

韩渭宾, 徐华全. 地震预警的特殊性与弱点及对策讨论[J]. 华南地震, 2015, 35(1): 1-5. [HAN Weibin, XU Huaquan. Particularity and Weakness of Earthquake Early Warning and Discussion for Countermeasure[J]. South china journal of seismology, 2015, 35(1): 1-5.]

地震预警的特殊性与弱点及对策讨论

韩渭宾¹, 徐华全²

(1. 四川省地震局, 成都 610041; 2. 成都市防震减灾局, 成都 610042)

摘要: 分析了地震预警的特殊性、两个不可完全克服的弱点以及目前在地震瞬间选择适用地震动衰减关系的难点, 并从台网建设与预警发布、预警强度阈值、避险方法和科普宣传等方面探讨了对策。

关键词: 地震预警; 预警盲区; 预警强度阈值; 预警对策

中图分类号: P315.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2015) 01-0001-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2015.01.001

Particularity and Weakness of Earthquake Early Warning and Discussion for Countermeasure

HAN Weibin¹, XU Huaquan²

(1. *Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610042, China*; 2. *Earthquake Prevention and Disaster Reduction Bureau of Chengdu city, Chengdu 610042, China*)

Abstract: This paper analyzed the particularity of earthquake early warning and its two weakness which cannot be surmounted and difficulty of selecting applicable attenuation law of ground motion in a few seconds, meanwhile the paper discussed the countermeasure for seismological network building and information releasing, alarm threshold, method of taking refuge and science popularization.

Keywords: Earthquake early warning; Early warning blind zone; The eshold intensity for early warning; Early warning counter measure

0 引言

早在1868年就有美国学者 Cooper 提出了建设地震预警技术系统的设想, 美国、日本、墨西哥、土耳其等国、欧盟、以及我国台湾等地区都在探索和研发地震预警技术。但直到最近 20 来年才在墨西哥、日本等国逐步建成面向公众, 并取得一

定程度减灾实效。

2011 年日本“3·11”9.0 级地震后, 日本气象厅通过手机短信、电视和电台等方式, 向宫城、岩手、福岛诸县的公众提前 8~25 s 发布了地震预警信息, 以及由于地震预警, 东北新干线上高速列车及时减速制动, 仙台市内的燃气管线及时停止供气, 避免了严重的次生灾害的报道, 引起了

收稿日期: 2014-11-15

基金项目: 国家科技支撑计划专项“地震预警技术实用化与示范应用”所属课题“地震预警信息示范应用”(2014BAK03B05)

作者简介: 韩渭宾(1941-), 男, 研究员, 主要从事地震活动性与地震预报研究、防震减灾科技管理与科普。

E-mail: hwb200205@163.com.

刚刚经历汶川地震灾难的中国人的广泛关注。我国地震部门在“十五”期间已着手安排地震预警技术的前期探索,“十二五”期间努力筹划建设全国性地震预警技术系统的立项。近年,四川有民营科研机构与成都等市县防震减灾部门合作,积极推进地震预警技术系统建设,取得了显著进展。可是,地震预警技术还有一些弱点和困难,我国面临内陆地震的威胁,拟向公众发布的地震预警面临的困难可能更多。客观分析地震预警技术系统弱点的性质,可能遇到的困难和风险,探讨怎样更好地发挥预警系统功效,最大程度减小风险的对策是很有意义的。

1 地震预警的特殊性

预警通常是指某种灾害或突发事件发生前,根据这种灾害或突发事件发生的规律或观测到的前兆,向公众或特定的人群发出危险即将来临的紧急信息,以便及时采取避险措施。例如,天气预报节目里常看到的不同级别的暴雨预警、高温预警、雾霾预警、地质灾害预警等。这些预警本质上都是是一种预报。实际上,大约在2004年及稍后一段时间里,我国地震部门也曾经讨论过地震预报的分级制度,考虑过不同级别的预报应采用的地震预警对策^[1-3]。这里说的预警也是与预报联系在一起的。

不过,目前正在推动的地震预警技术系统建设中说的地震预警,与根据地震活动规律和前兆在强震发生前做出的地震预报不同。强震发生后,利用离震中最近1个或几个台站记录的初始几秒地震P波资料快速测定地震参数后,应用传播速度极高(30×10^4 km/s)的视频、广播、手机等现代信息传播手段向可能造成灾害的地震横波(S波)尚未到达的地区发出强烈地震波(即地震灾害)即将到达的预警信息,以便让那里的人们能在灾害来临之前采取必要的避险措施。

