ICS 91.120.40
CCS K 04

中华人民共和国国家标准

GB/T 37047—2022
代替 GB/T 37047—2018

基于雷电定位系统(LLS)的地闪密度 总则

Cloud-to-ground lightning density based on lightning location systems(LLS)—General principles

[IEC 62858:2019,Lightning density based on lightning location systems(LLS)—General principles,MOD]

2022-07-11 发布 2023-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

目　　次

前言 …… Ⅲ
引言 …… Ⅴ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语、定义、缩略语和符号 …… 1
3.1　术语和定义 …… 1
3.2　缩略语和符号 …… 2
4　要求 …… 2
4.1　对 LLS 的要求 …… 2
4.2　地闪密度(N_G)和雷击点密度(N_{SG}) …… 3
4.3　地闪归集 …… 3
4.4　观测年限 …… 4
4.5　观测区域 …… 4
4.6　网格单元大小 …… 4
4.7　边界效应修正 …… 4
5　LLS 运行特性的验证 …… 4
附录 A（规范性）　基于 LLS 数据的地闪密度(N_G)和雷击点密度(N_{SG})计算流程 …… 6
附录 B（资料性）　地面雷击点(GSP)的释义和计算方法 …… 7
参考文献 …… 9

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

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 37047—2018《基于雷电定位系统(LLS)的地闪密度　总则》，与GB/T 37047—2018相比，除结构调整和编辑性改动外主要技术变化如下：

——删除了术语“地闪”“云闪”“回击”“首次回击”“后续回击”“回击次数”(见2018年版的3.1.1～3.1.6)；

——更改了术语“雷电定位系统”的定义(见3.1.4，2018年版的3.1.10)；

——增加了缩略语“GSP：雷击点”(见3.2)；

——增加了地闪密度(N_G)和雷击点密度(N_{SG})计算公式(见4.2)；

——删除了雷击点密度(N_G)的确定方法(见2018年版的4.7)；

——增加了规范性附录A“基于LLS数据的地闪密度(N_G)和雷击点密度(N_{SG})计算流程”。

本文件修改采用IEC 62858：2019《基于雷电定位系统(LLS)的地闪密度　总则》。本文件与IEC 62858：2019相比做了下述结构调整：

——增加了4.2“地闪密度(N_G)和雷击点密度(N_{SG})”，4.3～4.7对应IEC 62858：2019的4.2～4.6；

——删除了IEC 62858：2019的资料性附录A“采用卫星雷电监测资料时的地闪密度计算”，同时增加了规范性附录A“基于LLS数据的地闪密度(N_G)和雷击点密度(N_{SG})计算流程”。

本文件与IEC 62858：2019的技术差异及其原因如下：

——用规范性引用的GB/T 21714.1替换了IEC 62305-1(见3.1)，以适应我国的技术条件；

——用规范性引用的GB/T 21714.2替换了IEC 62305-2(见3.1)，以适应我国的技术条件；

——更改了“回击探测效率”的定义(见3.1.7)，同时增加了术语“地闪探测效率”(见3.1.8)，以便两者更好地进行区分；

——增加了地闪密度(N_G)和雷击点密度(N_{SG})计算公式(见4.2)，便于本文件的理解和使用；

——更改了最小观测周期的部分描述(见4.4)，使得要求更加清楚和容易操作；

——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；

——增加了规范性附录A“基于LLS数据的地闪密度(N_G)和雷击点密度(N_{SG})计算流程”。

本文件做了下列编辑性修改：

——更改了标准名称、3.1.1及3.2中术语“地闪密度”的英文；

——更改了3.2中缩略语“IC：云闪”的英文；

——删除了4.1中部分陈述性语句；

——4.4的标题由“最小观测周期”修改为“观测年限”，以符合中文语言习惯；

——4.4中增加了示例，便于对“观测年限”的理解；

——第5章的b)中增加了探测效率的注，便于文中理解；

——更改了资料性附录B的内容，详细说明了雷击点(GSP)的两类计算方法；

——增加了部分参考文献。

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：国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、四川中光防雷科技股份有限公司、

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

国网北京市电力公司电力科学研究院、中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所、广西壮族自治区防雷中心、台州桂龙防雷工程有限公司、重庆市防雷中心、福建省气象灾害防御技术中心、陆军工程大学野战工程学院、贵州省气象灾害防御技术中心、南京宽永电子系统有限公司、合肥航太电物理技术有限公司、中国标准化协会、中科天际科技股份有限公司。

