曾露，田兵伟，王暾. 地震预警服务进展及其国际比较[J]. 灾害学，2022，37(2)：138 - 144. [ZENG Lu，TIAN Bingwei and WANG Tun. The progress and international comparison of earthquake early warning service[J]. Journal of Catastrophology，2022，37(2)：138 - 144. doi：10. 3969/j. issn. 1000 - 811X. 2022. 02. 022.]

地震预警服务进展及其国际比较*

曾 露[1]，田兵伟[1]，王 暾[2,3,4]

（1. 四川大学 - 香港理工大学 灾后重建与管理学院，四川 成都 610207；2. 四川大学 水利水电学院，四川 成都 610065；3. 成都高新减灾技术研究所，四川 成都 610095；
4. 地震预警四川省重点实验室，四川 成都 610095）

摘 要：地震预警系统由预警技术系统和预警服务体系组成，是减少地震灾害造成人员伤亡和经济损失、增加社会稳定的一种有效方式，其中地震预警服务成为地震预警技术发挥作用的关键环节。该文基于地震预警服务的概念和基本内容，比较了全球主要的地震预警服务发展及应用情况，如中国、日本、墨西哥、美国等，综合分析了当前地震预警服务的不足，包括地震预警设备安装、信息内容、提示方式和科普教育，并提出了相应的对策建议。完善地震预警服务体系，有利于发挥地震预警作用，提高公众的应急避难能力，为提升我国地震预警服务能力提供一定的参考意义。

关键词：地震灾害；地震预警；预警服务；科普教育
中图分类号：P315. 75；X43；X915. 5 **文献标志码**：A **文章编号**：1000 - 811X(2022)02 - 0138 - 07
doi：10. 3969/j. issn. 1000 - 811X. 2022. 02. 022

2021 年 5 月 21 日 21：48，云南省大理州漾濞县发生 6. 4 级地震，中国大陆地震预警中心通过电视机、手机、大喇叭等多渠道提前 74 ~ 83 s 向昆明发出预警，提前 3 ~ 4 s 向大理市发出预警，有效减少了地震带来的人员伤亡和经济损失，加强了地震信息面向社会的公开透明度，实时预警内容及方式如图 1 所示。大约 4 h 后，22 日 02：04 青海果洛州玛多县发生 7. 4 级地震，但并未有地震预警系统覆盖该区域，因此未发出地震预警。

在地震预报技术尚未破解之前，地震预警是获得地震信息的最快手段，也是减轻地震灾害的有效方式。随着社会发展和预警技术成熟，地震预警及其服务应用日益引发社会公众的关注[1]。但地震预警系统能否成功实现地震灾害预警，有效减少灾害损失，不仅取决于预警技术的创新与发展，更取决于地震预警服务的可达性，包括①精准的地震预警信息形成，②预警信息能否有效传递，③受众是否进行过有效的灾前教育和预防演练等方面。

同时，由于地震预警技术本身存在地震预警盲区和漏报、误报，以及地震预警服务在科普教育和推广宣传方面相对滞后，地震预警服务体系仍然存在终端覆盖面小、公众认知度低、信息内容不明等问题[2]。本文基于地震预警服务的概念和基本内容，比较了当前全球地震预警系统建设较好国家的地震预警服务应用情况，通过对比分析，总结了目前地震预警服务存在的不足，并提出了相应的对策建议。

1 地震预警服务

1. 1 基本概念

地震预警最初是在 1868 年由美国 Cooper 博士针对旧金山大地震实况而提出，利用电波比地震波快、地震纵波比地震横波快的原理，即通过“跑赢地震波”，在破坏性地震发生时，抢在地震波传播到设防地区前，快速预测尚未传播开来的地震动大小、烈度分布、影响范围和影响程度，向设防地区提前几秒至数十秒发出警报，为人员避险、重大工程紧急制动争取有效时间[3-5]，具体过程概念图如图 2 所示。

* 收稿日期：2021 - 10 - 26 修回日期：2021 - 12 - 24
基金项目：中国科学院战略性先导科技专项(A 类)(XDA23090502)
第一作者简介：曾露(1996 -)，女，汉族，四川成都人，硕士研究生，主要从事灾后重建规划及校园安全研究. E - mail：811342120@ qq. com
通讯作者：田兵伟(1983 -)，男，汉族，甘肃天水人，博士，副教授，主要从事综合防灾减灾、灾害科普教育和校园安全研究. E - mail：bwtian@ scu. edu. cn