这样的原理决定了地震预警收集、处理资料 and 发布预警信息都必须在强震发生后通常只有几秒到十来秒钟的极短的时间里完成。这样的要求和做法导致后面即将要讨论的,地震预警必然存在一些无法完全克服的弱点和一时难以解决的困难。

2 地震预警两个无法完全克服的弱点

2.1 在内陆地震最需要预警的震中附近存在来不及预警的盲区

假设地震预警技术系统收集、处理近台地震

波资料并得到预警信息需要的最短时间为 Δt ,那么,在S波于 Δt 时间里传播的最远距离以内的人们不可能在S波到达之前得到地震预警信息。这个区域就是得不到地震预警信息的盲区,其半径可按 $V_s \times \Delta t$ 估算,此处 V_s 为S波传播速度。从已有报道看,平均台间距20 km左右的预警台网的预警盲区一般不小于20~30 km。

来不及预警的盲区还要更大一些,因为,人们得到预警信息后,采取必要的避险措施还需要一定时间。假设人们采取必要避震措施的最短时间为 $\Delta t'$,则来不及采取避险措施的预警盲区半径应为S波在 $\Delta t + \Delta t'$ 时间里传播的距离。它比得不到预警信息的盲区的半径还要大 $V_s \Delta t'$ 。

2.2 大地震预警震级偏低

地震预警必须在几秒到十来秒钟之内测定震级,就不可能使用传统测定震级的方法,因为传统方法往往需要测定S波或随后的面波的最大振幅和周期,地震预警允许的短暂时间里这些类型的地震波尚未到达最近的几个台站,或者由于距离太近而不会出现。现在地震预警研究^[4-6]都是从地震记录最初几秒的地震波中寻找其他与震级大小相关的观测测量,如初始阶段的优势周期 T_p 、初动上升时间 t_r 、P波几秒内最大位移值 P_d 等。虽然有理论和模型研究表明,地震破裂初始阶段的优势周期 T_p 与地震最终大小即震级成正比,而 T_p 与初动上升时间 t_r 有联系,为地震预警用最初几秒地震波资料测定震级提供了理论根据,但这些理论在学术界还有争议,不少学者质疑从震源初始破裂几秒钟发出的地震波提取的关于整个震源的信息会不会因为后续破裂发生变化而改变,更重要的是,在国内外预警试验和实践中所测定的强震震级也确实往往偏低,而且,往往震级越高,偏低越严重。例如,2011年日本“3.11”9.0级大地震发生后,日本地震预警技术系统自动产出的第一报预警信息的震级只有4.3级,气象厅通过手机短信、电视和电台等方式向公众发布的,有较好效果的预警信息是预警技术系统自动产出的第4报信息,给出的震级也仅7.2级,还是比最终震级9.0明显偏低^[7]。

显然,地震预警的这两个弱点是由它的原理与方法所决定的,无法完全克服。加密台网,震中附近有更近的台站,可能缩短 Δt ,从而会缩小预警盲区。但是,无限缩小预警盲区是不可能的。美国在加州建设了研究性地震预警系统,开展了预警盲区半径与反映台网密度的平均台间距关系

的研究,发现^[8],当平均台间距从 100 km 缩小到 10 多 km,盲区迅速缩小;当平均台间距从 10 多 km 继续缩小,盲区半径几乎不再缩小。另外,建设过密台网的成本也太高,而且记录的地震波时间越短,震级偏低的问题就会越严重。反之,用稍长一点时间的地震波记录测定震级,震级偏低的问题会得到一定程度的改善,但盲区又会扩大,给远处城镇留下的预警时间也会更短。这两者相互制约,使得这两个弱点部分的改善还受到限制。