本文件主要起草人：谷山强、王宇、姚喜梅、杨国华、周恺、郝胤博、肖桐、刘泽、植耀玲、许伟、曾金全、邱实、丁旻、黎琮莹、段泽民、张建培、何静、高攀亮、陶铃宏、吴坚康。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2018 年首次发布为 GB/T 37047—2018；

——本次为第一次修订。

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

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)、雷击点密度(N_{SG})是进行雷电风险评估的首要输入参数。根据地闪特征,雷击点密度大于或者等于地闪密度。在雷击点可以获得的区域,宜使用雷击点密度进行雷电风险评估。

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准则。

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

基于雷电定位系统(LLS)的地闪密度　总则

1　范围

本文件规定了由雷电定位系统(LLS)获得地闪密度(N_G)、雷击点密度(N_{SG})的方法。

本文件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。

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、定义、缩略语和符号

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

地闪密度　cloud-to-ground lightning 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^2 · a)]。

3.1.2

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^2 · a)]。

3.1.3

雷电传感器　lightning sensor

用于测量雷电放电产生的电磁辐射信号的装置。

注:简称传感器。

3.1.4

雷电定位系统　lightning location system;LLS

闪电定位系统

通过探测雷电放电过程中产生的电磁辐射信号,采用多种雷电定位技术和方法来确定雷电发生的时间、位置、极性等多项雷电参数的系统。

注:由多个设在不同地理位置的雷电传感器(又称子站)、数据处理和系统监控中心(又称中心站)、产品输出和显示

公众号:规范标准库(免费下载)ID:guifan8899

系统以及配套的通信设施等组成。

3.1.5

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。

3.1.6

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。

3.1.7

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。

3.1.8

地闪探测效率　cloud-to-ground lightning 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。

3.1.9

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　缩略语和符号

下列缩略语和符号适用于本文件。

CG：地闪（cloud-to-ground lightning）

DE：探测效率（detection efficiency）

GSP：雷击点（ground strike point）

IC：云闪（intra-cloud and inter-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（cloud-to-ground lightning density）

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

4　要求

4.1　对 LLS 的要求

LLS 的运行特性决定了用于计算 N_G 的雷电数据的质量。因雷电风险评估允许 N_G 值的误差不超过±20%，LLS 的运行特性应达到下列要求。

——地闪探测效率（DE）：在需要计算 N_G 的区域，LLS 对地闪（CG）的年平均探测效率应至少为 80%。地闪探测效率一般从 LLS 站网范围内获取。LLS 站网范围是指由其最外层的雷电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 对于地闪回击的中值定位精度应优于 500 m。定位精度一般从 LLS 站网范围内获取。

——雷电分类准确度：雷电分类准确度要求不小于 85%。

可以通过第 5 章的方法确定 LLS 的上述性能指标。

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

为了确保用于计算 N_G 的雷电数据的质量，LLS 的所有者、操作人员以及数据提供方在设计和维护 LLS 时，宜考虑下列因素。

——传感器基线长度：传感器基线长度是指 LLS 中相邻传感器之间的距离。传感器基线长度受单个传感器的灵敏度以及要求覆盖区域范围的影响。传感器基线长度是决定 LLS 地闪探测效率和定位精度的因素之一。LLS 的最大传感器基线长度应确保 LLS 的地闪探测效率和中值定位精度满足上述的 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 的传感器灵敏度应保证 LLS 能探测到峰值电流为 5 kA～300 kA 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。

——传感器的正常运行时间：不同传感器的正常运行时间是影响 LLS 的地闪探测效率和中值定位精度的重要因素。地闪探测效率和中值定位精度的时空变化由正常运行且参与定位的各个传感器的位置决定。因此，保证传感器无间断地正常运行至关重要。

4.2 地闪密度(N_G)和雷击点密度(N_{SG})

由雷电定位数据获得地闪数据后，根据公式(1)即可计算得到 N_G：

$$N_G = \frac{\sum_{i=1}^{N} F_i}{A \cdot N} \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中：

