

张晁军、李卫东、林捷等 2013 关于地震预警的几个问题,中国地震 29( 2) ,198 ~ 209。

## 关于地震预警的几个问题

张晁军<sup>1)</sup> 李卫东<sup>1)</sup> 林捷<sup>1)</sup> 许洪华<sup>1)</sup> 陈会忠<sup>2)</sup>

1) 中国地震台网中心,北京市西城区三里河南横街 5 号 100045

2) 中国地震局地震预测研究所,北京 100036

**摘要** 地震预警是建立在高密度地震台网基础上的新技术,本文就地震预警的一些基本概念、关键技术、预警效果、预警部署及其在防震减灾方面的作用等进行了讨论,指出了地震预警存在的问题,以及需要研究的方向,并首次提出了预警能力、预警无效区、预警受益区、预警反应时间的概念。地震预警能力受预警系统的制约,实际地震预警能力除与台网密度、预警模式、自动处理系统、数据传输模式、发布系统等因素有关外,还与地震破裂性质有关。同时强调地震预警部署是复杂的社会工程,需要全社会的共同参与。

**关键词:** 地震预警 预警盲区 预警能力 预警部署 预警效果

[文章编号] 1001-4683(2013)02-0198-12 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

### 0 引言

地震预警是建立在高密度地震台网基础上的新技术,是人类社会进行地震灾害防御的科学前沿领域,是人类抵御地震灾害,乃至其它自然灾害的手段之一。对地震预警的研究、应用与开发是当今应用地震学的重要领域之一。

自美国 Cooper 于 1868 年提出地震预警系统的思想以来,随着计算机技术、数字通信技术和数字化强震观测技术的成熟,20 世纪 90 年代首先在日本正式启用了地震预警系统(Nakamura et al, 1984、1988、2007、2009; Kamigaichi, 2004)。之后,美国、墨西哥等国家和中国台湾用实时强震仪先后建成了现代地震预警系统(Wu et al, 2005、2006、2008) 以及一些生命线地震紧急自动处置装置,一些系统也已经经受过地震考验,并积累了许多成功经验(朱福祥等 2002; 李山有等 2004; 袁志祥等 2007)。近年来,伴随各国经济的发展,地震及次生灾害造成的巨大损失也逐年加剧,几个重要国际会议的召开和宣传,又使一些国家如澳大利亚、德国、土耳其、伊朗、亚美尼亚、罗马尼亚和立陶宛等应用这项技术。而且,地震预警系统已被应用到不同领域(Allen 2003、2007; 吴忠良等 2007; Hoshiba et al, 2008)。

本文就地震预警的基本概念、关键技术、预警效果、预警部署及预警意义等几个方面进行了讨论,旨在让人们们对地震预警有个客观的认识,共同提升全社会的防震减灾意识,更好

[收稿日期] 2013-04-29; [修定日期] 2013-05-25。

[项目类别] 地震局行业专项《地震烈度速报与预警技术系统标准体系研究与信息服务系列标准研制》资助项目。

[作者简介] 张晁军,男,生于 1965 年,理学博士,主要研究方向是地震学方法的应用研究。

Email: zhangchaojun@seis.ac.cn

地发挥地震预警系统作用,最大限度地实现有效减灾。

## 1 地震预警的一些概念

### 1.1 地震预警的原理

地震时,从震源同时发射纵波(P波)和横波(S波)这两种波性质不同,P波速度快,为6km/s,携带能量较小,一般并不产生严重破坏,被地震仪器首先记录到;而S波速度慢,为3.5km/s,携带能量大,是地震破坏的元凶,在P波之后被地震仪器记录到。另外,由于地震波传播速度远小于电话或无线电传递讯号的速度,因而在地震仪器记录到P波信号并进行快速自动计算地震参数后(Wu et al, 2007; 张红才等, 2011)就可以在S波到达前发出地震信息,以便采取紧急处置措施。预警时间的长短依地震发生地点至预警地区之距离远近而定,地震发生地点越靠近预警地区则预警时间越短。换言之,在震中附近地区地震预警系统功效不大,但是对距离较远地区则功效显著(金星等, 2010)(图1)。

