

王正尚, 王建国. 珠江三角洲台网——中国区域数字地震台网的源点[J]. 华南地震, 2021, 41(1): 1-8. [WANG Zhengshang, WANG Jianguo. Pearl River Delta Network ——The Source of China's Regional Digital Seismic Network[J]. South China journal of seismology, 2021, 41(1): 1-8]

珠江三角洲台网——中国区域数字地震台网的源点

王正尚, 王建国

(广东省地震局, 广州 510070)

摘要: 通过对广东省珠江三角洲数字化地震台网筹建过程的概述, 回顾台网建设的困难。台网建设的完成, 不但大幅度提高了广东省的地震监测能力, 而且带动和引领了全国数字地震台网建设, 同时也获得了溢出效应。更重要的是广东省地震局的一批年轻技术人员通过台网建设, 业务上得到了提升, 成为了重要的技术骨干。寄希望于年轻的一代, 经过承担大项目, 快速成长, 为广东省的地震事业作出更大的贡献。

关键词: 珠江三角洲; 地震台网; 广东省地震局; 台站建设

中图分类号: P315.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2021)01-001-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2021.01.01

Pearl River Delta Network ——The Source of China's Regional Digital Seismic Network

WANG Zhengshang, WANG Jianguo

(Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China)

Abstract: Through an overview of the preparation process of the Pearl River Network, the paper discloses the difficulties in the network construction. The completion of the network construction has not only greatly improved the earthquake monitoring capabilities of Guangdong Province, but also led the construction of the national digital seismic network, and achieved spillover effects. More importantly, a group of young technicians from the Guangdong Earthquake Agency have improved their business through the construction of the station network and have become important technical backbones. It is hoped that the younger generation, after taking on large projects, will grow rapidly and make greater contributions to the earthquake cause of Guangdong Province.

Keywords: Pearl River Delta; Seismic network; Guangdong Earthquake Agency; Station construction

收稿日期: 2020-10-10

作者简介: 王正尚(1946-), 高级工程师, 原广东省地震局副局长, 曾任《华南地震》主编, 主要从事地震监测预报研究及事业单位管理工作。

0 前言

1966 年河北省邢台大地震以后,我国的防灾减灾事业取得了巨大进步,从比较单一的地震监测,发展成全面的监测预报、防震和减灾,再到大震后的预警系统,这一进步体现在地震发生以后,起到了减少人员伤亡和减轻灾害的效果。尽管在地震预报方面,国内外目前并没有取得突破性的进展,但是随着科学技术的发展,我国在地震监测方面仍然取得了革命性的发展^[1-7]。

随着“九五”、“十五”、“十一五”等几个国家防灾减灾五年规划的完成,中国地震数字化观测台网覆盖了中国大陆全部的省和自治区^[8-11]。发生在国内的 3 级以上地震都可以在几分钟内测定地震各要素并向外发布^[12-16],像 1976 年唐山大地震那样,地震发生后几个小时都无法测定地震震中的事件绝对不会再发生^[17-19]。

而中国区域数字化地震台网的源点就是广东省珠江三角洲数字化地震台网(以下简称珠江台网)^[20],本文对珠江台网的建设做一个概述,并归纳珠江台网对中国数字化地震台网建设的贡献及其产生的溢出效应。

1 珠江台网建设概述

20 世纪 80 年代初,我国地震监测能力还很薄弱,广东省只有十来个有人值守地震台站。当年,一个地震事件发生后,地震台站模拟地震记录需要值班人员处理、测量整理,然后台站地震数据经电话报送至广东省地震局值班室,广东省地震局值班室汇总各个地震台数据送分析室,由分析室分析测定地震参数。这一过程正常情况下需要耗时数十分钟,当遇到有感破坏性地震时,由于模拟地震记录范围有限,容易造成限幅失真,震相难以识别,震感造成社会恐慌,也会造成电话线路占用,地震数据很难传送上来,地震参数测定报送给政府职能部门时间还要延迟。面对这种局面,如何准确快速测定地震参数,及时组织开展抗震救灾、维护社会安定是政府和地震部门迫切需要解决的问题。在我国改革开放前沿珠江三角洲地区建设珠江台网的构想始于 1982 年,并被列为国家地震局“七五”计划的重点项目。项目构想建设一个实时无线数据传输的数字化地震台网覆盖珠江三角洲约 4 万平方公里区域。经过对台网建设技术方案的反复论证,确定采用行业最