N_G ——地闪密度，单位为次每平方千米年[次/(km² · a)]；

F_i ——统计区域内的年地闪数量，单位为次；

A ——统计区域面积，单位为平方千米(km²)；

N ——年数，单位为年(a)。

由雷电定位数据获得雷击点数据后，根据公式(2)即可计算得到 N_{SG}：

$$N_{SG} = \frac{\sum_{i=1}^{N} S_i}{A \cdot N} \qquad \cdots\cdots(2)$$

式中：

N_{SG}——雷击点密度，单位为个每平方千米年[个/(km² · a)]；

S_i ——统计区域内的年雷击点数量，单位为个；

A ——统计区域面积，单位为平方千米(km²)；

N ——年数，单位为年(a)。

基于 LLS 数据的 N_G 和 N_{SG} 的计算流程应符合附录 A 的规定。

4.3 地闪归集

为了计算 N_G，应将 LLS 探测到的回击归为地闪。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。

回击归集为雷击点用于计算 N_{SG}，回击归集方法见附录 B。

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

4.4 观测年限

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 在积累了几十年雷电数据期间，气候发生了显著的变化。因此，计算 N_G 时所用的雷电数据观测年限应不少于 10 个完整年，最新 1 年数据应在近 5 年内。样本周期内的数据宜尽量连续，若某段时间内雷电数据质量不满足 4.1 中要求，应去掉该时间段所在的全年雷电数据。

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

4.5 观测区域

满足 4.1、4.3、4.4 中雷电数据质量要求的区域为观测区域。

LLS 覆盖范围为传感器组成的边界向外延伸一定距离。通常，向 LLS 边界以外延伸的距离为雷电传感器基线平均距离的一半，该范围内的雷电数据质量应满足计算 N_G 的要求。

4.6 网格单元大小

雷电数据应在网格地图中计算，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。选择网格大小时，每个网格单元的面积和观测年限应满足公式(3)的要求。地闪遵循泊松分布和稀有事件定律，应确保 N_G 在 90% 置信水平上的不确定度小于 20%。

$$N_G \times T_{obs} \times A_{cell} \geqslant 80 \qquad \cdots\cdots(3)$$

式中：

N_G ——地闪密度，单位为次每平方千米年[次/(km^2 · a)]；

T_{obs} ——观测年限，单位为年(a)；

A_{cell} ——每个网格单元的面积，单位为平方千米(km^2)。

此分析中，所用数据应同时满足 4.3 和 4.4 的要求。网格单元的最小允许尺寸应不小于中值定位精度的 2 倍。

4.7 边界效应修正

按 4.6 的规定，最小面积的网格单元应至少包含 80 次地闪。为了避免网格单元的边界效应，宜将观测区域细分为 1 km×1 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。

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(IC)、地闪和回击的探测效率；

——定位精度；

——峰值电流估算准确度；

——雷电分类准确度。

LLS 的运行特性可用以下方法进行评估。

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 的探测效率和中值定位精度。此方法要求 LLS 在采

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

集数据之前经过适当的校准。此方法经济实用，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(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 LLS 的运行性能。探测效率、中值定位精度、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。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，是直接验证峰值电流估算准确度的唯一方法，但此方法费用昂贵，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，并不适用于所有地区。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。此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，采用此方法可能会一定程度上低估 LLS 的地闪和回击探测效率。

注：无特殊说明情况下，探测效率表示地闪探测效率和回击探测效率。

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。此方法可大体上评估探测效率、中值定位精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，故此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 比对法：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。此方法允许将待检验 LLS 与参考 LLS 进行对比，对探测效率和中值定位精度进行推算。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。此方法的局限在于对被验证 LLS 和参考 LLS 覆盖范围重合度要求高。另外，如果参考 LLS 未经过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)。此方法可用于评估 LLS 的地闪探测效率、回击探测效率和中值定位精度。因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并通过查找雷击闪络点最终确认、位置准确度和时间准确度均可达到要求，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。

