

肖武军,赵刚,何少林,等,2021. 全国重点地震台站观测环境优化改造关键技术与展望. 中国地震, 37(1):156~163.

全国重点地震台站 观测环境优化改造关键技术与展望

肖武军¹⁾ 赵刚²⁾ 何少林³⁾ 郑先进⁴⁾
谭俊义⁵⁾ 张尧¹⁾ 张克诚¹⁾

1) 中国地震台网中心, 北京 100045

2) 应急管理部国家自然灾害防治研究院, 北京 100085

3) 甘肃省地震局, 兰州 730000

4) 安徽省地震局, 合肥 230031

5) 江西省地震局, 南昌 330039

摘要 稳定可靠的地震台站观测环境是台站产出高质量观测数据的基本要求。对台站观测环境的改造,是中国地震局近年来项目重点支持的方向。全国重点地震台站优化改造项目致力于地震台站的观测环境、基础设施和工作条件等保障系统的优化改造,使其适应和满足现代地震观测技术发展的需要。本文系统地总结了重点台站优化改造项目自 2001 年开展实施的相关情况,并对关键技术进行分析,主要体现在测震仪器的防震加固设计、地磁观测室无磁性工艺、形变山洞防潮保温、地电阻率观测架空线路防雷改造、台站标准化改造等方面。通过这些新技术和工艺,保障了台站观测环境,提升了观测数据质量,为地震监测、地震预测预报和地震科学研究提供了高质量的基础数据支撑。此外,探讨了新形势下台站优化改造的新内容与新技术,为今后台站改造的发展方向提供一定参考。

关键词: 台站 观测环境 优化改造 展望

[文章编号] 1001-4683(2021)01-0156-08 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

1966 年邢台地震后,我国的地震台网得到迅速发展,陆续建立了多学科、多手段的地震观测台网(阴朝民,2001;李志雄等,2006)。我国的数字化测震台网起步于 20 世纪 80 年代,1983 年 5 月,中国地震局与美国地质调查局规划设计 CDSN 台网(刘瑞丰等,2008)。限于建台时期的历史条件,台站建设起点较低,基础设施薄弱,经过多年的使用,多数台站设施已严重残破,不能满足测项对观测条件的要求,严重影响台站的正常观测。大部分台站地处偏远,存在条件保障建设远远落后于技术系统发展以及台站的面貌与当地经济发展水平差距逐渐加大等现实问题。此外,台站办公条件落后,严重影响了台站工作人员的工作热情和积

[收稿日期] 2020-08-16 [修定日期] 2020-10-18

[项目类别] 重点台站优化改造项目、台站标准化改造专项共同资助

[作者简介] 肖武军,男,1975 年生,高级工程师,主要研究方向为台网建设与地球物理观测。E-mail: xiaowj@seis.ac.cn

极性。自 21 世纪初以来,为保障地震台站的观测系统稳定运行,中国地震局通过重点台站优化改造项目对地震台站的观测环境及技术系统进行整体改造,改善台站观测环境、基础设施以及办公条件。通过对一些重点台站的观测环境设施(观测山洞、地震监测楼、仪器观测房、观测场地等)、台站基础设施(供水供电、台站避雷及接地地网等)与台站办公设施、生活条件等方面的技术改造升级,使得台站的观测环境不断优化、基础设施条件进一步改善、办公生活条件水平极大提升,从而更加丰富了台站文体、文化生活,提升了台站人员的凝聚力和工作热情。通过台站优改项目的实施,将地震监测台站建成观测技术系统先进、观测环境优化、观测条件规范、基础设施完善、台容台貌优美、文体生活丰富的现代化地震台站。

重点台站观测环境改造项目自 2001 年正式开始实施,中国地震局监测预报司(2009)对该项目进行了阶段性总结,编制完成了《地震台站优化改造十年巡礼》。台站优化改造项目实施近 20 年来,取得了较好成效,逐步改善了台站观测环境和附属设施,提升了观测数据质量。实施过程可分为 2 个阶段,第一阶段为 2001—2010 年,项目重点关注对台站基础设施的建设,保证台站的基本观测场所,保障台站人员办公及生活条件,确保台站外观形象与当地环境协调,确保工作条件满足台站工作需要。通过改造,大大改善了台站工作和生活条件,极大地激发了广大台站工作人员为防震减灾事业工作的积极性和凝聚力。第二阶段为 2011—2020 年,项目主要关注对观测场地的升级和完善,保障台站观测系统运行,确保观测数据产出质量,逐渐改善了区域整体台站监测环境,提升了区域地震监测能力和震情跟踪能力,最大限度地发挥现代化地震观测技术系统的效能,显著提高我国地震监测的科学水平,为震情跟踪和科学研究提供了重要的条件保障。

