

代光辉、苗春兰、翟璐媛,2019,中国测震台网统一地震编目,中国地震,35(1),192~203.

中国测震台网统一地震编目

代光辉 苗春兰 翟璐媛

中国地震台网中心,北京 100045

摘要 本文从总体构成、技术系统、产出流程、质量控制等方面介绍了我国测震台网现行的统一地震编目工作体系,对统一地震编目产出情况进行了简要统计分析,并与“九五”期间的地震编目产出进行了对比;最后对存在的问题进行了讨论和展望。

关键词: 统一地震编目 统一快报地震编目 统一正式报地震编目 国家台网编目
省级台网编目 地震目录 观测报告

[文章编号] 1001-4683(2019)01-0192-12 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地震编目产出的地震观测报告(包含地震目录和震相数据)是进行地震活动性分析、地震危险性评价、地下结构成像、构造研究和地震预测的基础数据,也是测震台网的基本产出。位于英国的国际地震中心(ISC)从1964年开始就一直致力于全球地震的统一编目工作,收集和存档全球各地震机构的台站和台网的观测报告并进行处理,产出全球地震目录和观测报告(International Seismological Centre,2010)。作为ISC的成员之一,我国测震台网从建设之初就十分重视地震编目工作。

通过“十五”期间“中国数字地震观测网络项目”的实施,中国地震局建成了由1013个测震台站组成的覆盖全国的地震监测台网,并建成了由107个有人值守国家测震台站、32个省级测震台网中心和1个国家测震台网中心协同工作,地震快报、地震正式报分阶段产出的统一地震编目体系,于2009年1月1日正式运行。

虽然新的编目体系已经运转近10年,但仍有很多人员,包括一线编目工作人员,对我国的地震编目体系还不了解。笔者有幸参与了统一地震编目体系的建设,包括统一地震编目技术系统的研发与部署、编目规则的制定和编目实践。现就有关问题予以介绍。

1 总体构成

统一地震编目就是国家测震台网中心(以下简称国家中心)对省级测震台网中心(以下简称省中心)和国家测震台站(以下简称国家台)及国家中心自身编报的地震目录和震相数据进行综合处理,产出统一的中国测震台网观测报告的过程。

[收稿日期] 2018-08-16; [修订日期] 2018-11-29

[项目类别] 地震行业专项“全国统一编目处理系统及相关技术规范体系研制”资助

[作者简介] 代光辉,男,1970年生,高级工程师,主要研究方向为地震监测。E-mail:ghdai@seis.ac.cn

统一地震编目从构成上分为省级测震台网编目(以下简称省台网编目)、国家测震台网编目(以下简称国家台网编目)和统一编目 3 部分。

省台网编目由省中心完成,负责本省及周边地区(省行政边界线外 30km 内)所有天然地震事件和 $M_L \geq 2.5$ 非天然地震事件的编报,沿海省中心负责能够定位的相应海域地震事件的编报,边境省中心负责能够定位的国界外 50km 范围内地震事件的编报;福建省中心承担台湾地区及其周边海域能够定位的地震事件的编报,广东省中心承担香港、澳门地区地震事件的编报(中国地震局监测预报司,2015)。省台网编目产出省台网观测报告。

国家台网编目由国家台和国家中心共同完成,负责国家台站记录的我国和全球地震事件的编报。其中,国家台负责我国及周边地区 $M4.0$ 以上地震(以正式速报结果为准)和全球其它地区记录清晰的地震的震相分析;国家中心负责通过波形分析和对国家台报送的震相数据进行组合、定位和震级计算,产出国家台网观测报告。

统一编目由国家中心完成,对省中心和国家中心产出的观测报告进行综合处理,产出统一的全球地震目录和观测报告。

2 技术系统

从功能上来说,统一地震编目技术系统可分为波形流服务系统、编目分析处理系统、编目数据交换汇集系统、统一编目处理与服务系统。波形流服务系统提供台站观测波形数据供编目分析使用,编目分析处理系统用于震相分析、地震定位、震级测定和结果提交,编目数据交换汇集系统用于国家台站、国家中心和省中心编目结果向国家中心的汇集,统一编目处理与服务系统用于对所有汇集的编目结果进行集中统一处理,同时提供编目数据服务。

从部署上来说,统一地震编目技术系统分为国家台站系统、省中心系统和国家中心系统(图 1)。国家台站系统包括波形服务系统和编目分析处理系统。波形流服务系统部署广东省地震局研发的 JOPENS 流服务软件,从台站观测仪器直接接收数据并存储在数据库中,供编目分析调用。编目分析处理系统部署 JOPENS MSDP 单台分析处理软件,供震相分析使用。

省中心系统包括波形服务系统、编目分析处理系统和编目数据交换系统。波形流服务系统部署 JOPENS 流服务软件,接收本省所辖所有台站的波形数据并向国家中心上传,同时

