报率宜保持在较低水平(考虑到个别风险,最大不超过 10%以确保人员安全)。

### F.3 雷暴预警系统参数选择

性能优化目标能根据不同的警报应用而不同:

- 在中断服务会造成巨大损失的应用中要求虚报率最小、警报续留时间最短;
- 在涉及人身安全的应用中要求漏报率最小;
- 在预防措施需要较长启动时间的应用中要求有足够的提前时间。

可以通过调整参数以获得所需的预警性能。表 F.2 为静电场探测仪和雷电定位系统仅更改一个参数的效果说明,即静电场探测仪的警报阈值(静电场强度)和雷电定位系统的监测区域大小。

表 F.2 参数设置对预警性能的影响

参数	静电场探测仪	雷电定位系统
	降低警报阈值 [见图 3 a)]	缩小监测区域(MA)
漏报率	下降	上升
有效警报率	下降	上升
提前 10 min 的预警率	上升	下降
提前时间	增加	减少

图 F.2、图 F.3 是基于静电场探测仪或雷电定位系统的雷暴预警系统参数设置影响的理论简化示例。示例给出了电场阈值(见图 F.2)或监测区域(见图 F.3)三种不同的参数设置。将这些设置应用于雷暴预警系统,可以看出,选择较大的电场阈值或较小的监测区域,可能无法发出警告;选择较小的电场阈值或较大的监测区域,则可能出现更多无效警报。例如,两个雷暴云单体在目标附近经过,一个到达目标则发生 LRE;另一个刚好错过,则导致无效警报。



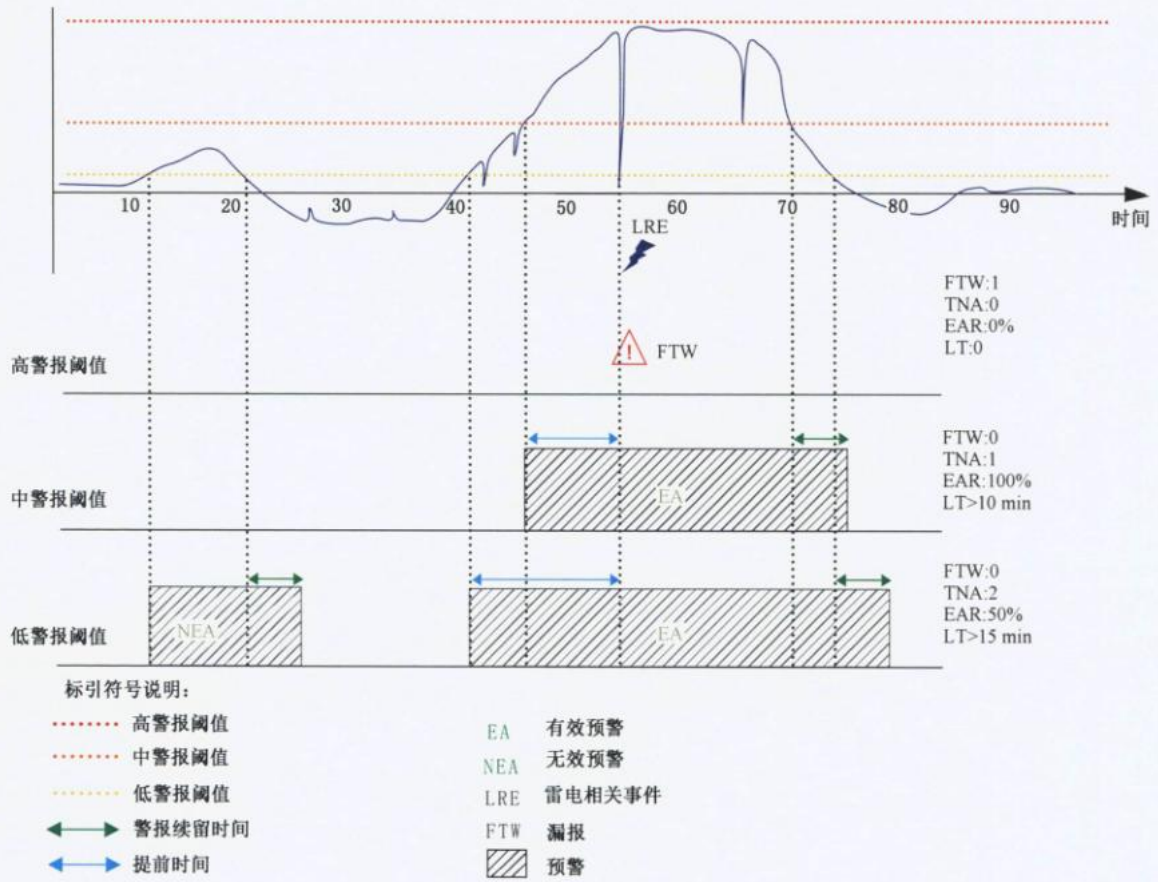


图 F.2 基于静电场探测仪的雷暴预警系统预警示例(三种不同电场阈值)