3 地震瞬间选取适用地震动衰减关系也是一个有难度的重要问题

地震预警技术系统快速测定地震三要素后,要对盲区外某城镇发布预警强度信息,必须选取适当的地震动衰减关系。尽管对于地震动衰减关系已有不少理论和统计研究,但由于影响地震动衰减关系的因素很多,在强震发生后几秒钟内选取适当的地震动衰减关系还是很困难的。汶川 8.0 级地震后,笔者^[9]曾以川滇地区为主,收集全国不同震级的强震等震线进行对比发现,强震等震线极震区的长宽比不仅具有地区性,例如,川滇及我国西部地区发生在活动块体边界大型活动断裂带上的大地震,如汶川 8.0 级、炉霍 7.6 级、通海 7.7 级、海源 8.6 级和富蕴 8.0 级等地震的等震线都很狭长,极震区长宽比往往高达 7:1 或更高,而华北的强震,如唐山 7.8 级、邢台 7.2 级、海城 7.3 级等强震等震线的长宽比只有 2 点几比 1;而且在同一地区里,也会因构造或其他条件不同有所不同。例如,同在川滇地区,发生在活动块体内次级断裂带上的强震的等震线的长宽比也显著低于上述边界大断裂的强震等震线的长宽比,大多为 3 点几或 2 点几比 1。实际上,同一条活动断裂带上的强震等震线也会有明显差异。例如,断层错动属盲冲型的 2013 年芦山 7.0 级地震的等震线就不像同在龙门山断裂带的 2008 年汶川 8.0 级地震的等震线那么狭长,极震区长宽比只有 2.1:1。至于某些强震的发震断裂是震中所在主要断裂带的次级断裂,如 1989 年四川巴塘 6.7 级地震和 2014 年云南鲁甸 6.5 级地震,它们的等震线长轴方向与主要断裂带走向不一致,在地震刚发生的短暂时间里选择的等震线有可能连长、短轴方向都会搞错。

虽然汶川 8.0 级地震与炉霍 7.6 级地震、通海 7.7 级地震的等震线形状很相似,但破裂过程差别很大。汶川 8.0 级地震为单侧破裂,另两个地震接

近双侧破裂。从汶川地震的微观震中朝北东方向与朝南东方向的衰减快慢差别非常大,而从炉霍地震与通海地震的微观震中沿发震断裂朝两头衰减快慢差别不大。这样,不仅要选用形状相似的等震线,还要根据破裂过程,放对位置。

面对这么复杂的地震动衰减关系,仅仅依据震前准备的活动断裂带分布图等地震地质知识和分区统计的地震动衰减关系,还是很难在短短几秒中之内,很有把握地选好适用的地震动衰减关系。如果能及时得到震源机制、震源破裂过程和余震分布图,对于这个问题的解决会有很大帮助。问题是,几秒钟内得到能反映发震断裂方向的余震分布图是不可能的;快速得到可信的震源机制解和震源破裂过程结果的方法正在研究,目前还做不到仅仅根据最初几秒钟地震波记录获取可信的震源机制解和破裂过程成果。

因此,目前地震预警选用一定范围内统计的,即使按地区和断裂带统计的地震动衰减关系,还是会有一定误差,有时候这种误差可能会较大。对于预警强度的精度的估计不能过于乐观。

4 国际上两次成功预警的特殊环境

到目前为止,国际上发布地震预警最成功的两个震例是:1995 年 9 月 14 日墨西哥格雷罗 7.3 级地震与 2011 年 3 月 11 日日本东北 9.0 级地震。墨西哥的地震预警系统将地震台密集布设在格雷罗强震多发区,专为 350 多公里外的墨西哥市提供预警信息服务。日本“3.11”9.0 级地震的震中离海岸至少有 125 km。因此,这两次地震预警的盲区在海洋里,不会有伤亡,预警盲区的问题就不会引人注意。另外,日本由于抗震设防搞得好,“3.11”9.0 级地震时,在本州东北沿岸由于建筑物抗不住震动倒塌造成的灾害很少,主要灾害是传播速度慢得多的地震海啸造成的。这也在一定程度上为地震预警时间十分短暂减轻了压力,因为海啸第一波在震后 10 多分钟才到达最近的海岸。日本气象厅于震后 3 min 发布海啸预警,震后几秒钟发布的地震预警信息也就很自然地提前为地震海啸造成的灾害打了招呼。由于这次 9.0 级地震在东北地区造成十分严重的灾害,东京的震感也很强烈,气象厅提前 1 min 向东京公众发布的预警强度尽管偏低,多数人对这次预警持正面看法。总之,这两次地震预警的成功与它们的特殊环境有关。而我们面临内陆地震的威胁,很难遇到这样有利的预警工作环境。

墨西哥的预警技术系统只监测格雷罗多震区,近年墨西哥其他地区发生多次 7 级地震,该预警技术系统不起作用。日本气象厅从 2007 年 10 月 1 日起发布过 10 多次地震预警,不少地震预警的效果有争议。例如 2008 年 6 月 14 日岩手发生 7.2 级地震,我国媒体转载过日本媒体报道日本气象厅发布地震预警的情况和有争议的评价。争议的焦点是有伤亡的震中区来不及预警,有预警时间的地方并无伤亡,且预警强度偏低。这些情况说明,虽然日本、墨西哥的地震预警系统都取得过减灾实效,但尚不完美,还有待进一步完善。

