

地震预警技术的应用与展望

● 许海燕 张国华 王鲲鹏



[摘要] 地震预警技术主要是利用地震监测设备,对地震信息进行动态采集分析与处理,提前预测地震的可能性,便于有关部门采取相应的应急措施,降低经济损失和人员伤亡。近年来,随着我国科学技术的快速发展,地震预警技术越来越完善,受到广泛的重视。本文主要分析地震预警技术及研究现状,探索技术的应用和未来发展趋势,为促使地震预警技术的良好发展和应用提供助力。

[关键词] 地震预警技术;应用;展望

目前我国地震预警技术主要涉及地震监测部分和信息传输部分,地震监测方面采用速度计、GPS 和地震仪设备,能够实时性监测地震信号;信息传输方面则是采用通信技术向预警中心传输的数据信息,及时向社会公众与有关部门发布信息。为进一步提升地震预警技术的应用效果和水平,在未来发展的过程中应重视对技术的优化创新,加大改革创新力度,为增强地震预警技术应用的有效性和可靠性提供助力。

地震预警技术

地震预警技术主要是用来进行地震信息监测和传输的技术,主要的技术架构如图 1 所示。

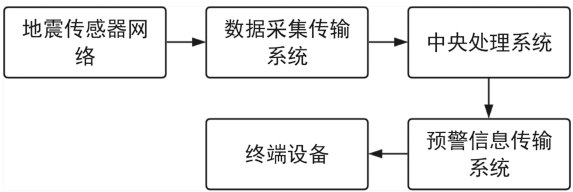


图 1 地震预警技术架构

(1)地震传感器网络是地震预警系统的基础,由分布在地震敏感区域的传感器节点组成,相关传感器设备能够实时监测地震活动,将数据传输到中央处理系统。(2)地震传感器的网络数据采集与传输系统负责从传感器节点收集地震数据,并将数据传输到中央处理系统,其中主要涉及数据采集单元、数据传输网络和数据传输协议。(3)中央处理系统是地震预警系统的核心,负责接收来自传感器网络的地震数据,按照数据内容进行实时分析和处理,使用地震预警算法来评估地震的规模和危险性,生成相应的预警信息。(4)一旦中央处理系统发出地震预警信息,预警信息传播系统负责

将此类信息传播到需要接收预警的终端设备中,主要是手机、电视、无线电等,使用短信、广播、应用程序推送等传播方式。(5)终端设备是接收地震预警信息的设备,具体为个人手机、电视、收音机或其他智能设备,此类设备需要能够接收并解析预警信息,并向用户提供相应的警示和指导。

地震预警技术的研究现状

(一)震相拾拾

地震预警技术中的震相拾取是关键技术,能够从地震波形数据中识别和提取出与地震事件相关的震相信息。地震预警系统部署广泛的地震传感器网络,采集地震波形数据,此类传感器类型较多,主要是地面站点、井下传感器或其他类型的传感器,实时记录地震波形信号,将数据传输到中央处理中心,完成信息采集后利用有线网络、无线网络或卫星通信等方式传输信息。中央处理中心进行地震波形数据去噪、滤波和增益等预处理。基于预处理后的地震波形数据,采用各种算法来自动或半自动地识别和提取和地震事件相关的震相信息,例如阈值拾取法、相位相关法、小波变换方法等。然后对震相进行识别和分类,判断出地震的类型和强度,进行进一步的分析和处理,明确地震预警的级别和采取相应的应急措施。一旦地震预警系统确定有地震事件发生的风险,评估其危险程度后即可将预警信息发送到相关机构、组织和公众。

(二)地震定位

地震预警技术中的地震定位技术功能在于明确地震发生的位置,基于地震波的传播速度和到达时间差异,准确分析地震发生的位置。通常情况下利用地震波中的初至 P 波到达时间差异来确定地震震源位置,利用在不同地震台站记录

到的 P 波到达时间等数据信息，采用三角测量原理计算震源位置。同时也可以比较多个地震事件之间的到时差异，计算差值进一步提高地震定位的准确性。或是基于地震波的传播特性，利用数学模型和计算方法，拟合地震波传播路径和观测数据反演地震震源位置。也可将地震发生区域划分为网格，计算每个网格内的地震波到达的时间差异，明确最佳匹配的震源位置。

（三）震级测定

震级测定技术是地震预警技术中确定地震发生的强度大小的关键技术，且震级是量化地震能量释放大小的主要指标。在测定的过程中可采用 Amplitude 震级法，基于地震波在地震台站上的振幅测量估计地震震级，结合振幅与震级之间的经验关系，将地震波的振幅转换为对应震级。或是基于地震波的总能量计算地震震级，对地震波的频谱进行积分，获得地震的总能量，将其转换为对应震级。也可基于地震波的矩张量参数计算地震震级，对地震波的振幅和波形进行分析，估计地震的矩张量参数，将其转换为对应震级。综合分析地震发生的深度对震级的影响，由于地震波在不同深度的传播速度不同，因此需要结合地震波到达时间和震源深度的关系，进行修正和计算。