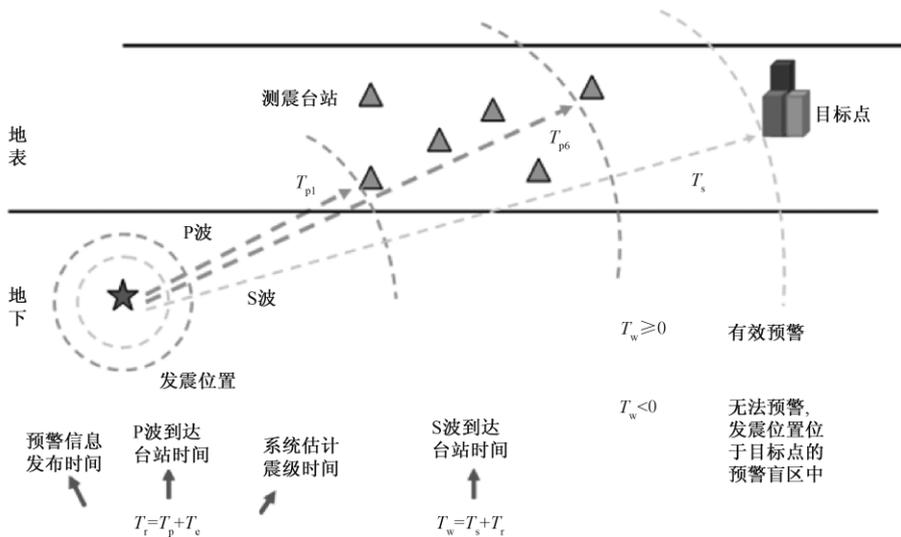


图1 地震预警原理图

### 1.2 地震预警能力

地震预警能力是指在一定运行模式下,在S波到达之前,为减轻地震及其次生灾害,台网对盲区范围以外的破坏性烈度区域提供人员逃生,为煤气、电力以及桥梁、高铁等设施采取紧急处置措施提供时间服务的能力。地震预警能力决定了预警效果,可为改善预警系统的整体架构提供客观依据。地震预警能力是受地震预警系统制约的。

### 1.3 地震预警盲区

地震发生后,P波和S波同时从震源传出,由于P波速度快于S波,因而先于S波被地震仪器接收,触发地震预警自动处理系统。在计算机自动处理系统自启动到信息发布过程中,断层破裂在继续,地震波传播在继续,因此在收到预警信息前有一段时间是不能发出预警信息的,与这段时间相对应的S波传播的距离,我们称之为盲区。在盲区内预警能力为零,但对盲区以外不同烈度区域可以提供时间不等的时间服务。如图2, $R_0$ 是盲区半径,无

法预警,但对 $(R_i - R_0)$ 之外区域可以提供预警,其中 $R_i$ 为不同烈度区的半径。

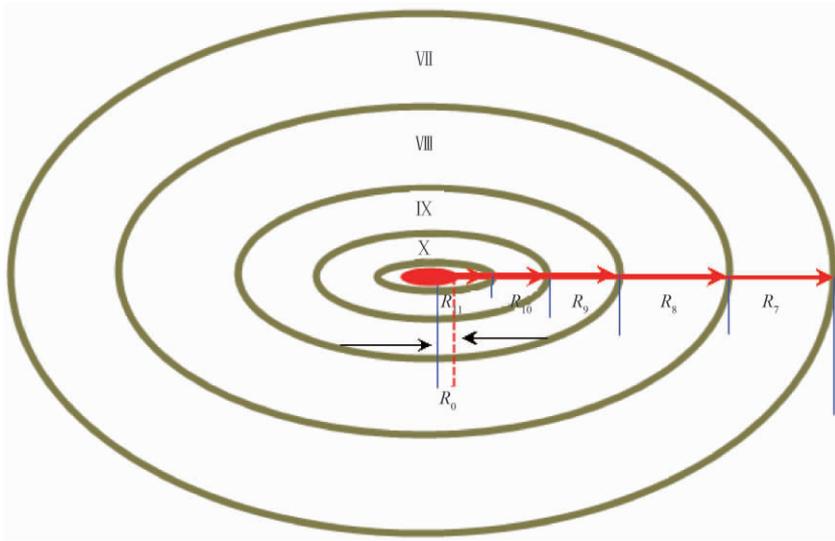


图2 不同地震烈度半径示意图

地震预警必须有效缩小预警盲区,以获得更多的预警空间。盲区的大小既与台网密度有关,也与地震参数快速判测系统处理数据速度、结果准确性、警报信息快速发布系统以及预警信息接受终端接收信息的速度有关。成熟的警报信息快速发布系统和预警信息接受终端的快速响应能力会缩小预警盲区的范围,为预警获得更多的时间。

由地震预警系统工作原理可知,地震发生后,地震预警时间由以下几个部分组成:

$\Delta t_1$ : P波到达台站的时间( $T_p$ ),与台网密度有关;

$\Delta t_2$ : P波截取记录时间长度,取 $\Delta t_2 = 3\text{ s}$ ,与预警模式和现阶段P波处理技术有关(Wu et al, 2007);

$\Delta t_3$ : 处理、发布及信息接收等累计用时 $2\text{ s}$ ,是地震参数的快速产出时间,与自动处理发布技术有关。地震预警的实质就是要在S波到达之前做出快速响应,是与S波赛跑,因此,能否快速产出准确的地震参数是决定预警系统是否有效的关键判定指标。

假设地震是单侧破裂 $h = 10\text{ km}$ , $V_p = 6.0\text{ km/s}$ , $V_s = 3.5\text{ km/s}$ ;单台预警有效;预警盲区半径 $R_0$ 由下式决定:

$$R_0 = \sqrt{(V_s(\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3))^2 - h^2} \quad (1)$$

理想情况是台站在震源上方即震中,这时 $\Delta t_1 = 1.67\text{ s}$ ;P波截取记录时间长度,取 $\Delta t_2 = 3\text{ s}$ ;处理、发布及信息接收等累计用时 $\Delta t_3 = 2\text{ s}$ ,这时最小盲区半径 $R_{0\min}$ 为 $23.08\text{ km}$ ,相当于震源深度 $10\text{ km}$ 处发生6级地震造成的盲区。