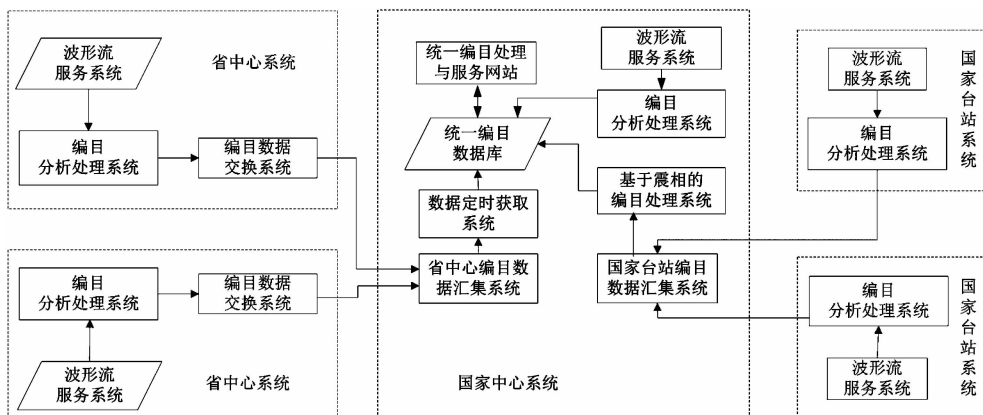


图 1 统一地震编目技术系统构成

从国家中心接收需要的邻省台站的波形数据,为编目分析处理提供数据源。编目分析处理系统部署 JOPENS MSDP 台网分析处理软件,用于震相分析、地震定位、震级测定和编目结果提交。编目数据交换系统部署 JOPENS 信息服务软件,用于将编目结果向国家中心上传。

国家中心系统包括波形流服务系统、编目分析处理系统、省中心编目数据汇集系统、国家台站编目数据汇集系统、基于震相的编目处理系统、数据定时获取系统、统一编目数据库系统、统一编目处理与服务系统。波形流服务系统部署 JOPENS 流服务软件,从省中心波形流服务系统汇集全国测震台站的观测数据,并向各省转发所需的台站观测数据,其中的国家台站观测数据用于国家中心快报编目。编目分析处理系统部署国家中心研发的编目处理软件,用于国内外地震快报的震相分析、地震定位、震级测定和编目结果入统一编目数据库。省中心编目数据汇集系统部署 JOPENS 信息服务软件,用于汇集各省中心的编目结果。国家台站编目数据汇集系统部署 FTP 服务器软件,用于接收各国家台分析的数据。基于震相的编目处理系统部署中国地震局地球物理研究所研发、经国家中心改进的编目处理软件,用于对国家台提交的震相进行组合、地震定位、震级测定,并将结果直接入统一编目数据库。数据定时获取系统部署由国家中心研发的软件,按照规定的时限定时自动将数据从省中心编目数据汇集系统导入到统一编目数据库供后续处理。统一编目数据库系统部署 mysql6.0 软件,用于存储所有汇集的编目数据和统一编目后的结果。统一编目处理与服务系统部署国家中心研发的网站,用于统一编目处理和编目数据面向系统内台网和预报人员服务。

3 产出流程

从产出时效上来说,中国测震台网统一地震编目分为快报编目和正式报编目 2 个阶段。

3.1 快报编目产出流程

快报编目由省中心和国家中心协作完成,按日产出。

省中心编目人员对当天 00:00~24:00 发生的编报范围内的地震,在次日 14:00 前完成震相分析和地震目录参数测定,并通过编目数据交换系统上报到国家中心的省中心编目数据汇集系统。对于同一个地震,后上报的省中心要与已经上报的地震进行匹配操作。国家中心的数据定时获取系统在次日 14:30 自动从省中心编目数据汇集系统将前一天 00:00~24:00 的编目数据导入统一编目数据库中。

国家中心速报值班员使用编目分析处理系统调取系统自动截取的地震事件波形数据,进行编目分析处理。对当天 00:00~24:00 发生的全球范围内的地震,在次日 14:00 前完成震相分析和地震目录参数测定,并将 $M4.0$ 以上地震的编目结果直接入统一编目数据库。

国家中心速报值班员从 15:00 开始利用统一编目处理与服务网站,从统一编目数据库调取前一日 00:00~24:00 省中心和国家中心提交的快报目录,按照既定的规则进行统一编目,一般于 18:00 前(规定 24:00 前)产出中国测震台网统一地震快报目录和观测报告。统一地震快报编目规则为:基于地震目录进行优选,对于震级 $M \geq 4.0$ 的地震,优选国家中心的结果为最终结果;震级 $M < 4.0$ 的地震,按照属地原则,优选震中所在省的结果为最终结果;对于多个省提交的结果差异较大的地震(各省编目范围有一定的重叠,一般为省界附近的地震),国家中心值班员调取波形,重新分析后优选最接近的一个结果为最终结果。

由于统一快报地震编目强调产出的时效性,所以大多数情况下是非完整的数据,主要包

含了较大的地震事件地震目录(一定包含速报的地震),以及大多数台站的主要震相数据。

3.2 正式报编目产出流程

统一地震正式报编目由国家台站、省中心和国家中心协作完成,按周产出。

国家台站编目人员在第 7 日将前 5 日分析处理的全球地震的结果(五日报)以文件方式上传到国家中心 FTP 服务器。国家中心编目人员下载全部国家台站报送的震相数据,通过震相组合、地震定位、震级测定,产出国家台网地震目录和观测报告,在 1 周后将结果入统一编目数据库。