(a) 漾濞地震电脑端预警图　(b) 漾濞地震预警信息发布终端图　(c) 漾濞地震手机端预警图

图 1　地震预警内容及方式

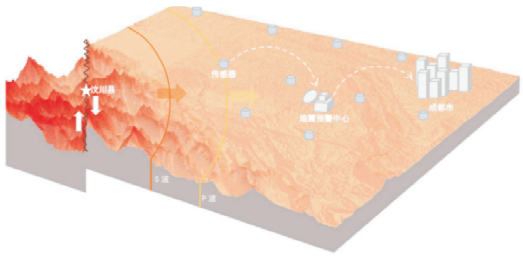


图 2　地震预警原理

地震预警服务是指根据预警系统监测和数据分析，由预警发布部门将地震事件信息发送至面向公众、工程、政府的信息发布和服务子系统，通过预警信息接收和服务系统的多种媒介，以声音、图示、文字等多种形式进行预警，预警服务对象据此采取应急避险措施，过程如图 3 所示。联合国国际减灾战略总结提出了地震预警有效性的四个关键要素：风险知识、监测和预警服务、分发和沟通信息、应急能力，后两者属于地震预警服务的主要内容[6]，完善地震预警服务对于实现地震预警作用具有必要性。地震紧急处置首先是为工程服务，例如高铁、燃气管线等的地震紧急处置服务，以免造成次生灾害；其次是为人员、尤其是人员密集场所的人员避险服务，以最大幅度减少人员伤亡[7]。

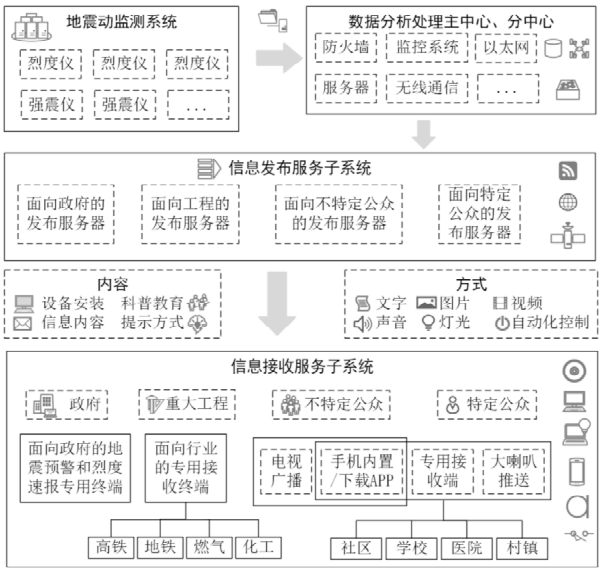


图 3　地震预警服务示意图

1.2　地震预警服务内容

1.2.1　地震预警系统安装

地震预警设备的安装与应用，是实现地震预警服务于公众的基本条件。地震预警服务应用到多行业、多领域，以学校、社区、地铁、重大工程及国家地震台网中心等为服务对象，设备主要分为地震动监测设备、数据分析设备、信息发布和接收设备，包括地震预警监测仪、专用接收终端、电视服务器、智能手机软件、重大工程地震预警专用接收终端等。影响地震预警设备安装与使用的主要因素包括价格、供应量、需求度、安装方式等，例如安装在承重墙上的建设、运行维护成本较低，安装在井下及在地面则需钻井或建房投入，建设成本高。

1.2.2　地震预警信息内容

地震预警信息传递及正确应急避险是实现震后减少人员伤亡的重要方法，面向公众的地震预警信息以声音、图示、灯光、文字四种警报形式为主，内容包括地震事件信息(震时、震中、震级、烈度…)和地震应对信息(倒计时、预估烈度、预估震感/晃动强度、预警指示灯及针对性语音避难指示…)等[8]，不同等级的地震烈度展现不同色彩的预警指示灯，提示不同的预警声音，公众根据预警声音和指示灯进行应急响应[9]。某些终端还具有个性化服务，具备地震预警演习与演示、预警记录查看与回访、广播测试、个性化预警科普等功能，主要内容见表 1 。

1.2.3　地震预警发布方式

地震预警发布方式与公众生命安全息息相关，如何通过自动或半自动方法，尽可能缩短地震发生到信息传播至用户的时间是发布地震预警的关键。地震预警信息由预警发布部门通过预警系统专用的接收终端和软件来对外发布，发布方式以地震预警内置到手机或电视操作系统、发送预警短信到手机、自行下载安装预警应用程序、大喇叭广播系统发布及通过新媒体平台(微博、微信、新闻网等)和邮件发送预警信息等方式为主，都应满足严格的地震预警信息服务标准(误报率、漏报率、响应时间、盲区半径、震级偏差等指标)。

表 1 地震预警服务

信息内容		信息形式	发布方式	科普教育
地震事件信息	震时、震中、震级、烈度…	文字：针对预警地的信息。 声音：不同音调或倒计时读秒间隔里不同提示音表示不同的地震影响程度。 图像：地震影响范围程度。 灯光：红橙黄蓝对应不同信息。	短信。 手机、电视专用程序。 手机、电视内置系统。 新媒体推送。 大喇叭广播。	新媒体投放、海报传单图示化宣传、讲座宣讲、地震预警演练、地震预警课程、科普讲解大赛、地震预警对策虚拟现实、地震预案编制…
地震应对信息	倒计时、预估烈度、预估震感/晃动强度、预警指示灯及针对性语音避难指示…			