地震自动处理技术和预警模式对盲区大小有影响。在实际工作中,地震预警的时间往往要大于理论预警时间,一是因为地震往往不是恰在台站下方,单台预警难以实现,故常采用3台以上地震台站处理结果;二是自动处理结果产出地震参数需多次修改,方达渐进式完善,从我国福建和台湾的预警结果来看,准确的预警时间往往在 $20\text{ s}$ 左右,预警盲区半径达

到 36km。图 3 显示在不考虑震源深度的情况下,地震预警盲区与预警时间成正比。因此,有效减小地震预警盲区的唯一途径是缩短预警时间。而缩短  $\Delta t_1$  的有效方法是布置深部传感器,缩短  $\Delta t_2$  和  $\Delta t_3$  的有效方法是自动处理技术和信息发布技术的提高。

由预警原理可以看出:①震级越大,极震区越大,可获得的预警时间越多,预警效果越好;②首台接收 P 波到时越长,盲区范围越大,预警效能下降,所以要有足够密度的台网;③盲区范围增大,预警震级下限提高(图 4)。因此,减小盲区范围,获得更多预警时间有赖于台网密度的改善、高效的自动处理系统和地震参数的精确确定。

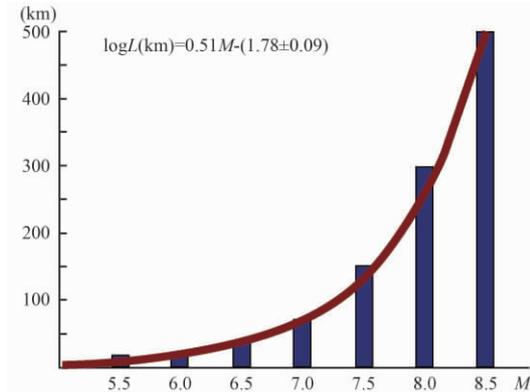


图 3 震级与极震区半径关系拟合图

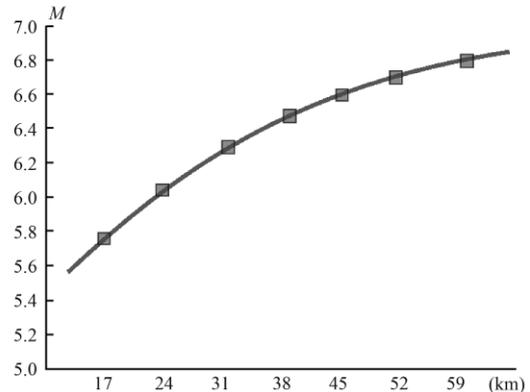


图 4 盲区与预警震级下限的关系

另外,地震的破裂方式对盲区也有一定影响。实际地震预警效果除与台网密度、自动处理系统、数据传输模式及发布系统等因素有关外,还与地震破裂性质有关。由于单侧破裂是朝一个方向破裂,如 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震(Zhang et al, 2010)(图 5),Ⅶ度区地震破裂长度 350km,极震区(Ⅺ度区)长度 36km,盲区半径 23km,因此,对极震区也有预警作用,可在破裂方向上相同量级的地震高烈度区域上获得更多预警时间,预警效果较好。而双侧破裂,有效预警区域会缩小,如 1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级地震(图 6),极震区(Ⅺ度区)长度 7.5km,Ⅹ区破裂长度 17.5km,Ⅸ度区长度 39km,盲区半径 25km(梅世蓉等,1982),因此,对极震区已经没有预警作用,只对次极震区有预警作用。Ⅶ度区只有 120km,比汶川地震小 230km,预警效果欠佳。

此外,目前的预警模式和设计思路都是基于地震是点源模型而进行的(Nakamura et al, 2009),而实际上,地震的破裂是线性破裂或矩形破裂,总之是带状的破裂,短的几十到几百米,长的可达几千米(Heimpel, 2003; Erik, 2005)。在这样的地震破裂中,地震预警难以达到期望的效果。其盲区范围要比点源模式大得多,预警时间要晚于理论设计值,但这也决定了地震监测台网密度可以比设计的宽,且有可能采取多台同时预警模式,提高测点地震参数精度(主要是第一报的震级),提高地震预警能力。

#### 1.4 地震预警无效区

由地震烈度表可知,破坏性地震烈度的下限为Ⅶ或Ⅵ,对低于Ⅶ或Ⅵ区域的预警意义不大,我们称之为无效区。四川芦山 7.0 级地震发生后,成都地区的烈度不到Ⅴ度,可以讲,这样的预警意义不大。地震预警最初的理念就是对危险烈度区域实施报警,因此,研究烈度危

