

郑川, 吴艳梅, 贾召亮, 等. 2022. 利用通信基站状态信息快速判定云南地区地震影响场方向[J]. 地震研究, 45(4): 617–625, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2022.0062.

Zheng C, Wu Y M, Jia Z L, et al. 2022. Rapid determination of the direction of the earthquake-influenced field in Yunnan using the status information of communication base stations [J]. *Journal of Seismological Research*, 45(4): 617–625, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2022.0062.

# 利用通信基站状态信息快速判定云南地区 地震影响场方向\*

郑川, 吴艳梅, 贾召亮, 曹彦波, 许瑞杰

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 选取2015—2021年云南地区10次 $M_s \geq 5.0$ 地震震区通信基站状态信息, 将告警通信基站按震后不同时段、告警类型、震级进行划分, 使用一元线性回归方法对告警基站状态数据进行拟合, 得到的回归方向判定为影响场方向。结果表明: 各地震的拟合影响场与实际调查地震影响场空间展布方向基本吻合, 且用震后5 min内告警基站判定的影响场方向更具普遍适用性; 用退服告警通信基站空间位置信息判定的影响场方向结果更加趋近于实际调查影响场方向; 告警基站、退服基站数据拟合线段相关系数 $R^2$ 分别为大于0.75和0.97; 震级越大, 地震造成的通信基站告警数量和告警类型越丰富, 告警基站数据研究也越具有优势。

**关键词:** 通信基站; 告警基站; 一元线性回归; 影响场

**中图分类号:** P315.95

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2022)04-0617-09

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2022.0062

## 0 引言

破坏性地震发生后, 开展灾区地震灾害损失快速预评估是地震应急工作的首要任务。快速判定灾区影响范围、时空分布、震害规模、地震动强度等是地震应急灾情快速获取及服务的关键。地震影响场分布的评估是地震灾害应急快速评估中非常重要的因素(聂高众等, 2012; 帅向华等, 2020), 评估结果的最大不确定来自于对地震影响场的估计(王晓青等, 2009), 所以提高地震影响场评估精准性是提高地震灾害损失快速评估系统准确性的基础和前提(任静等, 2020)。因此地震烈度影响场的快速评估依然是地震灾害损失评估研究中非常重要的内容。

目前, 各级地震部门应急指挥中心一般根据

烈度衰减模型计算生成地震影响场来预估灾区范围和地震动强度(汪素云等, 2000; 王景来, 宋志峰, 2001; 张方浩等, 2016)。地震影响场的长轴方向初判方法相对简单, 主要是通过离震中最近的活动断裂走向来进行初步判断(冯蔚等, 2015), 但由于活动断层的研究受比例尺精细程度影响较大, 在实际地震灾害影响场评估应用中可能产生一定的偏差, 导致对部分重灾区损失估计不足, 影响救灾效果(李志强等, 2008)。针对上述问题, 众多专家学者开展了地震影响范围预估方法研究, 如通过余震的空间分布反演宏观震中和影响场方向(白仙富等, 2011; 孙艳萍等, 2021); 利用地震三要素、强震仪器烈度和地震现场资料连续开展地震烈度影响场的判定与修正(帅向华等, 2020); 利用群智感知网络灾情信息, 进行震后有感范围提取、地震烈度判定和灾情快

\* 收稿日期: 2021-07-01.

基金项目: 中国地震局地震应急青年重点任务(CEA-EDEM-202217)资助.

第一作者简介: 郑川(1989-), 工程师, 主要从事地震应急技术、方法研究, 应急基础数据管理及数据挖掘应用.

E-mail: 981706476@qq.com.

速判定 (胡素平, 帅向华, 2012; 刘经南等, 2014; 何宗宜等, 2015; 曹彦波等, 2017; 薄涛等, 2018); 利用联网设备 (TCP/IP)、社会视频源等物联网数据对地震灾害影响范围进行判别 (李兆隆等, 2017; 李东平等, 2019)。上述研究及新技术的尝试都在推动着震后影响场信息评估时效性与准确性不断提高。

破坏性地震发生后, 通信网络都会受到不同程度的影响及损坏。如 2008 年汶川  $M_s 8.0$  地震时, 受地震影响的通信基站遍布 VI ~ XI 烈度区, 出现退服、线路损坏并导致通信中断的基站有 29 064 个 (含小灵通基站); 2013 年四川芦山  $M_s 7.0$  地震中传输光缆中断十余处, 最多时有 303 个通信基站退服; 2014 年云南鲁甸  $M_s 6.5$  地震导致鲁甸县 41 个基站退服; 2017 年四川九寨沟  $M_s 7.0$  地震造成 259 个通信基站退服。目前震后通过震区告警通信基站信息进行影响场判定的研究还较少, 但庞大的通信基站数量为相关研究提供了良好的数据基础, 总结通信基站的典型震害和破坏特征 (臧战胜等, 2014), 获取震后通信运行状态、网络拥塞等数据状态可快速判定受地震影响的大致区域范围, 尤其可以快速预估地震影响场展布方向和极震区的可能位置 (吴艳梅等, 2019)。利用告警通信基站开展影响场判定研究, 将为震后灾情快速获取提供新的思路, 为地震应急科技支撑提供有效途径。

