

张会苑、杨晶琼, 2019, 西南区域自动地震速报系统定位结果评估, 中国地震, 35(2), 295~304.

西南区域自动地震速报系统定位结果评估

张会苑 杨晶琼

云南省地震局, 昆明 650224

摘要 对比分析 2009 年 7 月 1 日~2017 年 12 月 31 日西南区域自动地震速报系统产出的 1467 个地震定位结果与全国统一编目目录, 结果显示: ①自动速报的平均用时为 70s; 96.37% 的地震发震时刻偏差小于 5s; 91.64% 的地震震中定位误差小于 20km; 99.52% 的地震深度偏差小于 20km; ②当 $3.0 \leq M < 4.0$ 时, 震级匹配最好; 当 $M < 3.0$ 及 $4.0 \leq M < 4.5$ 时, 震级偏差小于 0.3; 当 $M \geq 4.5$ 时, 自动速报震级小于统一编目震级, 且震级越大, 偏差越大; 当 $M \geq 6.0$ 时, 震级偏差明显增大, 自动速报震级不具可靠性; ③发震时刻、震中位置、震级、深度等偏差较大的问题, 主要是台站分布不合理且没有近台、大震尾波的干扰、同一地区短时间震群事件中的余震较多等因素造成的。此外, 对系统的漏报、误报情况进行了分析, 并对区域自动地震速报系统的完善与整合提出了建议。

关键词: 自动地震速报系统 定位结果评估 西南区域

[文章编号] 1001-4683(2019)02-0295-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震之后, 社会对地震速报的要求越来越高, 国家对防震减灾的投入也日益增加。随着“十五”数字化地震观测网络项目的建成, 全国 1000 多个地震台站的监测数据实现了实时传输和共享(沈玉松等, 2011), 地震速报速度显著提高, 速报时间从 30min 左右缩短到 10min 左右, 但这与社会对地震速报的要求相比还有一定的差距。为了进一步提高地震速报的时效性, 国家地震台网中心和广东省地震局自主研发了自动地震速报系统(杨陈等, 2010、2012、2013; 吴永权等, 2011), 该系统大大提高了地震速报速度, 与此同时, 2008 年 11 月, 中国地震局监测预报司的区域自动地震速报实验工作在华北、东北、西北、西南和东南等 5 大区域全面展开, 并于 2009 年 4 月通过了验收, 自动地震速报时间缩短为 1min 左右, 并且定位结果达到相关的规范要求, 从此我国的自动地震速报迈上了一个新的台阶。

5 大区域自动地震速报系统包括华北、东北、西北、西南、东南等 5 大区域, 其中, 西南区域自动地震速报系统部署在云南省地震台网中心, 于 2009 年 7 月试运行。其依托云南省地震局网络平台, 从通讯网络中接收实时波形数据, 系统只识别 Pg 震相, 采用求解走时方程的方法进行初定位, 再利用 Geiger 法(孟晓春, 1998)精确定位, 将速度记录实时仿真为 DD-1 位移记录并

[收稿日期] 2019-02-22; [修定日期] 2019-04-16

[项目类别] 云南省地震局科技人员传帮带第二批培养项目(C2-201703)资助

[作者简介] 张会苑, 女, 1988 年生, 工程师, 主要从事地震监测工作。E-mail: 378932501@qq.com

自动量算近震震级 M_L , 系统在识别到第 4 个 Pg 震相后开始进行初定位, 根据不断增加的震相信息对定位结果进行修正(金星等, 2007b), 并在 1min 左右将最优结果上传至国家地震台网中心, 至此, 完成对本责任区地震参数进行自动地震速报的任务。自 2009 年 7 月开始试运行, 截至 2017 年 12 月 31 日, 西南区域自动地震速报系统共产出 $M \geq 2.8$ 地震 1467 个。

为了总结西南区域自动地震速报系统的产出、定位情况, 不断提高定位结果的准确率, 本研究利用西南区域自动地震速报系统的产出目录, 对比全国统一编目正式目录结果, 对该系统产出的自动地震速报定位结果进行分析, 旨在为区域自动速报系统的完善与整合提供建议, 并为该区域的正式地震速报提供一定的参考。

1 数据来源

西南区域由云南、四川、重庆、贵州、广西、海南、北部湾地区等组成^①, 目前使用的西南区域自动地震速报系统台站共计 195 个(图 1), 其中包括我国上述责任区内台站及周边省份共享台站, 另外还有老挝和缅甸的台站, 数据的来源情况见表 1。