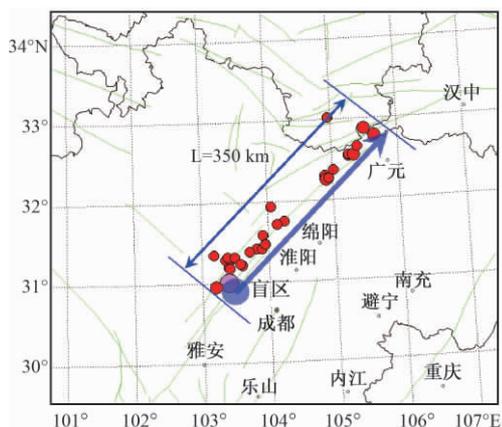


图5 汶川地震单侧破裂示意图

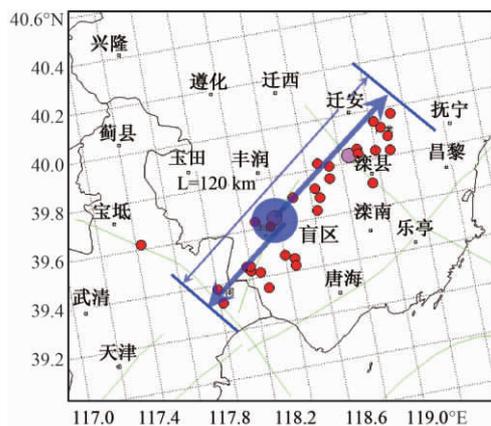


图6 唐山双侧破裂示意图

险区域的预警技术才具有防震减灾实效。

### 1.5 地震预警受益区

地震预警受益区是指盲区以外至无效区之间的区域。地震预警的效能体现在扩大受益区,减小盲区。客观上讲,即使在盲区,迟到的预警信息也具有重要价值,一是大地震往往有较强的余震,在建筑物二次破坏前有再次自救的机会;二是建筑物在毁灭性破坏前还需经历一段时间;三是对盲区内水气电的紧急处置。盲区内的预警更重要的是要求个人和机构对地震知识有足够的了解,因此,防震减灾和自救知识的普及非常重要。

### 1.6 地震预警反应时间

地震预警反应时间是指在接到地震预警信息后,快速做出规避风险动作的时间。地震预警反应时间因人而异。日本的经验告诉我们,具备防震减灾意识的人更容易躲过地震的袭击。可见,地震预警是一种社会工程,需要每个人的参与。

### 1.7 地震预警容忍度

地震预警容忍度是指不同群体对地震级别准确性的关注程度。地震预警是地震警报,对于这样的警报,各种人群、各个领域、各个行业的容忍度是不一样的。例如一般公众只要收到预警就会采取行动,并不关心预警的准确性,反正不造成损失就好。这说明公众对地震预警有较大的容忍度。再如高铁,接收到地震预警信息,就采取措施,先减速。但高铁希望在1~2min里确认是大地震、是小地震或者误报,高铁可以据此采取立刻停车或恢复运行,这说明高铁是有一定容忍度的。而核电站不能有个预警就停止反应堆,核电站要求必须是对其有威胁时才可报警。因为反应堆一旦停止运行,其恢复需要很长时间,这些行业容忍度就低。容忍度低的行业还有高级手术医院和重要科学实验场所。

## 2 地震预警的关键技术

地震预警系统是指实现地震预警的配套设施。按照系统响应的顺序可包括:地震监测台网、地震参数快速判测系统、警报信息快速发布系统和预警信息接受终端。整个系统响应速度和准确性决定了地震预警能力。理论上讲,整套系统的特点是高度集成、实时监控、快

速响应。各个环节的处理时间之和与地震波走时之差形成了最终的预警时间。地震检测系统的核心环节是基于预警系统的快速地震定位算法和震级测定,这是决定一个预警系统预警时间长短的关键性技术环节(黄媛等 2006;孔庆凯等 2010;黄俊等 2011)。

地震预警在理论上通常分为两大类,一是异地地震预警系统(front-detection EWS):即将地震计安置在“震源区”,以此对更远距离的“震灾区”进行预警。日本铁道部门(Nakamura, 1984)、我国台湾地区和墨西哥 SAS(Seismic Alert System)的预警系统属于这种类型。“异地震前预警”通过 S 波确定震级,这样虽然比较准确,但却要等 S 波到达之后才能确定预警参数,故只能为距离地震计几十千米以外的城市和重大工程发布预警信息。这种方式适用于经常或确认有地震发生的区域,而大多数地震的发生是随机的,所以这种预警方式存在很大的局限性。二是现地地震预警系统(Onsite EWS):通过 P 波初始阶段确定震源参数从而预报 S 波到达后更严重的地面破坏情况。UrEDAS(Nakamura et al, 1988、1989、2007)和 ElarmS(Allen 2003)都是用 P 波到达后最初 2~4s 的信息确定预警震级(图 7)。Erik(2005)通过大量真实数据验证,地震震级完全可以用 P 波前几秒时间窗内的信息进行估测。这为通过 P 波确定震级,快速发布预警信息提供了依据。地震预警系统的基本硬件组成如图 8 所示。

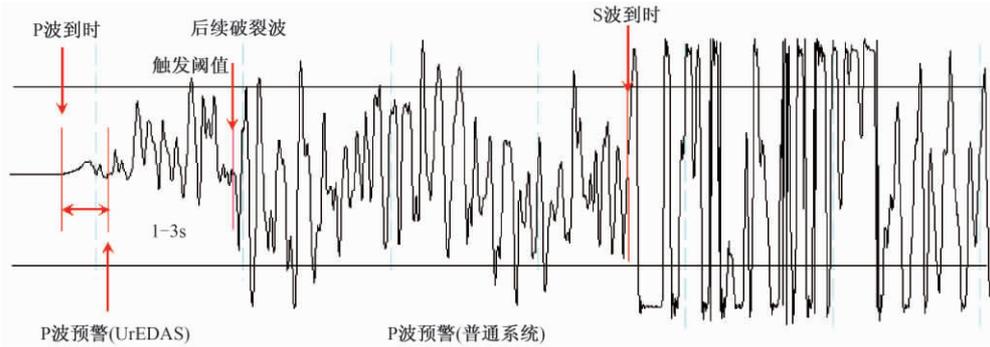


图 7 本地 P 波预警原理

从地震预警模式可知,地震预警系统包含以下技术:

### 2.1 地震触发判定技术

地震触发判定技术是根据记录短长比、三分向记录的振幅关系进行事件触发。但此项技术由于地脉动和一些噪声的初动周期会超过 2s(Allen, 2005),可能导致误触发。

### 2.2 P 波快速判定地震技术和地震参数快速测定技术

地震预警最关键技术是快速判断地震,即根据触发后的 1~3s 信息判定是否发生了大地震。判定有地震发生后,根据 P 波前 3s 测定震级。由于震级测定、地震定位不同步,会延迟预警信息的发布,增加预警盲区,因此,地震预警技术的发展要求必须研发“快速判断地

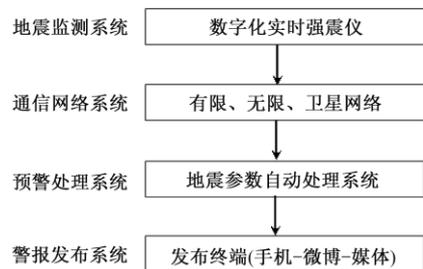


图 8 地震预警系统组合图

震”的技术。目前该项技术主要以经验和统计为基础,不像传统的地震测定方法那样具有明确的物理基础,第一次结果快,但可能会出现很大的误差甚至错误。如2011年日本“3.11” $M_w$ 9.0地震的预警,第1报震级为5.7级,与真实震级相差甚远。因此全球各种地震预警的警报都是采用多报形式,日本“3.11”地震预警,就报了15报(陈会忠等,2011)。第15报已经是第1个台站收到P波117s以后了(地震发生130多秒以后),预警盲区半径已经达300多千米了,对于灾区几乎没什么意义了。这说明目前用P波前几秒判断是大地震的方法本身就不稳定。尽管地震预警要求这些参数不像地震速报那样精确,但是也应控制在一定范围,这方面技术还需发展。地震预警的实质就是与S波赛跑,最大缩小地震盲区范围,最大限度降低地震灾害和次生灾害。

### 2.3 地震预警第一报技术

第一报是地震预警的关键,因为每迟报1s就意味着盲区半径增加4km,目前绝大多数预警系统不敢采取单台发出第1报,因为单台误报和错报率可能会很高。这就提出了两个问题,一是如何提高第1报震级的准确率,这给预警秒级处理技术的研究和创新提出了一个重要课题,即如何根据1~2s P波初动、P波限幅信息快速准确估算震级的研究;二是目前如何办?一个办法是向公众发布预警信号不采用第1报,而是采用第3或第4报,这样预警盲区就必然扩大,比如雅安城区(距震中33km)采用第1报可以有3s预警时间,而采用第3报就没有了。所以在目前的技术水平和能力状况下可以不拘泥苛求第1报震级和烈度的误差较大,应该及时发出地震预警的警报。实际上公众在收到预警的警报时并不会先看预警的震级,而是有地震警报就立刻采取应急避险措施。当然应该在现有技术的基础上,提高第1报地震震级的准确率。

### 2.4 极震区阈值预警技术

此项技术是根据强震仪记录达到某一设定峰值后进行报警(马强,2008)。在极震区P波与S波时间差往往小于3s,此时无需定位,震中可以依记录仪器的位置给出。地震强度则以仪器烈度方式给出,并直接发送报警。其缺点是由于极震区个别台站位于断层破裂端部,其记录远超过震后计算的地震强度,导致预警误差较大,如芦山7.0级地震个别强震仪记录幅值高达1.4g,以此计算预警震级远超过7级地震,这也反映了地震破裂的不均性。因此开展地震预警的快速确定和解除技术,是地震预警技术不可缺少的一部分。

### 2.5 提前预警技术

据现有文献(Kanamori et al,1974; Cifuentes,1989),大地震破裂发生的初期存在缓慢破裂现象。慢破裂的识别技术可能是未来发展的重要方向,是真正意义上的地震预警,可以解决地震盲区问题。

### 2.6 防止网络失效技术

信息快速发布技术尽管比较成熟,但相关的法律法规还不健全,急需完善。汶川、芦山地震和日本“3.11”地震,再次告诉我们,在突发事件时,网络失效的风险极大。偶然现象同时发生会产生特大灾难,日本“3.11”大地震时福岛核电站事故就是一例(Castaños,2013)。因此,除具备常规的冗余技术外,还需考虑其他防止网络失效技术和快速覆盖用户技术。