省中心编目人员对上周一 00:00 到上周日 24:00 的地震事件进行复核,对于已经进行了快报编目处理的地震事件,补充没有分析的台站和没有分析的震相,或对已分析的震相进行修正,重新进行定位和震级测定;对于快报编目没有处理的地震事件,分析所有台站的所有震相,进行定位和震级测定。处理后的结果随时上报到国家中心的省中心编目数据汇集系统,按规定必须在周日 14:00 前完成上周一 00:00 到上周日 24:00 前所有地震事件的编报。国家中心的数据定时获取系统每周日 14:30 自动从省中心编目数据汇集系统将上周一 00:00 到上周日 24:00 前的编目数据导入统一编目数据库。

国家中心统一编目人员使用统一编目处理与服务网站,从统一编目数据库调取汇集的省中心和国家中心提交的正式报目录数据,一般在 1 周内按照既定的规则完成统一正式报编目,产出中国测震台网统一正式报地震目录和观测报告。统一正式报编目规则为:基于地震目录进行分组和优选。先将地震目录按地震事件进行分组,同一个地震事件不同台网提交的结果分成一组,然后在每组中优选一个结果作为最终结果。优选的原则和统一快报编目基本相同,即对于震级 $M \geq 4.0$ 的地震,优选国家中心的结果为最终结果。震级 $M < 4.0$ 的地震,按照属地原则,优选震中所在省的结果为最终结果;对于多个省中心的结果差异较大的地震(各省编目范围有一定的重叠,一般为省界附近的地震),国家中心编目人员调取波形重新分析后优选最接近的一个结果为最终结果。通过分组,保证了观测报告能包含不同台网所分析的所有台站的震相数据,通过优选,保证了地震目录的唯一性。

统一正式报编目产出中国测震台网最终的地震目录和观测报告结果,强调数据的完整性和准确性,包含了编目时段内我国台网记录到的所有地震事件目录,以及规定的所有台站的所有震相数据。

4 地震编目质量控制

地震编目质量控制主要包括规范化编目操作、编目数据日常检查和年度质量评比等环节。

为了规范化编目操作,测震学科技术管理组从运行之初就制定了规则,并以运行管理细则的形式由中国地震局监测预报司发布,随后结合评比实践不断修改,最后上升为行业标准(中国地震局,2017)。

对于震相分析,规定国家台站要分析清晰可靠的 P_g 、 P_n 、 P 、 P_{dif} 、 PKP 等初至震相和 S_g 、 S_n 、 S 、 pP 、 sP 、 $pPKP$ 、 sS 、 SKS 、 PP 、 PcP 、 ScS 、 PcS 、 ScP 等续至震相,以及 PMZ 、 SME 、 SMN 、 LN 、 LE 、 LZ 等振幅类震相。省级中心应分析包括 P_g 、 S_g 、 PmP 、 SmS 、 P_n 、 S_n 、 P 、 S 等到时类震相及 SM 、 LM 等振幅类震相。同时规定了震相识别的信噪比、震相标注到时误差、初动清晰度和

初动方向判别准则、振幅类震相量取的周期范围,明确可以使用滤波、仿真、转置水平分量、偏振分析等工具辅助震相的识别。

对于地震定位,规定国家中心使用全球走时表,使用我国的速报目录和美国 NEIC 的周报目录作为参考目录对国家台站提交的震相进行组合,然后定位、计算震级,对于残差大的震相则舍弃,并使用定位台站数量、到时标准残差对定位质量进行评价。规定省中心应使用本地区的速度模型,台站分布尽可能包围震中(要求各省使用包围本省编目范围的邻省台站的数据及布设的加密观测流动台站的数据,同时鼓励使用企业台和地方台的数据)。对于同一区域的地震应选用相对固定的定位方法,可将造成台网布局不合理或定位残差较大的到时震相权重置 0;天然地震的深度不能为空或为 0,非天然地震的深度应为空或为固定深度 0;并使用定位空隙角、拟合残差、水平误差、垂直误差、台站分布质量等指标对定位质量进行评价。

对于震级测定,规定必须在仿真位移记录上测定震级,近震震级 M_L 或体波震级 m_b 在仿真短周期地震仪 WA 或 DD-1 记录上测定, M_L 量取 2 个水平向 S 波振幅, m_b 量取垂直向 P 波振幅。体波震级 m_b 和面波震级 M_s 、 M_s7 在仿真中长周期地震仪 SK 或长周期地震仪 763 记录上测定, m_b 量取垂直向 P 波振幅, M_s 量取 2 个水平向面波振幅, M_s7 量取垂直向面波振幅;原始记录限幅时不能测定震级(陈运泰等,2004)。省级台网可将震级异常的振幅震相权重置 0。

对于统一地震编目,规定国家中心要安排专人对编目结果进行复核,主要防止重复地震和错误地震组合的出现。

在日常编目质量控制方面,测震学科技术管理组安排福建省地震局研发了编目质量检查软件并配发各省使用,在编目数据提交国家中心之前对数据进行扫描,对发现的震相判别、地震定位和震级测定方面可能存在的问题给出提示,供编目人员在日常工作中检查复核。

