

廖一帆, 劳谦, 黄元敏, 等. 广东省地震监测台网建设回顾、现状与展望[J]. 华南地震, 2022, 42(2): 53–62. [LIAO Yifan, LAO Qian, HUANG Yuanmin, et al. Review, Present Situation and Prospect of Earthquake Monitoring Network Construction in Guangdong Province[J]. South China journal of seismology, 2022, 42(2): 53–62]

## 广东省地震监测台网建设回顾、现状与展望

廖一帆, 劳谦, 黄元敏, 杨选, 丁莉莎, 谭争光, 廖桂金

(广东省地震局, 广州 510070)

**摘要:** 回顾了广东省地震监测台网的发展历程, 分析了广东省测震台网、强震动台网、地球物理台网和GNSS观测台网的发展现状, 并展望了近年的发展形势, 为区域防震减灾和地球科学研究的数据使用提供参考。

**关键词:** 地震监测; 测震台网; 强震台网; 地球物理台网; GNSS台网

中图分类号: P315.78

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2022)02-0053-10

DOI: 10.13512/j.hndz.2022.02.08

## Review, Present Situation and Prospect of Earthquake Monitoring Network Construction in Guangdong Province

LIAO Yifan, LAO Qian, HUANG Yuanmin, YANG Xuan, DING Lisha,  
TAN Zhengguang, LIAO Guijin

(Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China)

**Abstract:** This paper reviews the development history of Guangdong seismic monitoring network in detail, analyzes the development status of Seismic Network, strong Motion Network, Geophysical Network and GNSS Observation Network in Guangdong province, and looks forward the development trends in recent years, which can provides reference for data use in regional earthquake disaster mitigation and earth science research.

**Keywords:** Earthquake monitoring; Seismographic Network; Strong Motion Network; Geophysical Network; GNSS Observation Network

### 0 引言

广东省位于中国东南沿海地区, 地处华南块体东南边界的东南沿海地震带, 受菲律宾海板块、印度板块和欧亚板块共同作用影响, 广东省内发

育有一系列NE向构造以及与之垂直相交的NW向次级构造。晚第四纪以来, 滨海断裂带构造活动强烈, 是华南强震活动的主体地区<sup>[1]</sup>。有历史记录以来, 广东省陆区发生5级以上地震45次, 其中5~5.9级31次, 6级以上地震14次, 占整个东南沿海地震带的48%, 潮汕、河源、阳江和雷琼地区为

收稿日期: 2022-03-20

基金项目: 地震科技星火计划攻关项目(XH201905)

作者简介: 廖一帆(1984-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事地震仪器运维监控、地震工程项目实施和地震观测站网规划等工作。

E-mail: liaoyifan@139.com

强震多发地区。近年来,广东省周边先后发生了2016年苍梧5.4级地震、2018年台湾海峡6.2级地震和2019年广西北流——广东化州5.2级地震等显著地震,地震活动趋于活跃。

地震科学是以观测为基础的科学,地震观测的手段、质量和密度等直接影响到地震科学研究的水平。通过高密度、多手段的地表观测,监测和提取与地震孕育、发生及成灾整个过程相伴随的各种地球物理场和地球化学场的变化特征,是认识地震灾害本质、减轻地震灾害和实现地震预报的必经之路。

广东省地震监测历史悠久,并一直处于全国领先地位。无论从测震台站建设、地震台网分析处理软件,还是从强震动监测台网和结构物监测台阵,以及地球物理场观测等,广东省地震局始终走在全国前列。

目前,广东已基本建成涵盖测震、强震、地球物理场和GNSS的立体地震观测网络。本文分别对广东测震台网、强震动台网、地球物理台网和GNSS观测台网建设历史进行了回顾,对台网现状和未来观测进行了描述和展望。

## 1 测震台网

广东最早的地震观测始于1929年中国自主创办的中山大学天文台内安装的地震仪<sup>[2-3]</sup>。1956年,中国科学院地球物理研究所建立的广州观象台开始使用熏烟记录短周期地震仪监测区域微小地震活动,成为全国最早开展地震观测的8个地震台之一。1960年5月,广州观象台首次记录到新丰江水库3.1级地震,1960年7月,新丰江水库发生4.3级地震后,引起了政府和有关部门的高度重视,1960年10月,中国科学院地球物理研究所设立双下地震台,采用有人值守、人工测量和熏烟记录短周期地震仪开展库区微震监测,至1961年7月初步建成由4个地震台组成的水库区域地震监测台网,成为我国第一个区域综合地震监测台网,正式开启了我国水库诱发地震研究<sup>[2, 4]</sup>。1978年1月,广东省地震局成立后,陆续在全省建立了19个有人值守模拟记录地震台,地震参数由台站人工测量后电话报送到省局值班室,省局分析室汇总后测定地震参数。1978—1980年,又建成了由8个子台、1个中继站和1个采用PC-1500微机处理地震参数的台网中心组成的新丰江水库遥测地震台网,成为全国率先使用无线遥测模式观测水库