### 2.7 地震预警的快速确定和解除技术

地震预警系统应具备警报的快速确认和解除功能。鉴于地震预警技术的现状,我们不

能对地震预警“求全责备”。日本气象厅在2007年10月1日发布地震预警系统投入使用时就明确指出,由于地震预警技术本身和地震台站环境的问题,包括其他震动的干扰、雷电干扰、仪器设备故障及地震判定技术的复杂,地震预警可能会出现漏、误、错报的情况。因此对于地震预警的确认和解除功能就非常重要,应该成为地震预警系统的重要组成部分之一。此技术对于安定民心、进一步采取紧急处置措施或恢复生命线工程都起到重要作用。如在地震预警的第1报时,高速铁路全线可立即采取减速措施,如果在十几秒钟后确定的地震震级较小,而且距离较远,根据高铁地震预案,不会有影响,高铁可以立即恢复运行。我国目前已建成非常先进的大地震速报系统,自动地震速报可以在数分钟完成,这对于地震预警的确认和解除预警的漏误错报非常重要。

### 3 地震预警效果

对地震预警系统的应用效果一直存在争议。预警系统的原理决定了地震预警系统能够提供的应急时间是有限的。美国虽然没有部署地震预警系统,但相关研究已经开展了很多年,其中包括一个在旧金山湾区进行实验的ElarmS地震预警系统。结果表明,ElarmS预警系统对于不到一半的地震,能够提供10s以上的预警时间(袁志祥等,2007; Allen et al., 2003)。目前的研究表明,对于绝大多数地震,能够提供的有效预警时间不超过30s。在几秒至数十秒的时间内,能够采取的措施有停止高速列车、关闭煤气和电源、从电梯撤离、终止或保护关键仪器和设备、人员撤离到安全地带等等,基本是高自动化系统可以控制的系统才会有好的预警效果。此外,预警系统面临的尴尬局面是,越是地面运动强烈的极震区,能提供预警的时间就越短;对预警系统依赖越弱的地区,能提供的预警时间反而越长。在2008年6月14日,日本发生的里氏7.2级地震中,距离震中30km的鸥州,在3.5s后收到了预警信息,但此时破坏性的S波已经到达。在遭受严重冲击的栗原,地震预警信息只提供了0.3s的应急时间。而对于距震中50km和80km的居民,则分别获得了5s和15s的应急时间(陈会忠,2011)。

面对大地震,地震预警系统目前还很脆弱,如日本拥有全世界最密集的地震监测网络、最大的海啸防波堤、最广泛的地震预警系统,相比其他任何国家,日本国民在如何应对地震和海啸方面受过更严格的训练,然而,2011年3月11日发生的9.0级地震给日本造成了前所未有的灾难。

鉴于地震预警系统发生过误报和错报,地震预警效果在日本也倍受争议。因此日本气象厅在向公众宣传如何应用地震预警时特别强调地震预警系统的适用范围和效果是有限的,包括,由最近的地震台确定的震中并不准确,第一次预警可能是由于事故、雷电、设备故障的原因误报,由于地震发生的复杂性以及预警的准确性和精度还存在较大误差。同时还强调公众在接到地震警报时一定要不要惊慌,慌乱反而会造成不必要的损失。

除去这些天生的缺陷,预警系统在关键技术上还未能做到十全十美,尤其是地震参数的快速判定。作为5个部署了地震预警系统的国家之一,日本的投入最大,预警系统的性能也是最好的。然而2008年1月27日,日本预警系统对发生在日本海岸的7级地震并未发出预警信息,原因是快速判定的地面运动强度为4级(根据日本烈度表),低于警报阈值5级,而实际的地面运动强度为7级。在6月14日里氏7.2级的地震中,预警系统虽然被即时触

发,但预估的震级为 5.7 级,仍远低于实际的 7.2 级。地震参数快速判定,难就难在一个“快”字上。对于 5.6 级的地震,震源的破裂过程会持续几秒至十几秒。而预警系统试图利用前几秒的地震波形,就预估出整个地震的大小、发震的位置及震源的性质,进而得出各个地区地面运动的强烈程度尚欠完美。

充分发挥预警系统的功效,还需要与之配套的社会工程和应急培训。日本预警系统的宣传手册提示居民在收到预警信号后,一定不要从居民楼和办公楼逃离。这可能与大家的常识相违背。这样的要求一是因为预警系统针对的是普通地震和强震,对于毁灭性的特大地震预警系统功效有限;二是日本对本国建筑的抗震性能很有信心;三可以避免由于混乱逃生引起的踩踏伤亡事件。通过这个细节我们可以看出,对设防区的人员进行相应的培训是必要的,缺乏必要的宣传和培训,预警系统甚至会带来负面的效果。

有些学者认为地震在空间和时间上具有随机发生的特点,且地震破裂过程往往只有数秒至数十秒的时间,且地震造成的破坏在极震区和次极震区最大,地震预警必须争分夺秒,而地震预警系统自动处理结果较差,最初结果对极震区及次极震区的预警意义有限(吴忠良等,2007)。另外,地震预警要达到好的效果,不但需要高密度的台网和相当的科技水平,也需要全民防震减灾意识的提高,特别是误报警的风险带来的后果更是难以估计,因此,许多学者更关注建筑物及易发生次生灾害地区的防震减灾效果,更强调基本建设的质量和抗震性能。

