



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 37047—2018

---

## 基于雷电定位系统(LLS)的地闪密度 总则

Lightning density based on lightning location systems(LLS)—General principles

(IEC 62858:2015,MOD)

2018-12-28 发布

2019-07-01 实施

国家市场监督管理总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

# 目 次

前言 .....	I
引言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义、缩略语 .....	1
3.1 术语和定义 .....	1
3.2 缩略语 .....	2
4 一般要求 .....	3
4.1 概述 .....	3
4.2 地闪归集 .....	3
4.3 最小观测周期 .....	4
4.4 观测区域 .....	4
4.5 网格单元大小 .....	4
4.6 边界效应修正 .....	4
4.7 $N_{SG}$ 的确定 .....	4
5 LLS 运行特性的验证 .....	4
参考文献 .....	6

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用重新起草法修改采用 IEC 62858:2015《基于雷电定位系统(LLS)的地闪密度 总则》。

本标准与 IEC 62858:2015 相比,在结构上增加了一条(见 4.7)。

本标准与 IEC 62858:2015 的技术性差异及其原因如下:

——关于规范性引用文件,本标准做了具有技术性差异的调整,以适应我国的技术条件,调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中,具体调整如下:

- 用等同采用国际标准的 GB/T 21714.1 代替 IEC 62305-1(见 3.1);
- 用等同采用国际标准的 GB/T 21714.2 代替 IEC 62305-2(见 3.1)。

——修改了“地闪”和“云闪”的定义及“云闪”的英文表达(见 3.1.1 和 3.1.2),以保证严谨,同时符合中文语言习惯。

——增加了术语“回击”(见 3.1.3),以保证严谨,同时使得首次回击和后续回击的定义简洁明了。

——修改了“回击探测效率”的定义(见 3.1.13),同时增加了术语“地闪探测效率”(见 3.1.14),以便两者更好进行区分。

——修改了最小观测周期的部分描述(见 4.3),使得要求更加清楚和容易操作。

——增加了雷击点密度( $N_{SG}$ )的确定方法(见 4.7),以适应国内雷电定位系统实际情况。

——增加了利用雷击案例验证 LLS 运行特性的方法[见第 5 章的 e)],以便结合我国实际情况,开展雷电定位系统运行性能验证工作。

本标准做了下列编辑性修改:

——3.1.7、3.1.8 和 3.1.10 增加了注释;

——4.3 增加了示例;

——增加了一些参考文献。

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这些专利的责任。

本标准由全国雷电防护标准化技术委员会(SAC/TC 258)提出并归口。

本标准起草单位:国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、中国气象科学院研究院、福建省气象灾害防御技术中心、湖北省防雷中心、温州市气象防灾减灾预警中心、深圳市马斯达夫科技有限公司、广东省气象公共安全技术支持中心、中国标准化协会。

本标准主要起草人:谷山强、王剑、张义军、曾金全、王宇、丁海芳、姚喜梅、王学良、林念萍、王振凯、曾阳斌、曾瑜、王天羿、袁月。

## 引 言

雷电防护标准(如 GB/T 21714.2)提供了建(构)筑物雷电风险评估的方法。

地闪密度( $N_G$ )是雷电风险评估的首要输入参数。

目前该参数主要从雷电定位系统(LLS)提供的数据中获取,但对 LLS 的性能以及测量数据的描述均没有一个通用的准则。

# 基于雷电定位系统(LLS)的地闪密度 总则

## 1 范围

本标准规定了由雷电定位系统(LLS)获得地闪密度( $N_G$ )的方法。  
本标准适用于雷电风险评估相关参数的确定。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改版)适用于本文件。

GB/T 21714.1 雷电防护 第1部分:总则(GB/T 21714.1—2015,IEC 62305-1:2010,IDT)

GB/T 21714.2 雷电防护 第2部分:风险管理(GB/T 21714.2—2015,IEC 62305-2:2010,IDT)

## 3 术语和定义、缩略语

### 3.1 术语和定义

GB/T 21714.1 和 GB/T 21714.2 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**地闪** **cloud-to-ground lightning; CG**