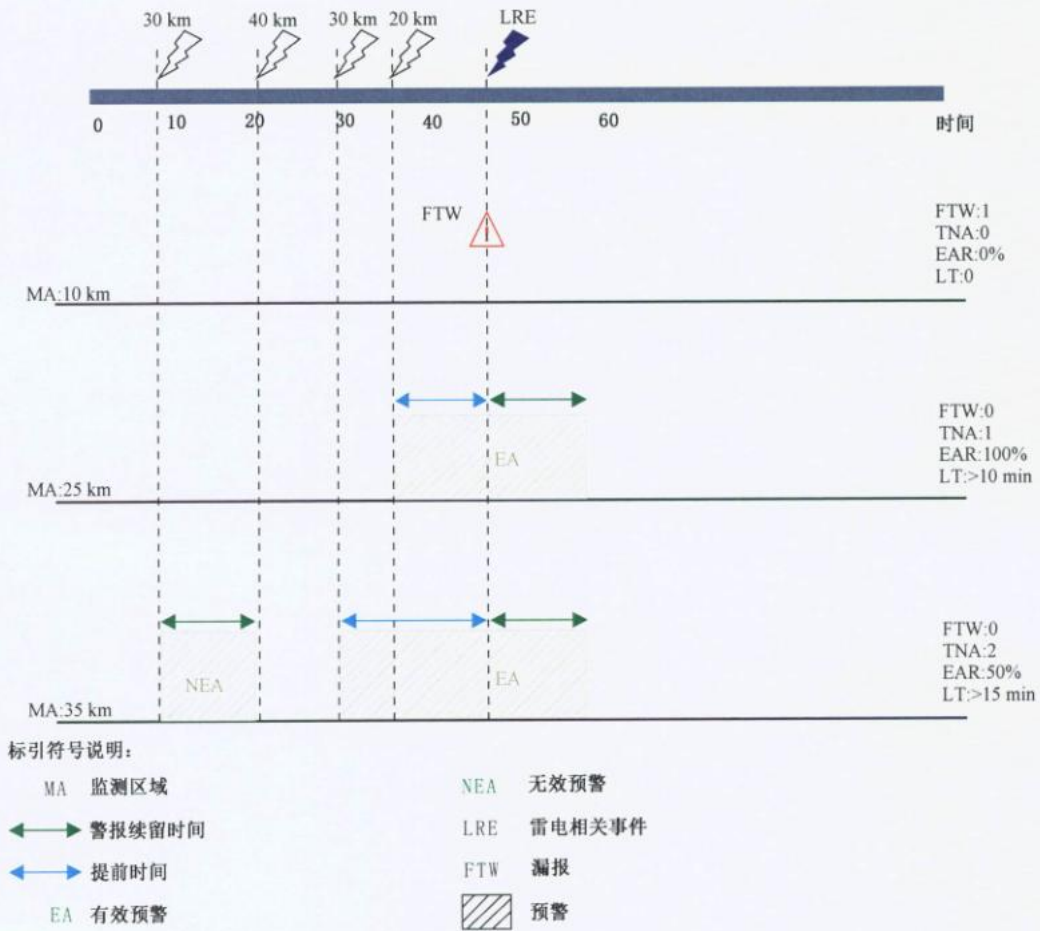


图 F.3 基于雷电定位系统的雷暴预警系统预警示例(三种不同监测区域半径)

## 参 考 文 献

- [1] IEC 62305(all parts) Protection against lightning
- [2] IEC 62858 Lightning density based on lightning location systems(LLS)—General principles
- [3] Rakov, V. A., Uman, M. A., Lightning: Physics and Effects, Ed. Cambridge University Press, 2003
- [4] Betz, H.D., Schumann, U., Laroche, P., Lightning: principles, instruments and applications: review of modern lightning research. Springer, 2008
- [5] CIGRE Brochure 549, Lightning parameters for engineering applications, Task Force C4.407, 2013
- [6] L.Rivas Soriano and F.de Pablo(2007), Total flash density and the intracloud/cloud-to-ground lightning ratio over the Iberian Peninsula, Journal of Geophysical Research VOL. 112, D13114, doi:10.1029/2006JD007624
- [7] CIGRE Brochure 376 “Cloud-to-Ground Lightning Parameters Derived from Lightning Location Systems-The Effects of System Performance”, Task Force C4.404, accepted for publication 2009
- [8] ACRP Report 8: Lightning-Warning Systems for Use by Airports. ISBN: 978-0-309-11752-4, published by US Transportation Research Board in 2008
- [9] Murphy, M.J, et al.(2008), Cloud to ground lightning warnings using electric field mill and lightning observation, paper presented at International Lightning Detection Conference, Tucson, USA.
- [10] Aranguren, D, et al.(2009), On the lightning hazard warning using electrostatic 9
- [12] Nag, A, et al.(2015), Lightning locating systems: insights on characteristics and validation techniques, Earth & space science, DOI:10.1002/2014EA000051
- [13] IEC TR 62713 Safety procedures for reduction of risk outside a structure
- [14] IEC 61400-24 Wind energy generation systems-Part 24: Lightning protection
-

中华人民共和国  
国家标准  
雷电防护 雷暴预警系统  
GB/T 38121—2023/IEC 62793:2020

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

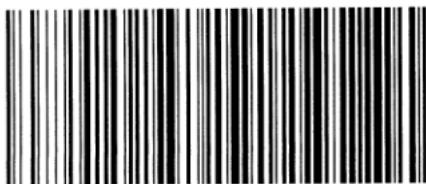
\*

开本 880×1230 1/16 印张 2.5 字数 76 千字  
2023年5月第一版 2023年5月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-72884 定价 64.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



GB/T 38121-2023



码上扫一扫 正版服务到