1 台站优化改造概况

自 2001 年起,中国地震局开始实施改善台站观测环境、台站基础设施以及台站办公条件的基础性专项建设。截至 2020 年,“台站优改”专项已连续投资 20 年,涉及全国 31 家建设单位。由于贵州省地震局前期台站业务归属于云南省地震局管辖,未有单独立项安排。其他省局项目合计立项 388 次,平均每年改造 20 次,改造台站总数 311 个,平均每年 16 个,分布于全国 31 个省市自治区,改造台站的分布情况见图 1,部分单位由于同一台站改造多次,改造台站数量少于改造频次。项目总投资 3.67 亿元,其中中央投资 2.80 亿元,占比 76.32%,地方配套 0.87 亿元,占比 23.68%。

从改造台站的分布看,台站优化改造项目主要分布在首都圈、西部地震多发区以及苏、鲁、皖等地区,其他地区也统筹兼顾,全面提升台站的监测能力。在北京、天津、河北、山西、内蒙古等省局及直属所共改造 79 次,占比 20.36%;西部地震多发区的四川、云南、甘肃、宁夏等省局共改造 93 次,占比 23.97%;山东、江苏以及安徽等省局改造台站次数合计 53 次,占比 13.66%。上述 3 类区域改造频次相对较高,与所属省局台站数量、台站改造重点支持方向有一定关联。

从投资情况来看,项目总投资 3.67 亿元,其中投资超过 2000 万元的单位主要有河北省、四川省、云南省、甘肃省以及福建省地震局等。投资情况基本与台站改造次数保持高度一致性,各单位优改项目投资情况见图 2。北京、天津、河北、山西、内蒙古等省份投资总额超过 6827 万元,占比 18.62%;西部地震多发区域的四川、云南、甘肃以及宁夏 4 个省份改造经