高技术标准的 24 位地震数据采集、无线数据传输方案,系统全套引进美国 Teledyne geotech 公司 24 位地震数据采集、无线传输及地震处理系统(24 位指采用 24 位二进制数的模数转换,将模拟地震信号转化为用 24 位二进制数描述的数字地震信号,24 位数字信号分辨能力可达 2 的 23 次方,采用分贝表示,理论上 24 位系统可达 138 db;而单一量程模拟测量系统信号分辨能力最多能达到千分之一,采用分贝表示 60 db)。经费筹集后,自 1985 年开始,正式实施,历时 9 年,耗资 600 余万元。于 1993 年 12 月 22 日建成投入试运行,成为我国第一个全套引进的 24 位区域数字化无线遥测地震台网,开创了国内区域性测震台网数字化的先河^[21-29]。

20 世纪 80 年代,数字技术刚起步,国内还没有成熟数字地震观测台网,也没有国产数字地震观测设备系统产品借鉴,只能引进进口系统设备,对引进系统设备要有学习、消化、吸收、改进和提高过程,要与配套国产设备进行系统整合配置,这些都存在不确定性和风险。当年国内没有商用数字传输电路,必须自行建设和维护专用无线数据传输网络,这对于覆盖 4 万平方公里区域的珠江台网是非常困难的,困难在于采用实时超短波无线数据传播是视距传播,传输通道必须无障碍。为了将珠江台网所属地震台站数据传送到位于广州的台网中心,要设置一个对所有地震台站和台网中心均构成通视的中继站,同时满足地震观测和数据传输条件^[27-29]。中继站位于广州市郊东北 20 km 海拔高度达 540 m 的帽峰山上,台站、中继站建设和维护十分困难。中继站选用国内专门研发的数字微波、数据复接设备,按照台网顾问张奕麟先生建议要求,中继设备采用了双机热备份,提高台网系统的可靠性。事后证实,建设维护无线传输系统,解决和排除各种故障和问题,几乎占用珠江台网建设期工作量的 80% 以上。在经济发展、科学进步的今天,建设一个地震台或者台网(阵),基本不用考虑自建、维护数据传输链路的问题,商用网络已全覆盖,用户只需考虑支付相应网络线路租金即可,但在上世纪 80 年代,解决地震数据传输问题却是最大的难题。珠江台网引进的这套无线数字地震遥测系统包含从地震计、地震数据采集、无线数据传输和地震数据自动或人机交互处理系统,这套系统在当时是先进的,如今地震观测行业主流水平也是 24 位系统^[30-31]。1994 年台湾以南海域发生一次 7.3 级地震^[32-35],珠江台网在调试安装过程中记录到这次地震完整

波形数据,而当时广东省所有运行地震台模拟地震记录都限幅失真,充分证实了 24 位数字观测系统强大的分辨能力。我们在这套系统中首次接触到地震实时自动处理过程,数分钟系统就给出计算机自动处理结果,感受到数字地震处理的魅力,清楚认识到数字化是地震数据处理的发展方向,坚定了我们走发展数字地震观测技术之路、开发我们自己更加优秀系统的信心。通过引进这套系统设备,我们还学习到数字地震观测系统的设计思想和系统综合集成的重要性,为日后建设发展我们自己的系统增添了实践经验。按今天的科技发展技术水平来看,当年引进的这套系统采用的设备集成度不高,台网数据接收单元仅采用了奔腾 286 处理芯片配 512K 内存,地震数据处理系统采用美国数据设备公司(DEC 公司)的超级小型计算机,所用内存也只有 8~16 M,机器性能远不及当今普及使用的 PC 机甚至智能手机,系统安装的地震自动或人机交互处理软件也不尽完善,系统运行中有时会出现死机现象。无线数据传输设备是单工(单向传输)超短波数据传输方式,抗干扰能力差,没有纠错能力,在上世纪 90 年初国内通信事业大发展期间,台网中继站四周增加了许多无序发展的通信大功率发射站,使得珠江台网数据接收受到极大的干扰,有些台站信道不能正常工作。对于无线数据传输质量差问题,系统设备供应商无偿提供了接收设备前端滤波器,使用后改善效果有限,后来采用了四川省地震局杨晓源研究员研发的高 Q 值晶体滤波器,提高了设备抗干扰性能,使数据传输质量得以改善。珠江台网建设中工作团队坚持不放弃努力工作,所遇到各种困难和问题都在领导和专家们的支持下得到改善和解决^[23-24]。