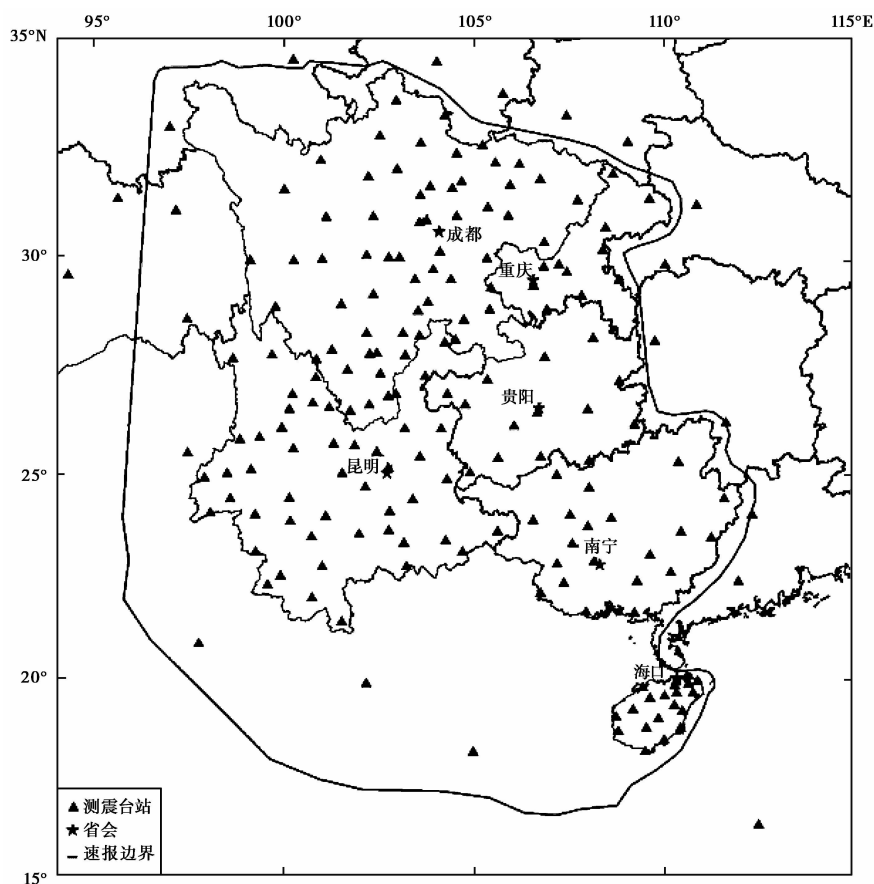


图 1 西南区域自动地震速报系统台站分布

^① 中国地震局监测预报司, 2013, 自动地震速报技术管理规定(2013 年修订版)



表 1 西南区域自动地震速报系统接收数据台站来源情况

台站	台站数目	数据来源
中国云南省地震台站	50	云南省地震台网中心
中国四川省地震台站	59	中国地震台网中心
中国重庆市地震台站	12	中国地震台网中心
中国贵州省地震台站	13	中国地震台网中心
中国广西壮族自治区地震台站	20	中国地震台网中心
中国海南省地震台站	21	中国地震台网中心
中国西藏自治区地震台站	4	中国地震台网中心
中国青海省地震台站	2	中国地震台网中心
中国甘肃省地震台站	2	中国地震台网中心
中国陕西省地震台站	2	中国地震台网中心
中国湖北省地震台站	2	中国地震台网中心
中国湖南省地震台站	2	中国地震台网中心
中国广东省地震台站	2	中国地震台网中心
老挝地震台站	2	中国地震局地壳应力研究所
缅甸地震台站	2	中国地震局地壳应力研究所
合计	195	

根据中国地震局对西南区域的划分,区域边界即省界,再加上北部湾地区。本研究参照西南区域各省人工地震速报目录(震级下限为 $M2.8$),选取全国统一编目正式目录与西南区域自动地震速报系统的产出结果进行对比分析,如果出现误报的情况,则震级下限降低到 $M2.0$,再从统一编目正式目录查找结果,以确保不因震级的偏差而造成结果的遗漏。

统计结果显示,2009 年 7 月 1 日~2017 年 12 月 31 日,西南区域自动地震速报系统共产出地震目录 1467 条,其中,与统一编目正式目录结果相匹配的地震 1459 个,误报地震 8 个,系统共漏报地震 256 个。