5 对策讨论和建议

5.1 鼓励探索,整合资源,统一发布

地震预警还有很多技术问题需要进一步研究,应该贯彻双百方针,鼓励和动员更多的单位和个人参与探索。实现地震预警需要非常密集的地震台网,应该鼓励各级地方政府、科研单位和企业按统一规划和技术标准投资建设地震预警台网。

为地震预警布设的地震台网,与为地震监测预报和地球科学研究布设的地震台网,以及为工程地震研究布设的强震台网的观测量都是地面振动,即使直接测量的观测量可能有地面位移、速度或加速度之分,但相互转换并非难事。因此,可以把不同单位、不同投资渠道建设的各类地震台网的资源,按地震预警的要求,整合起来,统一规划,充实扩展,建设一个高效的中国地震预警台网。当然,以监测预报、地球科学研究等其他目标建设的各级各类台网也应按各自的目标整合资源建设统一高效的地震台网。而且这几类台网的部分地震台可共用,以便避免或减少重复投资。

鉴于地震预警强烈的社会特性,以及极短的预警时间里又无法给出很精确的预警强度,预警信息的发布必须高度统一。试想,如果公众几乎同时收到两种或几种有所不同的预警信息,又必须瞬间做出反应,会是什么后果?即使在日本,有不同单位研究地震预警问题,甚至有的单位先于气象厅建设预警台网,但是,面向公众的地震预警信息还是由气象厅统一发布。

大地震的破坏和灾害范围是很大的。例如,汶川地震的灾害面积达 50 万 km^2 ,重灾区涉及四川、甘肃和陕西三省。如果汶川地震前各市县已经建设了预警台网,可能各自为战,发布本市县的地震预警吗?答案很明确,这样做是不行的。因为地震预警的基本原理要求用最近的几个地震台前几秒

P 波资料测定地震参数,远处各市县用本市县比较远的台站资料不可能做或做不好这样的工作。其实,对于汶川地震来说,各市县,甚至川、甘、陕各省仅凭本辖区的台站记录勾画完整的等震线都是不可能或者是有困难的。顺便提及,日本的地震烈度速报也是由气象厅统一发布的。

因此,国家应该制定法规,明确规定地震预警信息必须统一发布。中国国土辽阔,在国家地震预警信息中心之下,可考虑设立区域级、省级预警中心,联网工作。当然,在向市县发布时应该也可以充分考虑发挥当地政府及其防震减灾部门的作用。

5.2 预警强度阈值的讨论

预警强度阈值应包括两方面内容:地震预警技术系统发布预警信息的震级下限,与对各城镇或居民点发布的预警地震动强度下限。预警地震动强度可用峰值加速度或地震烈度表述。为公众易懂,预警强度下限用地震烈度值来表述可能更适合一些。

从地震预警的根本目标:让即将遭灾的人们提前获得信息,采取避险措施减少伤亡出发,对各地发布预警的地震动强度下限,建议设为地震烈度Ⅶ度。因为按中国地震烈度表,Ⅶ度区的建筑物开始有轻微破坏,并且,不少震例表明,Ⅶ区有可能出现个别人遇难的情况。为使预警盲区外的城镇达到Ⅶ度,则地震的震中烈度必须Ⅷ强或Ⅸ度以上,发布预警的震级下限应建议设定为 6.5~7.0 级。考虑到芦山 7.0 级地震的试验性预警中,雅安市区(Ⅶ度与Ⅷ度的交界线从市区通过)的预警试验体验者收到预警信息时,建筑物已经在振动,这样设定的强度下限并不算高。

不过,上面是按理想情况讨论的,实际运作时必将遇到预警测定的强震震级明显偏低与预测某城镇地震烈度进一步偏差的困境。如果坚持上述预警震级下限和城镇预警烈度下限,就可能来不及预警就遭灾了。为了避免或尽可能减少漏报,只能放低初次预警强度的阈值,然后随时间推移,逐次更新(提高)预警强度。日本“3.11”9.0 级地震预警实践表明,当东北地区严重遭灾的背景下,东京虽只是强烈有感,并无倒房造成的伤亡,多数公众对及时发布强度偏低的预警信息还是能够接受的,多数舆论也是肯定的。因此,可建议,以强烈有感为下限,设定初次预警强度为Ⅴ度或Ⅳ~Ⅴ度,相应的初次预警震级下限可设定为 4.5 级或 4.5~5.0 级。

如此降低设置初报的预警强度,然后逐次提高预警强度,可能出现两类风险:一类是预警强度来不及升到应有高度,灾害却来临了。如果要求人们等待足够的预警强度才采取避险措施,就来不及了;另一类风险是,最终并无灾害降临。如果人们不等预警强度达到可能造成灾害的程度就采取避险措施,就会造成过度紧张、恐慌,可能出现跳楼、踩踏等另类灾害。