雷暴云与大地之间的放电现象。

#### 3.1.2

**云闪** **cloud lightning; IC**

发生在雷暴云内、云间或雷暴云与大气之间非对地的放电现象。

#### 3.1.3

**回击** **return stroke**

地闪通道中电荷快速被中和的过程,通常伴随大电流、强电磁辐射和强烈发光现象。

#### 3.1.4

**首次回击** **first return stroke**

地闪中的第一次回击。

注:首次回击由梯级先导引发。

#### 3.1.5

**后续回击** **subsequent stroke**

地闪中除第一次回击以外的所有回击。

注:后续回击由箭式先导引发,可能与之前某次雷击(回击)具有相同的雷击点,也可能不同。

#### 3.1.6

**回击次数** **multiplicity**

一次地闪中首次及后续回击的次数。

3.1.7

**地闪密度** **ground flash density**

$N_G$

单位面积、单位时间的平均地闪次数。

注：单位为次每平方千米年[次/(km<sup>2</sup>·a)]。

3.1.8

**雷击点密度** **ground strike-point density**

$N_{SG}$

单位面积、单位时间的平均雷击点个数。

注：单位为个每平方千米年[个/(km<sup>2</sup>·a)]。

3.1.9

**雷电传感器** **lightning sensor**

用于测量雷电放电产生的电磁信号的装置。

3.1.10

**雷电定位系统** **lightning location system; LLS**

由多个雷电传感器组成的用于监测和定位其覆盖区域内雷电事件的探测网。

注：雷电定位系统又称闪电定位系统。

3.1.11

**置信椭圆** **confidence ellipse**

以估计的地面雷击点为中心，基于传感器测量误差描述估计定位置信度(例如：50%、90%、99%)的椭圆。

注：根据半长轴和半短轴的长度以及半长轴的方向描述置信椭圆。

3.1.12

**正常运行时间** **uptime**

雷电定位系统传感器全功能运行的持续时间，通常表示为占总观测时间的百分比。

3.1.13

**回击探测效率** **stroke detection efficiency**

探测到的回击次数占实际发生的回击总数的百分比。

3.1.14

**地闪探测效率** **CG detection efficiency**

探测到的地闪次数占实际发生的地闪总数的百分比。

注：在一次地闪中，至少探测到其中任意一次回击，即认为探测到该地闪。

3.1.15

**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。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CG:地闪(cloud-to-ground lightning)

DE:探测效率(detection efficiency)

IC:云闪(cloud lightning)

LA:定位精度(location accuracy)

LLS:雷电定位系统(lightning location system)



$N_G$ :地闪密度(ground flash density)

$N_{SG}$ :雷击点密度(ground strike-point density)

## 4 一般要求

### 4.1 概述

LLS的运行特性决定了用于计算 $N_G$ 的雷电数据的质量。雷电风险评估允许 $N_G$ 值的误差不超过±20%。任何能探测CG且能准确确定CG雷击点的LLS的数据都可以用于计算 $N_G$ 。计算足够精度的 $N_G$ ,LLS的运行特性应达到下列要求:

- 地闪(CG)探测效率(DE):在需要计算 $N_G$ 的区域,LLS对CG的年平均探测效率应至少为80%。DE一般从LLS的内部获取。LLS的内部是指由其最外层的传感器作为边界形成的区域。
- 定位精度(LA):在需要计算 $N_G$ 的区域,LLS对于CG回击的中值定位精度应优于500 m。LA一般从LLS的内部获取。
- 分类准确度:在DE满足 $N_G$ 计算准则的LLS中,如过多的CG被误判为IC,亦或反之,则会导致 $N_G$ 计算值出现错误的高值或低值。此种情况在单次回击CG雷电中尤为明显。分类准确度(CG雷电未被误判为IC)要求不小于85%。

不宜采用小数点超过2位的 $N_G$ 值。

可以通过多种方法确定LLS的这些性能指标,包括LLS自参照法(采用传感器计时误差的标准差、50%置信椭圆的半长轴长度以及参与定位的雷电传感器个数进行参数统计分析,上述参数可以从LLS生产厂家或LLS数据中得到)以及与通过不同技术方法获得的地面实际雷电数据进行对比。对于这些方法的讨论见第5章。

LLS对地闪的DE、LA和分类准确度取决于LLS的一些基本特性。为了保证用于 $N_G$ 计算的雷电数据具有足够的质量,LLS的所有者、操作人员以及数据提供方在设计和维护LLS时,应考虑下列因素:

- 传感器基线长度:LLS中相邻传感器之间的距离或传感器基线长度受单个传感器的灵敏度以及要求覆盖的区域范围影响。传感器基线长度是决定LLS地闪的DE和LA的因素之一。LLS最大的传感器基线长度应确保LLS对地闪的DE和LA满足上述描述的 $N_G$ 计算准则。
- 传感器灵敏度:LLS的传感器灵敏度主要决定LLS对不同峰值电流雷电的探测能力,LLS的传感器灵敏度应能够保证LLS探测到并报告峰值电流在5 kA~300 kA范围内的雷电。传感器灵敏度受触发阈值、电子增益、传感器带宽和背景电磁噪声等多方面因素的影响。
- 传感器正常运行时间:不同传感器的正常运行时间决定LLS的DE和LA。DE和LA的时空变化由正常运行并且参与定位的各个传感器的位置决定。因此,保证传感器不间断地正常运行至关重要。

### 4.2 地闪归集

为了计算 $N_G$ ,应将LLS探测到的回击归为地闪(该归类是基于一个时空窗函数完成的)。一个后续回击与其首次回击划归为一次地闪应满足下列所有条件:

- a) 后续回击与首次回击的时间间隔小于或等于1 s;
- b) 后续回击与首次回击的位置距离小于或等于10 km;
- c) 相邻回击之间的时间间隔小于或等于500 ms。

首次回击的雷击点被认定为该次地闪的雷击点。

按照上述标准,多接地点地闪的各接地点应计入同一次地闪。

### 4.3 最小观测周期

考虑到各种气象条件变化造成的雷电参数的短时变化,应采用足够长的样本周期。此外,大尺度的气候变化限制了雷电历史数据的代表性,一些 LLS 已经积累了几十年的雷电数据,在这期间全球气候发生了显著的变化。因此,计算  $N_G$  时至少需要 10 个完整年的雷电数据,最新数据应在近 5 年内,样本周期内的数据可以不连续。若某段时间内,由于某些原因,雷电数据质量不满足 4.1 中要求,应去掉该段时间所在的全年雷电数据,累计间断年数不应超过总时间跨度的 20%。

示例:为了满足 2016 年新建工程雷电风险评估需要,在计算  $N_G$  时所用的雷电数据若为 2006 年~2015 年间的数据库则满足要求,若为 2000 年~2009 年间的数据库则不满足要求,2005 年~2013 年间数据和 2015 年数据组成的数据集也满足要求。

### 4.4 观测区域

满足 4.1~4.3 中雷电数据质量要求的区域为观测区域。

不同的 LLS 及传感器技术具有不同的雷电探测灵敏度。LLS 覆盖范围在传感器组成的边界以外逐渐减小。通常,向 LLS 边界以外延伸距离为平均传感器基线距离一半的范围内的雷电数据的质量应满足计算  $N_G$  的要求。

### 4.5 网格单元大小

$N_G$  随年份和区域发生变化。雷电数据需在网格地图中计算,即特定地理边界之内所有网格单元组成的网格阵列;将目标区域分割成多个规则的网格,计算  $N_G$  的公式适用于发生在网格内的所有雷电。计算结果被视为该区域有效的  $N_G$ 。

选择网格大小时,应保证每个网格单元的大小和观测周期都满足式(1)中的最低要求,遵循泊松分布和稀有事件定律,确保在 90%置信水平上的不确定度小于 20%。

$$N_G \times T_{obs} \times A_{cell} \geq 80 \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$N_G$  ——地闪密度,单位为次每平方千米年[次/( $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ )];

$T_{obs}$  ——观测周期,单位为年(a);

$A_{cell}$  ——每个网格单元的面积,单位为平方千米( $\text{km}^2$ )。

此分析中,所用数据应同时满足 4.2 和 4.3 的要求。无论地闪密度和观测周期的大小如何,网格单元的最小允许尺寸不得小于中值定位精度值的两倍。

### 4.6 边界效应修正

按 4.5 中的规定,网格单元的最小面积应确保包含至少 80 次地闪。为了避免网格单元的边界效应,应将观测区域细分为  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$  的子单元,在边界区域通过累加足够数量的子单元而得出  $N_G$  数值。

### 4.7 $N_{SG}$ 的确定

对于有雷击点数据的 LLS,可直接利用其雷击点数据,按照 4.3~4.6 的方法计算  $N_{SG}$ 。对于没有雷击点数据的 LLS,可通过  $N_G$  乘 2 转化为  $N_{SG}$ 。

## 5 LLS 运行特性的验证

LLS 的运行特性决定了其获取的雷电数据的质量。其运行特性包括:



- 云闪、地闪和地闪回击的探测效率；
- 定位精度；
- 峰值电流估算准确度；
- 雷电分类准确度。

如第4章所述,对于地闪的 $N_G$ 和 $N_{SG}$ 的计算,探测效率、定位精度和雷电分类准确度非常重要。这些运行特性可用如下方法进行评估:

- a) LLS自参照法:利用传感器计时误差的标准差、50%置信椭圆的半长轴长度以及参与定位的传感器个数等统计分析参数估算出LLS的探测效率和定位精度。这种方法要求LLS在采集数据之前经过了适当的校准。本方法经济实用,可以有效地评估LLS的性能。
- b) 火箭引雷与高建(构)筑物验证法:将火箭引雷试验或高建(构)筑物(例如,试验塔)遭雷击的观测数据作为地面实际数据,评估火箭引雷装置或高建(构)筑物所在区域的LLS的运行性能。探测效率、定位准确度、峰值电流估算准确度和雷电分类准确度均可用此方法进行评估。虽然此方法能为LLS的地闪定位运行特性评估提供最准确的地面实际数据(并且是直接验证峰值电流估算精度的唯一方法),但此方法可能非常昂贵,并非适用于所有地区(因为全球范围内火箭引雷设施和试验塔并不多),而且只能用于评估引雷装置或高建(构)筑物所在区域的LLS性能(尤其当LLS的性能可能存在较大地域差异时)。另外,火箭引雷试验得到的回击数据仅类似于自然雷电的后续回击。这种方法无法获得自然雷电的首次回击数据。高建(构)筑物验证法通常也是如此,取决于建(构)筑物的高度、当地地形、雷暴类型和其他因素。由于自然雷电中首次回击的平均峰值电场强度和电流强度通常比后续回击大两倍,采用这种方法可能会一定程度上低估LLS的地闪和回击探测效率。
- c) 摄像观测法:将摄像机拍摄到的LLS覆盖范围内的雷电数据作为地面实际数据,评估雷电发生区域的LLS运行特性。该方法可用于大体上评估探测效率、定位准确度和雷电分类准确度。但是,由于无法预测摄像机可能捕捉到的雷电放电的具体位置,故该方法中数据收集工作比较耗时且具有挑战性。此方法通常需要一些辅助仪器,如用于测量雷电电场强度的天线。
- d) LLS对比法:通过与参考LLS的对比得到被验证LLS的运行特性,但是用作参考的LLS应经过准确校准,并且其运行特性是单独验证的。该方法允许将待检验LLS与参考LLS进行对比,对探测效率和定位准确度进行推算。如果参考LLS提供了甚高频雷电定位,则可推断出被验证LLS的云闪探测效率。此方法的局限在于要求被验证LLS和参考LLS覆盖范围重合度高。另外,如果参考LLS未经良好校准或其运行特性未知,则任何对被验证LLS性能的推算均属无效。
- e) 雷击案例验证法:通过将LLS定位数据和确定的雷击事件进行对比,验证LLS运行特性。要求所确定的雷击事件具有准确的位置信息和时间信息(其中位置准确度达到500 m,时间准确度达到毫秒量级)。该方法可用于评估LLS的地闪探测效率、回击探测效率和定位精度。由于电网雷击故障跳闸信息(故障点和故障时间)可以通过线路故障定位装置获得,时间精度可达到微秒量级,因此电网雷击故障可作为雷击案例验证法的典型代表。