珠江台网建设项目预算为 600 多万元,国家地震局(现在为中国地震局)出资 100 万,广东省财政和珠三角各市共出资 500 多万元。经费基本落实以后,就是台网项目实施的问题。从设备选型,到引进,然后对引进设备的学习消化,各子台的选址、建设,数据传输无线中继站的选址建设,台网中心的数据处理计算机设备调试等等,确实有非常多的工作要落实,有很多的困难要克服,这些都是需要技术人员去落实和实施。而参加台网建设的主要技术骨干,除了特别聘请的张奕麟总工和沈泽忠副局长都超过 50 岁(图 1),较年长以外,还有一位早期的负责人黄国忠先生 40 出头(因为身体原因比较早就退出),其余的台网建设的负责人王建国、吕金水、杨大克等都只有 30 岁出

头,甚至不到 30 岁,而其他人更只是一批 20 多岁的年轻人,整个队伍是非常年轻的也是充满朝气的。而这支技术队伍,虽然也都是些理工科的大学生,有地球物理专业,有通讯专业等,但真正的数字化专业的几乎没有,完全是一边建设,一边学习(图 2~图 7)。

广东是一个多雷电的地区,据气象部门统计,雷州半岛雷击的最高纪录是一个小时 100 多次。而因为珠江台网采用无线数据传输,传输天线尽量要高,这就更容易遭雷击。为了避雷每一栋大楼都有本身的接地网,但是张奕麟总工强调,台网系统设备的接地线绝对不能直接接上大楼的电网,所以我们专门为广东省地震局台网中心做了一个规范独立的系统设备接地网,效果确实很好,几十年过去,广东省地震局台网中心没有被雷击过。最困难的是帽峰山中继站的避雷难题,因为办公楼的高度不够,各个台站的无线信号不能直接传输到位于广州市内黄花岗办公楼的广东省地震局台网中心,而要通过中继站中转,中继站选在广州市郊区的帽峰山,帽峰山海拔 534.9 m,是广州市区的最高峰,这个制高点的雷击可以想象有多么严重,在有限的工程投资能力下,我们筛选过多种避雷装置,最后选了一款,对方宣称,安装了他们的避雷装置,仍然被雷打坏,可以赔偿,但只赔几千元的避雷装置,而不是十几万的设备。这个避雷的问题始终没有很好解决,每一次雷雨天,台网的维修人员都神经紧张,随时准备出发去抢修。

经过 3 年建设,1993 年 12 月 22 日珠江台网得以正式开通投入试运行。珠江台网最大网径 200 km,覆盖了整个珠江三角洲地区,以广州为中心,东至惠阳,西至肇庆,南临深圳、珠海,北达清远,面积达 4 万平方公里,能监测到网内 $M_L \geq 1.5$ 级地震。能实现高精度、大动态范围的地震观测和快速、准确的地震参数测定。

珠江台网试运行 3 年后,国家地震局在 1996 年 12 月组织专家组对台网的工程项目进行验收,检验合格,开始投入正式运行。

2 珠江台网的贡献

2.1 明显提高了珠江三角洲区域(即粤港澳大湾区)甚至全省的地震监测能力

台网对于粤港澳大湾区内发生的 2.0 级以上地震能在 5~10 min 内自动测定其参数,通过人机交互处理能在 15 min 内测定网外的地震。就在台网

通过验收后不久,1997年9月23日、9月26日就在三水市南边镇先后发生了3.7级和4.4级地震,台网的表现不负众望,23日的3.7级地震只用了6 min就快速定出地震三要素(发震时刻、震中位置和震级);26日的4.4级地震也只用了9 min。



图1 珠江台网项目负责人沈泽忠副局长徒步上帽峰山选台
Fig.1 Deputy director Shen Zezhong, leader of the Pearl River Network Project, hiking up Maofeng Mountain to select site



图2 选台测试
Fig.2 Station test



图3 珠江台网建设论证会
Fig.3 Demonstration meeting on the construction of the Pearl River Network