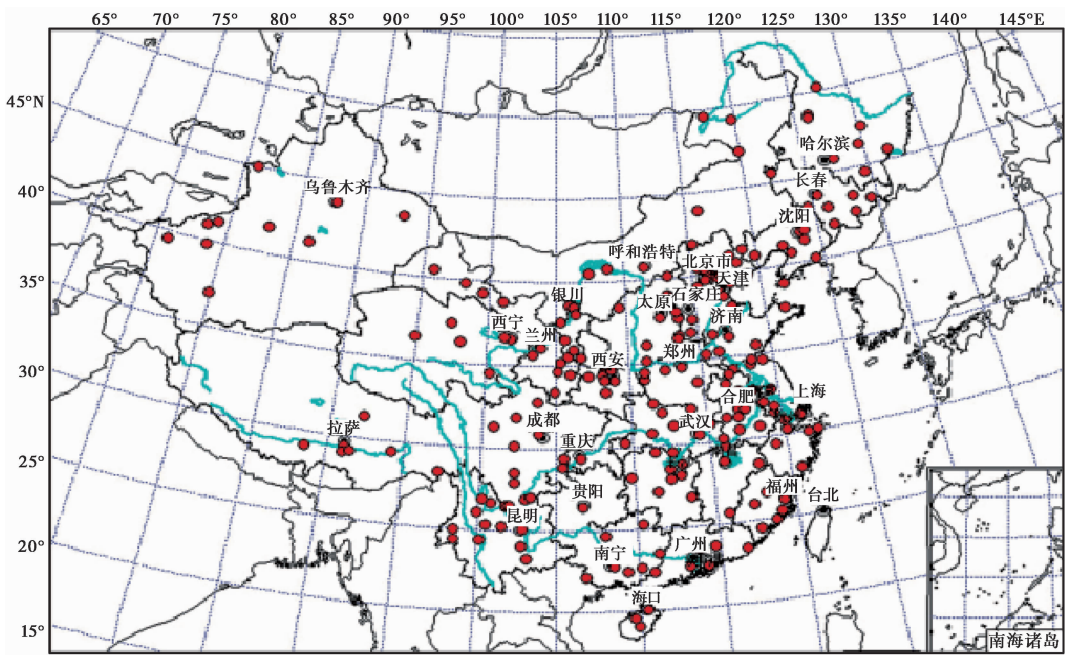


图 1 全国重点台站优化改造项目改造台站分布

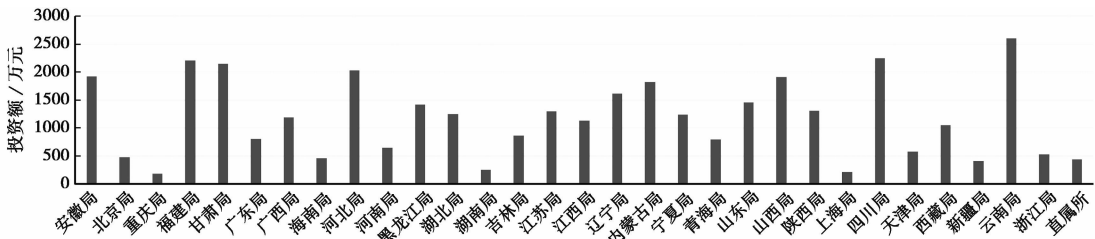


图 2 各单位优改项目投资情况柱状图

费达到 8328 万元,占比 22.47%;山东、江苏以及安徽投资总额为 4678 万元,占比 12.76%。由于东南沿海及台湾地区地震较多,为提高海峡地震的监测能力,福建省内台站优化改造项目投资超过 2000 万元。

近年来,在台站优化改造过程中,对观测环境(含台站标准化)、基础设施、办公及生活条件等 3 个方面进行主次区分,重点支持观测环境的改造,每年用于观测环境改造的经费占总改造费用的 40% 以上,而基础设施改造、办公及生活条件分别占改造经费的 10%~20%。自 2017 年起,项目建立了从台站项目申报、项目入库、立项、实施、中期检查、验收到绩效评价全过程完整规范的管理体系。从各单位申报情况来看,观测环境及标准化改造工作占主体,且占比逐年提高。2017—2020 年的观测环境投资分别占比 43%、44%、51% 以及 64%(表 1)。

2 关键技术与创新

在台站优化改造项目实施过程中,针对长期制约台站观测数据质量的观测环境等方面存在的问题,经过长期的实践和不断的探索改进,在改造的技术和工艺方面多有创新,主要

表 1 2017~2020 年台站优化改造项目各分项投资情况

| 申报年度 (年) | 合计 /万元 | 观测环境 (含台站标准化) | | 基础设施 | | 办公及生活条件 | | 二类费用 | |
|-------------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 经费 /万元 | 百分比 /% | 经费 /万元 | 百分比 /% | 经费 /万元 | 百分比 /% | 经费 /万元 | 百分比 /% |
| 2020 | 1535.49 | 969.31 | 64 | 237.65 | 15 | 253.32 | 16 | 75.21 | 5 |
| 2019 | 2530.69 | 1291.45 | 51 | 411.55 | 16 | 717.67 | 29 | 110.02 | 4 |
| 2018 | 1893.26 | 835.27 | 44 | 294.97 | 16 | 559.81 | 30 | 184.64 | 10 |
| 2017 | 1880.49 | 801.12 | 43 | 557.81 | 30 | 402.23 | 21 | 108.91 | 6 |

体现在测震仪器的防震加固设计、地磁观测室无磁性工艺、形变山洞防潮保温、地电阻率观测架空线路防雷改造、台站标准化改造等方面。通过这些新技术和工艺的应用,保障了台站观测环境,提升了观测数据质量,为地震监测、地震预测预报和地震科学研究提供了高质量的基础数据支撑,使台站观测进入一个高质量产出、可持续发展的新阶段。