编目质量评比包括国家台站资料分析和省级台网编目 2 个系列,分别制定了明确的评比办法和评比标准,主要从数据报送的及时性、日常编目数据质量检查和年度抽检地震分析质量等方面考核评价编目参与单位执行规定的情况。评比工作按年度进行,评比结果提交监测预报司发文公布。

编目数据报送的及时性主要根据已报送数据的情况进行检查,对于迟报和漏报的情况进行记录,并结合无数登记情况(针对漏报)进行相应的扣分处理。国家台站日常编目数据质量主要以国家中心在国家台网编目时发现的问题为依据,省级台网日常编目数据质量主要通过编目质量检查软件对数据进行扫描,列出可能存在的问题,然后由评比专家进行确认后扣分。日常编目数据质量评比结果每月通过网站公示,促进相关单位及时对存在问题进行改进。每年对每个国家台站按照国外、国内和震级大小的不同随机抽取 4 个地震事件,由评比专家对照波形对提交的震相数据进行检查和评价,如果发现存在漏分震相、多分震相、震相类型错分或震相标注误差大的情况则扣分并加抽地震事件再次进行检查评价。每年对每个省中心按照网内、网缘、震级大小和事件类型的不同随机抽取 6 个地震事件,由评比专家对照波形对提交的震相数据的漏分、多分、错分及标注精度进行检查评分,修正震相后重新定位和测定震级,对比提交的地震目录计算其定位误差和震级计算误差进行评分,并对地

震事件类型进行确认,发现问题根据既定规则扣分。

从评比结果看,国家台站和省级台网的合格率和优秀率逐年提高,说明地震编目的质量也在稳步提高。

目前的评比还缺乏国家中心编目质量评比的环节,测震学科技术管理组已着手制定评比办法和评比标准,以后将由省局和国家台站的专家对国家中心编目质量进行评比。

5 统一地震编目产出情况分析

以下是对 2009 年 1 月 1 日~2017 年 12 月 31 日统一地震编目产出的统计分析。

5.1 地震活动分布

图 2 是统一正式报编目产出的 $M0.0$ 以上地震的震中分布图。从图 2 可以看出,地震几乎覆盖我国大陆全境,说明我国大陆几乎到处都有地震活动。此外地震主要分布在太平洋板块边界、大西洋和印度洋洋中脊和欧亚板块内部,这与国际地震中心 (ISC) 发布的全球地震活动带一致。

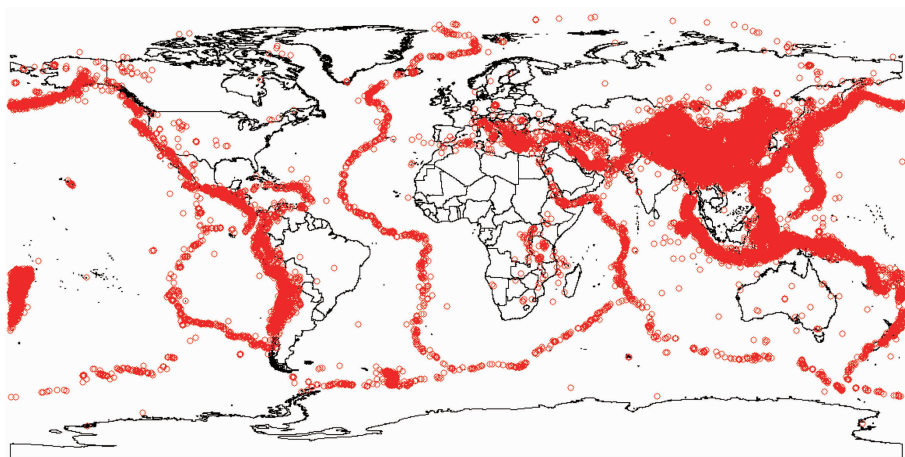


图 2 统一正式报地震编目产出的 $M0.0$ 以上地震震中分布

5.2 总计产出情况统计

表 1 是统一编目产出数量年统计结果。快报目录共计 54 万余条,年均 6 万余条;正式报目录共计 82 万余条,年均 9 万余条;正式报震相数据共计 2900 多万条,年均 300 多万条。

从每年的数据量和总量来看,正式报地震目录的数量都大于快报地震目录的数量,这也符合预期。对国内地震来说,正式报编目产出完全目录,而快报编目产出部分目录。

从表 1 还可以看出,2016 和 2017 年的正式报地震目录数量比 2015 年多,但震相数反而减少,这主要是 2015 年对测震台网运行管理细则^①进行了修订,新疆、四川和云南等多震省份可以只分析 $S-P \leq 25s$ 的台站的震相(之前要求所有台都要分析)。

表 2 是统一正式报地震目录按震级范围统计结果。从表 2 可以看出:国内 $M \geq 0.0$ 地震数量按震级由小到大呈递减趋势,这与前人提出的地震活动震级-频度趋势一致。 $M < 4.0$ 的

^① 中国地震局监测预报司,2015,中震测函[2015]115号测震台网运行管理细则(2015修订版)。

表 1 统一地震编目产出数量年统计

年份	快报目录数量	正式报目录数量	正式报震相数量
2009	66790	88035	3269435
2010	54573	76110	3241291
2011	46889	67819	3162653
2012	46200	75682	2886279
2013	67970	111148	3549957
2014	84091	142181	4226866
2015	56379	81548	3399608
2016	54654	85433	2902979
2017	64664	95949	2831453
合计	542210	823905	29470521
年平均	60245	91545	3274502