诱发地震的台网<sup>[4]</sup>。随后,广东省地震局又抓住全国数字地震台网建设的契机,于1985年开始,率先全套引进了美国Teledyne Geotech公司的24位DTS系列数据采集器、S-13单分量短周期地震计、BB-13宽频带地震计、无线传输和地震处理系统,至1993年12月建成12个遥测地震台、1个中继站和1个台网中心的珠江台网,并投入正式运行,成为我国第一个采用24位采集的区域数字化无线遥测台网,能监测珠江三角洲地区 $M_L 1.5$ 级地震<sup>[5]</sup>。“九五”期间,国家开始了大规模数字地震台网建设,观测设备也开始国产化,如:JCZ-1超宽频带地震计、CTS-1甚宽频带地震计、FBS-1宽频带地震计和EDAS系列数据采集器等一系列国产专业设备用于台网观测<sup>[6]</sup>。1996年开始,通过《广东省地震台网数字化改造及联网》项目,建成由5个宽频台、1个甚宽频和10个短周期组成的广东省数字遥测台网,1999年12月开始运行,成为我国第一个采用国产24位数据采集器和反馈式地震计的省级区域数字遥测地震台网<sup>[7]</sup>,实现了全省 $M_L 3.0$ 级地震的5分钟自动速报。“十五”期间,又通过《广东省数字地震观测网络工程》项目,于2007年完成了全省44个测震台站的全面数字化、网络化改造,使用IP/VPN技术,实现了数据的实时网络传输和共享<sup>[8-9]</sup>。特别是自主研发的JOPENS-MSDP区域测震软件系统,实现了实时波形接收、自动触发检测与定位、地震速报、编目和数据产出管理等功能,2007年6月正式运行至今,已在全国省级台网中心和援外台网普遍使用<sup>[10]</sup>。“十一五”期间,围绕建成广东立体地震观测网络的新目标,不但使参与速报的台站增至70个,还建成了由10个井下台组成的阳江地震海啸监测预警台阵<sup>[11]</sup>,而且在2008年10月率先开始了新地震目录参数产出工作。2010年以来,广东省地震局瞄准国际前沿,实施了一系列重大项目,如:2016年底建成的81个预警台组成的珠江三角洲地震预警台网,成为广东省第一个地震预警和烈度速报网<sup>[12]</sup>;2016年9月建成的国家地震速报备份中心,成为全国第二个地震实时数据转发中心;即将完成的《国家烈度速报与预警工程》广东子项目使广东省测震台间距减小到10~15 km(图1),为地震预警和烈度速报提供了坚实的数据基础。

目前,广东省参与地震速报和编目分析的台站达114个,可监测全省 $M_L 1.5$ 级、大部分地区 $M_L 1.0$ 级、重点监视区 $M_L 0.5$ 级,台网密集区 $M_L 0.0$ 级地震(图2),大部分地区水平定位精度小于5

km, 台网密集区水平定位精度小于1 km<sup>[13]</sup>, 并通过实时台基环境噪声分析对台站环境和仪器质量进行实时跟踪(图3)。单地震事件参与定位的台站数可达20个左右, 产出目录完备震级达 $M_L$ 0.2级,

1970年以来, 已记录到 $M_L$ 1.0级以上地震59 898次, 年均记录地震1152次(图4), 其中, 河源地区占54.6%, 阳江地区占19.7%, 粤闽交界及近海地区占9.3%, 台网运维和编目质量稳居全国前列。

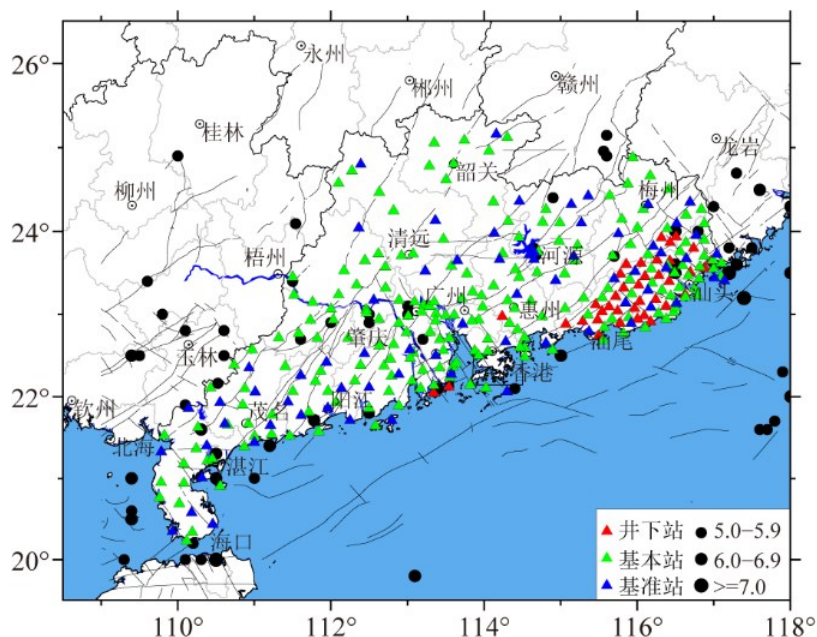


图1 珠江三角洲地震预警台网和国家烈度速报与预警工程广东子项目站点分布图

Fig.1 Site distribution map of earthquake early warning network in the Pearl River Delta and Guangdong sub project of national intensity quick report and early warning project