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

附 录 A
（规范性）
基于 LLS 数据的地闪密度（N_G）和雷击点密度（N_{SG}）计算流程

基于 LLS 数据的地闪密度（N_G）和雷击点密度（N_{SG}）计算流程见图 A.1。

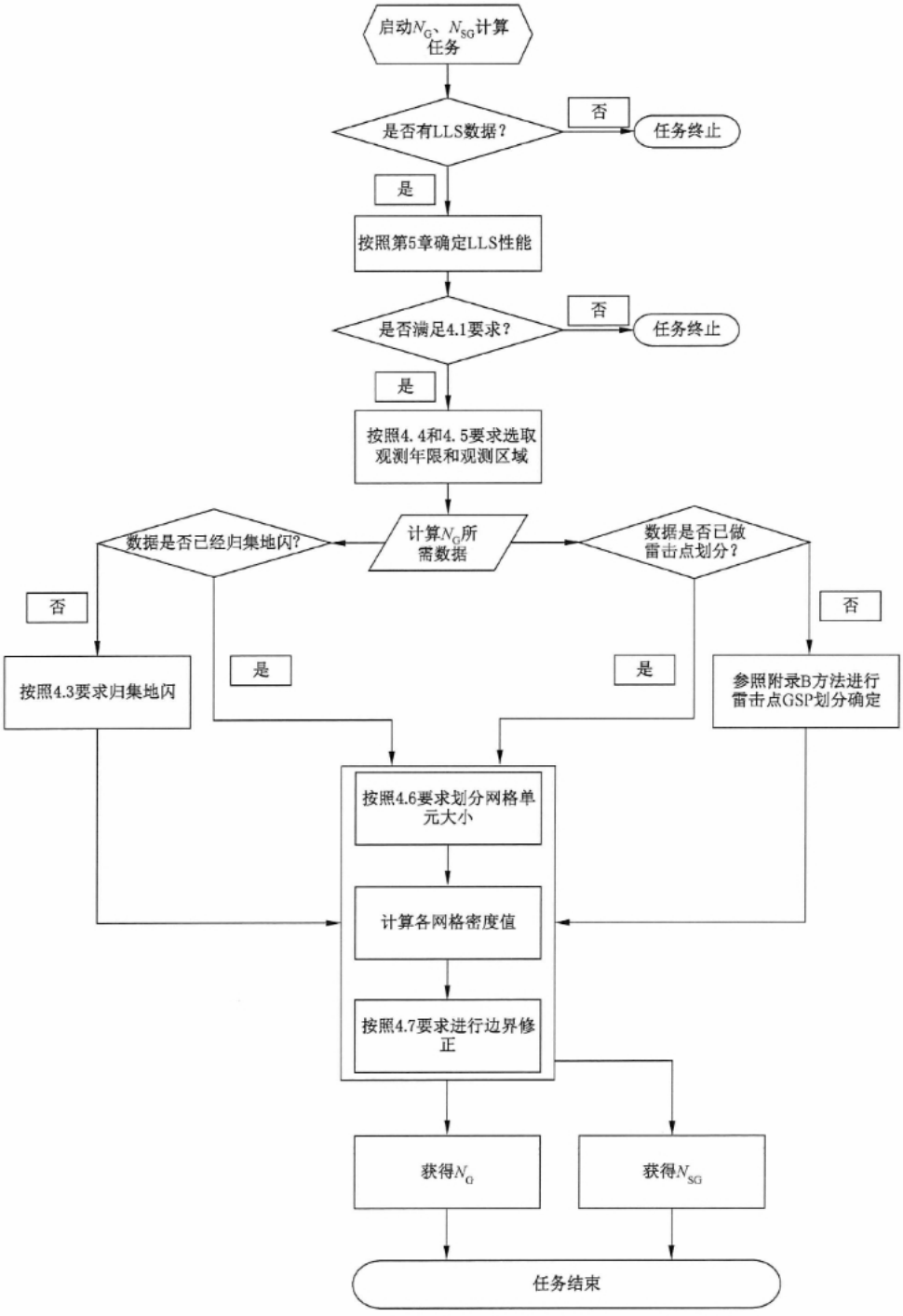


图 A.1 基于 LLS 数据的地闪密度（N_G）和雷击点密度（N_{SG}）计算流程图

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

附 录 B
（资料性）
地面雷击点(GSP)的释义和计算方法

大约一半的负极性云对地闪电具有多个雷击点。这种情况发生在箭式先导的一部分随前序回击通道发展，当快结束时产生新的路径到地面。每一个雷击点可认为是一个威胁，需要在雷电风险评估中考虑。

基于高精度雷电定位数据，可以区分一次地闪的几乎所有不同的雷击点。

LLS 可通过不同的算法来确定地面雷击点，这些算法各有优缺点，具体如下。

a) 参数拟合法。取回击的如下参数：回击波形上升时间(RT)、回击序数(Order)、回击间距离差(D)、50%置信度误差椭圆半长轴长度(SMA)。采用公式(B.1)，如 DISC 为负值，则表示参与评估的两次回击为不同击地点的两次回击。此方法非常依赖上升时间参数的质量，但是一些 LLS 可能不提供上升时间和峰值-零值时间信息。

$$\mathrm{DISC}=0.75-0.96\times\mathrm{RT}+0.9\times\mathrm{Order}-0.38\times\left(\frac{D}{\mathrm{SMA}}\right) \quad \cdots\cdots(\mathrm{B.1})$$

