

云南地震监测台网进展与强震活动特征分析^{*}

秦嘉政, 钱晓东, 叶建庆

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 介绍了云南地震监测台网的发展历程。云南区域数字地震台网的运行, 极大地提升了地震活动的监测能力, 小震活动信息量成倍增加。近年来全球及区域数字地震台网的运行, 记录了许多重要的地震事件, 为现代地震学领域的理论创新和技术应用研究提供了广阔的前景。长期以来积累了大量高质量的数字地震观测资料, 是地震学家和相关领域的地球科学家深入开展地震物理过程和地球内部结构研究的重要基础资料。重点分析了 20 世纪以来云南 $M \geq 5.0$ 地震活动性在时间和空间分布上所表现出的基本特征, 这些特征对分析研究云南地震活动以及强震危险性具有重要参考价值。

关键词: 地震活动性; 强震活动特点; 数字地震台网; 云南地区

中图分类号: P315.78

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)04-0441-08

0 前言

云南地处青藏高原东南缘, 由于其特殊的地理位置, 成为全球地壳构造运动最激烈的地区之一, 最显著的特征之一是地震活动十分频繁, 表现为地震活动分布广、强震多、震灾重。在现代文明社会, 由于经济发展快, 工业化、城镇化扩张速度快, 人口集中度高, 许多发生在大陆内的破坏性地震往往能造成巨大的经济损失和人员伤亡。因此, 不断引进高新技术开展对地震的监测和科学研究, 减轻地震灾害的损失, 是当今地学家和地震科技努力的方向和工作的目标(陈颢, 史培军, 2007; 皇甫岗, 秦嘉政, 2006)。

数字地震台网在监测中小地震活动中显现出巨大优势, 可以提供高质量的地震观测资料, 由此可以开展更加详细的地震学研究, 对提升地震学研究的科学含量和不断深入认识地震物理过程, 从而达到认知地震、预测地震是十分重要的。高质量的数字地震台网的维护和运转, 是不断提供长时期极有价值的地震科学数据的重要保障, 也是地震学研究的重要基础。

1 云南地震监测台网发展历程

地震的仪器监测最早始于公元 132 年中国汉代学者张衡设计制造的“候风地动仪”, 它能明确指示地震波产生和传来的方向。18 世纪早期, 欧洲开始出现记录地震的仪器, 到 19 世纪中叶, 出现了能确定地震的方向、强度和持续时间的地震仪。19 世纪末, 才研制出记录地震动随时间变化的仪器(皇甫岗等, 2000)。20 世纪 30 年代, 李善邦先生在北京首次建立了中国最早的具有现代意义地震观测台站——鹫峰地震观测台。之后相继在重庆北碚、南京北极阁、上海保家地等地进行过地震观测(李善邦, 1981)。20 世纪 50 年代, 在李善邦先生的主持下, 陆续在长春、南京、上海、广州、昆明、拉萨、兰州、西安、包头、太原等地建立了地震基准台, 为中国地震监测打下了坚实的基础。

1.1 全球数字地震台网发展

具有现代地震观测技术, 拥有标准化地震仪设计的全球地震观测台站于 20 世纪初开始布设, 从最初由英国科学促进协会支持的 Milne 台网和

^{*} 收稿日期: 2012-05-14.

基金项目: 云南省重点项目“青藏高原东缘强震活动规律与板缘动力学机制”(2010CC006) 和“地球物理场和化学场动态变化与强震活动关系研究”(JCYB-20080601-5) 联合资助。

Jesuit 观象台布设的 20~30 个台站组成的小规模的“全球”台网,到 1960~1966 年布设的 WWSSN 全球地震台网,除台站规模急剧扩大之外,在美国地质调查局 (USGS) 还建立了 WWSSN 全球地震台网数据库档案,并实现 WWSSN 台网的地震模拟数据交换和访问系统。这为 20 世纪 60 年代创建的板块构造学说和 70 年代广泛开展的表面运动定量模拟反演技术提供了关键性的观测资料 (陈运泰等, 2010; Butter *et al.*, 2004)。