本文基于线性趋势回归分析方法, 利用震区告警基站模型回归拟合地震影响场展布方向。基于 2015—2021 年云南地区实际震例, 对本文所评估的地震影响场长轴方向与实际地震影响场长轴方向的吻合度进行对比分析, 评估本文方法的可靠性, 为利用通信基站运行状态实时数据判定地震影响场方向判定提供一种新思路, 为地震影响场预评估结果的动态修正提供参考。

## 1 数据源与研究方法

### 1.1 数据来源及预处理

本文研究数据包括云南省行政区划数据、历史震例影响场数据、活动构造数据、震区通信基站告警站点数据等 6 类。其中通信基站数据来源于中国铁塔股份有限公司云南省分公司, 由于该公司于 2014 年 9 月成立后全省通信基站数据才并入

铁塔监控系统, 铁塔监控系统数据库从 2014 年底开始存储通信基站运行状态数据, 因此本文仅收集到 2015—2021 年云南地区 10 次  $M_s \geq 5.0$  地震震区通信基站运行状态数据作为研究资料 (表 1)。

表 1 2015—2021 年云南地区  $M_s \geq 5.0$  地震三要素

Tab. 1 Three important parameters of the  $M_s \geq 5.0$  earthquakes from 2015 to 2021

发震日期	参考地点	震级	发震日期	参考地点	震级
2015-03-01	沧源县	$M_s 5.5$	2018-09-08	墨江县	$M_s 5.9$
2015-10-30	昌宁县	$M_s 5.1$	2020-05-18	巧家县	$M_s 5.0$
2016-05-18	云龙县	$M_s 5.0$	2021-05-22	漾濞县	$M_s 6.4$
2017-03-27	漾濞县	$M_s 5.1$	2021-06-10	双柏县	$M_s 5.1$
2018-08-13	通海县	$M_s 5.0$	2021-12-24	中缅边境	$M_s 6.4$

本文收集到的震区告警基站数据为电子表格和图片, 基础信息内容包括站址编码、站址名称、经度、纬度、震中距、告警时间等, 以此建立云南省故障通信基站变化数据库, 详细内容见表 2。对原始数据进行检查整理, 剔除异常值, 然后利用基站经纬度属性将其转换为矢量数据, 并按时间、告警类型进行分类, 最后用 ArcMap 软件将矢量数据统一转化为相同的地理投影和空间坐标系。

表 2 告警通信基站基础数据属性

Tab. 2 Attributes of the basic data of the alarm base stations

数据类别	属性描述	备注
地震事件	地震三要素	利用地震事件筛选震区告警基站属性数据
站址编码	ID	基站的 18 位唯一辨识编码
站址名称	位置描述	基站具体位置位置描述
经度	基站经度	可定位经度 (4 位)
纬度	基站纬度	可定位纬度 (4 位)
震中距	震中到故障基站 直线距离	标记告警基站与震中距离大小
告警时间	实时告警时间	实时记录故障基站告警具体时间

截至 2021 年 6 月, 云南省行政区划范围内共有可定位通信基站 103 468 个, 主要集中分布于地、市、县 (区)、乡镇、行政村等行政中心, 从以州 (市) 为单元统计的通信基站分布情况 (表 3) 可以看出, 通信基站分布相对均匀, 各州 (市) 基站数量与人口数量及国土面积成正比, 在人口密

集的中部、南部和东北部区域分布较为稠密，西北部和西南部区域分布较少。

表3 各州（市）通信基站数量统计

Tab. 3 Number of communication base stations in each city of Yunnan

地市名称	在网基站数量	地市名称	在网基站数量
昆明市	14 445	保山市	5 967
曲靖市	9 517	楚雄州	6 007
红河州	10 302	临沧市	5 055
昭通市	9 125	西双版纳州	4 365
大理州	8 469	德宏州	3 385
文山州	7 871	丽江市	3 815
普洱市	7 279	迪庆州	1 667
玉溪市	4 725	怒江州	1 474

## 1.2 技术路线

本文依据地震三要素信息，通过铁塔监控系统提取震中区指定半径范围内的通信基站位置、运行状态等数据，并进行矢量化预处理和存储，然后筛选震后不同时段（5、30 min）基站运行状态数据，提取通信基站运行状态时间变化特征，再对比分析 2015—2021 年  $M_s \geq 5.0$  地震震区通信基站在震前、震后的空间分布及运行状态变化情况，提取震区通信基站运行状态受地震影响的空间分布特征，基于基站运行状态、时空分布特征与地震影响场展布关系，通过回归分析拟合得到地震影响场长轴方向，最后对比拟合影响场与实地调查影响场方向的分布差异，对所提出的方法进行检验修正，具体流程如图 1 所示。