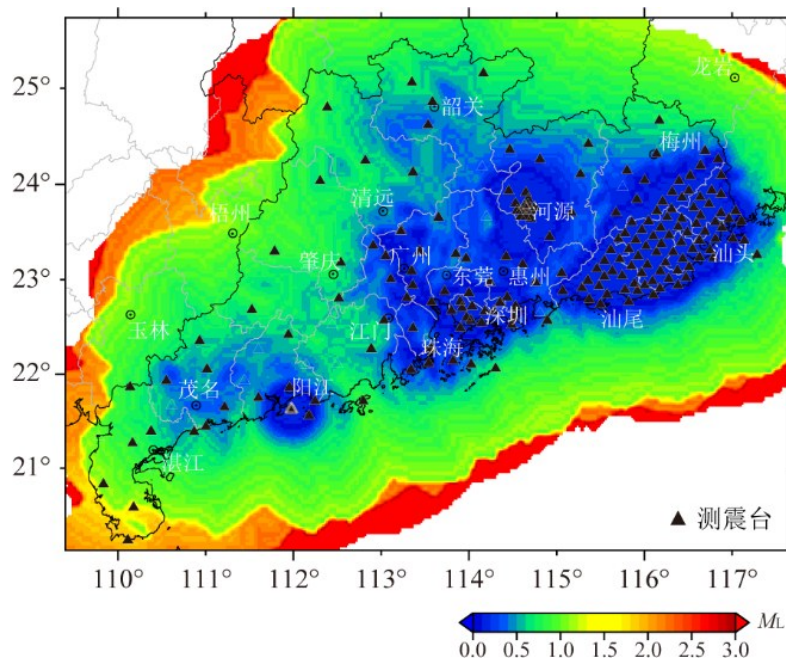


图2 广东数字地震台网台站分布及监测能力图

Fig.2 Distribution of stations and monitoring capacity of Guangdong Digital Seismic Network



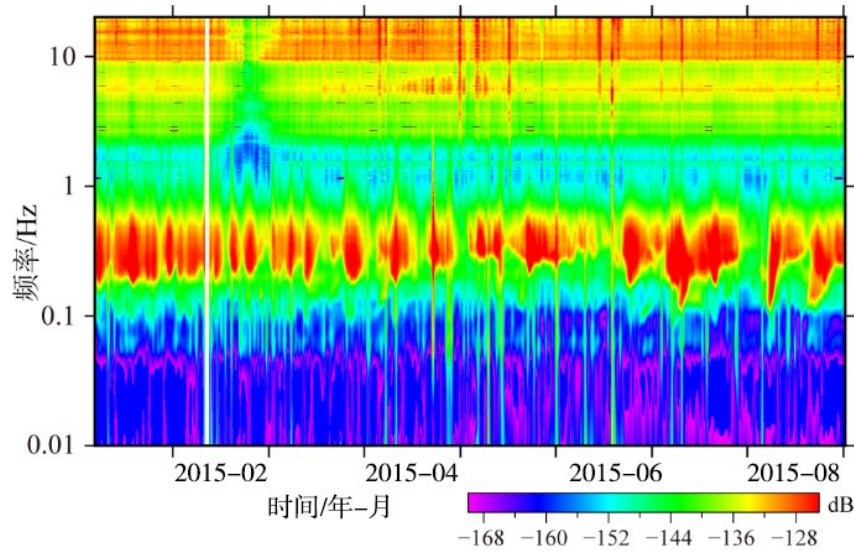
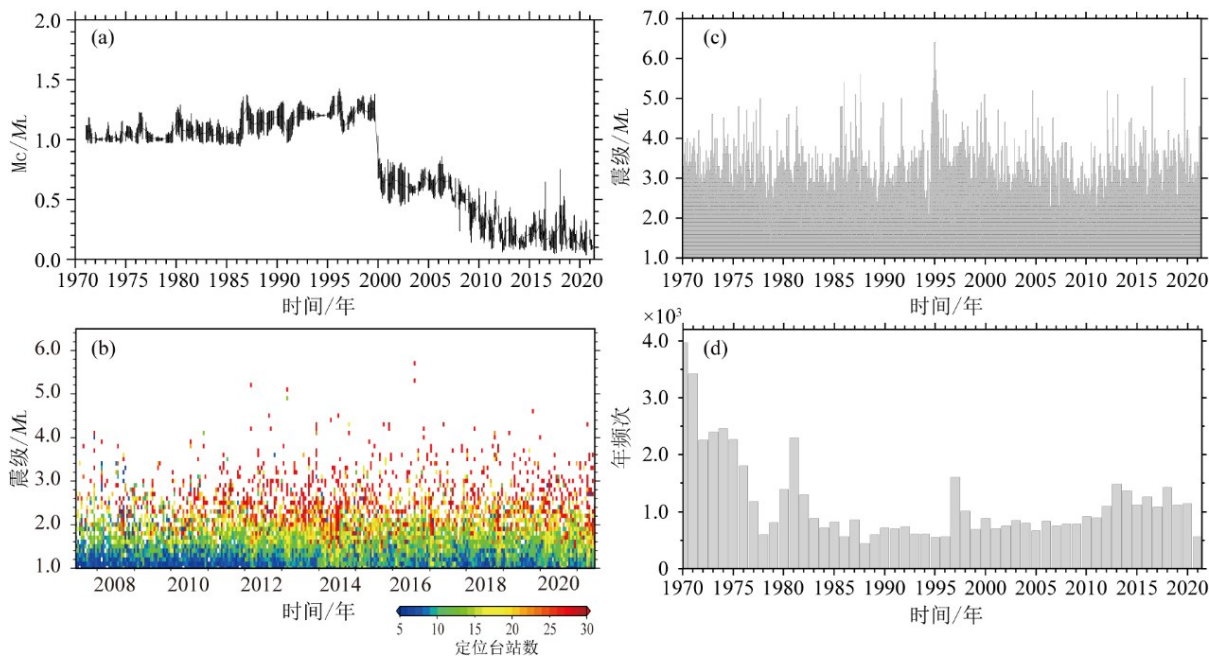


图3 新丰江中心台台基噪声PSD跟踪图

Fig.3 PSD tracking diagram of noise at Xinfengjiang central station



(a)广东数字地震台网产出目录的完备震级 $M_c$ 随时间变化图;(b)2008年以来单个地震事件参与定位的台站数量分布图;  
(c)(d)为广东数字地震台网产出地震目录的震级-时间图和年频次图。