表 2 统一正式报地震目录按震级范围的数量统计

震级范围	国外地震数量	国内地震数量	地震总数
≥8.0	13	0	13
7.0~8.0	163	6	169
6.0~7.0	1137	42	1179
5.0~6.0	13424	264	13688
4.0~5.0	16959	1395	18354
3.0~4.0	1158	3563	4721
2.0~3.0	2365	21395	23760
1.0~2.0	5053	112253	117306
0.0~1.0	3642	323087	326729
<0.0	381	317478	317859
NULL	127	0	127
总数	44422	779483	823905

地震主要是国内地震,而 $M \geq 4.0$ 地震国外地震数量明显比国内的多,这主要是国外和国内中强地震活动性差异所致,也与我国测震台网对国外小地震的监测能力不足有关;当然也产生了不少国外 $M < 4.0$ 的地震,这些地震主要是由我国边境省中心分析产出的国境线附近的国外地震。地震总数在震级 $3.0 \leq M < 4.0$ 范围内有明显的减少,主要是我国台网对这个震级范围的国外地震监测能力弱所致。还可以看到有不少无震级的国外地震,这主要是一些发生在 2013 年 9 月前的极远震,我国台网只能记录到较清晰的初至波,没有续至波和面波用来测定 M_L 、 M_s 或 M_s7 震级,而且用于测定体波震级 m_b 的 PP 震相无法识别或能识别的台站数量过少导致震级不稳定。从 2013 年 9 月以后,无法测定震级的地震不再分析。

需要说明的是,目前我国台网编目时测定的震级包括 M_L 、 m_b 、 m_b 、 M_s 、 M_s7 等 5 种类型,但在地震目录中统一使用发布震级 M ,它是根据以上 5 种测定震级按照 M_s 、 M_s7 、 M_L 、 m_b 、 m_b 顺序优选一种而得。为了保持与速报震级的一致性,对 M_L 震级按 $M = 1.13 \times M_L - 1.08$ 做了换算。

5.3 各台网产出贡献统计

图 3 为统一地震目录产出按台网数量统计柱状图,图 4 为统一正式报地震目录数量按台网贡献比例统计饼图。从图 3、图 4 可以看出,各台网产出地震目录数量相差很大,排在前 3 位的四川、云南和新疆的正式目录数量约占全部数量的 63%,而其它台网的总比例为 37%;其中,上海、海南、湖南、吉林、贵州等 5 个台网占比不足 0.1%,江西、江苏、黑龙江、河南、湖北、北京、宁夏、安徽、重庆、天津、浙江、内蒙古等 12 个台网占比不足 1%。这主要与我国地震活动西强东弱的不均性有关,也反映出各台网编目人员的工作量有很大差异。

5.4 地震目录的完整性分析

地震目录的完整性对于地震活动和危险性分析非常重要,常用最小完整性震级 M_c 来评价地震目录的完整性,即大于等于 M_c 的地震是 100% 完整的,而小于 M_c 的地震是不完整的(韩立波等, 2012)。本文采用了“完整性震级范围”(entire-magnitude-range, EMR)方法(Woessner et al, 2005)计算最小完整性震级 M_c 。

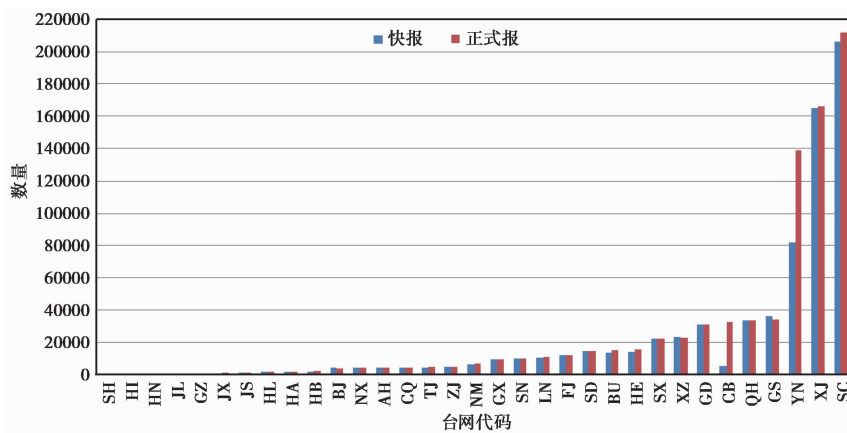


图 3 各台网正式报地震目录上报数量统计柱状图

CB: 国家台网; BU: 中国地震局地球物理研究所台网; BJ: 北京台网; TJ: 天津台网; HE: 河北台; SX: 山西台网; NM: 内蒙台网; LN: 辽宁台网; XJ: 新疆台网; HL: 黑龙江台网; SH: 上海台网; JS: 江苏台网; ZJ: 浙江台网; AH: 安徽台网; FJ: 福建台网; JX: 江西台网; SD: 山东台网; 河南台网; HA: 宁夏台网; 陕西台网; SN; GD: 广东台网; GX: 广西台网; HI: 海南台网; SC 四川台网; GS: 甘肃台网; YN: 云南台网; HN: 湖南台网; CQ: 重庆台网; HB: 湖北台网; XZ: 西藏台网; QH: 青海台网; GZ: 贵州台网; JL: 吉林台网