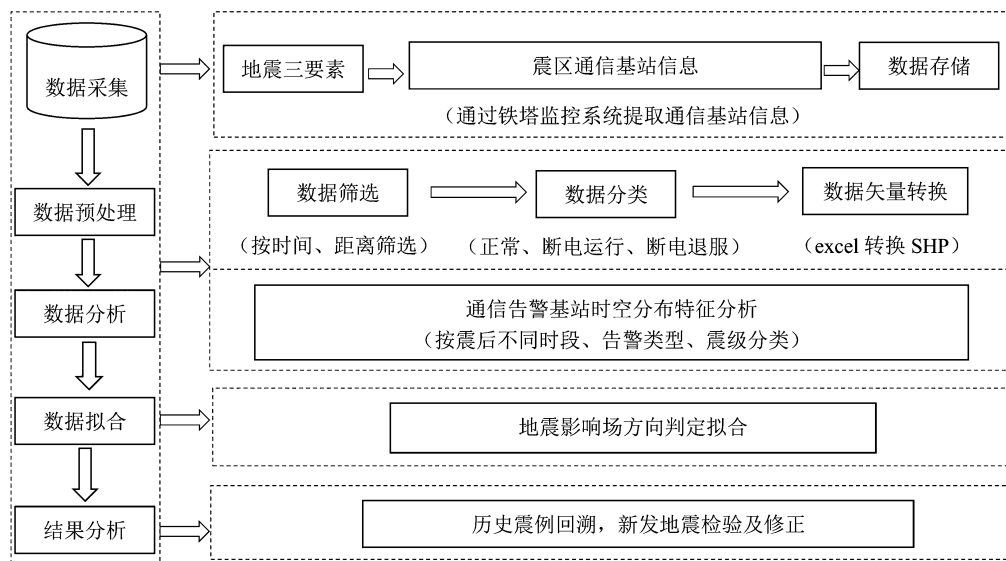


图1 利用通信基站状态信息快速判定云南地区地震影响场方向技术流程图

Fig. 1 The technical flow chart of quick determination of the direction of the earthquake-influenced field in Yunnan by using the status information of the communication base stations

## 1.3 研究方法

通过前期对震区告警基站数据进行初步分析可知，告警基站在时间、空间、告警类型上很大程度反映了地震影响场分布信息，因此，本文以此反演地震影响场方向，且将影响场方向定义为影响场的长轴方向。

本文分别采用空间插值、趋势分析、回归分析等方法对告警基站数据反复尝试，发现空间插值与趋势分析拟合结果均没有线性回归拟合效果好，所以选用一元线性回归方法建立影响场方向

与告警基站时间、空间、告警类型之间关系的统计模型。一元线性回归分析是根据统计资料，探究一个变量对另一个变量的适当数学表达式来近似表示变量间的平均变化关系的一种统计分析方法，是描述两个变量之间相关关系的最简单的回归模型，可表示为：

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + v \quad (1)$$

式中： $y$  为被解释变量（故障基站纬度）； $x$  为解释变量（故障基站经度）； $\beta_0$  和  $\beta_1$  为回归系数； $v$

是表示  $x$  和  $y$  关系中的不确定因素的影响。

将各震例按照不同震级分组后, 将告警基站纬度、经度坐标分别作为变量和自变量, 用一元线性回归分析得到各组数据的回归方程。通过回归方程得到相应的趋势线段, 将趋势线段的方向判定为影响场的长轴方向。趋势线拟合程度可以反映趋势线的估计值与对应的实际数据之间的拟合程度, 拟合程度越高、趋势线的可靠性就越高, 趋势线拟合程度的指标  $R^2$  可表示为:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

式中:  $SSR$  为残差平方和;  $SST$  为拟合平方和;  $\hat{y}_i$  为残差;  $\bar{y}$  为观测平均值;  $y_i$  为对应坐标纬度值。

## 2 研究结果及分析

2015—2021 年收集到的 10 次  $M_s \geq 5.0$  地震震区基站数据中, 除 2018 年通海  $M_s 5.0$ 、墨江  $M_s 5.9$ 、2020 年巧家  $M_s 5.0$ 、2021 年漾濞  $M_s 6.4$  地震有一定数据量的告警基站数据, 其余地震仅有零星或没有告警通信基站数据, 因此本文仅选用这 4 次地震的告警基站数据进行分析。为验证本文研究结果的可靠性, 使用告警通信基站数据, 分别从震后不同时段、告警类型、震级 3 个方面拟合影响场方向, 将其与实际调查得到的影响场方向进行空间对比分析, 主要计算趋势线段方向与实际调查影响场方向角度的绝对差, 同时将趋势线段方向与云南地震灾害快速评估信息服务系统评估影响场方向的偏差进行对比分析。

### 2.1 时段分析

由于本文研究的目标是解决在震后极短时间内对地震影响场方向的快速预判评估, 故仅选取了地震后 30 min 内震区出现故障告警的通信基站作为研究样本。从图 2、3 可以看出, 除 2018 年云南通海  $M_s 5.0$  地震外, 基于告警基站信息用一元线性回归方法拟合判定的其他 3 个地震的影响场长轴方向总体上与实际调查所得的影响场的长轴方向接近。选取 2018 年墨江  $M_s 5.9$  地震后 5 min 内与 30 min 内的震区故障告警基站数据判定的影响场方向大致相同 (图 2b), 即选用震后不同时段内震区故障告警基站判定的影响场方向与实际调查

所得的影响场方向的拟合程度不因震后时间的延续发生规律性变化, 反而会影响影响场的判定精度, 如在一些时段精度会降低。因此, 影响场判定精度与震后不同时段没有规律性的关联。