随着观测技术的进步和发展,数字地震记录和甚宽频带传感器逐渐取代了地震监测模拟记录,宽频带数字地震记录成为全球地震记录的标准地震观测仪。在有关国家的努力下,以早期数字地震台网为基础建立的全球地震台网 (GSN) 由巴黎地球物理学院的法国地球透镜计划数字台网 (GEOSCOPE)、地震研究观测台网 (SRO)、以及数字 WWSSN 转换台网和国际加速度台网 (IDA) 等组成。在此基础上,1986 年许多进行全球地震监测的地震数字宽频带固定台站联合成立了美国数字宽频带地震台网联合会 (FDSN),与此同时,在多震国家内建立的区域数字地震监测网络也系统地开展了相应的地震监测工作,在全球范围内,获取了许多高质量的数字地震观测资料,极大地促进了地震科学的研究进展。在模拟记录期间,全球没有记录到几次可供地震学家研究的地震,而在数字地震记录期间,全球数字地震台网实现了实时覆盖全球的大动态范围的地震记录,这是全球地震监测和国际科学界的宝贵财富 (Ammon *et al.*, 2010; Oliver, Murphy, 1997; Isacks, Murphy, 1968)。

1.2 云南区域数字地震台网发展

云南的地震观测从最初的单台模拟记录开始,发展到今天的区域数字地震观测台网,经历了数十年的过程,这个过程也真实地反映了云南地震科技从小到大、从弱到强的发展过程。

(1) 模拟地震仪监测

第一阶段 (1950~1959 年): 在 20 世纪 50 年代建设我国第一批国家级地震台时,就将昆明纳入其中。实现零的突破。1957 年昆明地震基准台的基尔诺斯中长周期光记录地震仪开始观测记录地震,地震仪放大倍率为 1 500 倍左右,可记录省内 4.0 级左右地震,周边省份 $M \geq 5.0$ 地震,国外 $M \geq 6.0$ 地震。云南的地震观测进入了仪器观测时

代,与全国其它 15 个地震台组成首批中国地震台网,主要监测中国大陆及周边国家发生的中强地震。

第二阶段 (1960~1969 年): 区域台网雏形。20 世纪 60 年代中后期,为满足建设四川省攀枝花市钢铁基地的需要,国务院责成中国科学院提供攀枝花市及周边地区地震活动资料,中国科学院地球物理所陆续在四川省西昌地区和攀枝花地区及云南的华坪、永胜、宁蒗、中甸、剑川、东川、昭通和大理等地建设了一批区域性地震台站,形成了由 21 个台站构成的西南区域性台网。台网安装的地震仪主要为短周期的维开克、65 型、67 型光记录仪或熏烟记录仪,放大倍率可达数万倍,可有效地监测区域性的地方震和近震。此台网主要监测川滇交界地区中小地震活动,地震监控能力为 3.0 级左右。

第三阶段 (1970~1979 年): 大地震的发生促进了区域性台网的建立。1970 年 1 月 5 日云南通海发生 $M_s 7.8$ 大地震。主震发生后的半年内发生了 11 次 $M_s \geq 5.0$ 地震,5 级以下余震活动十分频繁,但国家台网和西南区域台网不能对此进行有效监测。通海地震 $M_s 7.8$ 发生后,在震中区周围立即架设了一组以监测通海余震为主要目标的临时地震台网,这组由 12 个子台组成的临时性通海区域地震台网以通海地震震中为中心,分别在楚雄、宜良、通海、玉溪、峨山、建水、元江、开远、石屏、墨江、海源寺和龙明建设临时台站,台网安装的地震仪主要为短周期的维开克、65 型、67 型光记录仪或熏烟记录仪,放大倍率在 1 500 倍左右,可有效地监测通海 $M \geq 2.5$ 余震。该台网中的楚雄、宜良、通海和建水在通海地震后逐步建成省级区域地震台站,其它台站大多为地方地震机构所用,成为地区性地震台站。通海地震后又相继建成腾冲、云县等地震台。

1974 年 5 月 11 日云南昭通发生 7.1 级大地震,1976 年 5 月 29 日云南龙陵地区发生 7.3 和 7.4 级大地震,地震之后为改善云南区域地震监测台网布局,又相继在盐津、巧家、保山、六库、芒市、澜沧、文山等地建设地震台。鹤庆、洱源、罗平等地进入台站筹建工作。20 世纪 70 年代中期,相继发生的海城 7.3 级和唐山 7.8 级大地震,地震监测预测工作人员既体验着海城地震成功预测的喜悦,同时也目睹了唐山地震造成的重大的人员伤