2 结果分析

依据中国地震局测震学科技术管理组制定的《省级测震台网地震速报评比标准(2016 版)》^②,对西南区域自动地震速报系统定位结果与统一编目正式目录相匹配的 1459 个地震进行分析。

2.1 自动速报用时

统计了 2015 年 4 月 1 日~2017 年 12 月 31 日西南区域自动地震速报系统共计 306 个地震的自动速报用时(图 2)。由图 2 可见,自动速报用时为 65~71s,平均用时为 70s;而人工地震速报的平均用时一般为 570s 左右,可见该系统在速报速度上有很大优势。但对于网外及网缘地震(大多集中于四川西部、云南南部等地区),则有一部分的速报用时超过 80s。这些地区台站稀少、分布不均匀且缺少近台,系统在识别到第 4 个 P_g 震相后进行初次定位(金星

^② 中国地震局测震学科技术管理组,2016,省级测震台网地震速报评比标准(2016 年版)

等,2007a)的时间与网内地震用时相差不大,但在后续精定位及输出最优结果时则用时较长,故自动定位用时相对较长,但也基本都小于120s。

2.2 发震时刻

发震时刻偏差小于5s的地震有1406个,占总数的96.37%;有46个地震的偏差为5.0~12.5s,占总数的3.15%,大部分为网外地震;有7个地震的偏差大于12.5s,其中,6个为大地震的余震,因其受到尾波的干扰,波形信噪比较低,而致使Pg震相识别不准确,误差较大;还有1个地震震中位于四川与西藏交界台站分布稀疏的地区,该地区台站最大空隙角较大,故定位时误差较大。

2.3 震中位置

地震速报评比标准规定,震中位置允许定位误差为20km,若定位误差大于20km,则需根据相关规定扣分。图3为震中定位误差分布图。由图3可见,91.64%的地震震中定位误差小于20km,122个地震的震中误差大于20km。图4为震中定位误差大于20km的地震分布。由图4可见,除网缘及网外台站稀少、分布不均、台站最大空隙角较大而造成自动定位震中误差较大(廖诗荣等,2009),及大地震余震受尾波干扰造成Pg震相识别不准确而导致定位误差较大之外,在四川龙门山断裂

带及川西高原台站分布较均匀的地区,震中位置的偏差依然为20~30km,这可能与自动速报系统所选择的速度模型与该地区的地质结构不相符有关。另外,有2次地震的震中误差超过90km,其分别是2011年3月24日缅甸7.2级地震主震及1次余震,此次地震发生在台站最大空隙角较大的地区。

2.4 震级

由震级偏差分布(图5)可以看出,大部分地震震级偏差小于0.3,但当 $M < 3.5$ 时,则存在震级偏差较大的情况,其中,最大偏差为1.2,此次地震为2013年芦山7.0级地震的余震,另外也发现在 $M < 3.5$ 地震中,有4次地震的自动速报结果的震级项为空,且震级为空的4次地震皆为大地震的余震序列,这可能是大地震后余震序列密集、系统处理出错造成的。当 $M \geq 4.5$ 时,统一编目震级明显比自动速报震级大,而且随着震级的增加,偏差越大。为了更进一