震区通信基站空间分布相对均匀 (湖泊区域除外) (图 2), 在乡镇、城区人口密集地区分布较为集中, 而告警基站空间分布不是绝对线性的, 且主要分布在对应地震高烈度区范围内或附近区域; 在经济发达、人口密集城镇地区发生地震后, 告警基站数量明显高于经济欠发达和人口稀疏地区, 局部地区告警点的密集分布, 可能会对拟合影响场方向的准确性有一定影响。图 3 为使用 3 次  $M_s \geq 5.0$  地震后 5 min 内的故障告警通信基站数据得出的拟合结果, 其中 2018 年墨江  $M_s 5.9$  地震影响场的拟合结果分别基于告警基站和停电退服基站数据得出。从图中可以看出, 3 次地震拟合程度相关系数  $R^2$  均在 0.75 以上, 可以推测故障基站在地震发生瞬间受到的破坏是呈线性分布的。因此, 从判定时效性看, 选取震后 5 min 的告警台站进行判定的影响场结果更适合用于影响场评估动态修正, 该方法比目前地震应急指挥中心的影响场修正方法具有更高的时效性。

### 2.2 告警类型分析

从图 3a、b 可以看出, 以 2018 年墨江  $M_s 5.9$  地震告警基站为例, 分别选取震后 5 min 告警基站和退服基站拟合所得影响场方向均为 NW 向, 与实际调查结果一致; 从震区通信基站不同告警类型拟合结果 (图 4a) 可以看出, 用震后退服基站与告警基站判定的影响场方向与实际调查影响场基本一致, 但仅用退服基站拟合得到的结果与实际影响场走向更符合, 且极震区 (Ⅷ度区) 的实际分布方向与判定方向基本重合; 两种告警类型趋势线段与真实地震影响场角度的绝对差都为  $3^\circ$ , 使用断电退服通信基站拟合得到的影响场长轴方向与真实地震影响场更为接近, 且  $R^2$  更大, 达到 0.970 8, 线性拟合程度更高。因此, 选用退服基站拟合地震影响场方向更符合线性分布, 可靠性也较高。

### 2.3 震级分析

对 2015—2021 年云南地区  $M_s \geq 5.0$  地震进行震级分类, 基于告警基站信息用一元线性回归法判定的影响场方向精度没有明显的时间性, 却有一定的震级区别。 $M_s 5.0 \sim 5.5$  地震时告警基站较

少,如2015年沧源 $M_s5.5$ 和昌宁 $M_s5.0$ 地震时未出现告警基站,但2018年通海 $M_s5.0$ 地震时有一定数量的基站告警,可能与该次地震震源深度较浅和震区基站密度较大有关。从有告警基站的地震影响场拟合结果看,同等震级震例告警基站拟合结果可以作为影响场动态修正的重要参考(图4);对

$M_s5.6 \sim 6.5$ 地震告警基站进行空间分析时,发现震区告警基站数量明显较多、告警类型更丰富,判定的影响场方向与实际调查影响场空间对应性和拟合相关系数均较好(图2);由于近年来云南地震未发生 $M_s \geq 6.5$ 地震,与该震级档相关的基站损害空间分布特征尚不明确。