2.1 测震台站传感器防震加固设计

测震仪器防震加固设计是保证台站仪器正常开展监测工作的必要措施,尤其是大震近场台站,地震观测仪器具备防震能力十分必要。台站优化改造项目实施过程中,设计了一款安装方便、稳固可靠、维护便捷的防震装置。项目组先后在燕郊开展振动台测试、在山东郯城台以及安徽紫蓬山台进行了对比观测,将观测数据进行了详细分析。通过分析在地震计加防震装置和不加防震装置情况下,对比一个远震和一个近震的记录情况,分析 2 个地震计记录的 MISFIT 结果,得出该装置不影响正常观测,对数据产出无影响(图 3、图 4)(Kristeková et al,2006、2009;李小军等,2019)。该装置已在安徽、云南、重庆等省局的部分台站进行推广使用。

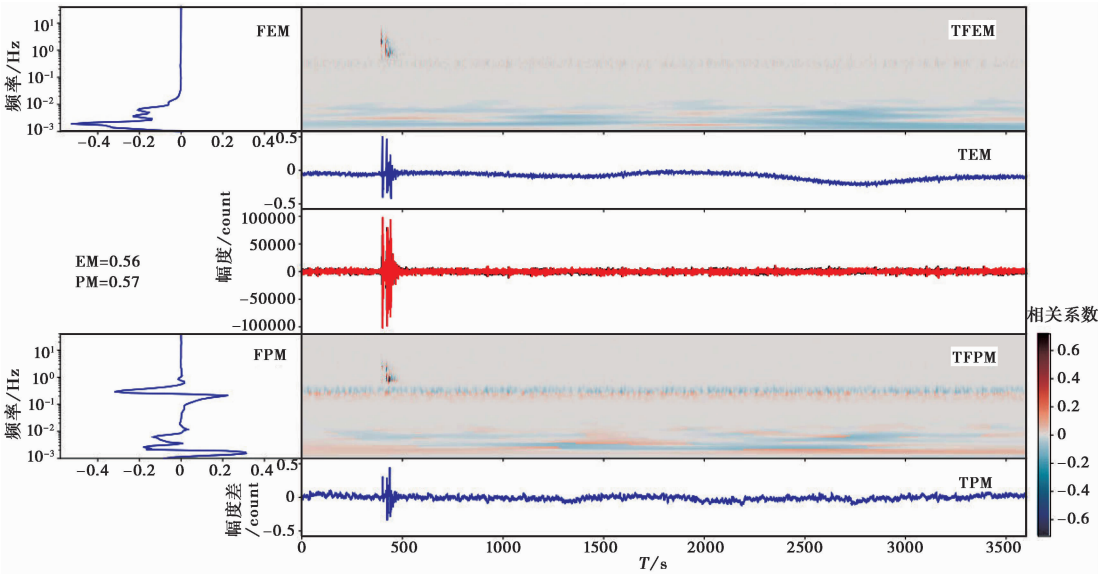


图 3 2 台地震计关于 2018 年 8 月 2 日山东济宁 M_L 1.9 地震的 MISFIT 结果

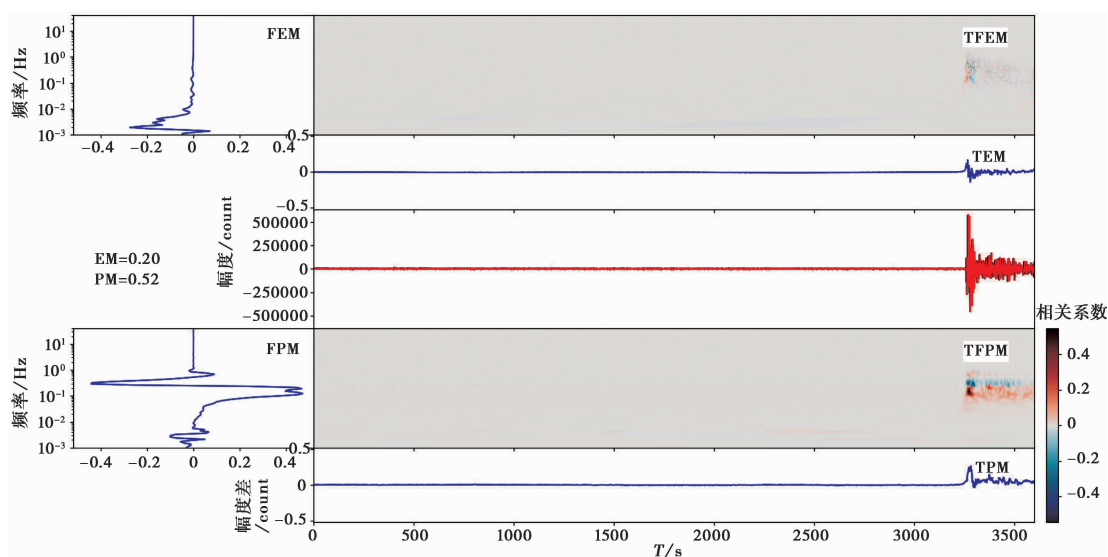


图4 2台地震计关于2018年8月5日印尼松巴哇岛M6.8地震的MISFIT结果

2.2 地磁观测室无磁性工艺

台站地磁观测对观测环境要求高,地磁房改造和建设施工工艺复杂,建设难度大。在台站优化改造项目中,将碳纤维材料用于地磁观测室建设。在地磁观测室改造过程中,采用了玄武岩纤维筋框架结构新工艺,玄武岩纤维筋是以玄武岩纤维为增强材料与乙烯固化剂等基体相结合的一种新型复合材料,其比重是钢精的1/5,抗拉强度是钢精的120%,具有电绝缘性、非磁性、耐酸性和耐碱性,对水泥砂浆中的水分浓度及二氧化碳的渗透和扩散具有较高的容许度,可抵御特殊环境对混凝土构筑物的腐蚀,提高建筑物的耐久性。玄武岩纤维具有重量轻、保温性能好的特点,减小了建筑物自重,达到了既节省工程投资,又环保、节能的双重效果。这也是地震行业首次将碳纤维材料作为结构筋用于地磁观测的建筑主体。该地磁新工艺在天津静海地磁台、宁夏银川北塔地磁台等进行了应用,保障了地磁观测效果。

2.3 形变观测山洞防潮保温