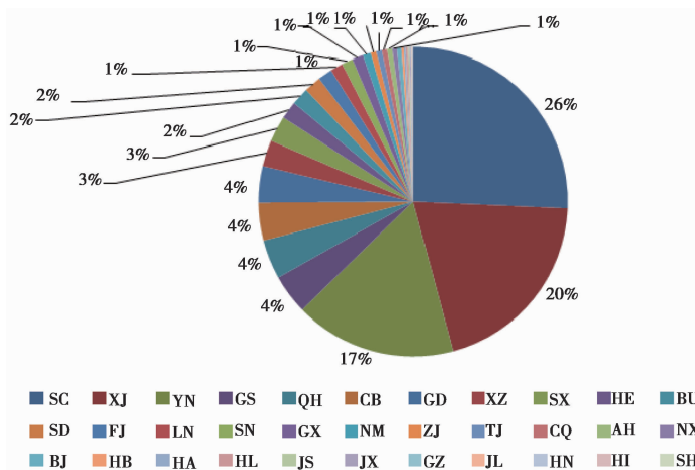


图 4 各台网正式报地震目录上报数量占比统计饼图

CB: 国家台网; BU: 中国地震局地球物理研究所台网; BJ: 北京台网; TJ: 天津台网; HE: 河北台; SX: 山西台网; NM: 内蒙台网; LN: 辽宁台网; XJ: 新疆台网; HL: 黑龙江台网; SH: 上海台网; JS: 江苏台网; ZJ: 浙江台网; AH: 安徽台网; FJ: 福建台网; JX: 江西台网; SD: 山东台网; 河南台网; HA; NX: 宁夏台网; 陕西台网; SN; GD: 广东台网; GX: 广西台网; HI: 海南台网; SC 四川台网; GS: 甘肃台网; YN: 云南台网; HN: 湖南台网; CQ: 重庆台网; HB: 湖北台网; XZ: 西藏台网; QH: 青海台网; GZ: 贵州台网; JL: 吉林台网; 数字代表各台网上报数量占总数量的百分比

EMR 方法与传统的基于G-R关系 (Gutenberg et al, 1944) 的统计地震学方法不同, 采用了分段函数分别拟合完整和非完整震级档的震级频度分布。其中, 对于 $M \geq M_0$ 部分采用幂

律分布,并利用最大似然法估计G-R关系中的参数 a 和 b (Aki, 1965),而对于 $M < M_c$ 部分则采用累积正态分布函数 $q(M|\mu, \sigma)$ 描述地震的检测能力,也即地震台网对某一震级 M 检测一个地震的概率 (Woessner et al, 2005)

$$q(M|\mu, \sigma) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{M_c} \exp\left[-\frac{(M-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dM, M < M_c \\ 1, M \geq M_c \end{cases} \quad (1)$$

式中的 μ 为 50% 概率被检测到的相应的震级,当 $M \geq M_c$ 时, $q = 1$ 。 σ 为对应的标准差,较大的 σ 对应地震台网监测能力的快速下降。利用最大似然法对式(1)中的参数 μ 、 σ 、 a 和 b 进行估计并搜索最适合的分段模型的交接点,即 M_c 的数值。为评估 M_c 的不确定度 δM_c ,参照 Schorlemmer 等(2003)和 Woessner 等(2005)的做法,使用了 bootstrap 方法 (Efron, 1979; Chernick, 1999) 的蒙特卡罗近似来估计,并参照 Chernick (1999) 的做法使用了 100 次的重采样次数。

使用统一地震编目系统产出的 2009~2017 年 $M_L 0.0$ 以上地震目录计算获得的我国大陆地区地震目录最小完整性震级 M_c 分布如图 5 所示,相应的不确定度 δM_c 的分布如图 6 所示。