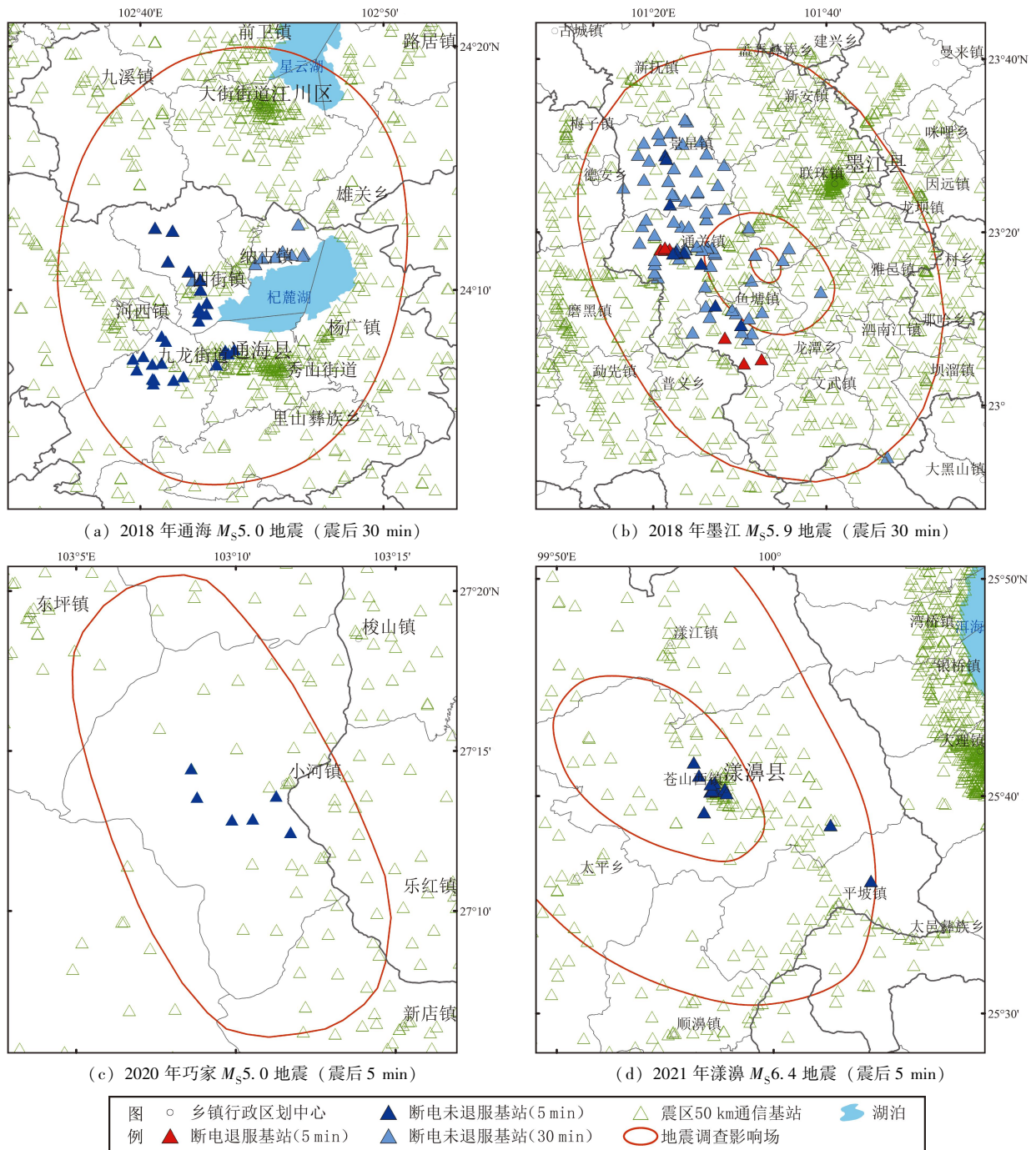


图2 震区故障告警基站与调查地震影响场分布

Fig. 2 Distribution of the base stations giving failure warning and the earthquake - intensity area determined through field investigation