式中：

DISC ——判别参数；

RT ——回击波形上升时间，单位为微秒(μs)；

Order ——回击序数；

D ——回击间距离差，单位为千米(km)；

SMA ——50%置信度误差椭圆半长轴长度，单位为千米(km)。

b) k-means 聚类分析法。此方法将一次地闪中的多个回击聚类为多个小组，每一个小组被认为是一个新的雷击点，小组个数代表了雷击点的个数。此方法对定位误差小的 LLS 具有较好的分类效果。当定位误差比雷击点间隔距离大的时候将没有区分各个雷击点的能力。

在开展 k-means 聚类分析前，需要对各个回击进行定位误差分析，误差分析结果一般以置信椭圆表示。有的 LLS 在提供回击定位结果时，同时提供了相应的误差分析结果，如 50%置信度误差椭圆半长轴及其方向。通过误差椭圆分布，可以比较直观地识别出回击的分组情况，如图 B.1 所示。

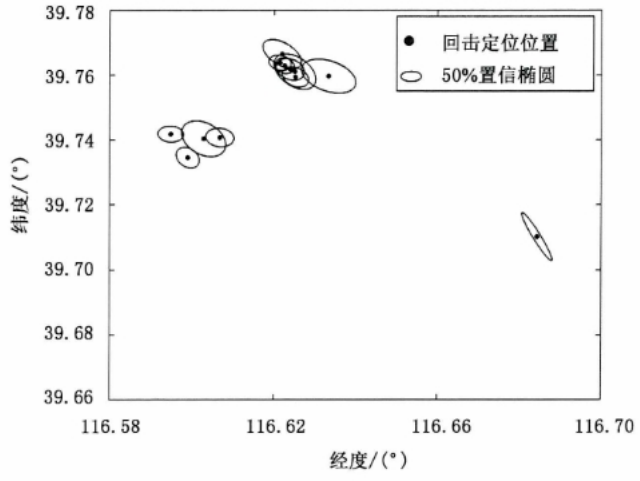


图 B.1 一次地闪多个回击的 50%置信误差椭圆分布图

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

对 LLS 的回击定位结果，进行批量、自动的雷击点聚类分析时，需要为 k-means 算法指定小组数，该数值通常依据回击点之间距离以及各回击定位位置的误差（如 SMA）得出。

雷电定位数据应用上述任一算法后，依据地闪密度相同的计算规则，雷击点密度可以在空间中确定出来。

一次地闪的多个回击定位数据示例见表 B.1。

表 B.1　一次地闪的多个回击定位数据示例

回击序号	时间	小数秒	纬度 (°)	经度 (°)	电流 kA
1	2020/05/21 12:44:50	0.350 890 4	39.734 55	116.599 1	−14.5
2	2020/05/21 12:44:50	0.611 135 3	39.740 73	116.606 8	−28.1
3	2020/05/21 12:44:50	0.693 153 0	39.740 35	116.602 9	−12.2
4	2020/05/21 12:44:50	0.742 727 4	39.741 78	116.594 9	−25.7
5	2020/05/21 12:44:50	0.754 413 1	39.710 24	116.684 2	−12.4
6	2020/05/21 12:44:50	0.755 493 9	39.763 73	116.621 4	−40.8
7	2020/05/21 12:44:50	0.818 015 0	39.759 62	116.633 3	−12.1
8	2020/05/21 12:44:50	0.891 910 6	39.759 34	116.625 2	−14
9	2020/05/21 12:44:50	0.977 751 9	39.761 01	116.625 1	−12.7
10	2020/05/21 12:44:51	0.118 062 3	39.762 81	116.622 6	−14
11	2020/05/21 12:44:51	0.165 783 0	39.761 68	116.623 9	−13.3
12	2020/05/21 12:44:51	0.253 128 6	39.766 36	116.621 9	−11.2