（四）烈度预测

地震预警技术中的烈度预测技术，主要功能是明确地震对地表造成的破坏程度。具体操作的过程中需要对地震波形的振幅、频谱和波形特征进行分析，推断地震烈度，按照地震波在不同距离和方向上的衰减情况，推测地震对不同地区的破坏程度，或是利用地震震源的大小、深度、震源机制等参数，结合经验公式和统计模型，预测地震对不同区域的烈度分布。依据震源参数的不同，预测地震的破坏范围和程度，分析历史地震事件的烈度和其他相关数据，开发设计地区烈度分布统计模型，预测未来地震的烈度分布，结合地区的地理特征和历史地震数据，对未来地震的烈度进行预测。

Q 地震预警技术的应用

（一）风险分析

地震风险分析采用地震预警技术，一方面，采用 GPS 技术进行地表运动的监测分析，对地震前后的 GPS 数据进行分析，明确地震发生时的地震震源位置，同时 GPS 数据可以提供地震震源位置的精确测量，为地震预警系统提供准确的位置信息。声波是地震波中的一种类型，传播速度相对较慢，但传播距离较远，地震预警系统应用的过程中可将监测声波信号的传播速度和到达时间作为基础估计地震震源位置的大致范围，提供地震震源位置的初步信息，为后续的震级和预计到达时间分析提供基础。另一方面，P 波传播速度较快，是地震发生后最早到达的波动。在应用地震预警技术过程中

需要监测 P 波信号的到达时间，预测地震发生后的震级和预计到达时间，同时按照 P 波分析结果进行地震发生后震级和预计到达时间的初步估计，以便做出应对措施。

（二）风险等级确定

地震预警技术在地震风险等级划分中的应用，需要以风险分析信息为基础进行地震烈度分析。按照具体情况构建风险等级模型，结合风险评估模型进行分析，综合研究地震震级、震源距离、地震波传播路径、建筑物结构等因素，对地震风险进行定量评估，按照具体评估结果将地震风险进行等级划分，如表 1 所示。

表 1 地震风险等级划分

风险等级	划分依据
特别重大风险	死亡人数>300 人 人口较密集地区 7.0 级以上地震 人口密集地区 6.0 级以上地震
重大风险	死亡人数 50~300 人 人口较密集地区 5.0~7.0 级地震 人口密集地区 4.0~6.0 级地震
较大风险	死亡人数 10~15 人 人口较密集地区 4.0~5.0 级地震 人口密集地区 3.0~4.0 级地震
一般风险	死亡人数<10 人 人口较密集地区 3.0~4.0 级地震

（三）发出预警

发送地震预警信息的过程中需要将地震预警通信系统作为基础，开发完善的地震预警系统，主要是地震监测设备、数据收集和处理系统等，以此为基础实时监测地震活动，及时提供预警信息。在系统接收到预警信息后，需要对地震监测数据进行分析，识别地震发生的可能性，并生成预警信息“地震的震源位置、震级预估以及可能受到影响的地区”等；在地震预警系统中还需要设置广播、短信、手机 App 等通信方式传输地震预警信息，相关预警信息可以利用无线网络或者有线网络传输到相关的接收设备或者用户终端。接收地震预警信息需要相应的地震预警接收器、手机等接收设备或者用户终端，设备需要事先进行配置和设置，保证能够及时接收地震预警信息。一旦生成地震预警信息，系统可以利用广播、推送等方式将信息发送到相关地区或者用户终端，使相关部门和人员及时采取适当的应对措施，增强地震安全意识和应急反应能力。

（四）预警后对相关部门避震的帮助

地震预警技术对学校、商场和医院等场所避震具有一定的帮助和指导作用，主要因为地震预警技术可以提前几秒到几十秒发出地震预警信号，提醒学校、商场和医院内的人员

有地震即将发生的可能性,争取宝贵的几秒时间,使相关场所采取适当的避震措施,找到合适的避难位置或者进行疏散;地震预警技术配合紧急指示和指导系统,利用广播、短信或者手机 App 等方式向人员发送相关的避震指示和行动建议,此类指示主要是逃生路线、避难点和应急设备的使用方法等,使得相关场所人员在地震发生时做出正确的反应;地震预警技术的预警信号可以用来触发避震设施的自动启动,自动关闭电梯、关闭防火门等,保护有关场所人员的安全。同时地震预警技术也可以为建筑结构的设计和改造提供参考,改善建筑的抗震性能,从而减少地震造成的损失;地震预警技术可以用于组织和实施定期的应急演练和培训,提高学校、商场和医院内人员的应急意识和应对能力,利用模拟地震预警场景,使得相关场所人员学习和熟悉正确的避震行为和应急程序,提高自身的安全防范能力。