亡和城市夷为平地的悲惨景象。为了综合加强地震监测与地震速报工作，国家决定在上海、兰州、昆明、沈阳、北京、成都等地建设区域遥测台网，随后昆明区域遥测台网开始筹建。

第四阶段（1980~1992 年）：云南区域台网形成规模，地震监测速报发挥效益。1984 年昆明区域遥测地震台网通过国家地震局组织的鉴定验收，开始发挥监测效益。台网共有 23 个有线传输子台，17 个无线传输子台。由于无线传输子台信号传输频率与电视广播传输频率接近，干扰观测点附近居民收看电视，从 20 世纪 80 年代中期开始至 90 年代初期，各无线传输子台运行了 3~5 年后相继中断观测。由于区域遥测地震台网集中记录可以更快地检测地震事件，可在线和实时自动检测与分析台网内及其邻近地区的地震活动，尤其在大震速报方面，更体现了遥测台网的优越性。1984 年昆明区域遥测台网正式投入地震监测工作，1985 年 4 月 18 日云南省禄劝县发生 6.3 级地震，昆明区域遥测台网，仅用 22 min 报出这次地震的发震时刻、震中经纬度、震级等地震基本参数，地震图上的地震尾波尚未结束，国家地震局已收到昆明台网的速报的地震基本参数。由于快速准确测定了这次破坏性的地震，为云南省及时组织抗震救灾工作提供了可靠依据，起到了积极的作用。1986 年 10 月 7 日昆明市富民县 5.2 级地震后，仅

用 12 min 速报了这次地震的基本参数。1986 年鹤庆 5.6 级地震，1988 年 1 月 10 日宁蒗 5.5 级地震，也以 22 min 速报了地震参数。1988 年 11 月 6 日云南澜沧—耿马发生 7.6 级和 7.2 级强烈地震，昆明台网以 7 min 的时间测定了 7.6 级大地震的全部参数，并立即上报国家地震局和云南省的有关部门。为云南省的防震减灾事业提供了强有力的科学保障。

(2) 数字化地震仪监测

从 1993 年开始，云南地震监测台网引进和建立数字地震观测台站，这是地震监测技术的革命性突破。之后的十多年间，不断地进行数字化地震仪台网建设和升级完善，至 2001 年形成了由 26 个数字地震台组成的云南数字地震台网，使云南省的地震观测技术提高到了一个新的水平。近代地震学的发展对测震技术提出了越来越多的要求。在震源介质传播特性、地壳和上地幔构造的研究、地震预报的探索，以及数据的高技术处理中，常规地震台网的模拟可见记录在地震学的深化过程中已难以满足研究的需要，越来越需要数字化的高质量地震记录。近 20 年来，随着微电子技术的发展，计算机的广泛应用，数字事件记录系统相继问世，为地震观测系统的现代化提供了条件。

在国家和省政府的支持下，经过“十五”云南数字化地震台网建设，极大地提升了云南区域数字地震台网监测能力。技术系统由“九五”的 16 位数据采集器、宽频带地震计（20 s）升级为 24 位数据采集器、宽（甚宽）频带地震计（60 s 以上），提高了整个台网的观测动态范围，扩大了台站的观测频带，丰富了记录的信息量。高速的网络平台建设提高了数据传输的速率，扩大了数据的应用范围，2 MB 的 SDH 光纤电路为主干的高速传输网络建设，彻底改变了“九五”9.6 kB 的 DDN 专线的传输模式，大大提高了台站数据传输的速率；另外 10 MB 互联网链路的建设也大大提高了与外界数据交换的速度。

台站数量的增加提高了台网的监控能力，由“九五”的 23 个台站增加为 45 个台站，增加的台站基本均匀地展布在云南境内。台站密度由原来的大部分台站台间距为 150 km 以上缩小到现在的 100 km 以内，重点城市台站密度能达到 50 km 以内。