图4 珠江台网中继站
Fig.4 Pearl River Network relay station



图5 深圳遥测地震台
Fig.5 Telemetry seismic station in Shenzhen



图6 在 Teledyne Geotech 公司接收引进设备
Fig.6 Receiving imported equipment from Teledyne Geotech



图 7 珠江台网接收中心天线安装调试

Fig.7 Installation and debugging of the antenna of the Pearl River Network receiving center

在 1997 年香港回归期间, 6 月 16 日恩平发生的 4.2 级地震和 6 月 17 日新丰江发生的 4.0 级地震, 台网都在很短的时间内完成速报。台网取得的成绩充分证明数字地震台网记录地震的能力较之模拟台网有了很大的提高。

2000 年, 台网建设项目获得广东省地震局科技进步一等奖和广东省科技进步三等奖。

以珠江台网为基础扩展出的广东省数字地震台网实现了全国联网运行, 以其优异快速准确的地震数据处理能力, 被赋予全国台网副中心的重要地位。

2.2 造就了一批数字台网建设的技术骨干和行政领导

直接承担并完成一个大项目是科学技术人员快速成长的重要平台, 比如港珠澳大桥的建设, 锻炼造就了一大批以林鸣总工程师为代表的世界级的大桥和海底隧道建设的科技队伍。珠三角数字台网的建设当然不能和港珠澳大桥工程相提并论, 但是道理是一样的。

通过珠江台网的建设以及随后的国家数字台网广东省台网的建设, 培养了一批以王建国、吕金水、杨大克、康英、黄腾浪、黄文辉、邓罗生等各有其长的技术骨干(图 8、图 9)。

广东局这支技术队伍, 可以说比其他省局的数字台网建设的技术队伍先行了一步, 有了珠江台网建设的经验, 到后来完成“九五”、“十五”



图 8 广东省地震局领导和部分珠江台网中心工作人员
Fig.8 Leaders of the Guangdong Earthquake Agency and some staff of the Pearl River Network Center



图 9 珠江台网中心工作团队

Fig.9 The working team of the Pearl River Network Center

的全省数字化台网改造, 就做得得心应手, 台网建设技术和管理水平始终处于全国领先状态, 全国评比一直都处于前 3 名之内。

王建国从珠三角数字台网建设, 到全省数字化台网改造, 全程参与, 既是项目的负责人又是主要的技术骨干, 最后是监测处的领导之一。

吕金水也是全程参与珠三角台网建设和全省数字化台网改造, 更是后期的项目负责人, 以这些工作业绩为基础, 任职监测中心主任到广东省地震局副局长。

杨大克调到中国地震局, 被聘为研究员, 并且很快成为我国数字化地震台网建设的主要技术骨干, 新一代的领军人物。

康英、何璟琳同时调入珠江台网工作, 当年刚从大学毕业参加工作她们, 在珠江台网建设过程中, 主要承担台网运行值班工作, 在人手不足的情况下, 常常连续 24 h 值班。她们从事台网台站建设不多, 重点在数字化台网中心的管理。由

康英领导的台网中心, 由于地震速报的快速和精准, 在全国评比中始终处于前 3 名, 台网中心也数次被评为先进集体, 她本人也较早被聘任为研究员。何璟琳后来进入广东省地震局部门领导岗位, 先后在监测处、震害防御处、老干处任领导。

黄腾浪是珠江台网中心的数据管理员, 负责从香港自动化公司引进的一套台网数据计算机处理系统的消化吸收和维护管理, 由于出色的工作, 先后任监测中心主任、地震应急与信息中心主任。

黄文辉是特别要提到的一位技术骨干, 毕业于北京防震减灾学院, 在计算机软件方面的水平非常突出。从学校毕业后来到广东省地震局工作, 珠江台网试运行期间参与台网运行值班工作。黄文辉刻苦学习地球物理知识, 钻研地震观测和计算机软件编程技术, 在珠江台网及后来广东省地震台网平台上成功自主开发出地震自动化定位软件系统, 从单台处理系统到台网处理系统, 从人机交互系统到地震超快速报系统, 20 多年来, 软件版本不断升级, 定位速度越来越快, 准确度越来越高, 系统性能优异, 成为地震行业的核心系统, 2016 年“数字地震台网信息实时自动处理系统”获广东省科技进步一等奖。黄文辉被破格晋升为研究员, 并多次评为中国地震局先进工作者, 也获得了全国五一劳动奖章和广东省五一劳动奖章。