Q 地震预警技术的展望

(一) 创新性发展

1. 采用大数据技术

地震预警技术创新发展过程中需重视大数据技术的应用。(1)用于地震监测设备采集的大量传感器数据的处理和分析,对地震波形数据、震源参数等大数据的分析,准确判断地震发生的可能性和预估地震的震级。(2)开发构建地震活动模型和预测模型,并进行模型训练和优化,对历史地震数据、地震监测数据以及其他相关数据的分析,改善地震预警系统的准确性和可靠性。(3)对地震监测数据进行实时处理和分析,及时发出地震预警信号,对实时数据快速处理和判断,提前几秒到几十秒向相关区域发送预警信息,为地震区域人员提供宝贵的逃生时间。(4)高效的数据传输和广播通信网络,可以将地震预警信息迅速传递到接收设备和用户终端,主要是手机 App、短信、广播等,提醒人们采取适当的防护措施。

2. 采用智能化技术

地震预警技术未来发展的过程中,智能化技术有着一定的空间,能够实现地震监测设备的自动化运行和数据采集,减少人工干预,提高监测的准确性和效率,如采用人工智能算法和机器学习技术,对地震监测设备进行自动故障检测和检测质量评估。同时也可采用智能化技术在多渠道进行地震预警信息传递和推送,借助智能化的通信系统和推送算法,将地震预警信息及时传递给用户终端,并改善地震应急响应系统的应用效果,智能化提供地震应急指导和行动建议,结合地震预警信息、实时监测数据和建筑结构信息,为人们提供个性化的避震指导和应急行动建议,提高人们的应急能力和安全防护水平。或是对地震数据进行智能化分析和预测,利用人工智能算法和大数据分析技术挖掘地震数据中的隐

规律和趋势,提高地震预测的准确性和预警的可靠性。

(二) 专业化发展

为提高地震预警技术应用的专业性,在未来发展期间首先需要为从事地震预警技术应用的专业人员提供系统的培训和教育,主要是地震学、地震监测、数据分析、预警算法等方面的知识和技能培养。在专业知识和技能培训的前提下增强专业人员对地震预警技术的理解和应用能力。或是构建专业领域的交流平台和学术组织,促进专业人员之间的知识分享和经验交流,定期举办学术研讨会、培训班等活动,提供最新的地震预警技术研究成果和应用案例,帮助技术人员掌握行业最新动态和技术发展。也可构建地震预警技术应用的质量管理体系和标准化规范,确保技术应用的专业性和可靠性,编制相关的技术规范和操作指南,明确技术要求和操作流程,提高技术应用的一致性和可比性。制定完善的地震预警技术专业认证机制,对从事该领域的专业人员进行资质认证和监督管理,要求相关从业人员具备必要的专业背景和技能,并定期进行继续教育和考核,提升其专业能力和技术水平。开发完善的地震预警技术应用评估体系,对各类地震预警系统和应用方案进行系统集成和性能评估,按照具体的评估结果筛选符合专业要求的技术方案和系统,提高技术应用的可信度和适用性。

Q 结束语

综上所述,当前,我国地震预警技术的发展水平不断提升,主要的技术涉及震相拾、地震定位、震级测定、烈度预测等。在地震预警技术实际应用的过程中,需要深入进行风险分析,按照风险信息内容和实际情况确定风险等级,发送有关的预警信息,为各个部门和场所提供避震帮助,为发挥地震预警技术的作用价值夯实基础。

参考文献

- [1]吴雄伟,张亿,陈志高,等.核电厂地震加速度计现场标定振动台的研制[J].机械设计与制造,2023,394(12):112-115.
- [2]王力伟,张云鹏,王伟涛,等.甲烷震源和密集台阵观测研究粤港澳大湾区中心城区浅部 P 波三维速度结构[J].地球物理学报,2023,66(11):4582-4596.
- [3]刘磊,侯时平,吴凯,等.基于被动源的滑坡地震信号分析研究概述[J].地震学报,2023,45(05):929-941.

作者简介:

许海燕(1976—),女,汉族,内蒙古阿拉善人,本科,助理工程师,陕西省地震局安康地震监测中心站,研究方向:地震监测。

张国华(1974—),男,汉族,陕西安康人,大学专科,工程师,陕西省地震局安康地震监测中心站,研究方向:地震监测。

王鲲鹏(1996—),男,汉族,陕西榆林人,本科,助理工程师,陕西省地震局,研究方向:地震监测。