台站数量的增加，使台网监测能力得到提高，监控能力由原来的昆明市和滇西实验场区 $M_L \geq$

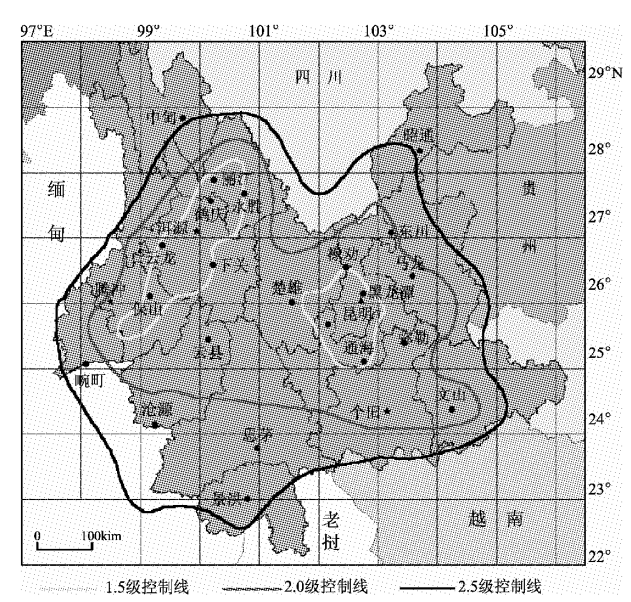


图 1 昆明遥测台网地震监控能力示意图
Fig. 1 Schematic diagram of earthquake monitoring capability of Kunming telemetric seismic network

1.8、云南省大部分地区 $M_L \geq 2.2$ 、全省 $M_L \geq 2.5$ 、邻近地区 $M_L \geq 3.0$ 提高到我省大部分地区能控制在 $M_L 1.8$ 、边缘及邻近能控制在 $M_L 2.4$ 。图 2 给出了云南数字地震台站分布及地震监测能力控制图。

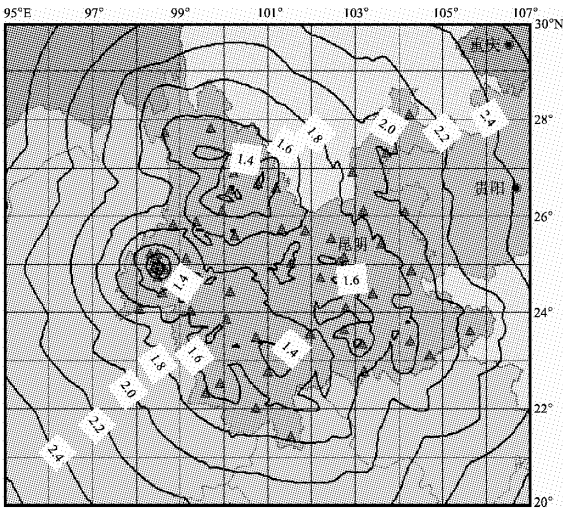


图 2 云南数字地震台站分布及理论监测能力图
Fig. 2 Distribution of digital seismic stations and their theory monitoring capability in Yunnan

先进的数字地震台网记录的高质量资料，让地震科学家们能够使用地震产生的由现代记录系统记录的大动态范围的地面运动数字化数据，开展各种地震学研究。云南地震观测技术的进步和台站密度的增加极大地提升了区域地震活动的监测能力，有力地促进了地震学研究的进展。

图 3 给出了云南数字地震台网建设前后的地震活动统计，从 1965 ~ 2011 年共 40 多年的地震监测数据统计得出，1965 ~ 1992 年年均记录地震数为 1 078 个（模拟记录为主），1993 ~ 2011 年年均记

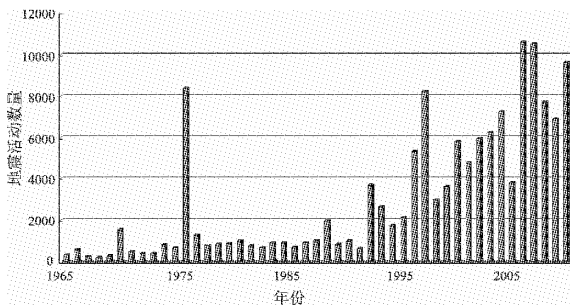


图 3 1965 ~ 2011 年云南地震活动数量随时间分布
Fig. 3 Distribution of seismic activity numbers with time from 1965 to 2011

录地震数为 5 783 个（数字化记录为主），后者记

录的地震是前者的 5 倍，记录到大量丰富的小地震，表明数字地震台网监测技术提高，极大地提升了获取小震活动信息量的能力，同时，地震波型数字化过程，为深入开展地震精确定位、中小地震活动性统计、震源应力参数测定、震源机制解以及地球内部精细结构等多学科现代数字地震学研究，提供根本保障。