图4 广东数字地震台网产出的地震目录

Fig.4 Catalogue of earthquakes produced by Guangdong Digital Seismic Network

2 强震动台网

广东省强震观测工作始于1962年新丰江6.1级地震，自中国科学院工程力学研究所在新丰江主坝上建立我国第一个实验性强震台站始，广东强震动监测台网建设主要经历了五个阶段，记录仪器也从模拟光记录、模拟磁带记录、数字磁带记

录逐步发展为现代数字化记录<sup>[14]</sup>。1962—1985年间，以观测建筑结构的强震反应为目的，先后完成新丰江大坝、广州宾馆、汕头台、海口华侨大厦和白云宾馆强震台阵建设，观测仪器使用国产RDZ-1型模拟光记录强震仪，单个台阵仪器数量在1~21个不等<sup>[15]</sup>。1986—2000年，强震观测以固定台阵和流动观测相结合的形式发展，分别在河

源、广州、汕头、深圳、阳江和海口市6个地区的建筑物上建成13个固定台,其中新丰江地区建成由6个强震台组成的小区域无线遥测台网<sup>[16-17]</sup>。同时使用SCQ-1型数字磁带强震系统作为流动观测使用,以捕捉强余震观测数据。2001—2008年,跟随世界强震观测的数字化、网络化浪潮,“十五”《广东省数字地震观测网络》项目于2007年建成由55个自由场台站组成的数字强震动台网,布局侧重高烈度地区和经济发达地区,其中粤东4个,粤西7个,珠三角44个,记录器使用美国Kinematics公司生产的ETNA和瑞士SYSCOM公司的MR2002-20,加速度计使用中国地震局工程力学研究所的SLJ-100<sup>[18]</sup>,最后用IP/VPN GPRS网络接入数据中心,实现了触发事件的准实时传输<sup>[19]</sup>。在地震反应专用台阵方面,使用MCMS48/64通道数字强震数据采集器和SLJ-100加速度计,于2006年将新丰江大坝强震台阵改造为由13个结构台、1个基岩台和2个自由场台组成的数字化观测台阵<sup>[20]</sup>,于2007年建成由22个结构台和1个自由场台组成的磐石大桥地震反应台阵<sup>[21]</sup>,于2007年建成由17个测点、36通道组成的虎门大桥地震反应台阵<sup>[22]</sup>,自此广东省强震观测进入全数字时代<sup>[19]</sup>。2009—2013年,为提高广东省的地震烈度速报能力,通过“十一五”《广东省强震动台网建设》工程于2013年在粤东、珠三角、阳江和河源地区建成50个固定强震台,记录器开始使用具有实时记录功能的港震、泰德等公司的国产数据采集器,最后用IP/VPN CDMA传输方式实现数据的实时汇集、处理和服务。在特大桥梁安全性在线监测与评估方面也取得了较大进展,广东省交通厅2008年决定按“统筹实施,分步推进”,在特大桥梁上设置强震动监测。于2009年分别建成九江大桥、黄埔大桥强震观测台阵<sup>[23-24]</sup>,并通过桥梁地震安全性在线监测与评估系统,实现了实时地震报警、快速仿真和安全评估等功能<sup>[25-26]</sup>。2014—2016年,又通过“十二五”《珠江三角洲地震预警台网》项目于2016年建成30个与井下测震台并址观测的强震台,且数据传输使用SDH专线,至此,广东省强震台网和测震台网走向融合发展之路(图5)。60年来,广东省强震观测立足国内需求、紧跟世界前沿,获得了大量高质量强震记录(图6),为地震工程和近场地震学研究提供了重要基础资料。

### 3 地球物理台网

广东省地球物理台网观测始于50年代的石榴岗地磁台,其前身为广东省地震前兆台网,目的是监测与地震孕育、发生过程相关的地球物理场和地球化学场变化,捕捉地震前兆异常。60年代前观测测项较少,1961年为监测新丰江水库震情,在库区开展了形变、磁法、重力等探测,1964年又在库区建立了地应力、地形变、地电阻率和水化学观测为主的地震前兆监测台网。1966年邢台地震后的60~70年代群测群防阶段,观测数量获得较大提高,但主要观测土地电、土地应力、土地磁和井水位等<sup>[27]</sup>。80年代初,国家对前兆观测手段进行了清理整顿,撤掉了三土观测手段,加强了井水位、动物异常、水氡和深井水动态等定点观测手段和重力等流动观测手段。随后,一批符合地震前兆观测要求的地形变、电磁和流体专用仪器开始观测,如信宜和汕头的地倾斜、黄子洞和汕头的水氡、丰顺和三元里的水化、仁化和遂溪的水位、黄子洞的地电等<sup>[28]</sup>,但数据采集主要通过人工读数和模拟记录进行。广东省地震局物探队也于1980年开始分别在粤东和粤西,1987年在珠江三角洲建立流动重力监测网,并开展每年1~2期的复测工作<sup>[29]</sup>。“九五”《地震前兆台站(网)的技术改造》项目以数字化、综合化改造为重点,完成了广州、汕头、河源和梅州4个台站的地形变、电磁和地下流体3个学科,29个测项的改造,前兆观测进入数字化、多手段综合化和全国联网共享数据的时代<sup>[30-32]</sup>。“十五”《中国数字地震观测网络项目》又进一步进行了网络化改造,至此,覆盖重力、地磁、形变、地电、地下流体5个观测学科,由62个台站、109个测项、400个流动重力测点组成的广东地球物理台网正式建成(表1,图7)。其中,模拟观测37项,数字观测72项,使用CG-6型重力仪测量各测点相对重力。