地震行业标准对形变仪器观测山洞环境有严格要求,对山洞密封性和保温、防潮效果要求高。台站优化改造项目在对多个山洞实施改造过程中,开展了系列创新性设计,保障了山洞改造效果。在山洞密封方面,以往观测山洞多采用水泥门、钢质门、船舱门等,其缺点是笨重、开关不方便、容易锈蚀、密闭性不佳。在台站优化改造项目中,通过广泛调研,选取了一种不锈钢密封门,并选用了特殊行业专用密闭门,其可以应用在有辐射、腐蚀等特殊要求的场合,密闭性、保温性、抗腐蚀性俱佳。具体技术要求如下:密封门气密性等级不低于5级;密封门双面板采用国标304不锈钢板,里外不锈钢板厚度不小于1.5mm,内骨架不锈钢方钢40×70×3.0mm,门厚度不低于70mm,门内采用四层填充物,第一层为防火板,第二层为防火珍珠岩,第三层为隔音板,第四层为防火板。门板四边镶三元乙丙橡胶密封条(此种密封条材料与汽车门用密封条相同,具有耐老化、耐低温、耐水气、耐化学腐蚀等特点)。门框采用3.0mm厚的304不锈钢型材,门框内四周镶三元乙丙橡胶密封条。密封门用所有五金件均

采用 304 不锈钢材料,包括铰链(厚度 5.0mm)、重型合页、门锁、门把手、螺丝钉等。形变观测山洞的防潮保温措施在江苏徐州台、江西南昌台、浙江湖州台等台站进行了推广应用。

2.4 地电阻率台站防雷技术

在台站优化改造中,结合中国地震局对台站防雷系统的改造工作,台站工作人员陆续开展了不同学科及综合防雷技术系统改造研究及应用(韩进等,2011;瞿旻等,2015;孙宏志等,2015)。在地电阻率台站防雷系统改造中,对地电阻率台站架空线路防雷、地埋线路防雷等关键技术点出现的问题进行了重点分析研究,提出了新的技术思路,得到了一些新的技术成果,地电阻率台站应尽量将供电及测量线路进行埋地,且埋地供电及测量线路应避开接地体 10m 以上,仍采用架空线路的台站,应安装相应电流值的信号防雷器(肖武军等,2020a、2020b)。该技术成果在内蒙古宝昌台、河北阳原台等地电阻率台站进行了推广改造。台站优化改造项目的实施以及不断探索在地震台站开展综合防雷技术的应用,为地震台站防雷技术标准《地震台站综合防雷》(赵刚等,2017)的编制奠定了基础。