2 20 世纪以来云南 $M \geq 5$ 地震活动

云南地震活动十分频繁，云南地区的历史地震记载始于公元 886 年（李善邦，1981；国家地震局震害防御司，1995），但由于历史原因，1900 年以前的记载十分不完整，1900 年后 $M \geq 5.0$ 地震的记载相对比较完整，因此，研究分析 20 世纪云南 $M \geq 5.0$ 地震的活动特征及规律，对认识现今的云南地震活动具有十分重要的科学意义和实用价值，有关这个领域的研究也取得了丰富的研究成果（皇甫岗等，2000；秦嘉政等，2005）。

2.1 地震活动空间分布特征

1900 ~ 2011 年，云南地区共发生 5 级以上地震 315 次，其中，7 级以上地震 10 组 13 次，最大的地震是 1970 年通海 7.8 级地震，6.0 ~ 6.9 级地震 62 次，5.0 ~ 5.9 级地震 240 次，图 4 给出了云南地区 20 世纪以来 $M \geq 5.0$ 地震的震中分布图。

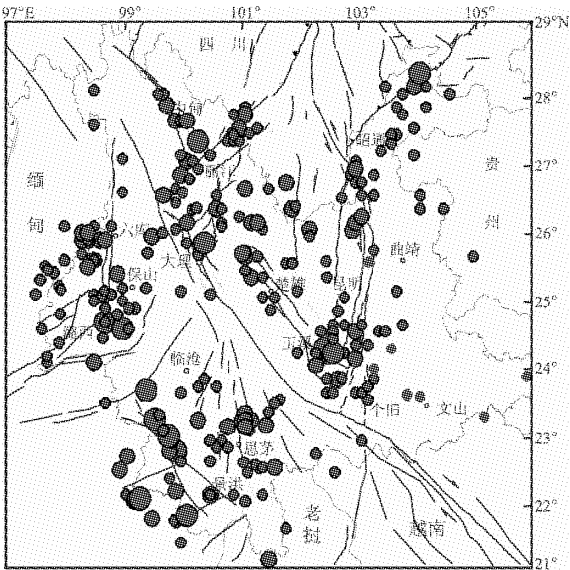


图 4 1900 ~ 2011 年云南地区 $M \geq 5.0$ 地震空间分布
Fig. 4 Spatial distribution of $M \geq 5.0$ earthquakes in Yunnan from 1900 to 2011

从图中看到，5 级以上破坏性地震主要集中分布在楚雄、大理、丽江、保山、六库等滇西地区，思茅、景洪、澜沧等滇西南地区以及滇东通海—东川—昭通等近南北向小江强震活动带。

2.2 地震活动时间分布特征

图 5 给出 20 世纪以来云南地区 $M \geq 5.0$ 地震的时间序列和年频度随时间的分布图。从图中看出，1900 ~ 1925 年，5 级以上地震相对较少，因为这一时期 5 级以上地震存在严重的缺失记录（皇甫岗等，2010）。从 1926 年至今，5 级以上地震十分密集，1900 ~ 2011 年年均发生 5 级以上地震 2.8 次，年均释放地震能量 7.08×10^{14} J，折合震级 6.7 级。1965 年以来，云南地震监测台网逐渐完善，提高了对云南地震活动的监测能力，1965 ~ 2011 年，年均发生 5 级以上地震 3.5 次，比全序列年均 2.8 次增加了 20%，这一期间的年均释放地震能量为 2.00×10^{15} J，折合震级 7.0 级。年均能量释放增加了近 3 倍，表明现代地震活动更为强烈。