1.2.4 地震预警科普教育

地震预警科普的目的是普及地震预警知识和掌握应急措施，使公众明白地震预警科学原理和内容方式，提升地震预警意识和应急避险能力。科普和演练作为提升地震预警实用性的重要手段，应注意内容全面性、方式普适性、人员专业性，以公众易理解、好接受、参与式的方式进行则效果更佳。地震预警科普教育内容包括地震预警原理、发展应用情况、预警内容、警报方式及正确的应急避难措施，常以图片、文字、视频和仿真模拟等形式，通过培训演练、资料发放、展板和报纸、电视、新媒体等方式进行推广宣传。

1.3 服务效益和效果分析

面向社会的地震预警服务具有社会效益和经济效益，在震时为社区、学校等人群高密地区，提供数秒至数十秒的逃生时间，同时实现地震信息的公开化、透明化，降低社会对地震恐慌和过激反应，发挥“大震减灾、小震定心”和“近场减灾、远场定心”的社会效益作用[10]。地铁、高铁、核电站、水电站等国家重大工程可及时采取紧急启动重大工程保护措施，城市的生命系统(供电、供水、供气等)接收到预警信息后能够自动控制开关，紧急制动。

2008 年汶川地震时，我国尚处于无地震预警技术体系、无地震预警监测网、无地震预警服务、无地震预警科普的“四无”境地，汶川地震时若有地震预警可减少人员死亡。地震预警作用的实现取决于公众对地震预警的认知、应对和措施是否恰当，地震预警的科普教育、宣传推广是成功实现地震预警服务的重要因素。据调查研究显示，能够接收到地震预警的公众仅有 50% 能及时做出正确反应，仍有许多公众会出现惊慌或采取不正确措施，其原因在于公众对地震预警的认知程度和应急能力不足，未能有效发挥地震预警的实际效益[11]。

2 各国地震预警服务发展及应用

面对地震灾害带来的严重伤害和破坏，在地震预报技术还未突破的情况下，各个国家尤其是多震国家越来越关注地震预警，积极研发、创新地震预警系统，将地震预警服务面向更多地震易发地区的公众和机构，在一定程度上能够减少地震造成的伤害和损失[12]，以下便对中国、日本、墨西哥、美国等国家的地震预警系统服务应用情况进行简要介绍。

2.1 中国

当前中国大陆共有两张采用不同技术体系的全国性地震预警网，一张是成都高新减灾所与应急管理部门在 2014 年研发建成的覆盖中国多震区域 90% 人口(约 6.6 亿)、覆盖 220×10^4 km^2 的 ICL 大陆地震预警网[13]；另一张是中国地震局正在研发，拟在 2023 年建成的由 1 个国家测震台网和 32 个省级测震台网组成的，覆盖全国的地震监测台网[14]。

2011 年成都高新减灾研究所发布了中国首条地震预警信息，标志着中国地震预警服务诞生。ICL 地震预警系统创新了地震预警监测技术体系，平均响应时间为 6 s，截至 2021 年 9 月，成功预警了 64 次造成了破坏的地震，包括九寨沟 7.0 级地震、长宁 6.0 级地震等[15]。在长宁 6.0 级地震预警中，成都共有 110 个社区实现“大喇叭”倒计时预警，实现了通过智能手机、广播电视、大喇叭、手机推送及接收服务器等同步秒级发布预警信息，使中国成为继墨西哥、日本后第三个具有地震预警技术能力的国家。2020 年 1 月 10 日，TCL 电视启用地震预警功能，同时高新减灾所“地震预警”应用程序已与华为、小米等国产手机接入，能提供全面的防震减灾科普资料和必要的应急避难知识；2021 年 6 月，中国首个手机地震监测预警网在成都上线启用，是面向更大地域范围和用户规模应用的重要里程碑。

2018 年 5 月中国地震局在福建省进行地震预警服务试点，并开展了形式多样的科普教育活动，至 2020 年 8 月，触发的地震事件 600 余个；中国地震预警网目前已在京津冀、福建、四川、云南等地开通地震预警示范服务，当地用户可通过预警终端、应用程序、电视机顶盒等方式获取地震预警信息[16]，但中国地震局预警服务尚不稳定，在 2020 年和 2021 年均出现误报现象，特别是 2021 年 10 月 5 日[17]和 13 日[18]出现两次 8 级以上地震误报。中国地震局推出“中国地震预警”应用程序，拟在 2023 年建成共计 15 000 个传感器的地震预警和烈度速报网，包括 1 987 个配置测震仪和强震仪的基准站、3 269 个配置强震仪的基本站以及 10 349个配置烈度仪的一般站、平均台间距约为 50 km的地震观测网络，并配置 1 个国家地震烈度速报与预警中心、1 个国家备份中心、1 个国家技术支持与保障中心、32 个省级中心、173 个市级发布中心以及 3 360 个服务终端[19]，建成后将为我国不同用户提供原地报警、警戒性地震预警、地震烈度速报等信息服务。目前，我国地震预警发布及服务体系尚无国家统一标准，仅有部分省市出台了地震预警相关的地方政府规章，例如《云南省地震预警管理办法》[20]等。