2.5 台站标准化改造探索

由于地震台站建设历史长,建台时缺少明确的台站标准化指导性文件,因此,台站建设保留了每个历史时期的特点和当地建筑风格,仪器设备布设、传感器固定、综合布线等也没有明确规定,因此,存在多方面不规范的问题。自 2019 年开始,在重点台站优化改造过程中,严格落实中国地震局关于台站标准化的相关要求,开展台站标准化试点改造和探索。对申报台站设施防震加固、综合布线、标识标志等方面进行了全方位改造。河北阳原台、甘肃嘉峪关台在台站优化改造之后,全面提升了台站标准化水平(图 5、图 6)(肖武军等,2019)。

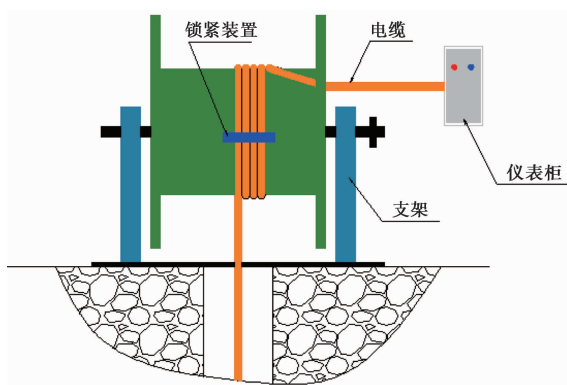


图 5 阳原台电极井下电缆固定装置

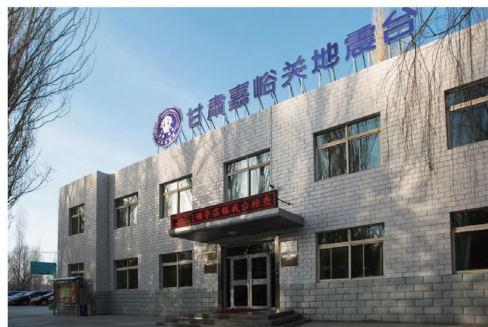


图 6 嘉峪关台标识标志改造

3 问题与展望

随着社会的不断发展,人们对地震服务的需求不断提高,作为地震监测预报的基本场地,台站观测的理念也在不断提升,建成不断满足社会需求的现代化台站是发展的终极目标。我国的台网建设可以分为几个阶段,“九五”项目前,我国台网主要采用模拟观测;“九五”项目后,中国地震观测台网从模拟观测发展到数字化观测;“十五”项目后,台站观测从数字化走向网络化,实现了“网络到台站,IP 到仪器”;现阶段,从“分钟级”的地震速报信息

服务到“秒级”的地震预警信息服务,台站发展逐步现代化。而原来建设的台站已不能满足现代化观测的需求。台站标准化程度不高,仪器设备大部分未按要求进行固定,观测系统线路混乱,标识标志不够清晰明确;信息化程度较低,统一监控、台站数据自动采集有待进一步加强;台站数据处理能力和公共服务能力相对较弱。这些问题,严重制约台站观测水平向更高层次提升,也制约其进一步迈向新时代现代化地震台站的发展。未来台站需要向标准化、信息化发展,并进一步提升台站的公共服务能力。

推进台站标准化改造。台站标准化既是提升地震台站现代管理水平的推进剂,又是保障台站监测能力的一个重要环节,对促进防震减灾业务信息化与现代化具有十分重要的现实意义(肖武军等,2019)。在台站优化改造项目中,要参照《地震台站标准化规范设计图册(修订稿)》^①,大力推进台站标准化建设工作。进行观测场地、设备布设、综合布线、标志标识等的标准化改造,形成台站标识统一、设备布设合理、布线规范的台站新面貌。

加强台站信息化建设。实现台站运行状态实时监视、运行故障告警、专业数据质量在线分析和台站整体运行可视化等系统功能,建立台站统一监控平台,实现台站运维的统一监控。在台站优化改造项目中推进台站信息化建设,促进台站日常运行、维护、产出以及管理的信息化工作,使台站信息化水平再上新台阶。