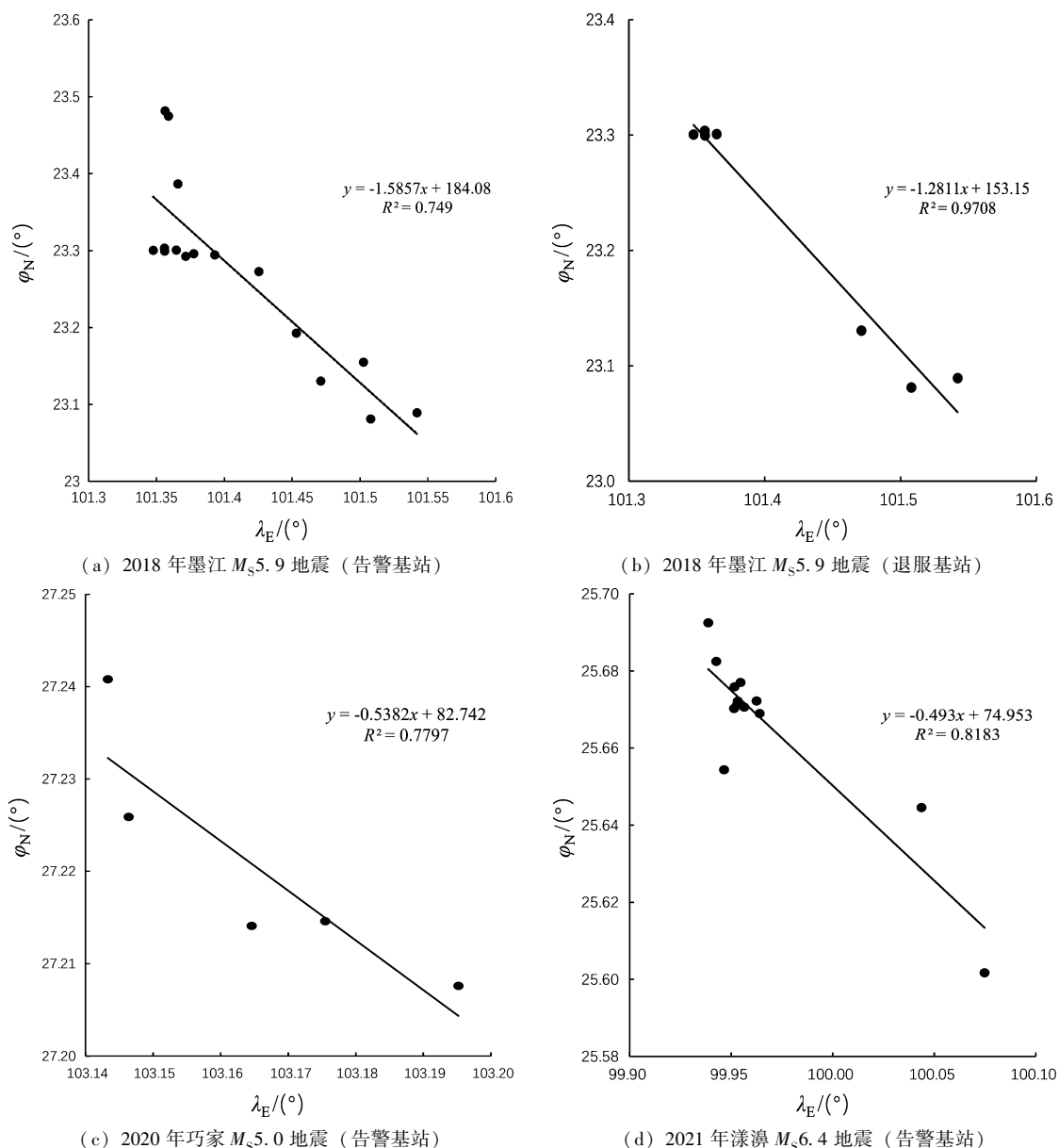


图 3 一元线性回归分析方法判定的震后 5 min 影响场方向

Fig. 3 The direction of the earthquake - influenced field determined 5 minutes after the earthquake by the Univariate Linear Regression analysis

## 2.4 结果对比分析

通过对本文拟合影响场、实际调查影响场和现有评估系统产出影响场的长轴展布方向和角度进行对比可以看出,由告警通信基站拟合判定的影响场方向与实际调查影响场方向总体上相对一致(表4)。

现有评估系统通过距震中最近活动断层数据判定影响场方向,该方法的优势在于时效性高,可快速得出评估结果,但该方法在实际应急快速评估工作中存在一定的局限性,受断层研究的比

例尺精细程度影响较大。如 2014 年云南鲁甸  $M_s6.5$  地震的发震断层为 NW 向的包谷垭—小河断裂,而按距离震中最近的断层方向判定结果为 NE 向的昭通—鲁甸断裂;2020 年云南巧家  $M_s5.0$  地震评估系统给出的影响场方向与实际调查方向也出现了偏差,但使用震后 5 min 告警基站数据得到的拟合结果与实际调查影响场更接近(图4)。2018 年云南墨江  $M_s5.9$  地震与 2021 年云南漾濞  $M_s6.4$  地震时,记录到的告警基站数量明显比巧家  $M_s5.0$  地震多,且告警基站主要分布

在高烈度区, 较为集中, 分布趋势较为明显, 对于这2次地震, 使用告警基站拟合判定的结果、评估系统预估结果分别与实际调查所得影响场对比, 可以看出拟合得到的长轴方向和趋势线段与坐标轴夹角的对比结果都优于评估系统的预估结

果。因此, 使用本文方法判定的影响场分布方向, 在时间上有明显优势, 判断结果的可信度也能达到应急期间要求, 比传统评估系统的结果更符合云南地区实际情况, 可将本文方法判定的影响场方向作为评估影响场动态修正的重要参考。