2.2 日本

作为地震多发国，日本具有一套完善的地震预警体系，20 世纪 60 年代开始设计并运用于铁路地震预警，是第一个实现地震预警的国家。在 1982 年开始运用早期地震监测(UrEDAS)地震预警系统[21]，2001 年构建了具有 1 000 个地震监测仪、覆盖日本全境的紧急地震速报系统，通过发放传单、张贴海报、活动日等方式向公众介绍地震预警的目标作用、基本内容及地震预警时的应急措施等，在 2011 年日本关东大地震中发挥了重要作用[22]。紧急地震速报

系统分为“紧急地震速报(予报)”和“紧急地震速报(警报)”两种，发布时间分别为 3 s 和 10 s，发报条件分别为推计震度 3 以上和震度 5 弱以上，发布方式包括移动终端、应用程序及预警专用端等。公众可在手机、电视上设置是否接受地震警报信息，但只能告知震源地址及其周边可能被强烈影响的地区名，缺乏针对性的地震预警信息，同时手机端地震预警缺少倒计时功能、不显示预警烈度，存在延迟现象。日本地震预警系统信息发布途径多样，据统计目前超过 2 100 万人可以通过他们的手机接收到地震预警信息，日本的三大电信运营商 NTT Docomo、Softbank 和 au 都能够提供紧急地震速报业务。自 2007 年起，日本境内生产的手机都需内置警讯速报功能，日本还有“Yurekuru Call”(鲶鱼)、Yahoo! 防灾速报等应用程序，“家庭地震仪”计划也能够提供当地预警信息，以学校应用为主。但日本地震预警出现过多次误报、漏报现象，例如在 2020 年 7 月 30 日，误报东京 500 km 以外的千叶县南部海域发生 7.3 级地震，造成出行困难及经济损失等问题。日本已建立地震预警法律体系，例如《气象业务法》规定了地震警报的使用名称、信息发布任务、发布内容和条件等，要求日本气象厅紧急地震速报发布的内容包括地震发生时间、震源的初步判断、地震地点等[23]。2021 年 2 月 13 日福岛东部海域发生了 7.3 级地震，日本气象局通过电视、短信、新闻推送等方式发布了地震预警信息和提示音，为公众提供了数 10 s 的响应时间。

2.3　墨西哥

当前墨西哥运用的是由墨西哥仪器和地震登记中心研发的 SASMEX 地震预警系统[24]，自 1991 年开始运行，由 SAS 系统和 SASO 系统在 2012 年组合而成[25]，是世界上第一个面向公众的地震预警系统。SASMEX 系统拥有 97 个传感器(截止 2018 年)[26]，震级范围为 4.0 ~ 8.2 级，覆盖范围广阔，应用城市包括墨西哥城、普埃布拉、阿卡普尔科、奇尔潘辛戈、莫雷利亚等，超过 2 500 万人受益，能够提供数 10 s 宝贵的逃生时间，在其运行的 29 a 内仅发布过一次错误警报。墨西哥使用世界上最快算法发送地震警报，2019 年广播、电视、专用接收机等部分广播系统的告警时间缩短了 1.2 s，截止 2021 年 5 月，已检测到超过9 780 次地震[27]。据墨西哥现有地震预警规定，预警设备必须满足一定的技术标准，保证在震时发出警报，同时要求所有重要建筑物上都需安装地震预警设备，包括医院、学校、写字楼等。地震预警的启动取决于地震的估计震级和震中距，若地震发生在非 SASMEX 系统覆盖区域，或地震能量估计值未超过既定震级水平时，则不会发出警报[28]。墨西哥城地震警报的发布阈值设置较困难，因为墨西哥城位于软质泥岩区域的公众要比较高地区感受到的地震动更强烈，公众感受到的地震动可能与实际有差，所以公众更信任地震预警。自 1993 年以来，地震警报通过广播电视台播送地震公共警报、“CellBroadcast”手机内置地震预警技术、CIRES 开发的 SASPER 专用无线电接收器、EAS - SAME 警报接收器系统、无线电接收器系统、12 000个杆状扬声器、公共扬声器系统等进行服务，所有警报开关都由 SASMEX 独立操作控制开关，后期主要通过传真、邮件、网页等进行预警服务。SASMEX 警报声音是一段警笛声音，它力求独特且与紧急情况下使用的其他声音无异，持续时间为一分钟。另墨西哥城具有加速网络 RACM，该网络通过其 80 个站点生成大量数据，形成地震信息交互式地图，提供可抗震信息，可免费查阅 1989 年至今登记的传感器和地震信息[27]。