一次地闪多个回击的 k-means 聚类结果见图 B.2。

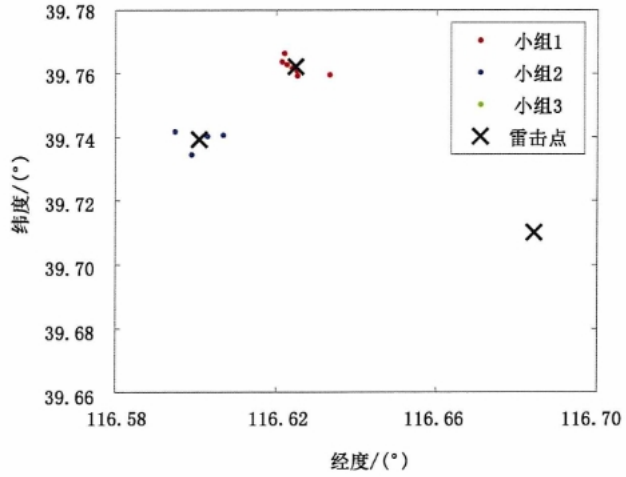


图 B.2　一次地闪多个回击的 k-means 聚类结果图

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

参 考 文 献

[1] 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

[2] 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

[3] 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

[4] CIGRE Report 376，“Cloud-to-Ground Lightning Parameters Derived from Lightning Location Systems—The Effects of System Performance,”CIGRE Report 376，2009

[5] J. E. Jerauld et al.，“An evaluation of the performance characteristics of the U.S. National Lightning Detection Network in Florida using rocket-triggered lightning,” J.Geophys. Res. Atmos.，vol. 110，no. D19，p.D19106，2005

[6] A. Nag et al.，“Evaluation of U.S. National Lightning Detection Network performance characteristics using rocket-triggered lightning data acquired in 2004-2009,” J. Geophys. Res. Atmos.，vol. 116，no. D2，p.D02123，2011

[7] W. Schulz，G. Diendorfer，S. Pedeboy，and D. R. Poelman，“The European lightning location system EUCLID—Part 1：Performance analysis and validation,” Nat. Hazards Earth Syst. Sci.，vol. 16，no. 2，p. 595-605，2016

[8] W. Schulz，S. Pédeboy，C. Vergeiner，E. Defer，and W. Rison，“Validation of the EUCLID LLS during HyMeX SOP1,” in International Lightning Detection Conference and International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC)，2014

[9] D. R. Poelman，W. Schulz，and C. Vergeiner，“Performance Characteristics of Distinct Lightning Detection Networks Covering Belgium,” J. Atmos. Ocean. Technol.，vol. 30，no. 5，p. 942-951，2013

[10] W. A. Chisholm，“Estimates of Lightning Ground Flash Density using Optical Transient Density,” in IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (IEEE Cat. No. 03CH37495)，2003，vol. 3，p. 1068-1071

[11] K. L. Cummins，“Analysis of Multiple Ground Contacts in Cloud-to-ground Flashes Using LLS Data：The Impact of Complex Terrain,” in International Lightning Detection Conference and International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC)，2012

[12] S. Pédeboy，“Identification of the multiple ground contacts flashes with lightning location systems,” in 22nd International Lightning Detection Conference and 4th International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC)，2012

[13] S. Pédeboy and W. Schulz，“Validation of a ground strike point identification algorithm based on ground truth data,” in International Lightning Detection Conference and International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC)，2014

[14] W. Schulz，S. Pedeboy，and M. M. F. Saba，“LLS Detection Efficiency of Ground Strike Points,” in Lightning Protection (ICLP)，2014 International Conference on，2014，no. 2,p. 381-384

[15] G. Diendorfer，“Some Comments on the Achievable Accuracy of Local Ground Flash Density Values,” in 29th International Conference on Lightning Protection (ICLP),2008，no. June，p. 1-6

[16] L. Z. S. Campos，K. L. Cummins，and O. J.Pinto，“An algorithm for identifying ground

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899

strike points from return stroke data provided by Lightning Location Systems," in Asia-Pacific Conference on Lightning (APL), 2015, p. 475-478

[17] L. Z. S. Campos, "On the mechanisms that lead to multiple ground contacts in lightning," PhD Thesis, INPE, Brazil, 2016

[18] W. Schulz, "Performance Evaluation of Lightning Location Systems," PhD Thesis, Technical University of Vienna, 1997

[19] K. L. Cummins, M. J. Murphy, J. A. Cramer, W. D. Scheftic, N. W. S. Demetriades, and A. Nag, "Location accuracy improvements using propagation corrections: a case study of the U.S. National Lightning Detection Network," in 21st International Lightning Detection Conference and 3rd International Lightning Meteorology Conference(ILDC/ILMC), 2010

[20] 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

[21] K. P. Naccarato, O. J. Pinto, and M. J. Murphy, "Performance Analysis of the Brasil-DAT network," in International Conference on Grounding and Earthing and 3rd International Conference on Lightning Physics and Effects (GROUND/LPE), 2008

公众号：规范标准库（免费下载）ID：guifan8899