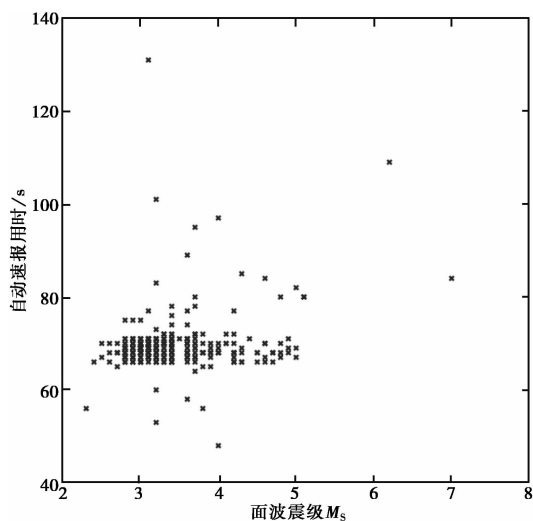


图2 自动速报用时

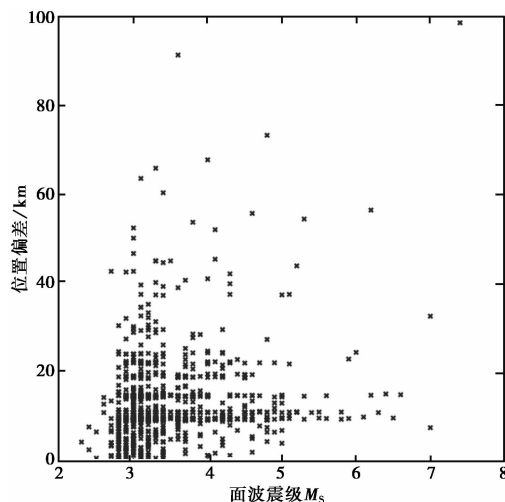


图3 震中定位误差

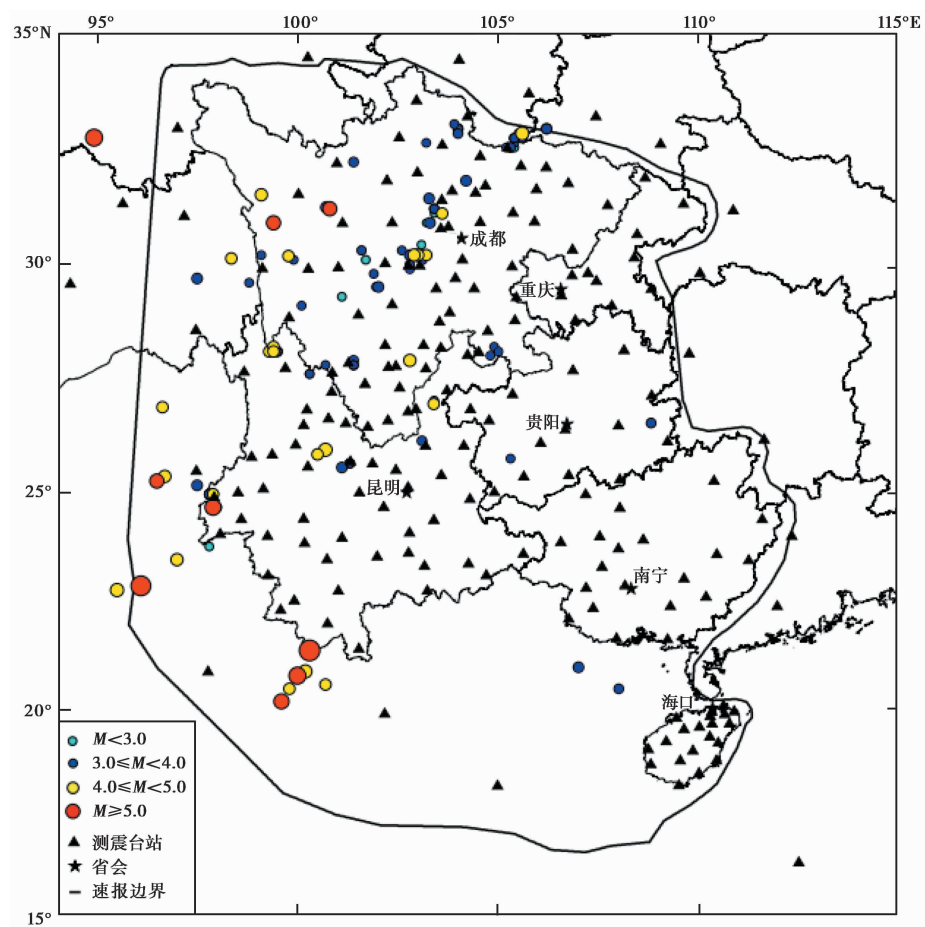


图 4 震中定位误差大于 20km 的地震分布

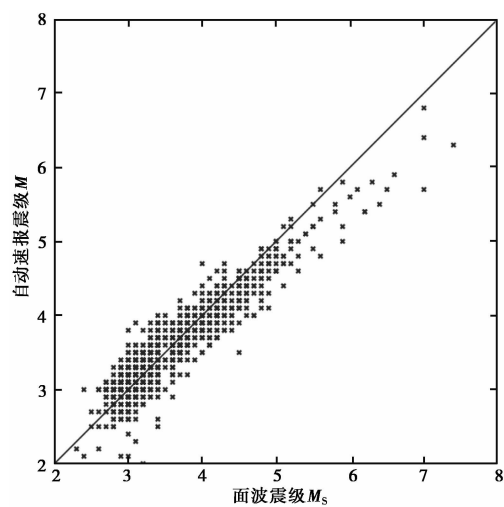


图 5 震级偏差

表 2 震级偏差分布

统一编目 震级范围	震级偏差 ≤ 0.3 的 地震个数	0.3<震级偏差 ≤ 0.5 的 地震个数	0.5<震级偏差 ≤ 1.0 的 地震个数	震级偏差 >1.0 的 地震个数	震级偏差 平均值
$M_s < 3.0$	208	15	2	0	-0.14
$3.0 \leq M_s < 3.5$	687	44	11	1	-0.05
$3.5 \leq M_s < 4.0$	205	14	2	0	0.03
$4.0 \leq M_s < 4.5$	112	22	1	0	0.12
$4.5 \leq M_s < 5.0$	58	11	9	0	0.24
$5.0 \leq M_s < 5.5$	20	7	2	0	0.26
$5.5 \leq M_s < 6.0$	27	8	6	0	0.30
$M_s \geq 6.0$	3	1	6	2	0.71

步研究各个不同震级范围内的震级偏差情况,分震级对震级偏差进行了统计(表 2)。

由表 2 可见,当 $3.0 \leq M < 4.0$ 时,自动地震速报震级与统一编目震级匹配最好,震级偏差平均值小于 0.1;当 $M < 3.0$ 及 $4.0 \leq M < 4.5$ 时,震级偏差平均值小于 0.2;当 $4.5 \leq M < 6.0$ 时,震级偏差平均值接近 0.3,且震级偏差大于 0.3 的地震所占比例大大增加;特别是当 $M \geq 6.0$ 时,震级偏差平均值达到 0.71,其中有 2 次地震的震级偏差大于 1.0。

以 2017 年 2 月 8 日 19:11:38.8 鲁甸 4.9 级地震的各台站震级(表 3)为例,对比各台站的自动速报震级与统一编目震级,由表 3 可见,自动速报测定各台的 M_L 震级与统一编目各台的 M_L 震级相差不大,其差都小于 0.3,但是由于自动速报系统的 M 震级是根据郭履灿震级转换公式($M_s = 1.13M_L - 1.08$)所得的 M_s 震级,而统一编目 M_s 震级是直接测量所得的,两者之间存在较大偏差(自动速报根据 M_L 转换所得的 M 震级为 4.1,统一编目实际测量的 M_s 震级为 4.9),并且当 $M \geq 4.5$ 时,自动速报的 M 震级明显小于统一编目 M_s 震级。