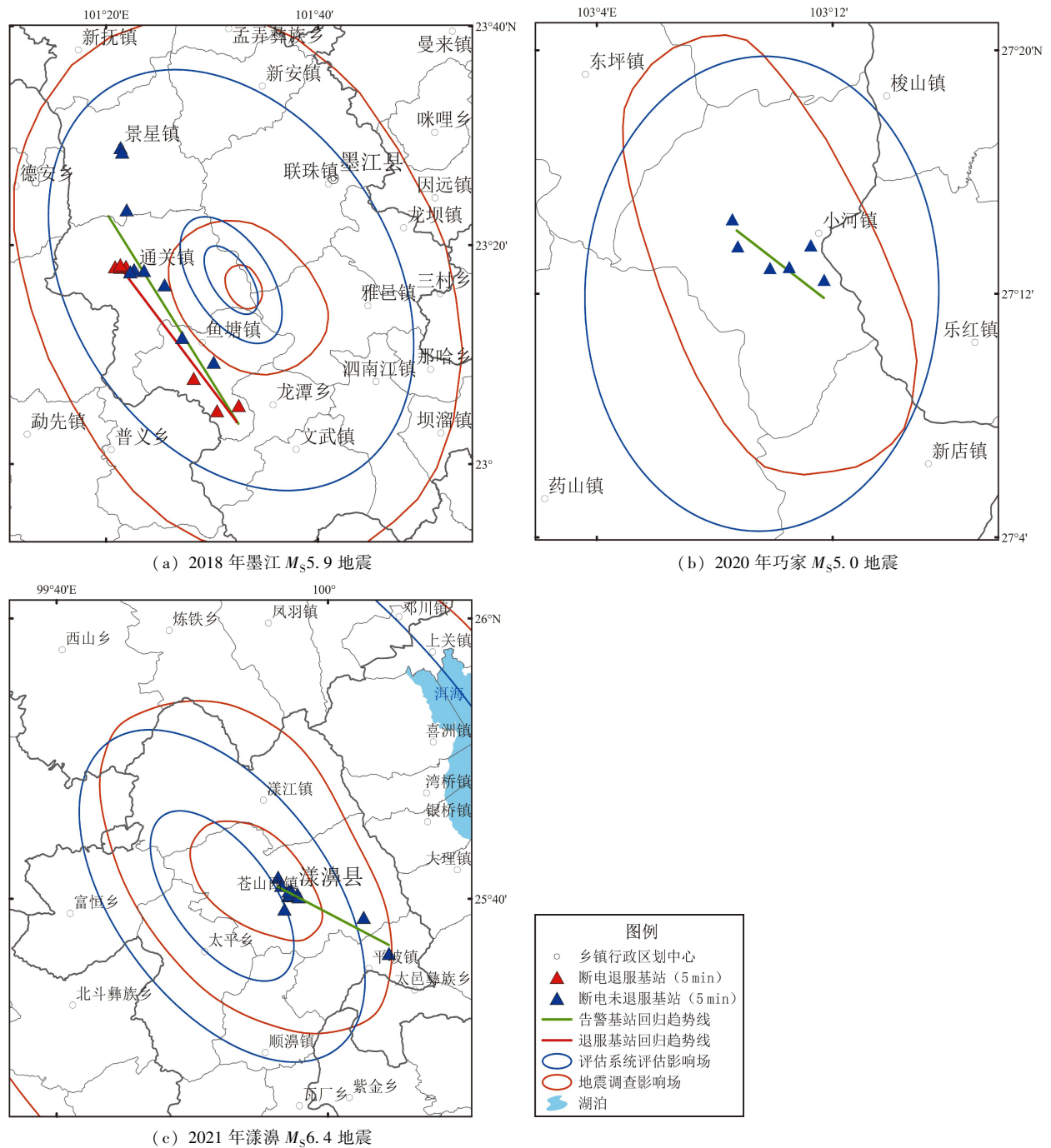


图4 使用本文方法判定影响场分布趋势与调查影响场、评估影响场空间分布

Fig. 4 The distribution of the earthquake - influenced field determined by the authors, the earthquake - intensity area determined through field investigation, and the earthquake - influenced field determined with the assessing system

表 4 地震影响场长轴方向对比

Tab. 4 Comparison of the directions of the long axes of the 3 kinds of earthquake – influenced fields

地震	实际调查影响场方向	评估系统预估影响场方向	拟合判定影响场方向
2018 年通海 $M_s5.0$	NNE ( $80^\circ$ )	NNE ( $69^\circ$ )	NWW ( $140^\circ$ ) (告警基站)
2018 年墨江 $M_s5.9$	NNW ( $126^\circ$ )	NNW ( $118^\circ$ )	NNW ( $129^\circ$ ) (告警基站)
2018 年墨江 $M_s5.9$	NNW ( $126^\circ$ )	NNW ( $118^\circ$ )	NNW ( $123^\circ$ ) (退服基站)
2020 年巧家 $M_s5.0$	NNW ( $115^\circ$ )	NNE ( $87^\circ$ )	NWW ( $140^\circ$ ) (告警基站)
2021 年漾濞 $M_s6.4$	NWW ( $140^\circ$ )	NNW ( $127^\circ$ )	NWW ( $147^\circ$ ) (告警基站)

### 3 结论

地震影响场预估结果的时效性与准确性对破坏性地震应急辅助决策工作具有重要意义。本文将震后实时获取的震区告警通信基站空间分布作为地震烈度影响场展布的修正数据,利用告警通信基站空间分布的趋势方向确定地震烈度衰减方向,并对 2018 年云南墨江  $M_s5.9$ 、2021 年云南漾濞  $M_s6.4$  等地震进行验证分析,主要得出以下结论:

(1) 该方法可以较为准确地预判烈度衰减方向,利用告警基站一元线性回归分析拟合得到的地震影响场长轴方向和本地化分区烈度衰减关系可以共同约束高烈度区的影响场长轴方向和边界,给出较为可靠的地震烈度影响场展布方向,为破坏性地震特急期开展地震应急工作提供更加科学可靠的科技支撑。

(2) 对 2015—2021 年云南地区  $M_s \geq 5.0$  地震的基站运行状态进行分类处理后,用一元线性回归方法反演地震影响场方向取得了较为理想的结果。从地震震级分类上看,  $M_s5.0 \sim 5.5$  地震对基础设施破坏性不大,  $M_s5.6 \sim 6.5$  地震造成的通信基站告警数量和告警类型较为丰富,因此对  $M_s5.6 \sim 6.5$  地震告警基站数据研究更具优势性;对告警基站数据按不同告警类型进行研究时,发现用震区告警基站空间位置信息拟合判定的影响场方向总体上与实际地震影响场相符,其中,利用退服告警通信基站空间位置信息判定的影响场方向更加趋近于实际调查得到的影响场方向;从震后分时段对比看,用震后 5 min 内告警基站判定的影响场方向更具普遍适用性。

(3) 本文基于通信基站状态信息的地震影响场方向快速判定方法研究的样本数据仅限于云南

地区 2015—2021 年  $M_s5.0 \sim 6.5$  破坏性地震通信基站运行状态数据,由于样本量有限,给出的模型方法和结论还有待更多真实震例数据进行优化修正,使影响场的评估更加科学可靠。从本文研究初步成果可以得出,通过震后快速获取的震区告警通信基站信息,利用一元线性回归分析方法拟合得到的影响场方向与实际地震影响场长轴方向的吻合度较高,可以将其作为云南地震灾害快速评估信息服务系统预评估影响场方向动态修正的重要参考,为地震灾情速判提供科学依据,为进一步提高地震应急信息服务能力提供新的途径。