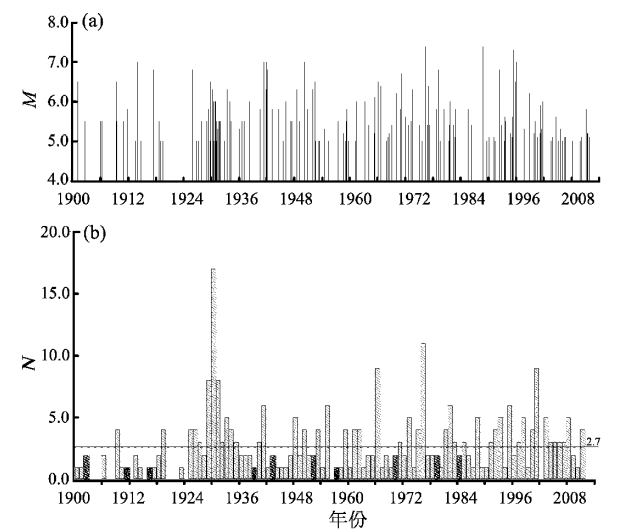


图 5 1900 ~ 2011 年云南地区 $M \geq 5.0$ 地震时间序列分布图
(a) $M-t$ 图；(b) $N-t$ 图
Fig. 5 Time sequence distribution of $M \geq 5.0$ earthquakes in Yunnan from 1900 to 2011
(a) $M-t$ diagram；(b) $N-t$ diagram

2.3 强震活动的时间丛集特征

笔者把 20 世纪以来年均释放能量折合震级 6.7 级作为强震标志，图 6 给出了 1900 ~ 2011 年云南地区 $M \geq 6.7$ 的时间分布图。由图中看出，云

南的强震活动 100 多年来，具有十分明显的活跃期和平静期间隔特点，强震活跃期主要集中在 1913 ~ 1925 年、1941 ~ 1955 年、1970 ~ 1979 年和 1988 ~ 1996 年 4 个时段，累计时间达 43 年，在这 4 个时段，释放了约 90% 的地震能量，将这 4 个时段称为强震活跃期。两活跃期之间称之为平静时段，从 1996 年至今已进入第 5 个平静期。表 1 和表 2 给出了云南地区 1900 年以来 4 个强震活跃期和 5 个强震平静期 5 级以上地震发生频度和能量释放情况。特别值得注意的是第 5 个平静期的平静时间长达 16 年，接近百年统计的最长平静期 16.17 年（第 2 平静期）的极限，这表明新一轮强震活跃期已逼近。根据有关的分析研究，笔者认为邻近滇西南的缅甸地区的构造断裂背景与云南滇西南地区相通性和强震活动力源同源性等因素，如果把 2011 年 3 月距离我国滇西南边境约 70 km 的缅甸 7.2 级地震作为云南地区的强震统计，则可认为云南地区已进入新一轮强震活跃期。

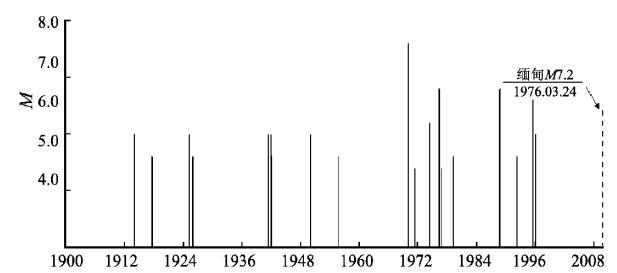


图 6 云南地区 $M \geq 6.7$ 强震活动时间序列分布图
Fig. 6 Time sequence distribution of $M \geq 6.7$ strong earthquakes in Yunnan from 1900 to 2011

图 7 给出的 1900 ~ 2011 年云南地区 100 多年来 5 级以上地震累积地震能量释放随时间序列的分布图。由图中看出，地震能量强烈释放是从 1970 年通海 7.8 级大地震后开始，相比于其中任何一个

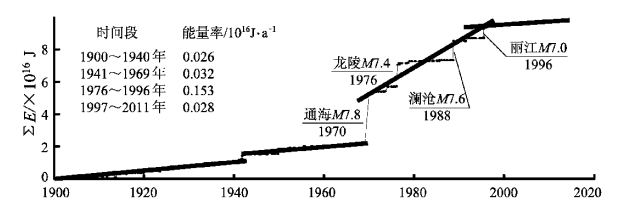


图 7 云南地区 1900 ~ 2011 年 $M \geq 5.0$ 地震累积地震能量释放率
Fig. 7 Release rate of energy accumulation of $M \geq 5.0$ earthquakes in Yunnan from 1900 to 2011

类似的时间段而言, 1970 年通海 7.8 级大地震至 1996 年丽江 7.0 级地震这段时间内发生的数次 7 级以上地震形成了累积地震能量释放的整体高斜率, 能量释放率 k 为 0.153×10^{16} J, 而其余 3 个时段的能量释放率 k 在 $(0.026 \sim 0.032) \times 10^{16}$ J 之间, 能量释放增长率几乎是平缓的。图 7 给出的能量释放时间序列过程表明, 从更长的时间尺度看,