表 3 鲁甸 4.9 级地震各台站自动速报震级与统一编目震级对比

台站 名称	自动速报震级		统一编目震级	
	M_L	M	M_L	M_s
ZAT	4.7		4.6	
QIJ	5.0		4.9	
SMK	4.8		4.7	
WNT	5.0		5.0	
DOC	4.4		4.5	
HLI	4.8		4.9	
XUW	4.4		4.5	
XSB	4.2		4.3	
LPS	4.6		4.4	
LBO	4.6		4.6	
YAJ	4.4		4.6	
YYC	4.1		4.0	
MGU	4.7		4.6	
JLI	4.6	4.1	4.7	4.9
MAL	4.4		4.2	
PZH	4.2		4.4	
YYU	4.4		4.4	
LUQ	4.0		3.8	
MNI	4.7		4.6	
MBI	5.1		5.3	
KMI	5.5		没有测定	
HWS	5.1		5.0	
HUP	4.5		4.5	
MLI	4.7		4.7	
平均震级	4.6		4.6	

如上所述, $M < 3.0$ 地震自动速报震级比统一编目震级平均值偏大, $3.0 \leq M < 4.5$ 地震匹配较好, $M \geq 4.5$ 地震自动速报震级比统一编目震级平均值偏小,尤其是 $M \geq 6.0$ 地震,自动速报震级比统一编目震级平均值明显偏小,这有以下几方面原因:①自动地震速报系统测定的震级下限为 3.0, $M < 3.0$ 地震难以从波形中自动量取与振幅相对应的周期,量取周期偏大,因而造成计算的震级偏大;②当 $M < 4.5$ 时,各种震级标度之间相差不大(刘瑞丰等,2015),所以自动速报震级 M 与统一编目震级 M_s 匹配最好;③自动速报系统要求在 1~2min 内发布地震信息,故使用的台站一般较近,且只测量 M_L 震级, M 震级为由 M_L 震级根据郭履灿震级转换公式($M_s = 1.13M_L - 1.08$)所得的 M_s 震级。 $M \geq 4.5$ 时,自动速报的 M_L 震级与统一编目的 M_L 震级差别不大,但由于所用的震级转换公式在西南地区存在系统偏差(杨晶琼等,2013),因而导致自动速报系统转换的 M 震级小于统一编目实测的 M_s 震级,且 M_L 震级在大于 6.5 时存在饱和现象(陈运泰等,2004;刘瑞丰等,2015),故所测震级不具可靠性。