2014年6月开始,为加强观测资料分析应用,正式开展每日数据跟踪分析工作,第一时间对数据和异常事件进行汇集、分析标注和报送,同时对各测项观测数据质量和预报效能进行了定级评价<sup>[33-35]</sup>。观测台网整体平稳,形变、地倾斜、地应变、连续重力、地磁、地下流体等测项潮汐变化明显,能稳定呈现不同周期成分的变化特征,部

分测项映震效果较好<sup>[36]</sup>。如黄子洞水氡的突跳与河源地区4级左右地震具有很好的相关性(图8a),2019年10月12日北流——化州5.2级地震前肇庆地磁出现了明显的突跳变化(图8b),汕头DSQ水管倾斜在2018年台湾海峡6.2级地震前出现趋势下降现象(图8c、8d)。通过平差处理后的重力场变化图像,已成为年度震情跟踪的重要物理依据<sup>[37]</sup>。

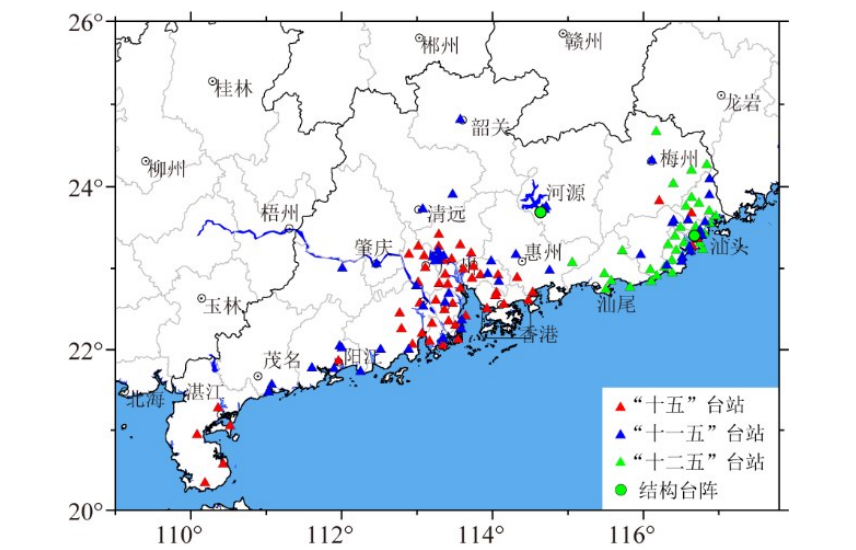
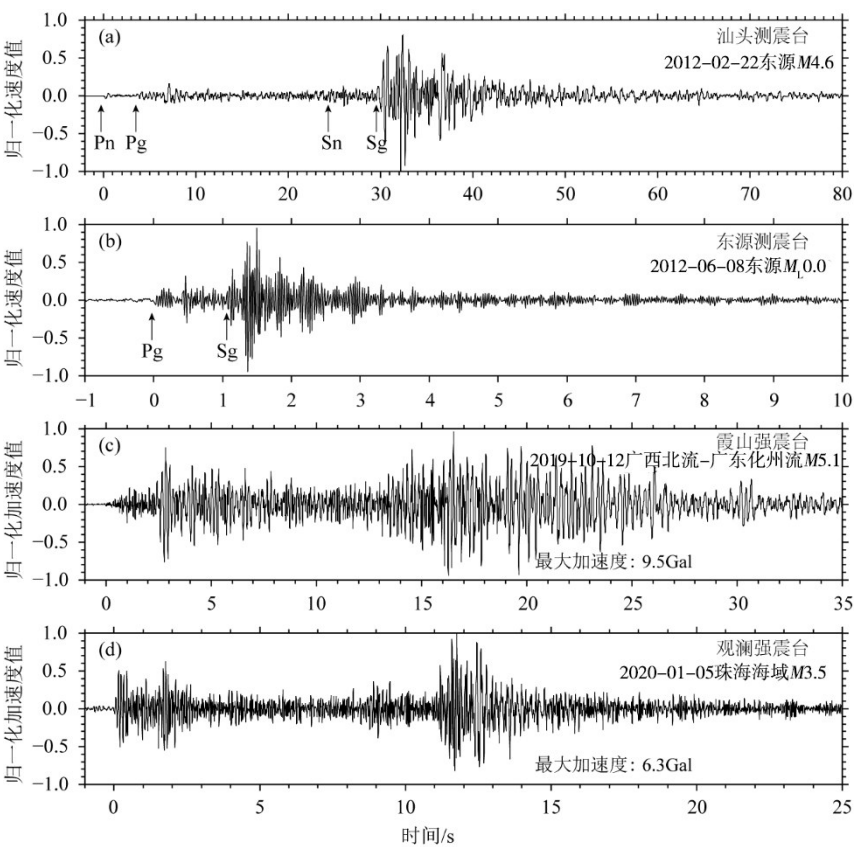


图5 广东省强震动监测台网分布图  
Fig.5 Distribution map of strong motion monitoring network in Guangdong Province



(a)汕头测震台记录的2013年2月22日东源 $M_{L}4.6$ 级地震事件波形;(b)东源测震台记录的2021年6月8日东源 $M_{L}0.0$ 级地震事件波形;(c)霞山强震台记录的2019年10月12日广西北流—广东化州流 $M5.1$ 级地震未校正加速度图;(d)观澜强震台记录的2020年1月5日珠海海域 $M3.5$ 级地震未校正加速度图。

图6 典型震例的速度和加速度记录图  
Fig.6 Velocity and acceleration records of typical earthquake cases



表 1 广东省地球物理观测台项数统计  
Table 1 Statistics of geophysical observatory items in Guangdong Province