2.4　美国

美国是地震预警概念提出者，其在 1989 年将 ElarmS 系统投入使用，以美国南加州 Trinet 台网为基础，可提供 20 s 左右的预警时间，每 1 s 都会更新对震级、地震动的估计结果，实时提供地震动分布“警报图”等地震信息，还研发了 ShakeAlert、VirtualSeismologist 地震预警技术[29]。美国地质勘探局建立了覆盖全国的地震台网，即由城市台网、区域台网和骨干站点组成国家地震监测系统(ANSS)，通过国家强震项目开展数据搜集，并将预警信息发送至公众、新闻平台及政府等，2019 年 1 月开始在洛杉矶推出手机地震预警软件服务，同年 10 月预警服务延伸至加州。ShakeAlert 地震预警系统，主要服务于地震危险性较高的美国西海岸地区，按地区向政府机构和私人用户发布警报信息，提供地震预警警报服务和相关标准性参数[30]，在震动到来之前提供长达数 10 s 的预警。2019 年 10 月，ShakeAlert 系统在加利福尼亚州全州范围进行公共警报测试，通过两种方法提供地震预警服务，第一种是通过无线紧急警报 WEA 消息系统，兼容智能手机、平板电脑或其他移动设备，由联邦紧急事务管理局（FEMA）的综合公共警报和警告系统（IPAWS）发送。第二种是 2019 年 10 月加州推出的 MyShake 智能手机地震预警应用程序，能利用手机应用程序或内置加速传感器进行地震预警，成本较低[31]。目前该系统正与大规模警报系统运营商合作，包括 FEMA、运营商、大规模推送公司等，旨在提供更广泛的公共性地震预警警报，并制定了全面的预警教育和培训计划。在法律法规上，《美国法典》第 42 大项第 86 章规定了地震预警发布内容包括：可能的时间、地点、情况描述、逃生避险指示、就近避险场所指示等[23]。2021 年 5 月 4 日起，ShakeAlert 为地处地震高危险性的太平洋西北地区提供地震预警，超过 5 000 万人将享用地震预警服务。

2.5　对比分析

从表 2 中对比分析来看，在地震预警技术上，中国的 ICL 系统创新了地震预警监测技术体系，以技术创新为核心解决精准判定地震、快速准确测算预警震级和烈度、预警监测网投资严重不足、面向亿级公众秒级传播等难题，从无到有形成了精准的智能化地震预警与烈度速报技术体系，实现了中国地震预警从 0 到 1 的突破。同时日本、美国、墨西哥作为世界上地震预警技术较强的国家不断提升预警准确性和覆盖范围，减少系统响应时间，预警信息内容更加详实。从应用上看，日本是地震预警服务范围最广、应用规模最广的国家之一，不仅预警系统发展早，且在实践中良好地发挥了作用，所有重要建筑物上都需安装地震预警设备，其他国家还需增加地震预警服务公众覆盖面，全面运用于重大工程或人群密集区。当前日本的地震预警法规或标准最为完善，《灾害对策基本法》《大地震对策特别措施法》和《气象业务法》中都有关于地震预警的规定[23]，墨西哥和美国已确定地震预警的部分标准和相关法规，而中国缺乏国家地震预警标准和法规，仅有部分省市出台了相关的地方政府规章。

表 2 各国地震预警服务对比

		中国	日本	墨西哥	美国
技术	主要系统	中国地震局预警系统；ICL 预警系统	紧急地震速报系统	SASMEX 地震预警系统	ShakeAlert 地震预警系统
	响应时间	ICL 预警系统 6.2 s	RIES 预警系统 5 s	SASMEX 预警系统 10 s	ShakeAlert 预警系统 10 s
	盲区半径	21 km	30 km	/	/
	预警内容	针对地区的地震信息	全国统一的地震信息	不含烈度信息	不含烈度信息
	预警方式	地震预警内置到手机/电视操作系统；移动端应用程序；大喇叭广播系统接收…	短信，不含倒计时；移动端应用程序；电视预警信息无预警烈度和预警时间；小区广播…	用户自行下载移动端应用程序；公共扬声器…	自行下载移动端应用程序；大喇叭系统接收…
	技术方法	现地法预警 + 异地法预警	异地法地震预警	异地法地震预警	异地法地震预警
应用	应用规模	检测仪 6 300 个，覆盖 220×10^4 km^2、6.6 亿人口	检测仪 1 600 多个，覆盖 37.7×10^4 km^2、1.26 亿人	150 个传感器，覆盖震区 2 500 万人	1 500 个传感器，集中在加州
	设备成本	强震仪成本较低，价格 1 万元	强震仪价格 10 万元左右	强震仪价格 10 万元左右	强震仪价格 10 万元左右
	安装方式	地震预警传感器多安装在承重墙、地面、井下及观测房	地震预警传感器多安装在承重墙、地面、井下及观测房	地震预警传感器较多安装在地面、井下	地震预警传感器较多安装在井下
	重大工程	四川石化、成都地铁等已应用	全国所有学校均应用地震预警	所有重要建筑物上都需安装地震预警设备	旧金山湾区捷运系统、全球广播公司已应用
	科普教育	科普方式较传统，内容较晦涩难懂；形式上缺乏互动性	全民熟悉地震预警后应急措施；科普培训开展时间早	相信地震预警的作用	科普教育开展较早；多震区应用人数多
标准	预警标准	部分省市有地方预警标准，如成都市，国家标准有待完善	地震预警标准体系完善	墨西哥城现行条例有规定	2006 年制定了 ShakeAlert 标准
	预警法规	部分省市出台了地方预警规章，如云南省、甘肃省等	地震预警法规完善，如《气象业务法》	无地震预警正式专项法规	《美国法典》规定预警发布内容