2.5 深度

由于全国统一地震目录中 $M_s \geq 4.0$ 地震的目录是以国家地震台网中心编目结果为准的,故 $M_s < 4.0$ 地震主要遵循属地原则,而各省局地震台网及国家地震台网中心所使用的地震定位软件、定位方法、速度模型的不同,都会造成地震深度的偏差。因各自责任区内的地震都是浅源地震,故根据评比标准,浅源地震深度偏差允许为 20km。图 6 为地震深度偏差统计图。由图 6 可见,除 7 个地震的深度偏差为 21km 以外,其余 99.52% 的地震深度偏差均不大于 20km。

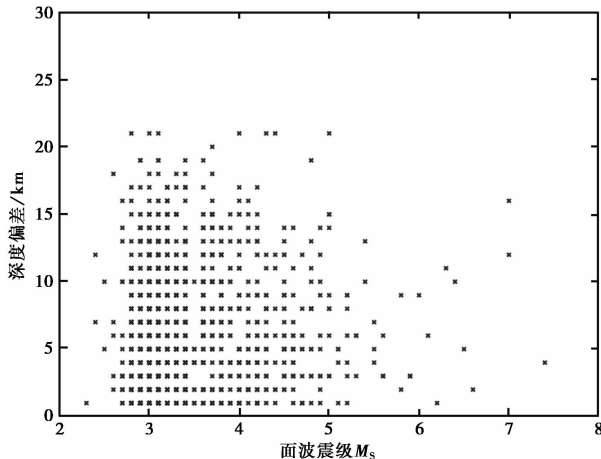


图 6 深度偏差

3 漏报及误报分析

3.1 漏报分析

将统一编目正式目录与西南区域自动地震速报结果进行匹配,缺少的目录即为西南区域自动地震速报系统漏报。总体漏报情况见表 4,漏报地震分布情况见图 7。

从表 4 和图 5 可以看出, $M_s \geq 5.0$ 地震漏报 3 次(2012 年 11 月 11 日 18:54:43 缅甸 $M_s 6.2$ 地震;2013 年 4 月 21 日 04:53:44 中国四川雅安 $M_s 5.0$ 地震;2015 年 1 月 14 日 13:21:39 中国四川乐山 $M_s 5.0$ 地震),其余漏报地震均为 $M_s < 5.0$ 地震,大多分布于中国云

表 4 地震漏报情况

震级	$M_s < 3.0$	$3.0 \leq M_s < 4.0$	$4.0 \leq M_s < 5.0$	$M_s \geq 5.0$	合计
漏报地震数目	37	189	27	3	256