1970 年通海 7.8 级大地震前 70 年地震能量释放似乎存在一个相对平静时段, 地震后 40 年, 地震能量处于加速释放过程。因此, 除云南常用的 4 个活跃和平静时段分析外, 1970 年通海 7.8 级大地震前后是否存在一个更大时间尺度的活跃与平静现象? 类似这样的新认识、新看法需进一步开展分析和讨论。

表 1 1900 年以来云南地区 5 个地震平静期 $M \geq 5.0$ 地震能量释放统计

Tab. 1 Energy release statistic of $M \geq 5.0$ earthquakes in 5 seismic quiescent periods in Yunnan from 1900

平静期	起止时间/年-月	持续时间/a	释放能量/J	地震次数	折合震级
第 1 平静期	1900-01~1913-11	13.97	$8.7765\text{e}+014$	13	6.8
第 2 平静期	1926-01~1941-05	15.40	$2.4416\text{e}+015$	68	7.1
第 3 平静期	1955-10~1969-12	14.28	$1.2902\text{e}+015$	38	6.9
第 4 平静期	1979-04~1988-10	9.65	$5.4831\text{e}+014$	26	6.6
第 5 平静期	1996-03~2011-12	15.70	$1.5660\text{e}+015$	52	6.9

表 2 1900 年以来云南地区 4 个地震活跃期 $M \geq 5.0$ 地震能量释放统计

Tab. 2 Energy release statistic of $M \geq 5.0$ earthquakes in 4 seismic active periods in Yunnan from 1900

活跃期	起止时间/年-月	持续时间/a	释放能量/J	地震次数	折合震级
第 1 活跃期	1913-12~1925-12	11.23	$6.4804\text{e}+015$	15	7.3
第 2 活跃期	1941-05~1955-09	14.36	$1.0367\text{e}+016$	42	7.5
第 3 活跃期	1970-01~1979-03	9.19	$5.1363\text{e}+016$	37	7.9
第 4 活跃期	1988-11~1996-02	7.24	$2.2002\text{e}+016$	24	7.7

3 结论与讨论

经过数十年的努力, 云南地震监测台网规模从小到大, 从模拟记录发展为数字化记录, 有效地提升了地震活动监测能力, 为云南省的防震减灾事业发展打下了坚实的观测基础。全球数字地震台网以及区域数字地震台网获取了丰富的地震观测资料, 为地震学研究提供了极有价值的高质量的科学数据, 这是地震观测技术的一次巨大的飞跃。最近几十年全球大地震活动十分频繁, 且许多大地震造成了数万至数十万人的死亡以及数千亿美元的经济损失, 引起了人们的广泛关注。统计表明, 2001~2010 年 10 月全球共发生 18 次 $M_s \geq 8.0$ 的浅源大地震, 是 20 世纪每 10 年间隔统计平均数 (6 ± 3) 次的 3 倍。2004 年 12 月苏门达

腊—安达曼 $M_w 9.0$ 大地震发生时, 全球数字地震台网只有数百个宽频带数字台站在观测, 而到 2010 年 2 月智利 $M_w 8.8$ 大地震时, 有 1 200 多个全球宽频带台网的台站在记录, 且地质学家们在数小时之内就可以通过网络中心很方便地获取这些准实时的共享数据, 并开展相关的研究工作, 使地震快速响应和紧急救援发挥了真正的作用。其次, 区域数字地震台网也有效地提升了区域地震活动性的监测能力。数字地震观测台网记录的高质量数据能够提供开放式访问的功能, 这为地震学家和其它领域的地球科学家提供大量的地面运动资料, 为他们研究大地震破裂过程、发震成因和地球内部结构等多学科领域研究提供了可靠的数据基础。