尽管如此,国际上多数发达国家或地区依然非常重视地震预警和烈度速报,已建设的一批先进的地震预警和烈度速报系统,已投入运行并在强地震中发挥了作用,取得了一定的防震减灾效果,并在一些关键技术研究 and 系统研发、技术标准体系取得了一些经验。一些学者认为,地震预警在地震后可以为部分极震区及以外区域人员逃生提供机会,为高铁、煤气及电力设施采取紧急处置措施提供时间,防止次生灾害的发生,如 2008 年 06 月 14 日日本发生里氏 7.2 级地震,尽管在极震区有人员伤亡,地震使岩手山区发生山崩,桥梁亦闻断裂,但由于许多地区在 S 波到达前 10s 收到预警,东北秋田新干线随即停驶,部分公路封闭,有效降低了次生灾害造成的损失(刘如山等,2005)。

## 4 地震预警系统的部署

部署地震预警系统,是一个整体的社会工程,并不是一个简单的技术问题,需要综合考虑科技因素、经济因素和社会因素(袁志祥等,2007)。目前,仅有罗马尼亚、土耳其、墨西哥、中国台湾和日本拥有投入使用的地震预警系统,正在开发预警系统的国家和地区有美国加州、冰岛、瑞士、意大利、希腊、埃及和印度。值得注意的是,地震大国同时也是地震研究实力最为强劲的美国,至今仍没有实际运作的地震预警系统,因为有美国学者批评建设此类系统会挤占大量地震学的研究经费,不利于地震学的长期发展。

一些学者认为地震预警系统应部署在地震频发地区,如日本、中国台湾、墨西哥和美国加州等。只有频繁的地震活动才需要频繁的地震预警以减轻地震造成的损失;另外应部署在设防区域小、经济相对发达、高科技产业密集、人口密度大、长期预警的经济社会价值可观的地区;再者,需要考虑国家的经济实力,因为地震预警系统整合度高,对地震台站密度有要求且需要长期不间断运作,警报终端还需要与相关行业和部门合作开发,才能发挥预警系统

的功效(赵纪东等 2009)。

由此可知,对于是否需要地震预警系统,科学界内仍未达成一致的看法。

## 5 地震预警的意义

地震预警对于烈度异常区及次生灾害和生命线设施的紧急避险有重要意义,即使在地震预警盲区,得到地震警报时,地震波已经到达和过去,但是对于水电气这样的生命线设施的积极处置重要,避免对水、电、气等设施造成次生灾害非常重要。

随着经济社会的快速发展,地震灾害对经济的冲击日益加剧,对社会发展的影响愈加广泛,社会公众对安全的需求日益增长,在我国建设一个地震预警实验系统,进而建设一个现代化的地震预警系统,对于探索防震减灾新途径有着重要的社会意义。

## 6 结论

通过以上讨论我们得出如下结论:

(1) 地震预警能力是受地震预警系统制约的。实际地震预警能力除与台网密度、预警模式、自动处理系统、数据传输模式、发布系统等因素有关外,还与地震破裂性质有关。

(2) 地震预警是应用地震学中的新技术,要客观评价地震预警效果。过分夸大地震预警效果和无视地震预警作用都不利于防震减灾工作的发展。

(3) 地震预警是个复杂的社会工程,需要全社会的动员和参与。只有全社会参与地震预警,才能使地震预警系统发挥减灾作用。就像战争中的防空警报,地震部门是拉警报的,到哪里躲避更安全、怎样躲避更适宜,还要靠自己丰富的防震减灾知识,提高防震减灾意识。

(4) 要建成一个有效的地震预警系统需要具备高密度的地震台网、好的处理系统、完善的发布系统及健全的法律法规保障,有了这 4 个条件,才能使整个系统能有效运作。概括的说就是“测得到”、“定得准”、“传得出”、“用得好”。

## 参考文献

- 陈会忠、侯燕燕、何加勇等 2011,日本地震预警系统日趋完善,国际地震动态,4(4),10~16。
- 黄媛、杨建思,2006,用于地震预警系统中的快速地震定位方法综述,国际地震动态,(12),1~5。
- 黄俊、姚运生、王秋良等 2011,地震预警中的单台综合定位方法,大地测量与地球动力学,31(2),142~145。
- 金星、张红才、韦永祥等 2010,基于地震监测台网资料近实时插值计算震动图的初步研究,防灾减灾学报,26(1),1~11。
- 李山有、金星、马强等 2004,地震预警系统与智能应急控制系统研究,世界地震工程,20(4):21~2。
- 刘如山、林均歧、郭恩栋,2005,自然灾害学报,14,140。
- 马强,2008,地震预警技术研究及应用,哈尔滨:中国地震局工程力学研究所。
- 梅世蓉等,1982,一九七六年唐山地震,北京:地震出版社。
- 孔庆凯、赵鸣 2010,地震预警系统中的算法研究,灾害学,25(增刊),305~308。
- 吴忠良、蒋长胜 2007,预警的概念及相关物理问题,物理与社会,36(6),272~275。
- 袁志祥、单修政、徐世芳等 2007,地震预警技术综述,自然灾害学报,16(6),216~223。
- 张红才、金星、李军等 2011,地震预警定位方法研究,地震工程与工程振动,31(3),168~177。
- 赵纪东、张志强 2009,地震预警系统的发展应用及启示,地质通报,28(4),456~462。
- 朱福祥、郭迅、李山有等 2002,重大工程地震预警初步研究,世界地震工程,18(3):32~36。
- Allen R M & Kanamori H,2003,The potential for earthquake early warning in Southern California,Science,300,786~789。