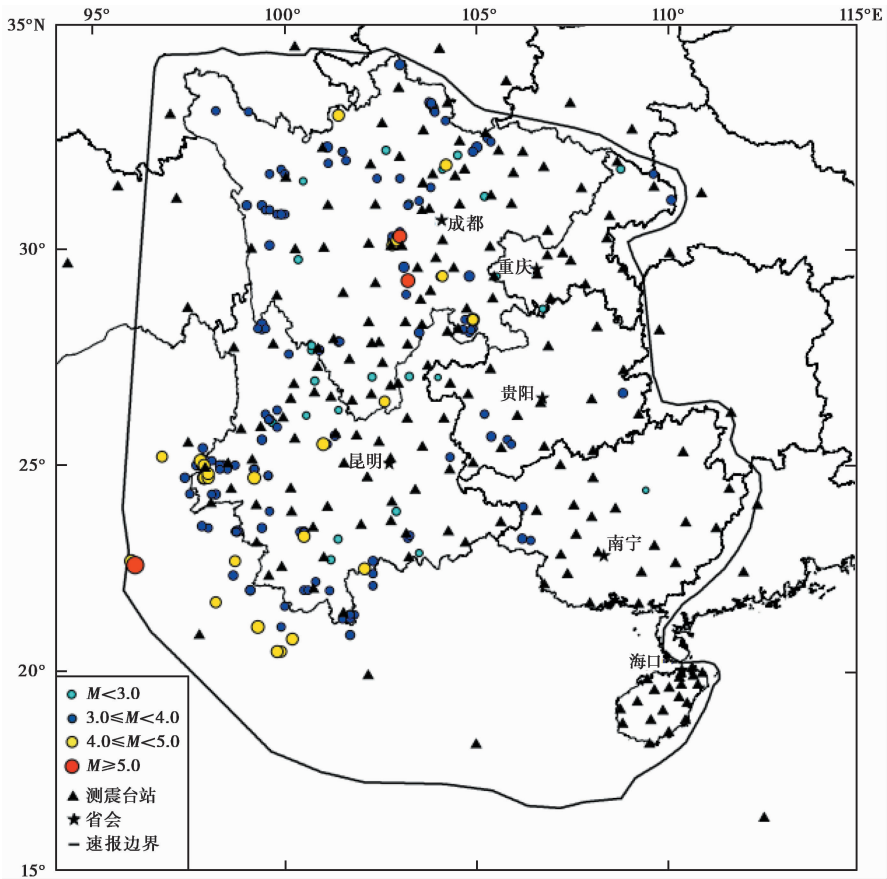


图 7 漏报地震分布

南西部和四川西北部地区,除个别是因为系统死机和实时数据流中断外,其他绝大部分地震漏报可以归为以下 3 方面原因:①在台站稀少、分布不均匀且近台较少的地区,最大空隙角较大,首次自动定位时误差较大,近台 P_g 震相被当成错误震相剔除而造成漏报;②对于大地震的余震序列,因速报地震的 P 波列受前一地震或大震尾波的干扰,波形信噪比较低,系统不能识别震相而造成漏报;③速度模型的不匹配造成首次定位震中误差较大,自动剔除一些台站的 P_g 波后,因达不到速报条件而造成漏报。虽然系统的漏报地震较多,但相对来说,误报的地震很少,这与自动地震速报“宁弃不误”的发布原则(杨陈等,2014)也是统一的。在台站分布均匀合理、速度模型较匹配、没有地震尾波干扰的情况下,基本不存在漏报现象。

3.2 误报分析

将西南区域自动地震速报结果与统一编目正式目录进行匹配,多出的目录、震中经纬度

相差大于 2° 、发震时刻相差大于 60s 的地震即为西南区域自动地震速报系统误报。2009 年 7 月 1 日~2017 年 12 月 31 日,西南区域自动地震速报系统共误报地震 8 次,其中,4 次地震发生在系统刚开始试运行的 2009 年,这可能与系统运行初期处理地震能力有限及自动定位算法不完善有关,其余的 4 次误报中,2 次是受大地震尾波的干扰而造成的波形信噪比低、错误识别叠加余震的 P 波列震相等的影响,另外 2 次地震发生在台站稀疏、没有近台且分布不均匀的我国云南与缅甸交界地区,该地区台站的最大空隙角较大,自动定位的震中位置偏差大于 2° ,形成误报。

由此可见,造成漏报和误报的原因主要有台站分布不合理且没有近台、大震尾波的干扰、同一地区短时间内震群事件中的余震较多等,归根结底,还是地震自动处理算法的不完善。虽然速报信息发布条件越苛刻,越可减少地震的误报,但与此同时,漏报的可能性就越大,因此难以找到一个完美的解决方案。

4 结论与讨论

本文选取西南区域自动地震速报系统 2009 年 7 月 1 日~2017 年 12 月 31 日产出的 1467 个地震的定位结果,与全国统一编目结果对比分析,得到:①自动速报的平均用时为 70s;大部分地震发震时刻偏差小于 5s,震中位置偏差小于 20km,深度偏差小于 20km;②当 $3.0 \leq M < 4.5$ 时,震级匹配最好,偏差小于 0.3;当 $M \geq 4.5$ 时,自动速报震级小于统一编目震级,且震级越大,偏差越大;当 $M \geq 6.0$ 时,即自动速报所测的 $M_L > 6.5$ 时,震级达到饱和,自动速报震级不具可靠性;③发震时刻、震中位置、震级、深度等偏差较大的地震,以及漏报和误报的地震,基本都是台站分布不合理且没有近台、大震尾波的干扰、同一地区短时间内震群事件中的余震较多等影响系统的震相识别以及定位程序不完善、震级转换不合理等造成的。