加强台站公共服务设施建设,为台站属地提供地震产品服务。通过台站优改项目实施,积极推进一些多观测手段的中心站和综合台改造,推动台站由数据采集向数据处理的转变,强化数据处理和相关科普宣传等公共服务设施的建设,充分发挥监测体系中台站的公共服务功能。

参考文献

- 韩进,宋澄,2011. 遥测地震台站的防雷思考. 地震地磁观测与研究,32(1):109~112.
- 李小军,谢剑波,杨大克,等,2019. 基于概率统计的甚宽频带地震计自噪声水平分析. 中国地震,35(1):38~52.
- 李志雄,张金祥,周克昌,等,2006. 关于数字化地震台网(站)建设的几点思考. 国际地震动态,(5):1~7.
- 刘瑞丰,高景春,陈运泰,等,2008. 中国数字地震台网的建设与发展. 地震学报,30(5):533~539.
- 瞿旻,霍祝青,戴波,等,2015. 测震台站综合防雷系统建设及效能评价. 地震工程学报,37(2):619~622,628.
- 孙宏志,李秀丽,雷晨,等,2015. 测震台站智能隔离防雷系统的设计与实现. 地震工程学报,37(3):878~883.
- 肖武军,孙海元,赵楠,等,2020a. 冬奥会保障项目地电阻率台站防雷技术系统设计关键技术. 地震工程学报,42(3):812~817.
- 肖武军,解滔,胡玉良,2020b. 冬奥会保障项目井下地电阻率观测专用电缆设计与测试. 中国地震,36(1):146~152.
- 肖武军,张尧,王立森,等,2019. 地震台站标准化设计在冬奥会保障项目中的应用——以河北阳原台为例. 中国地震,35(3):565~572.
- 阴朝民,2001. 防震减灾技术系统的建设与发展. 地震地磁观测与研究,22(6):1~12.
- 赵刚,黄锡锭,吴荣辉,2017. DB/T 68-2017 地震台站综合防雷. 北京:地震出版社.
- 中国地震局监测预报司,2009. 地震台站优化改造十年巡礼. 北京:地震出版社.
- Kristeková, M., Kristek J., Moczo P., 2009. Time-frequency misfit and goodness-of-fit criteria for quantitative comparison of time signals. Geophys J Int, 178(2):813~825.
- Kristeková M., Kristek J., Moczo P., et al., 2006. Misfit criteria for quantitative comparison of seismograms. Bull seism Soc Am, 96(5):1836~1850.

^① 中国地震局,2019. 地震台站标准化规范设计图册(修订稿). 内部资料.

Critical Technology and Prospect of Optimization and Improvement of Observation Environment at National Key Seismic Stations

Xiao Wujun¹⁾ Zhao Gang²⁾ He Shaolin³⁾ Zheng Xianjin⁴⁾ Tan Junyi⁵⁾
Zhang Yao¹⁾ Zhang Kecheng¹⁾

1) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

2) National Institute of Natural Hazards, MEMC, Beijing 100085, China

3) Gansu Earthquake Agency, Lanzhou 730000, China

4) Anhui Earthquake Agency, Hefei 230031, China

5) Jiangxi Earthquake Agency, Nanchang 330039, China

Abstract Stable and reliable observation environment is the basic requirement for high-quality observation data. The improvement of the observation environment of the stations has been received great attention by CEA in recent years. The Nationwide Key Seismic Stations Optimization and Reconstruction Project is committed to the optimization and transformation of the observation environment, infrastructure and working conditions of the seismic stations in order to adapt the requirement of the development of modern seismic observation technology. In this paper we systematically summarized the implementation of the Nationwide Key Seismic Station Optimization and Reconstruction Project from 2001 and analyzed the critical technologies. We mainly focused on the design of seismic instrument, non-magnetic technology of geomagnetic observation room, moisture-proof and thermal insulation of deformation cave, lightning protection transformation of overhead line of apparent resistivity observation, and station standardization transformation. Through these new technologies and processes, the observation environment is getting better, the quality of observation data is improved, and the high-quality basic data support is provided for earthquake monitoring, earthquake prediction and earthquake scientific research. Finally we discussed the new content and critical technology in the new situation to provide certain reference for the development direction of the station transformation in the future.

Keywords: Seismic station; Observation environment; Optimization and reconstruction; Prospect