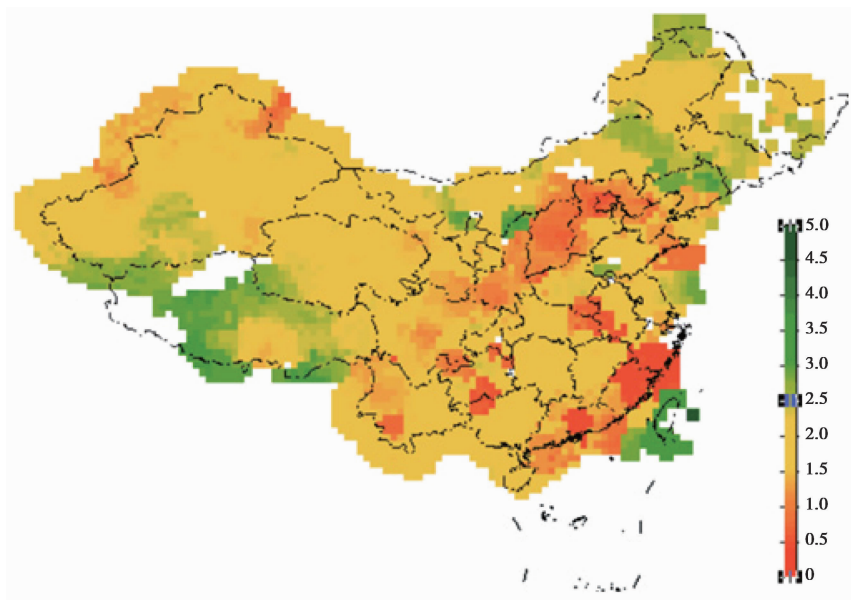


图 5 我国大陆地区地震目录最小完整性震级 M_c 分布

由图 5、6 可见,我国大陆大部分地区的地震目录最小完整性震级 M_c 为 $M_L 2.0$;部分地区 M_c 可达 $M_L 0.5$,如首都圈、鄂豫皖交界、川滇桂粤局部、浙闽交界;部分地区 M_c 为 $M_L 3.5$,如西藏大部分地区、内蒙古局部地区等。

6 与“九五”期间地震编目产出的对比

不考虑台站规模增加引起的监测能力提高而导致的地震目录数量的增加(“九五”期间全国微震编目平均月产出两千余条地震目录,国家台网编目月产出不到千余条地震目录)和

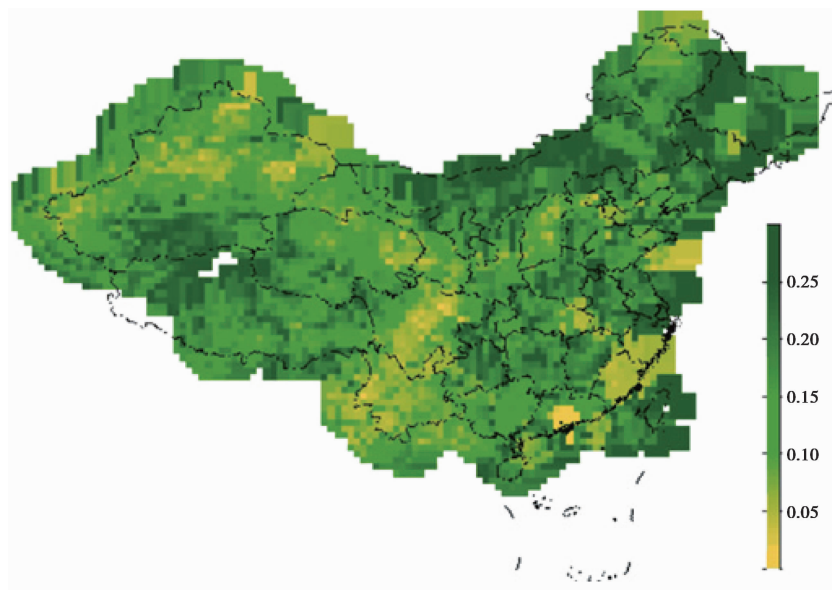


图 6 我国大陆地区地震目录最小完整性震级 M_c 分布

震级下限的扩展(“九五”期间是 $M_L 2.0$, 目前可达到 $M_L -0.9$), 与“九五”期间的地震编目相比, 目前的统一编目有以下优点:

一是产出更统一。“九五”期间的编目分为全国微震编目和国家台网编目两个分离的系列。国家中心对省中心上报的地震目录进行统编, 产出包含我国及周边地区地震事件的全国微震目录。国家中心利用国家台站分析上报的震相数据产出包含国内和国外较大地震(一般 $M 3.5$ 以上)的国家台网地震目录和观测报告。对于国内和我国周边较大地震, 2 套地震目录都有产出, 但由于使用的台站和走时表不同, 结果往往不一致。而目前的统一编目综合使用了上述 2 套目录的数据, 产出了统一的一套地震目录, 对于同一个地震, 只有唯一的结果。

二是产出更快。“九五”期间的地震编目按月产出, 国家中心在 3 个月产出当月全国微震目录和国家台网地震目录与观测报告。而目前统一地震快报编目按日产出, 第 2 日 18:00 产出前一日的全球地震目录; 统一地震正式报编目按周产出, 在第 4 周后(国家台站上报数据滞后近 1 周, 国家中心利用国家台站数据进行处理用时 1 周, 统一编目用时 1 周, 复核用时 1 周)产出本周全球地震目录和观测报告。

三是产出内容更丰富。“九五”期间的国家台网编目产出了地震目录和观测报告, 包含了国家台的震相数据; 而微震编目只产出不含震相数据的地震目录, 要想使用震相数据, 只能从每个省级中心报送的纸质打印观测报告中查找。而目前的统一编目不但产出统一的地震目录, 同时还产出了与目录关联的所有国家台站和区域台站的震相数据

7 结论与讨论

通过以上分析可以看出, 目前的统一地震编目体系虽然基本保持了“九五”期间的运行模式, 即有人值守国家台对全球地震进行单台震相分析、省级台网中心按行政区域划分对国

内及我国周边地区地震进行编目分析、国家台网中心对国家台站和省级台网中心的分析结果进行综合处理。但在具体环节上有所改善:一是省级台网中心不但上报地震目录,而且上报与之关联的震相数据。二是在利用国家台站上报的震相数据完成国家台网编目后,增加了将国家台网编目结果与省级台网编目结果再进行统一编目处理的环节,从而产出一套唯一的、完整的中国测震台网地震目录和观测报告。此外,增加了以日为产出单元的快报编目和以周为产出单元的正式报编目的分阶段编目环节,使得地震编目的产出更加高效,更好地满足了地震预报周会商和月会商的需要。此外,得益于我国测震台网的加密,统一地震编目系统产出地震目录的最小完整性震级 M_c 在绝大部分地区可达 $M_L 2.0$ 。