数字地震观测获取的高质量数据, 为地震学研究带来了新的科技机遇, 许多新理论、新

方法得以检验和应用,地震学家和地球物理学家可以从数字地震信号中解读所关心、关注的许多科学问题。例如,在地震破裂过程研究方面,可以快速测定地震矩张量、震源应力参数、震源破裂特征等(秦嘉政等,2003,2004);在地震定位研究方面,快速实现地震精准定位和大地震速报(钱晓东,秦嘉政,2010);在地球内部结构研究方面,采用地学层析成像、背景噪声、远震接收函数等反演方法,精细研究地球内部地震波的传播速度和能量传递程度的三维速度结构图像。用精准定位的三维中小地震活动图像研究活断层在地表呈现的准确位置,推算发震断层的大小以及相应可能发生大地震强度的危险性;在地震预测预报研究方面,由于地震预测预报仍是当今地球科学的世界性难题,其主要原因是地震发生的物理过程的了解和深入认识仍然不清楚。因此长期积累高质量的数字地震观测数据和大地测量数据,便于地球科学家深入开展不同地球科学领域的研究工作,同时,这样高质量的地震观测资料留给未来的地球科学研究人员,以便于他们深入开展对地震物理过程的认识和研究。到目前为止,人类对地震观测累积的资料和地震学研究的时间比解决地震预测预报所应花费的时间来说,仍然是十分有限的。

云南是中国大陆地震最活跃的地区之一,区域数字地震台网提供了充分、完备的地震活动性资料,为地震学基础研究和深入探索地震预测预报方法和技术途径创造了良好条件,随着地震观

测资料的不断积累及相关领域的研究进展,必将会不断取得更加丰富的研究成果,造福人类。

参考文献:

- 陈颢,史培军.2007.自然灾害[M].北京:北京师范大学出版社.
- 陈运泰,吴忠良,王培德,等.2010.数字地震学[M].北京:地震出版社.
- 国家地震局震害防御司.1995.中国历史强震目录(公元前23世纪—公元1911年)[M].北京:地震出版社.
- 皇甫岗,陈颢,秦嘉政,等.2010.云南地震活动性[M].昆明:云南科技出版社.
- 皇甫岗,秦嘉政.2006.云南地区大震活动规律研究[J].地震地质,28(1):37-47.
- 皇甫岗,石绍先,苏有锦.2000.20世纪云南地震活动研究[J].地震研究,23(1):1-9.
- 李善邦.1981.中国地震[M].北京:地震出版社.
- 钱晓东,秦嘉政.2010.地震预报方法探索与实践应用[M].昆明:云南科技出版社.
- 秦嘉政,皇甫岗,钱晓东.2005.云南强震活动与预测方法研究[M].昆明:云南科技出版社.
- 秦嘉政,钱晓东.2004.利用前兆事件对云南地区地震进行中短期预测研究[J].地震学报,26(2):140-150.
- 秦嘉政,叶建庆,钱晓东.2003.2000年云南姚安地震的震源参数[J].地球物理学报,46(4):633-641.
- Ammon C, Lay T, Simpson D. 2010. Great earthquakes and global seismic networks[J]. Seismological Research Letters, 81(6):965-971.
- Butter R, Lay T, Creager K, et al. 2004. The global seismography network surpasses its design goal. Eos, Transation[J]. American Geophysical Union, 85(23), 225, doi:10.1029/2004EO230001.
- Isacks B, Oliver J, Sykes L R. 1968. Seismology and the new global tectonics[J]. JGR, 73(18):5 855-5 899.
- Oliver J, Murphy L. 1971. WWSSN: Seismology's global network of observing stations[J]. Science, 174(4006):254-261.

Development of Seismic Monitoring Network and Characteristics Analyze of Strong Earthquakes Activities in Yunnan

QIN Jia-zheng, QIAN Xiao-dong, YE Jian-qing

(*Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

Firstly, we introduce the development process of Yunnan Seismic Monitoring Network (YSMN). The running of Yunnan Regional Digital Seismic Network improves the monitoring ability of seismic activity, so we collect the double information of small earthquakes activities. In recent years, lots of important earthquake events are made to record by the running of digital seismic network in region and global, which provide a good future for the theoretical innovation and research on technology application in modern seismology. Accumulating massive observation data with high quality for a long time is the basis of studying the physical process of earthquake and internal earth structure. Finally, we analyze the time and spatial distribution characteristic of Yunnan $M \geq 5.0$ earthquakes activities since 20th century, and it is the important reference on analyzing the earthquake activity and strong earthquake risk in Yunnan.

Key words: earthquake activity; characteristics of strong earthquake activity; digital seismic network; Yunnan region