根据我们对西南区域自动地震速报系统定位结果的初步评估,及区域台网的布局 and 系统所承担的任务,给出以下建议:

(1)对于云南西部与西北部、四川北部、大地震余震区、各省网缘及网外台站稀疏且分布不合理的地区,地震各参数偏差较大,且漏报、误报地震较多,系统不具备自动处理条件,可以通过适当增加上述地区的台站数量、优化台网布局、分区域选择速度模型等方式解决此问题。

(2)除上述地区及情况以外,对于 $M < 4.5$ 地震,系统具备自动定位结果直接发布条件,可以作为正式地震速报的参考;但对于 $4.5 \leq M < 6.0$ 地震,建议直接发布 M_L 震级作为参考,或寻找更合适的震级转换公式代替现使用的公式。

(3)对于区域内发生的 $M_s \geq 6.0$ 地震,西南区域自动地震速报系统除震级不具可靠性以外,其余参数皆可为正式地震速报提供参考,也可适当放宽自动速报的时间,让更多的远台参与震级计算,以测量 M_w 替代 M_L ,进而增加自动测量震级的可靠性。

参考文献

- 陈运泰、刘瑞丰,2004,地震的震级,地震地磁观测与研究,25(6),1~12.
- 金星、陈绯雯、廖诗荣,2007a,区域数字地震台网实时速报系统试运行情况分析,地震地磁观测与研究,28(2),50~54.
- 金星、廖诗荣、陈绯雯,2007b,区域数字地震台网实时速报系统研究,地震地磁观测与研究,28(1),64~72.
- 廖诗荣、金星、陈绯雯等,2009,区域数字地震台网实时速报系统对网缘地震自动处理能力分析,东北地震研究,25(2),8~

12.

刘瑞丰、陈运泰、任泉等,2015,震级的测定,北京:地震出版社.

孟晓春,1998,地震观测与分析技术(分析技术分册),北京:地震出版社.

沈玉松、康英、黄文辉等,2011,国家地震速报备份系统定位结果评估,中国地震,27(2),155~164.

吴永权、黄文辉、康英等,2011,国家地震速报备份系统的部署与运行,国际地震动态,(12),21~28.

杨陈、黄志斌、杜广宝等,2013,全国自动地震速报系统评估,地震学报,35(2),272~282.

杨陈、黄志斌、高景春等,2014,中国自动地震速报系统评估及发布策略,地球物理学进展,29(6),2572~2579.

杨陈、黄志斌、廖诗荣等,2010,全国自动地震速报系统介绍,地震地磁观测与研究,31(5),158~161.

杨陈、黄志斌、翟璐媛,2012,全国自动地震速报系统综合评估,地震地磁观测与研究,33(5/6),316~321.

杨晶琼、杨周胜、蔡明军等,2013,云南地区近震震级与面波震级转换关系研究,中国地震,29(4),513~521.

Evaluation of Location Results of Southwestern Regional Automatic Earthquake Information Release System

Zhang Huiyuan Yang Jingqiong

Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, China

Abstract We compared the location results based on the southwestern regional automatic earthquake information release system with officially published earthquake catalog from July 1, 2009 to December 31, 2017. The results shows that: (1) The average time used for automatic reporting is 70s; 96.37% of the origin time error is less than 5s; 91.64% of the horizontal error is smaller than 20km; 99.52% of the depth error is not more than 20km. (2) When $3.0 \leq M < 4.0$, the magnitude match is best. When $M < 3.0$ and $4.0 \leq M < 4.5$, the magnitude error is less than 0.3, When $M \geq 4.5$, the magnitude of the automatic earthquake information release system is smaller than that of the officially published earthquake catalog, and the larger the magnitude is, the larger the error is. When $M \geq 6.0$, the magnitude error is obviously increased, the magnitude of automatic earthquake information release system is not reliable. (3) The errors in earthquake origin time, epicentral location, magnitude, and depth are basically caused by unreasonable distribution of stations, lack of interference from near-stations, large-sound wake waves, and more aftershocks in short-term earthquake swarm events in the same area. We also analyzed and discussed the issue of false alarm a missing report for the release system, and some suggestions for the improvement and integration of the automatic earthquake information release system were put forward.

Key words: Automatic Earthquake Information Release System; Evaluation of location results; Southwest China