3 全球地震预警服务现状及提升策略探究

3.1 地震预警服务现状

3.1.1 地震预警设备分布不均，终端安装数量少

当前提供地震预警服务的国家较少，主要原因有：强震监测的加速度传感器价格较高，台网建设较慢，预警工程建设和维护成本较高，多震地区布设以太网、光纤的难度较高，井下安装或专用观测安装也增加了费用等。此外，地震预警传感器较多，移动或维修后的传感器若被设定错误的经纬度，则可能导致地震预警存在误差或失误；加之国家地震预警网面临传感器造价高、监测站需单独隔离房等问题，限制了大规模地震预警监测系统的建设。

3.1.2 地震预警信息内容不足，提示信息未分级

图文信息的地震预警方式在出现通讯中断时用户难以及时接收，预警指示灯和警报提示音大多未进行分级分类，实际应用中缺乏有效性和真实性；在预警服务信息内容上，电视地震预警有效信息不足，缺乏针对性预警信息和国际标准；运用于各行业和重大工程的地震预警，缺少针对性的预警信息、方式和应急措施指示。现有地震预警终端较多尚无设置接收预警信息的震级和烈度阈值的功能，容易出现一旦有地震，便会马上发送预警信息给用户的现象，增加了社会恐慌和通信费用。

3.1.3 地震预警发布方式传统，接收用户覆盖低

地震预警信息发布主要通过终端或通信媒介等，但民众难以主动下载地震预警应用程序，预警信息秒级精准传递到风险区用户仍是重要难题，存在信息堵塞、无渠道及覆盖范围不足等问题。同时，我国预警相关法律滞后，无法规要求电视、手机厂家内置预警功能到手机、电视，当前全球较多地震预警服务缺乏法律制度支撑，信息发布缺乏国际标准，发布主体尚不明确。预警信息还可能引发社会恐慌和过激反应、避险不当，如何合理运用预警信息、启动应急响应也具有一定难度[32]。

3.1.4　地震预警科普教育缺位，公众预警认知低

社会公众接受的地震预警科普教育和培训演练普遍较少，仍难以区分地震预报和地震预警，对于地震预警信息仅有一定程度了解[11]。科普教育多以地震预警系统原理和相关部门工作内容进行展示宣传，过于专业晦涩、枯燥无趣，缺少地震预警内容和避难操作培训；在科普教育形式上，多采用散发资料传单、展板宣传和人员讲解等传统方式，通过报纸、电视、广播等传统媒介进行推广普及，形式单调统一；科普工作者缺乏扎实理论基础，缺乏科学性和专业性。

3.2　提升地震预警服务对策建议

3.2.1　以有效预警为目标，降低设备安装成本，增加地震预警终端数量

具有边缘计算能力的 MEMS 预警型强震仪，价格降至不足 1 万元(台)，能普遍满足用户需求，增加了地震仪应用数量和分布密度。地震预警传感器可安装在距离地面高度小于 30 cm 内的墙上，无需建设井下或专门的观测房，减少对日常生活的干扰。从技术手段保障地震预警监测仪的位置变动后能够被地震预警网识别，提升系统经纬度的准确性，实现在台站处分析地震波形信息，仅在震时向中心传送地震波的特征信息，减少经济投入和维护费用，有利于地震预警系统更多更好地服务于公众。

3.2.2　以精准预警为目标，完善地震预警信息内容，提供针对性预警信息

针对不同的服务对象，发布针对性的预警信息和避难措施指示，服务终端设置接收预警信息的烈度和震级阈值，将小于阈值的地震信息记录在预警终端历史中以便查看，对大于阈值的地震，立即发出地震预警信息并进行相应等级(红橙黄蓝)的预警提示[33]。地震预警信息应结合声音、图示、灯光、文字等形式，通过声音或震动提示用户地震预估烈度和倒计时间，读秒间隔里增加提示音，通过提示音的次数变化、音强及音高变化的不同组合方式，向服务对象提示针对预警服务区域的烈度信息和应对措施。

3.2.3　以全民预警为目标，改善地震预警发布方式，扩大预警应用范围

通过法律确定预警信息发布主体和程序，明确责任与义务，树立地震预警信息的权威，降低震后社会恐慌风险。优化地震预警信息发布架构技术，使广播、电视、手机等的地震预警终端进行网络长连接保持，实现地震预警信息传递渠道可秒级触达数亿用户；同时，将地震预警内置到电视、手机的操作系统中，通过统一协议规范发布地震预警信息，减少第三方应用程序服务。持续推进利用手机传感器的地震监测预警技术创新，一方面利用手机数量多的优势，提升预警网的覆盖面和精准度，利于逐步消除预警盲区；另一方面由于建设和运维成本低，无需地震预警监测仪，有助于扩大地震预警服务覆盖范围。