- Allen R M , 2007 , Earthquake hazard mitigation: New directions and opportunities , *Earthquake Seismology , Treatise on Geophysics* , **4** , 607 ~ 648.
- Castañón H and Cinna Lomnitz 2013 , Understanding Ambivalence: Earthquakes( in press) .
- Cifuentes S L , 1989 , Low-frequency source characteristics of the great 1960 Chilean earthquake , *JGR* , **94**( B1) , 643 ~ 663.
- Erik L Olson , Richard M Allen , 2005 , The deterministic nature of earthquake rupture , *Nature* , **438**: 212 ~ 215 , doi: 10. 1038/nature04214
- Heimpel M H , 2003 , Characteristic scales of earthquake rupture from numerical models , *Nonlinear Processes in Geophysics* , **10** , 573 ~ 584.
- Hoshiya M , Kamigaichi O , Saito M , et al , 2008 , Earthquake early warning starts nationwide in Japan , *EOS , Transact Am Geophys Un* , **89**( 8) , 73 ~ 74.
- Kamigaichi O , 2004 , JMA Earthquake Early Warning , *J Japan Assoc Earthq Engineering* , **4** , 134 ~ 137.
- Kanamori H and John J Cipar , 1974 , Focal process of the great Chilean earthquake May 22 , 1960 , *Physics of the Earthquake and Planetary Interiors* , **9**( 1974) , 128 ~ 136.
- Nakamura Y , 1984 , Development of the earthquake early-warning system for the Shinkansen , some recent earthquake engineering research and practical in Japan , *The Japanese National Committee of the International Association for Earthquake Engineering* , 224 ~ 238.
- Nakamura Y , 1988 , On the urgent earthquake detection and alarm system ( UrEDAS) , *Proc Ninth World Conf Earthq Eng* , **7** , 673 ~ 678.
- Nakamura Y , and Saita J , 2007 , UrEDAS , The Earthquake Warning System: today and tomorrow. In: Gasparini P , Manfredi G , and Zschau J ( eds) . *Earthquake Early Warning Systems* , Springer , Berlin: 249 ~ 281.
- Nakamura H , Horiuchi S , Wu C , et al , 2009 , Evaluation of the real-time earthquake information system in Japan , *Geophys Res Lett* , **36**; doi: 10. 1029 /2008GL036470.
- Wu Y M , and Kanamori H , 2005a , Experiment on an onsite early warning method for the Taiwan early warning system , *Bull Seism Soc Am* , **95** , 347 ~ 353.
- Wu Y M , and Kanamori H , 2005b , Rapid assessment of damaging potential of earthquakes in Taiwan from the beginning of P Waves , *Bull Seism Soc Am* , **95** , 1181 ~ 1185.
- Wu Y M , and Zhao L , 2006 , Magnitude estimation using the first three seconds P-wave amplitude in earthquake early warning , *Geophys Res Lett* , **33**: L16312 , doi: 10. 1029 /2006GL026871.
- Wu Y M , Hsiao N C , Lee W H K , et al , 2007a , State of the art and progresses of early warning system in Taiwan. In: Gasparini P , Manfredi G , and Zschau J ( eds) , *Earthquake Early Warning Systems* , Springer , Berlin: 283 ~ 306.
- Wu Y M , Kanamori H , Allen R , et al , 2007b , Determination of earthquake early warning parameters ,  $\tau_c$  and  $P_d$  , for southern California , *Geophys J Int* , **169** , 667 ~ 674.
- Wu Y M , and Kanamori H , 2008 , Exploring the feasibility of on-site earthquake early warning using close-in records of the 2007 Noto Hanto earthquake , *Earth Planets Space* , **60** , 155 ~ 160.
- Zhang Chaojun , Li Weidong , Li Dahui , 2010 , Early estimation of epicenter seismic intensities according to co-seismic deformation , *Geofísica Internacional* , **49**( 2) , 107 ~ 112.

## Several questions of Earthquake Early Warning

*Zhang Chaojun*<sup>1)</sup> *Li Weidong*<sup>1)</sup> *Lin Jie*<sup>1)</sup> *Xu Honghua*<sup>1)</sup> *Chen Huizhong*<sup>2)</sup>

1) China Earthquake Networks Center , Beijing 100045 , China

2) Institute of Earthquake Science , China Earthquake Administration , Beijing 100036 , China

**Abstract** Earthquake Early Warning is a new technology which is based on high density seismic network. In this paper , the authors discussed some of the basic concepts , key technologies , early-warning results and early-warning deployment , and its role in the aspect of earthquake prevention and disaster mitigation. This paper points out the existing problems of Earthquake Early Warning and the research directions. The paper puts forward for the first time the concepts of early warning capacity , early warning invalid region , early warning benefit area , and early warning response time. Earthquake Early Warning capacity is constrained by early warning system. Besides the network density , early warning model , automatic processing system , data transmission mode , and information distribution system , the actual Earthquake Early Warning capacity is related to the nature of earthquake rupture. The paper emphasizes that the earthquake warning deployment is a complex social engineering , and it requires the participation of the whole society.

**Key words:** Earthquake Early Warning Early warning blind area Early warning capacity Earthquake warning deployment Early warning result