### 参考文献:

- 白仙富,戴雨茨,李永强,等. 2011. 基于余震信息的宏观震中和影响场方向快速判定方法——以云南地区为例[J]. 地震研究, 34(4): 525–532.
- 薄涛,李小军,陈苏,等. 2018. 基于社交媒体数据的地震烈度快速评估方法[J]. 地震工程与工程振动, 38(5): 206–215.
- 曹彦波,吴艳梅,许瑞杰,等. 2017. 基于微博舆情数据的震后有感范围提取研究[J]. 地震研究, 40(2): 303–310.
- 冯蔚,刘杰,罗佳宏,等. 2015. 基于强震和测震数据对鲁甸 6.5 级地震发震断层方向的研究[J]. 地震地质, 37(1): 331–341.
- 何宗宜,苗静,彭将,等. 2015. 结合微博数据挖掘的时空特征分析[J]. 测绘通报, (10): 60–64.
- 胡素平,帅向华. 2012. 网络地震灾情信息智能处理模型与地震烈度判定方法研究[J]. 震灾防御技术, 7(4): 420–430.
- 李东平,陈海鹏,张凯,等. 2019. 基于社会视频监控信息源的地震影响范围快速勾画[J]. 地震研究, 42(2): 187–195.
- 李兆隆,吴艳梅,李敏,等. 2017. 基于互联网信报控制协议的灾情信息获取技术研究与应用[J]. 地震研究, 40(2): 311–316.
- 李志强,袁一凡,李晓丽,等. 2008. 对汶川地震宏观震中和极震区的认识[J]. 地震地质, 30(3): 768–777.
- 刘经南,方媛,郭迟,等. 2014. 位置大数据的分析处理研究进展[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 39(4): 379–385.
- 聂高众,安基文,邓砚. 2012. 地震应急灾情服务进展[J]. 地震地质, 34(4): 783–789.
- 任静,阿里木江·亚力昆,李志强,等. 2020. 2020 年 1 月 19 日新疆伽师 6.4 级地震灾害损失快速评估精准性分析[J]. 震灾防御

- 技术, 15(2): 349 – 358.
- 帅向华, 冯蔚, 董翔, 等. 2020. 震后分时段地震烈度影响场快速判别方法研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 45(8): 1195 – 1204.
- 孙艳萍, 张苏平, 朱瑞, 等. 2021. 基于余震分析的宏观震中、地震影响场方向和极震区初步修正[J]. 地震科学进展, 51(7): 309 – 314.
- 汪素云, 俞言祥, 高阿甲, 等. 2000. 中国分区地震动衰减关系的确定[J]. 中国地震, 16(2): 99 – 106.
- 王景来, 宋志峰. 2001. 地震灾害快速评估模型[J]. 地震研究, 24(2): 162 – 167.
- 王晓青, 丁香, 王龙, 等. 2009. 四川汶川8级大地震灾害损失快速评估研究[J]. 地震学报, 31(2): 205 – 211.
- 吴艳梅, 李兆隆, 郑川, 等. 2019. 云南省可定位IP地址数据特征及其在地震有感范围判定中的应用[J]. 华北地震科学, 37(1): 1 – 5.
- 臧战胜, 黄维学, 孙国良. 2014. 通信基地震破坏等级划分探讨[J]. 地震工程与工程振动, 34(S1): 1025 – 2030.
- 张方浩, 蒋飞蕊, 李永强, 等. 2016. 云南地区地震烈度评估模型研究[J]. 中国地震, 32(3): 572 – 583.

## Rapid Determination of the Direction of the Earthquake – influenced Field in Yunnan Using the Status Information of Communication Base Stations

ZHENG Chuan, WU Yanmei, JIA Zhaoliang, CAO Yanbo, XU Ruijie  
(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

### Abstract

We select the status information of the communication base stations in the earthquake – hit areas of ten  $M_s \geq 5.0$  earthquakes in Yunnan from 2015 to 2021, and classify these alarm communication base stations according to periods, alarm types, and magnitudes after the earthquake, and use the Univariate Linear Regression method to analyze the status data of these alarm base stations. We perform the linear model regression fitting, and then we determine that the regression direction is the direction of the earthquake – influenced field. The distribution of the fitted influenced field is generally consistent with the distribution of the earthquake intensity area determined by field investigation. The influenced field direction determined according to the base station giving alarm in 5 minutes after the earthquake is generally applicable. The direction of the influenced field determined by the location information of the deactivated alarm communication base station is closer to the direction of the earthquake intensity area determined by field investigation. The correlation coefficient  $R^2$  of the fitted line segment of the alarm base stations data is over 0.75, and the correlation coefficient  $R^2$  of the fitted line segment of the data from the out – of – service base station is over 0.97. The larger the magnitude of the earthquake, the more the number and the types of alarms of the communication base stations, and the more applicable of the data of the alarm base stations.

**Keywords:** the communication base station; the alarm base station; the Univariate Linear Regression; earthquake – influenced field