3.2.4　以应用预警为目标，加强地震预警科普教育，发挥预警实际效益

将地震预警原理及避难措施进行图示化科普，进行可操作的预警应急演练，使科普更具针对性、普适性和通俗化，让公众认识地震预报与地震预警的区别，科学理解地震预警存在的不足，完全熟悉地震预警不同的信息内容和提示方式所代表的意义。形式上，以基层社区更易接受的传统方式为主，与新媒体结合开展科普教育互动活动，在学校、社区等地，采用“互联网 +”来科普、推广地震预警。提升地震预警科普教育专业人员的技能和指导能力，进行有效的科普教育，并抓住良好时机加大宣传频次，例如震后热门时间对公众进行有效的地震预警科普教育[34]。

4　总结与展望

在目前还无法准确预报地震的情况下，地震预警是防震减灾的重要方法，地震预警服务是实现地震预警系统防震减灾效益的最终环节，完善地震预警服务体系具有紧迫性和必要性。地震预警服务体系主要包括设备安装、信息内容、发布方式、科普培训等方面，能够向公众提供宝贵的响应时间，减少社会惶恐程度，提高个人应急避险能力，为政府及防震减灾部门快速提供决策依据，加强国家应急管理能力等，具有良好的社会效益和经济效益。当前国内外地震预警系统建设及应用已取得较快发展，结合地震预警实际运用情况，概括了当前地震预警服务各方面存在的不足，例如地震仪成本高，应用数量较少；预警信息内容不完善，提示方式未分级；预警发布方式传统，接收信息用户少等问题。并提出相应解决策略，创新技术降低成本，提高运用率；详化预警信息内容，进行针对性提示；更新发布方式，扩大预警应用范围，实现地震预警服务的真正意义。

如何完善地震预警服务体系，如何建立覆盖大多数人口的地震预警服务系统，如何将翔实、充足的地震预警信息内容以秒级速度更有效、更精准地传递给用户，是建设发展地震预警系统中急需解决的问题。地震不可避免，但相信在公众、行业用户、科研机构和政府的共同努力下，地震预警服务系统将不断得到完善，更好地发挥地震预警系统作用，减少地震带来的损失。

参考文献：

[1] CREMEN G, GALASSO C. Earthquake early warning: Recent advances and perspectives[J]. Earth - Science Reviews, 2020, 205: 1 - 2.

[2] 李佳威，吴忠良. 地震预警系统的“盲区”控制问题——以首都圈地震预警原型系统为例[J]. 中国地震，2016，32(4)：584 - 594.

[3] 杜航，王俊，江昊琳，等. 中国地震预警延迟时间算法及其对预警盲区的影响研究[J]. 中国地震，2021，37(1)：216 - 226.

[4] 赵纪东，张志强. 地震预警系统的发展、应用及启示[J]. 地质通报，2009，28(4)：456 - 462.

[5] 袁志祥，单修政，徐世芳，等. 地震预警技术综述[J]. 自然灾害学报，2007(6)：216 - 223.

[6] UN - ISDR/Platform for the Promotion of Early Warning. Four Elements of People Centered Early Warning Systems[EB/OL]. (2007 - 02 - 15)[2021 - 6 - 30]. http://www.Risk.institute.org/NR/rdonlyres/A4774DF2 - 729B - 4E7F - 9D7B - 9E D579853F67/0/PERI - Symposium - UN ISDR.

[7] 王暾，龚宇，顾建华，等. 建立地震预警、地震报警和烈度速报综合系统的思考[J]. 国际地震动态，2011(9)：24 - 29.

[8] 袁洁，石文兵，潘章容，等. 地震预警的社会影响及应对策略研究[J]. 甘肃科技，2019，35(21)：45 - 47，133.