观测项目	台站数	台 项 数		台项汇总
		模拟	数字化	
定点形变	6	2	21	23
流动形变	5	8	0	8
水位	21	4	17	21
水温	19	2	18	20
电磁	3	0	16	16
氦	4	4	0	4
水质	4	17	0	17
合计	62	37	72	109

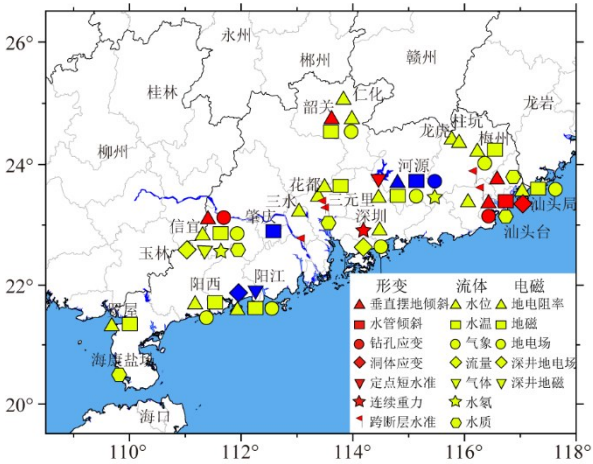
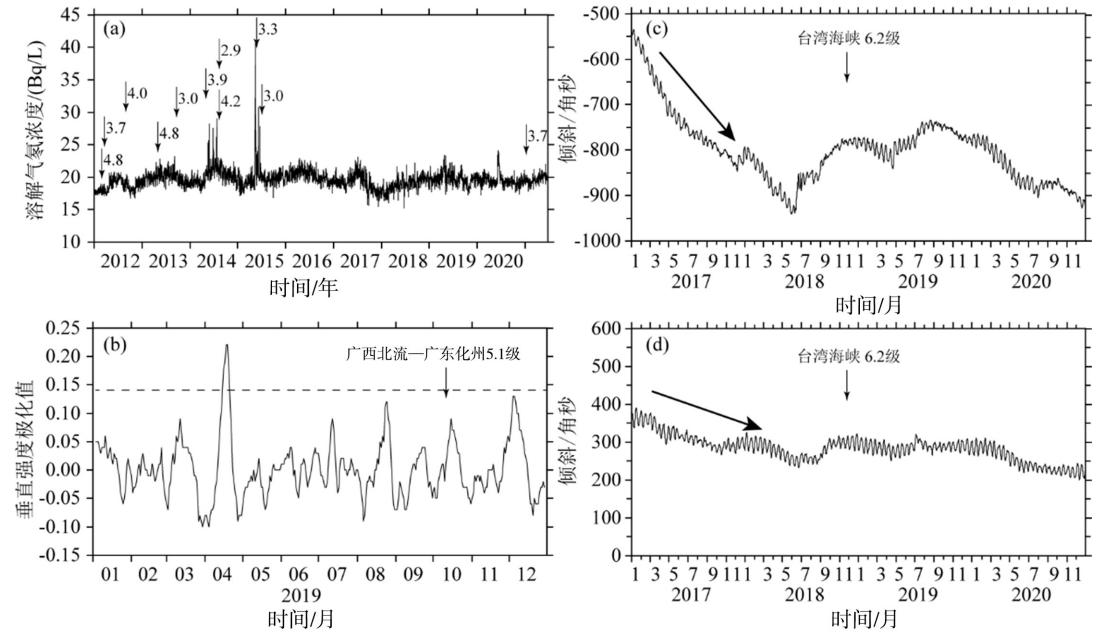


图 7 广东省地球物理台网监测台站分布图

Fig.7 Distribution map of monitoring stations of geophysical network in Guangdong Province



(a)黄子洞溶解气氦浓度与河源地区地震相关性;(b)肇庆地磁垂直强度极化值变化曲线与2019年广西北流—广东化州5.1级地震;(c)(d)为汕头 DSQ 水管倾斜南北向和东西向观测曲线和2018年台湾海峡6.2级地震。

图 8 典型震例的地球物理观测异常特征

Fig.8 Geophysical observation anomaly characteristics of typical earthquake cases

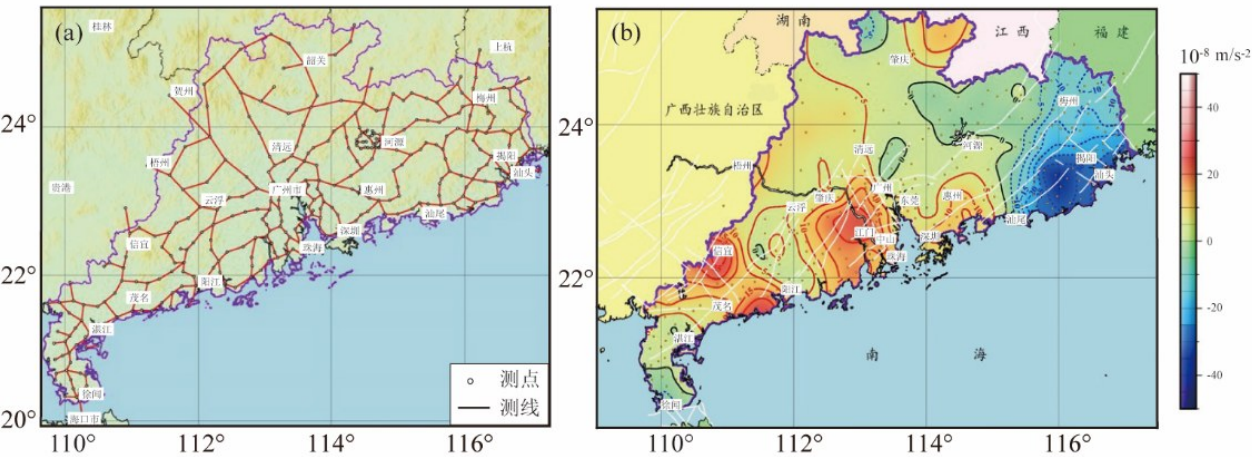


图9 广东流动重力测点分布和重力场空间变化图

Fig.9 Distribution of mobile gravity survey points and spatial variation of gravity field in Guangdong