在一时无法很好解决预警震级和城镇预警烈度明显偏低的情况下,为尽可能取得预警效果而减低上述两类风险造成的损失,务必大力搞好防震减灾科普宣传和应急演练,让公众对地震预警有充分了解,选择适当的避险方法。

5.3 因地制宜选定避险方法

汶川地震瞬间,各地群众避险实践表明,在成都、德阳、绵阳等震感十分强烈却并未倒房的大城市,无论迅速逃出屋外,还是先躲后撤的人都是安全的,只有极少数采取极端措施的人,如从高层跳楼者遇了难。而在映秀、北川、汉旺等普遍倒房的高烈度地区,只有快速逃离或躲在并未倒塌的房屋里的人存活了。躲在结实家具下只能抵挡部分垮塌物件,避免或减轻伤害,却挡不住建筑物的倒塌。因此,确定和宣传避险方法该因地制宜。为此,建议:

(1) 在成都等当地没有大型活动断裂通过,抗震设防达标,有充分理由相信,遭遇强震不会倒房的城镇,当室内的人们接收到地震烈度Ⅳ度或Ⅳ度以上预警信息,或感觉到强烈振动时,应立即躲避到桌子等结实家具下或其他相对安全的地方,待振动结束后才撤出屋外。为更保险计,位于平房或低层的人们遇到这种情况也可迅速外撤。

(2) 位于大型活动断裂附近,遭遇大震可能倒房的城镇,正在低层的人们接收到地震烈度Ⅳ度或Ⅳ度以上预警信息,或感觉到强烈振动时,应尽快有序撤出屋外,到宽敞的地方去。高烈度区一般不建或很少建设高楼。少数采取高标准抗震设计和措施的高楼层上的人们,遇到这类情况,也应先躲后撤,因为马上撤离是来不及的。

国家已经规定,学校、医院等人员密集的场所应采取更严格的抗震设防标准,当收到预警信息或普遍感觉到振动,应在老师或有关负责人统一指挥下,有序行动,切忌拥挤、踩踏。

5.4 积极审慎推进,科学客观宣传

既然地震预警在一定条件下有可能减少人员

伤亡,公众又有需求,就应该积极推进。可是,地震预警技术有预警盲区、预警强度偏低两个不可克服的弱点,以及目前快速选取地震动衰减关系可能有较大误差,推进应该审慎,稳步前进。地震预警牵涉到千家万户,必须大力宣传,让大家知道地震预警是怎么回事?收到预警信息后该怎么办?可是宣传必须科学、客观,既让公众了解地震预警搞好了,会有怎样的减灾效果?也要讲清楚地震预警还有什么弱点和难点,大家共同努力,把地震预警技术的效能最大限度地发挥好,同时,也把可能出现的负面效应降到最低。如果过度或片面宣传这种预警技术的优点,避而不谈客观存在的弱点和困难,就可能让公众对地震预警产生超出现有技术能力的期望,遇到不很准确的预警信息时,可能做出过度的应急反应,造成不必要的损失。

参考文献:

- [1] 张晓东,张国民.关于地震预警的思考[J].国际地震动态,2004(6):42-46.
- [2] 陈颙,陈运泰,张国民,等.“十一五”期间中国重大地震灾害预测预警和防治对策[J].灾害学,2005,20(1):1-14.
- [3] 杨马陵,沈繁奎,王正尚.预警等级预报——一种新的地震预报发布形式和对策的思考[J].国际地震动态,2004(8):1-12.
- [4] Wu Y M, Kanamori H, Richard M A, et al. Determination of earthquake early warning parameters, τ_c and p_d , for southern California [J]. Geophys. J. Int, 2007, 170: 711-717.
- [5] 金星,张红才,李军,等.地震预警震级确定方法的研究[J].地震学报,2012,34(5):593-610.
- [6] 保罗·盖斯帕里尼 [意],盖伊塔诺·曼弗雷迪 [意],约翰·斯高 [德] 编著,梁建宏,孙丽,邹晔,等译.地震预警系统[M].北京:地震出版社,2014.
- [7] 陈会中,侯燕燕,何加勇,等.日本地震预警系统日趋完善[J].国际地震动态,2011(4):10-15.
- [8] Kuyuk H S, Allen R M. Optimal seismic network density for earthquake early warning: a case study from California. Seismological Research [J]. Letters, 2013, 84(6): 946-954.
- [9] 韩渭宾,蒋国芳.强震等震线、余震区形状与地震构造关系的研究[J].地震,2010,30(4):32-39.