当利用上述一种或多种方法综合评估LLS的运行特性时,需了解所使用方法的优缺点,以获得可靠的评估结果。

## 参 考 文 献

- [1] Rapport CIGRE 376, avril 2009, groupe de travail C4.404; Cloud-to-ground Lightning Parameters derived from Lightning Location Systems-The Effects of System Performance.
- [2] Cummins K L, Murphy M J, Bardo E A, et al. A combined TOA/MDF technology upgrade of the US National Lightning Detection Network[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1998, 103(D8): 9035-9044.
- [3] 陈家宏, 张勤, 冯万兴, 等. 中国电网雷电定位系统与雷电监测网[J]. *高电压技术*, 2008, 34(3): 425-431.
- [4] Diendorfer, G. (2008, June). Some comments on the achievable accuracy of local ground flash density values. In *International Lightning Detection Conference*.
- [5] Pédeboy, S. (2012, April). Identification of the multiple ground contacts flashes with lightning location systems. In *International Lightning Detection Conference*.
- [6] Cummins, K. L., Murphy, M. J., Cramer, J. A., Scheftic, W., Demetriades, N., & Nag, A. (2010, April). Location accuracy improvements using propagation corrections: A case study of the US National Lightning Detection Network. In *preprints, 21st International Lightning Detection Conference, Orlando, FL reprints*, 21.
- [7] Naccarato, K. P., Pinto Jr., O. et Murphy, M. J. (2008), Performance Analysis of the BrasilDAT network, 2008 Intl. Conf. on Grounding and Earthing/3rd Intl. Conf. on Lightning Physics and Effects, Florianopolis, Brazil, 16-20 November, pp.329-338.
- [8] Jerauld, J., Rakov, V. A., Uman, M. A., Rambo, K. J., Jordan, D. M., Cummins, K. L., & Cramer, J. A. (2005). An evaluation of the performance characteristics of the US National Lightning Detection Network in Florida using rocket-triggered lightning. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984 K. J., o110(D19)).
- [9] Nag, A., Mallick, S., Rakov, V. A., Howard, J. S., Biagi, C. J., Hill, J. D., ... & Cramer, J. A. (2011). Evaluation of US National Lightning Detection Network performance characteristics using rocket-triggered lightning data acquired in 2004—2009. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984 S., B., o116(D2)).
- [10] 陈绿文, 张义军, 吕伟涛, 等. 闪电定位资料与人工引雷观测结果的对比分析[J]. *高电压技术*, 2009, 35(8): 1896-1902.
- [11] Chen L, Zhang Y, Lu W, et al. Performance evaluation for a lightning location system based on observations of artificially triggered lightning and natural lightning flashes[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2012, 29(12): 1835-1844.
- [12] 张义军, 吕伟涛, 陈绍东, 等. 广东野外雷电综合观测试验十年进展[J]. *气象学报*, 2016, 74(5): 655-671.
- [13] Nag, A., Rakov, V. A., Schulz, W., Saba, M. M., Thottappillil, R., Biagi, C. J., ... & Gotschl, T. (2008). First versus subsequent return-stroke current and field peaks in negative cloud-to-ground lightning discharges. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), o113(D19).
- [14] Biagi, C. J., Cummins, K. L., Kehoe, K. E., & Krider, E. P. (2007). National lightning detection network (NLDN) performance in southern Arizona, Texas, and Oklahoma in 2003—2004. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984 Kride, o112(D5)).
- [15] Chen L, Zhang Y, Lu W, et al. Performance evaluation for a lightning location system

based on observations of artificially triggered lightning and natural lightning flashes[J].*Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2012, 29(12): 1835-1844.

[16] Wang, Y., Qie, X., Wang, D., Liu, M., Su, D., Wang, Z., ... & Tian, Y. (2016). Beijing Lightning Network (BLNET) and the observation on preliminary breakdown processes. *Atmospheric Research*, 171, 121-132.

[17] Poelman, D.R., Schulz, W., & Vergeiner, C. (2013). Performance characteristics of distinct lightning detection networks covering Belgium. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 30(5), 942-951.

[18] 曹璞磷, 束洪春, 马仪, 等. 基于雷电定位系统与行波实测数据的雷击故障关联度分析[J]. *中国电机工程学报*, 2015, 35(20): 5220-5227.

---

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
基于雷电定位系统(LLS)的地闪密度 总则  
GB/T 37047—2018

\*

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.org.cn](http://www.spc.org.cn)

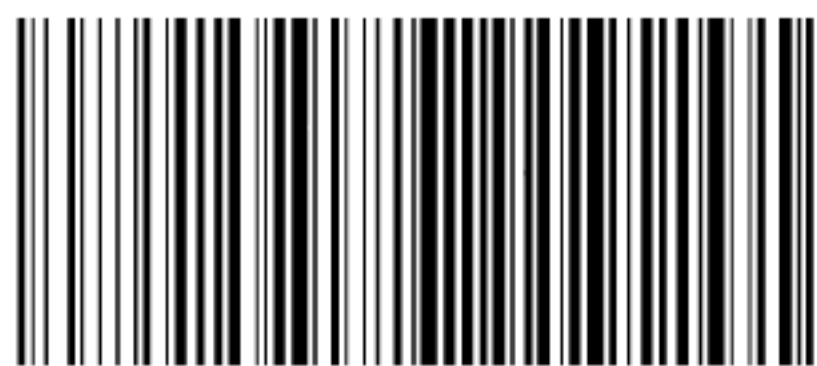
服务热线: 400-168-0010

2019年1月第一版

\*

书号: 155066·1-62078

版权专有 侵权必究



GB/T 37047—2018