当然,目前的统一地震编目体系还存在一些问题。

首先是统一编目规则问题。目前国家台网是在国家测震台站报送的震相数据的基础上,使用全球走时表进行定位,测定 m_b 、 m_B 、 M_L 、 M_S 和 $M_S 7$ 等震级;省级台网利用台间距相对更小的区域台站的观测数据进行震相分析,使用区域走时表进行定位,主要测定 M_L 震级。相比而言,国家台网的震级结果更稳定和可靠,而省级台网的定位精度更高。理想状态下,对于国内及我国周边地震,统一编目应采用省级台网的定位结果和国家台网的震级。此外,对于多个省交界的地震,应该使用各省分析的震相进行重新定位以提高定位精度。而目前的统一编目规则(即 $M 4.0$ 以上地震选取国家台网的结果作为最终结果, $M 4.0$ 以下地震按照属地原则选取震中所在省的结果作为最终结果)在定位精度上显然没有达到理想状态。随着 2016 年广东省地震局新研发的 JOPENS6.0 统一编目软件的部署使用,这一问题将得到解决,新软件将统一汇集国家台站和省级台网的震相数据并参考波形数据进行重新定位和震级测定,将显著提高多省交界地震和国内 $M 4.0$ 以上地震的定位精度。

其次是在编目工作开始阶段,有些省中心误用软件缺省设置的华南走时表,导致深度测定很不准确,当然发现后及时得到纠正,但早期的地震目录还没有改正,目前中国地震局监测预报司已筹划对这部分目录开展修正工作。

再次是编目工作工作量问题。一方面,数量众多的国家台站(107 个)只进行单台分析,一定程度上浪费了人力,还导致部分编目数据的质量不高;另一方面,由于我国地震活动的不均匀性(主要分布在南北地震带、青藏高原和天山地震带),按省行政边界划分的地震编目使得多震的西部一些省份(如新疆、四川、云南等)编目工作量特别大,而东部一些省份(如上海、湖南、海南、浙江等)编目工作量相对较小。国家地震烈度速报与预警工程实施后,我国测震台站的数量将成倍增长,中国测震台网的地震监测能力将进一步提高,地震编目的工作量也将大大增加。如何合理调配现有的人力资源、研发更加高效的编目技术系统、采取更加合理的编目运行管理模式,将是我们面临的现实挑战。对于国家台站的问题,中国地震局已经探索采用观象台和综合台的模式进行管理,届时将把多个台站的人员集中起来,承担一定范围的多个台站的运行和编目任务。对于如何减轻多震省中心的编目工作量,中国地震局已经开展人工智能辅助编目的研发工作。此外,也在筹划研发协同编目工作平台,动态分配编目工作任务。

致谢:感谢蒋长胜研究员提供地震目录最小完整性震级 M_c 计算程序并给予指导。也感谢多年来一直坚守在地震编目工作第一线的同志们,正是他们默默辛勤地工作和不懈地努力,才使我国的地震编目工作

达到目前的局面。

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.
- 韩立波、蒋长胜、李艳娥等, 2012, 用于地震可预测性 CSEP 计划的南北地震带地区地震最小完整性震级 M_c 研究, 地震, **32**(1), 17~27.
- 中国地震局, 2017, 地震编目规范, 北京: 地震出版社.
- Aki K, 1965, Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bm$ and its confidence limits, Bull Earthq Res Inst, Tokyo Univ, **43**, 237~239.
- Chernick M R, 1999, Bootstrap methods, a practitioner's guide, New York: Wiley.
- Efron B, 1979, Bootstrap methods: Another look at the Jackknife, Ann Stat, **7**(1), 1~26.
- Gutenberg R, Richter C F, 1944, Frequency of earthquakes in California, Bull Seismol Soc Am, **34**(4), 185~188.
- International Seismological Centre, 2010, Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre, Berkshire, UK: International Seismological Centre.
- Schorlemmer D, Neri G, Wiemer S, et al, 2003, Stability and significance tests for b -value anomalies: Example from the Tyrrhenian Sea, Geophys Res Letts, **30**(16), 1835. doi: 10.1029/2003GL017335.
- Woessner J, Wiemer S, 2005, Assessing the quality of earthquake catalogues: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty, Bull Seismol Soc Am, **95**(2), 684~698.

Unified Earthquake Cataloging of China Seismographic Network

Dai Guanghui Miao Chunlan Zhai Luyuan

China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

Abstract The paper summarizes the overall composition, technological system, process flow and quality control of the current conventional unified earthquake cataloging work system of the China Seismographic Network. Then it briefly analyzes the products of current work system and contrasts with the ones of the previous work system. Finally, it discusses and tries to give some solutions to the problems of the system.

Key words: Unified earthquake cataloging; Quick earthquake cataloging; Formal earthquake cataloging; National network cataloging; Provincial network cataloging; Catalog; Bulletin