邓罗生是从下乡知青中招收的工人, 他负责珠江台网的地震台建设, 台址确定以后, 就由邓罗生领着一帮工人施工。台站面积不大只有几个平方, 但要建设好一个合格的台站并不容易, 技术要求很高, 首先是摆墩的浇筑就很有讲究, 要跟基岩紧密结合, 墩面要平整等等, 子台要防雷、防潮、防盗, 甚至要考虑防鼠, 进去老鼠可以咬断各种线路, 很是麻烦, 另外, 还要确保太阳能供电。子台大多选在远离居民区, 人迹罕至的地方, 施工期间风餐露宿是经常的事。张奕麟总工是一个非常严谨的老科学家, 虽然年事已高, 但新建的每一个地震台他都要亲自去看过, 认证检查, 看过几个地震台以后, 张奕麟总工非常满意, 所以以后他去检查台站建设, 先问是谁负责建的, 回答说是邓罗生, 张总会说, 邓罗生建的我就放心了, 就是说他已经在张总心里做到了免检, 当然张总仍然会去检查, 却从来也没有失望过。因为建地震台工作突出, 邓罗生被破格评为工程师。

2.3 为国数字化地震台网建设起了一个引领和示范作用

1994 年全国地震工作会议在广州举行, 会议期间, 国家地震领导和广东省政府领导, 陪同国务委员兼国家科委主任宋健考察珠江台网(图 10~图 11), 参与会议的各省政府领导和各省地震局领导随同参加。听了台网有关情况介绍和实地考察以后, 宋健主任对珠江台网作了高度评价, 随同参加各省地震局领导对此影响深刻。这对 1996 年以后在全国范围逐步推广的数字台网建设在领导层面打下了重要基础, 此后全国大多数地震局都派出专业人员来珠江台网考察借鉴。其中厦门地震局派了一批台网值班人员直接在珠江台网接受培训并参与值班达 2 个多月。同时, 珠江台网的技术人员也跟着各省地震局的专家, 学习了许多专业知识, 相互学习共同提高。



图 10 1994 年国家科委主任宋健等领导视察珠江台网中心
Fig.10 Song Jian, director of the National Science and Technology Commission, and other leaders inspected the Pearl River Network Center in 1994



图 11 宋健主任听取珠江台网中心情况汇报
Fig.11 Director Song Jian listened to the report of the Pearl River Network Center

2.4 为全国数字化地震台网提供了丰富经验和技术标准

珠江台网筹备到验收经过十年的时间,沈泽忠、王建国、杨大克、吕金水、邓罗生等先行者付出了艰辛的努力,攻关了一个个技术难题,积累了丰富的数字地震台网建设经验,成为国内知名的数字地震观测技术专家。“九五”项目“广东省区域数字遥测地震台网建设”获中国地震局防震减灾优秀成果二等奖;“十五”项目“中国数字观测网络项目测震分项”及“测震台网常规处理专业软件的研制及应用”获中国地震局防震减灾优秀成果奖二等奖。“十五”期间广东地震台网成为全国地震台网的示范单位。

2.5 为国家数字化地震台网建设提供了技术支持

杨大克是珠江台网设计、建设的主要参与者,后来调北京中国地震局工作,同时带去了珠江台网建设的经验和技术资料,为国家数字化台网建设提供重要的参考依据,是珠江台网对国家台网建设的重要贡献。杨大克现是中国地震局地球物理研究所研究员,近期担任中国地震预警台网建设项目总工程师。珠江台网工作团队中,目前还在工作岗位上的吕金水、黄文辉、康英、黄腾浪等都是国内知名的数字地震技术专家,在这一领域发挥重要作用。

3 珠江台网建设的溢出效应

一个大项目的完成,必然会产生溢出效应,所谓溢出效应,是指此项目的完成后,产生的不在此项目计划内的效应和收获。越大的项目,溢出效应越大越明显。珠江台网的建设,放在整个国民经济的项目里面,只能算是很小的项目,但在地震系统内部也算是一个不小的项目,所以也能产生一些溢出效应。