4 GNSS观测台网

广东省 GNSS 台网主要以监测地表形变为目的，采用连续基准站和流动站观测相结合，并联网周边省份和 IGS 共享站点，为震情跟踪大形势研判提供动力学依据。广东 GNSS 站网建设始于“十一五”期间，国家重大科技基础设施《中国大陆构造环境监测网络》项目在广东建设 5 个连续基准站，

同时，按照《中国地壳运动观测技术规程》的技术要求，《广东省地壳运动观测网络》也陆续建设了 8 个省级连续运行基准站<sup>[38]</sup>。“十三五”期间，又在阳江、河源和粤闽交界三个老震区建设了区域流动观测站，进行不定期流动观测。GNSS 观测数据每周进行解算，并使用站间基线变化对区域动力学背景进行连续跟踪，取得了较好效果（图 10）。

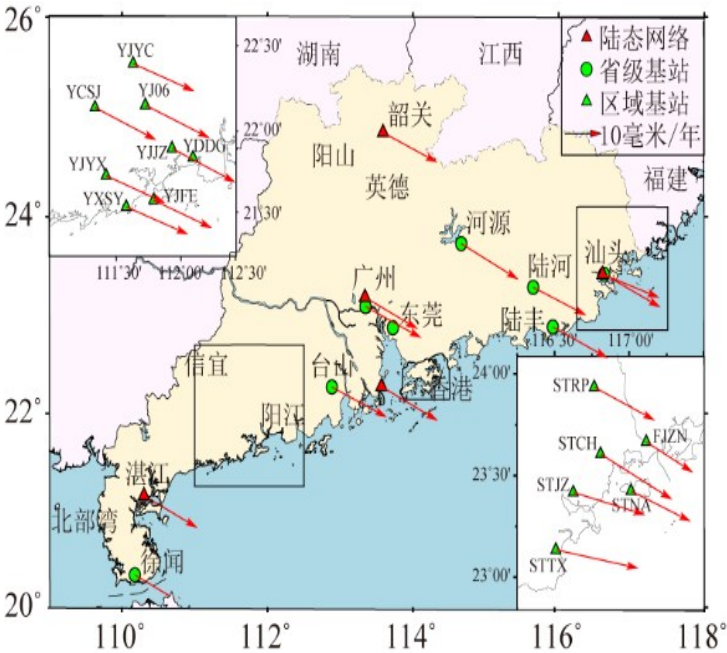


图 10 广东省 GNSS 连续站点和流动站点分布及速度场

Fig.10 Distribution and velocity field of GNSS continuous stations and mobile stations in Guangdong Province



## 5 共享、服务和展望

广东省地震局近年来积极推进中国与东盟国家间的地震监测与预警合作,共同提高中国—东盟地区地震海啸监测预警与防灾减灾技术水平。通过《中国——东盟地震海啸监测预警系统》项目,分别在印度尼西亚、泰国和柬埔寨建设了测震、强震和GNSS综合观测台站和海啸预警中心,并举办了东盟国家地震监测技术培训班,增进与东盟各国的交流、学习,共同打造一个高水平的防灾减灾合作架构,实现中国—东盟地区地震海啸监测预警。

在观测数据服务方面,通过对硬件系统的升级改造,具备了海量数据存储和快速分发能力,实现了地震目录、观测报告、连续波形和各种定点和流动地球物理场观测数据在系统内快速共享,并完善了系统外数据申请和下载等一整套数据共享与服务机制。

作为防震减灾现代化试点省之一,广东省地震局积极开拓监测手段,先后在密集台阵探测、超密集台阵探测、密集台阵流动观测、深井综合观测、海洋地震、分布式光纤传感器、大容量水库气枪主动震源和人工智能地震分析及发布等方面开展了一系列探索工作,部分工作甚至是国内首创,在伟大的新时代,力争在地震预测、预警、烈度、灾情速报以及地震科学研究取得突破,助力我国防震减灾事业发展和地震科学基础研究。

## 6 总结

从人工模拟记录到现代网络化的数字地震台网,以及密集地震观测体系,广东省地震监测台网经历了近90年的发展,始终走在全国前列,取得了一系列优异成绩。本文详细回顾了广东测震台网、强震动台网、地球物理台网和GNSS观测台网的建设历程,并对台网现状进行了分析描述。百年历程艰苦卓越,广东省内已基本建成覆盖测震、强震、地球物理场和GNSS的立体地震观测网络,为区域防震减灾和地球科学研究积累了大量宝贵数据。随着我国经济发展和科学技术进步,“解剖地震”、“透明地壳”等一系列目标已指日可待。