[9] 陈旭，张力文. 地震预警信息发布体系与应对策略研究[J]. 电子科技大学学报(社科版)，2014，16(1)：6－10.
[10] 郭凯，温瑞智，杨大克，等. 地震预警系统的效能评估和社会效益分析[J]. 地震学报，2016，38(1)：146－154，158.
[11] 王林，黄宏生. 面向行业用户的地震预警信息发布策略研究[J]. 灾害学，2014，29(4)：159－162.
[12] ALLEN R M，GASPARINI P，KAMIGAICHI O，et al. The Status of Earthquake Early Warning around the World：An Introductory Overview[J]. Seismological Research Letters，2009，80(5)：682－693.
[13] 田兵伟. 成都与南亚国际减灾与应急管理合作研究——基于韧性"一带一路"视角[J]. 中共成都市委党校学报，2021(6)：89－96.
[14] 王暾，林鸿潮. 多地震预警网的必要性、可行性及应用方案[J]. 中国应急管理科学，2020(2)：56－61.
[15] 成都高新减灾研究所. 成都高新减灾研究所简介[EB/OL]. (2021－09－16)[2021－12－19]. http：//www.365icl.com/view.asp? PID=112.
[16] 中国地震局. 中国地震预警网示范运行[EB/OL]. (2021－07－28)[2021－12－21]. https：//www.cea.gov.cn/cea/xwzx/zyzt/5599030/5599037/5601647/index.html.
[17] 四川省地震局. 四川省地震局关于更正地震预警信息误报的公告[EB/OL]. (2021－10－05)[2021－12－22]. https：//m.weibo.cn/3323927000/4689067076223221.
[18] 四川观察. 专家：应减少由地震预警误报导致的不必要的社会风险[EB/OL]. (2021－10－13)[2021－12－22]. https：//xw.qq.com/cmsid/20211013A0EFJJ00? pgv_ ref=baidutw.
[19] 中国地震局. 关于2023年全国形成地震预警能力[EB/OL]. (2019－09－23)[2021－6－30]. https：//www.cea.gov.cn/cea/jlhd/365809/5497010/index.html.
[20] 中国地震局公共服务司. 云南省地震预警管理规定[EB/OL]. (2021－11－16)[2021－12－23]. https：//www.cea.gov.cn/cea/zwgk/zcfg/369266/5614369/index.html.
[21] NAKAMURA Y. UrEDAS，Urgent earthquake detection and alarm system，now and future[C]. 13th world conference on earthquake engineering，Vancouver，B. C，Canada，Page No. 908，2004.
[22] 王俊，刘红桂，周昱辰. 地震预警技术的应用与展望[J]. 防灾减灾工程学报，2021，41(4)：874－882.
[23] 中国地震局. 全国政协委员李小军、刘春平建议：建地震预警管理法律制度[EB/OL]. (2019－03－13)[2021－12－21]. https：//www.cea.gov.cn/cea/xwzx/fzjzyw/5463509/index.html.
[24] Suárez G，Novelo D，Mansilla E. Performance evaluation of the seismic alert system(SAS) in Mexico City：A seismological and a social perspective[J]. Seismological Research Letters，2009，80(5)：707－716.
[25] ARAMANDO C，GERARDO S，ESPINOSA－ARANDA J M. An Earthquake Early Warning Algorithm Based on the P－Wave Energy Released in the tS－tP Interval. Bulletin of the Seismological Society of America，2018，108(1)：238－247.
[26] 赵晏. 一个专用地震预警网络：墨西哥地震预警系统(SASMEX)[J]. 世界地震译丛，2018，49(6)：554－565.
[27] 墨西哥仪器和地震记录中心. 墨西哥地震预警发展历程[EB/OL]. (2021－1－15)[2021－07－02]. http：//www.cires.org.mx/index.php.
[28] SANTOS－REYES J. How useful are earthquake early warnings? The case of the 2017 earthquakes in Mexico city[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction，2019，40：120－134.
[29] WURMAN G，ALLEN R M，LOMBARD P. Toward earthquake early warning in northern California[J]. Journal of Geophysical Research，2007，112(B8)：1－2.
[30] 刘赫奕，宋晋东，李山有. ShakeAlert：美国西海岸地震预警系统发展[J]. 地震工程与工程振动，2020，40(6)：61－70.
[31] MCBRIDE S，BOSTROM A，SUTTON J，et al. Developing post－alert messaging for ShakeAlert，the earthquake early warning system for the west coast of the United States of America[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction，2020，101713：1－2.
[32] 殷海涛，刘希强，李杰，等. 现今地震预警技术及其在国内发展状况的探讨[J]. 中国地震，2012，28(1)：1－9.
[33] 王暾，一种基于手机的地震预警信息展示方法：201310162804.7[P]. 2016－05－18.
[34] 江宁，郭进波，肖健，等. 地震预警科普宣传策略探究——基于传播学的视角[J]. 传媒论坛，2020，3(12)：67－68.

The Progress and International Comparison of Earthquake Early Warning Service

ZENG Lu[1]，TIAN Bingwei[1] and WANG Tun[2,3,4]

(1. *Institute of Disaster Management and Reconstruction*，*Sichuan University－The Hong Kong Polytechnic University*，*Chengdu* 610207，*China*；2. *College of Water Resource&Hydropower*，*Sichuan University*，*Chengdu* 610065，*China*；3. *Institute of Care－life*，*Chengdu* 610095，*China*；4. *Sichuan Key Laboratory of Earthquake Early Warning*，*Chengdu* 610095，*China*)

Abstract：The earthquake early warning system consists of early warning technology system and early warning service system，which is an effective way of reducing casualties and economic losses caused by earthquake disasters and increasing social stability，and earthquake early warning service has become a key link in the function of earthquake early warning technology. Based on the concept and basic content of earthquake early warning service，the paper compares development and application of major earthquake early warning services worldwide，such as China，Japan，Mexico，USA，etc.，and comprehensively analyzes the disadvantages of earthquake early warning service，including the installation of earthquake early warning equipment，information content，hint method and popular science education，and puts forward corresponding strategies and suggestions. Improving the earthquake early warning service system is beneficial to exert the role of earthquake early warning and increase the public emergency shelter capacity，to provide some reference significance for the perfection of earthquake early warning service in China.

Key words：earthquake disaster；earthquake early warning；early warning services；popular science education