(1)引导和促进了数字化地震仪器的国产自主研发

珠江三角洲台网建设之前,国内为数不多的地震仪器厂家,产品都是模拟仪器。台网的成功建设,促进了北京、广东等地多个仪器厂家开始自主研发国产数字地震仪器以替代进口,这为后来的全国地震监测数字化建设打下了基础。经过多年的发展,我国地震观测技术系统研发已有长足的进步,行业内涌现了泰德、港震等专业公司,它们的产品涵盖所有地震观测领域,系统产品优

异的性能指标达到世界一流水平,良好的性价比有效地促进了我国地震观测的发展,在世界上为有需要的国家提供优质服务。

特别值得一提的是珠海市泰德企业有限公司,这样一个民营高科技企业,原本业务包括数据采集及信号分析处理,产品并未涉及地震行业。1996年该公司了解到当时我国地震行业仍普遍采用纸质模拟记录,而广东省地震局已率先在全国建设了首个全进口设备的珠江台网后,意识到数字化将是地震行业未来的发展趋势。在珠江台网的合作和支持下,该公司立即投入技术力量进行国产数字化地震仪器研发。该公司追踪最新的技术发展,经过20多年的艰苦努力,结合我国国情,研发了一系列数字地震仪器及相关软件产品。目前,泰德公司已成为国内地震行业的主要仪器装备供应商及集成商之一,产品还出口到国外。事实证明,整合社会科技力量发展地震观测科技事业是多快好省的有效途径。我们欣喜地看到,在地震观测科技领域,我国从一个地震观测技术和装备输入国,成功转型为输出国,进入行业科技前列。

(2)推动帽峰山森林公园的建成

现在帽峰山已经建成森林公园,也是广州市近郊的一个旅游打卡景点,一到节假日游人如梭。1986年前后,珠江台网选择在帽峰山顶建中继站时,属地帽峰山林场,有一条砂石路到半山(海拔约300 m)林场本部。为了修建珠江台网中继站,我们修建了从林场本部到山顶(海拔532 m)的2.3 km简易公路。有了这条简易公路,随后通信系统的快速发展,陆续在山顶建设了BB机发射机站、手机的机站,逐渐就有些人气。随着广州市民生活水平的提高,私家车逐步普及,广州市政府将帽峰山规划为森林公园,将这条简易公路改建成通山顶的水泥公路。珠江台网建设起到了推动作用。

4 结语

我们深切缅怀先后离世的为珠江台网建设做出重要贡献的沈泽忠副局长和张奕麟总工程师。没有这两位老前辈的领导和技术指导,珠江台网建设也不可能顺利完成。1980年代一批朝气蓬勃的台网建设技术骨干,也逐渐年长,不再年轻,有的已经退休,有的也接近退休,我们也要感谢他们,感谢他们为台网建设挥洒的青春和汗水。

同时,也感谢所有为珠江台网建设做出过贡献的人们。

我们的地震工作就是由这样一代代的专业人员,艰苦敬业奉献才能取得不断的进步。希望我们年轻的一代能更加刻苦钻研,去争取大项目,既为推动防灾减灾事业作出新的贡献也为自己快速成才创造条件。

致谢:广东省地震局原局长韩黎珍、广东省地震局台网中心主任康英、珠海泰德公司总经理周超,都认真审阅了此文,并提出了许多宝贵的修改意见。

参考文献:

- [1] HUANG Zhibin. Development of automatic earthquake quick report in China[J]. Earthquake Research in China, 2020, (02): 60-67
- [2] 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
- [3] 罗玉芬, 潘飞儒, 徐行, 等. 海底地磁观测技术方法研究和展望[J]. 华南地震, 2017, 37(3): 63-68.
- [4] 李晋恺. 制约我国地震预警技术发展的 2 个主要问题的探讨与解决方案[J]. 华南地震, 2017, 37(3): 90-97.
- [5] 陈建涛, 苏柱金, 黄腾浪. 基于地震自动速报和 COMCOT 模式的南海地震监测与海啸模拟平台开发[J]. 华南地震, 2017, 37(3): 55-62.
- [6] 谢江涛, 林丽萍, 赵敏, 等. 应急流动观测组网技术在康定 6.3 级地震中的应用[J]. 华南地震, 2019, 39(3): 23-31
- [7] 李金香, 常想德, 姚远, 等. 无人机技术在新疆塔县地震的应用及实现[J]. 华南地震, 2019, 39(3): 57-64.
- [8] JI Yunda, YANG Chen, HUANG Zhibin, et al. Construction and development of China's earthquake information release system [J]. Earthquake Research in China, 2019, (04): 79-90
- [9] 刘伟, 王庆良, 王丽艳, 等. 区域地震台网历史震相数据整合与共享服务[J]. 地震地磁观测与研究, 2020, 41(5): 200-208.
- [10] 胡文灼, 欧阳龙斌, 吴叔坤, 等. 广东地震台网台站数据传输质量对比分析[J]. 华南地震, 2019, 39 (1): 12-19
- [11] 姜喜姣, 龚莹, 胡文灼, 等. 广东数字地震台网地震编目分析[J]. 华南地震, 2018, 38(3): 45-51.
- [12] GUO Tielong, HUANG Zhibin, ZHAO Bo. The improvement of earthquake real-time monitoring system of Chinese National Digital Seismic Network[J]. Earthquake Research in China. 2019, (04): 70-78
- [13] 马晓静, 康英, 杨选, 等. 结合波形互相关的双差定位方法在广西北流-广东化州 5.2 级地震序列中的应用[J]. 华南地震, 2020, 40(2): 32-36.
- [14] 吴国瑞, 康英, 马晓静, 等. 同源双震的速报处理——以广西北流——广东化州 $M_s 5.2$ 级地震为例[J]. 华南地震, 2020, 40(2): 67-72.
- [15] 杨芳, 朱嘉健, 朱腾, 等. 基于移动时窗的计算方法及其在广东地区震级估算的应用[J]. 华南地震, 2020, 40 (1): 53-59.
- [16] 王力伟, 吴国瑞, 黄柳芳. CAP 方法反演新丰江锡场地区 $M_L 4.0$ 级以上地震震源机制解[J]. 华南地震, 2018, 38 (3): 1-8
- [17] 付虹, 洪敏, 王光明, 等. 云南区域强震活动中短期异常的共性特征及应用研究[J]. 地震研究, 2020, 43 (2): 241-252.
- [18] 王小娜, 邓志辉, 叶东华, 等. 2016 年 10 月广东乳源 $M_L 2.8$ 级震群活动特征[J]. 华南地震, 2017, 37(3): 1-8
- [19] 何应文, 王建芳, 杨晓琳, 等. 景谷 $M_s 6.6$ 地震前地震矩加速释放时空扫描特征研究[J]. 华南地震, 2019, 39(1): 20-24.
- [20] 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.
- [21] 王正尚. 我国第一个 24 位数字化无线遥测地震台网——广州台网通过验收[J]. 华南地震, 1991, 11(1): 94.
- [22] 王正尚, 吕金水, 王建国. 广州遥测地震台网的先进性及存在问题[J]. 华南地震, 1997, 17(2): 49-55.
- [23] 缪维成, 冯绚敏, 柴剑勇. 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.
- [24] 缪维成. 广东省测震台网监测能力评述[J]. 华南地震, 1987, 7(2): 42-49.
- [25] 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): 4.
- [26] 吕金水, 叶春明, 黄剑涛, 等. 广东数字遥测地震台网的建设[J]. 华南地震, 2000, 20(4): 2-15.
- [27] 叶春明, 吕金水, 邓罗生. 数字地震台网观测系统工作环境的改造[J]. 华南地震, 2000, 20(4): 27-31.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 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(03): 70-77.
- [32] 刘特培, 秦乃岗, 郭贵安. 1994 年 9 月 16 日台湾海峡 7.3 级地震前的地震活动异常[J]. 地震地磁观测与研究, 2002, 23(4): 19-23.
- [33] 陈大庆, 杨雪. 1987 年江西寻乌 5.4 级地震及 1994 年台湾海峡 7.3 级地震前中小地震活动图像特征[J]. 华南地震, 2019, 39(S1): 78-82.
- [34] 廖丽霞, 秦双龙, 洪旭瑜. 华南地区流体地震预测指标建立、应用和反思[J]. 地震研究, 2020, 43(2): 310-319.
- [35] 叶秀薇. 地下流体地震前兆多层次跟踪法短期预测在粤闽交界和珠江三角洲地区的应用[J]. 华南地震, 2001, 21(2): 42-47.