## 参考文献

- [1] 丁原章. 珠江口盆地及其邻近地区的活动断裂与地震活动[J]. 中国地震, 1994, 10(4): 307-319.
- [2] 吕金水, 何晓灵, 缪维成. 广东省地震局地球物理观测研究回顾及设想[J]. 华南地震, 2007, 27(3): 107-110.
- [3] 刘心霁, 吕凌峰. 中山大学天文台的创建、发展与历史贡献[J]. 中国科技史杂志, 2015, 36(1): 13-27.
- [4] 刘少文, 李敬, 刘志华, 等. 新丰江水库地震监测系统介绍[J]. 华南地震, 2012, 32(S1): 103-109.
- [5] 王正尚, 王建国, 黄腾浪. 广州(珠江三角洲)数字遥测地震台网建设回顾[J]. 华南地震, 2000, 20(4): 16-26.
- [6] 宋彦云. 中国地震观测简要回顾与展望[J]. 地震地磁观测与研究, 2009, 30(5): 1-4.
- [7] 吕金水, 叶春明, 黄建涛, 等. 广东数字遥测地震台网的建设[J]. 华南地震, 2000, 20(4): 2-15.
- [8] 陈贵美, 康英, 杨选. 广东“十五”数字测震台网地震监测能力分析[J]. 华南地震, 2011, 31(3): 70-77.
- [9] 陈建涛, 谢剑波, 卢子晋. 广东“十五”测震台仪器方位角普查校正工作[J]. 华南地震, 2017, 37(S1): 23-29.
- [10] 黄文辉, 康英, 苏柱金, 等. 全国统一编目系统设计与实现[J]. 地震地磁观测与研究, 2016, 37(4): 170-175.
- [11] 陈建涛, 谢剑波, 劳谦. 广东阳江小孔径井下型地震监测台阵介绍[J]. 华南地震, 2017, 37(1): 42-48.
- [12] 林伟, 谢剑波, 刘少文. 广东省地震预警台网建设规划[J]. 华南地震, 2018, 38(S1): 101-107.
- [13] 林庆西, 梁明, 杨选, 等. 广东地震台网水平定位能力评估[J]. 华南地震, 2020, 40(4): 49-55.
- [14] 周雍年. 强震观测的发展趋势和任务[J]. 世界地震工程, 2001, 17(4): 19-26.
- [15] 朱葳, 杨文元, 林俊高. 新丰江大坝振动监测与安全评估[J]. 水力发电学报, 1998(1): 47-58.
- [16] 谢建清. 广东省强震台网建设概况[J]. 华南地震, 1990, 10(4): 87-91.
- [17] 叶春明, 张彪. 广东省强震观测的现状与展望[J]. 华南地震, 2001, 21(2): 58-63.
- [18] 郭德顺, 谢剑波, 吴华灯, 等. 广东省数字强震动台网建设介绍[J]. 华南地震, 2006, 26(2): 89-97.
- [19] 吴华灯, 叶春明. 广东强震动台网传输系统GPRS网络接入应用方案[J]. 华南地震, 2008, 28(3): 104-110.
- [20] 宋晓春, 姜慧, 王立新, 等. 新丰江水库大坝强震动监测及其动力特性分析[J]. 华南地震, 2016, 36(4): 34-41.
- [21] 叶春明, 郭德顺, 吴华灯. 汕头礮石大桥地震反应台阵建设简介[J]. 华南地震, 2008, 28(3): 71-79.
- [22] 王立新, 姜慧, 赵贤任, 等. 虎门大桥在河源4.8级地震中记录分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2013, 34(5): 292-300.
- [23] 王立新, 杜鹏, 李小华. 佛开高速九江大桥模态测试与分析[J]. 华南地震, 2009, 29(3): 9-16.

- [24] 郭德顺,叶春明,姜慧,等. 珠江黄埔大桥强震动监测和警报系统[J]. 地震地磁观测与研究,2014,35(5-6):276-281.
- [25] 姜慧,王立新,严琨,等. 大型桥梁地震安全性在线监测与评估系统研究[J]. 震灾防御技术,2016,11(2):261-271.
- [26] 赵贤任,王立新,严琨. 大型桥梁地震安全性在线监测与评估系统开发应用和功能的实现[J]. 华南地震,2016,36(3):29-34.
- [27] 李三练. 地震群测群防的历史回顾与发展策略[J]. 防灾科技学院学报,2009,11(4):96-101.
- [28] 秦乃岗. 对广东省地震前兆监测能力的估计[J]. 华南地震,1986,6(1):47-52.
- [29] 廖贵金,陈涛,陈俊,等. 广东地区重力场演化特征及其与地震的关系[J]. 华南地震,2001,21(1):19-25.
- [30] 柴剑勇. 广东省地震前兆监测网及其观测系统的改造与完善[J]. 华南地震,1998,18(1):104-107.
- [31] 刘昌谋,黄剑涛,柴剑勇,等. 广州新地磁台观测技术系统设计方案[J]. 地震,1998,18(S1):82-88.
- [32] 缪维成,冯绚敏,柴剑勇,等. 广东省地方地震前兆监测台网优化方案[J]. 华南地震,1998,18(3):91-96.
- [33] 钟天任. 广东省地震前兆台网的管理、典型问题分析与建议[J]. 华南地震,2010,30(S1):190-194.
- [34] 严兴,刘锦,刘吉平,等. 广东省前兆台网数据跟踪分析情况概述[J]. 华南地震,2015,35(1):43-50.
- [35] 邵叶,刘锦,严兴,等. 广东省地下流体观测台网数据跟踪分析[J]. 防灾减灾学报,2019,35(3):78-83.
- [36] 陈幸莲,徐行,柴剑勇,等. 广东阳江深井地磁观测系统研究与数据分析[J]. 华南地震,2017,37(3):81-89.
- [37] 广东省地震局. 2020年度广东省地震趋势研究报告[R]. 广州:广东省地震局,2019.
- [38] 梁毅强,叶春明. 广州GPS基准站地心大地坐标的精确测定[J]. 华南地震,2008,28(2):67-71.