

中国科学院国家科学图书馆

科学研究动态监测快报

2008年6月1日 第11期（总第41期）

地球科学专辑

中国科学院资源环境科学与技术局

中国科学院规划战略局

中国科学院国家科学图书馆兰州分馆

中国科学院国家科学图书馆兰州分馆
邮编：730000 电话：0931-8271552

甘肃省兰州市天水中路8号
<http://www.llas.ac.cn>

目 录

地震次生灾害

世界部分国家 (地区) 地震次生灾害应对措施..... 1

地震预警、预报

国外地震预警系统的发展应用及其对我国的启示..... 10
Nature: 日本地震预警系统再次失败..... 18
地层电流地震预报理论引起关注..... 19
海城地震预报回顾..... 21

短 讯

Nature Geoscience: 地震的动态触发在全球普遍存在..... 23
俄勒冈海岸外的地震群困扰科学家..... 24
Geology: 全球 9 级地震发生的频率..... 25

地震资料

地震震级与烈度的划分..... 26

地震次生灾害

编者按：地震次生灾害一般是指由于地震而引起的一系列其他灾害。地震次生灾害大致可分为两大类，一是自然层面的，如滑坡、崩塌落石、泥石流、地裂缝、地面塌陷、砂土液化等次生地质灾害和水灾，发生在深海地区的强烈地震还可引起海啸。二是社会层面的，如道路破坏导致交通瘫痪、煤气管道破裂形成的火灾、下水道损坏对饮用水源的污染、电讯设施破坏造成的通讯中断，还有瘟疫流行、工厂毒气污染、医院细菌污染或放射性污染等。历史经验表明，次生灾害所造成的伤亡和损失，有时比直接灾害还要大。如果防范不及时有效，由原生灾害引起的次生衍生灾害，会形成灾害链。在一定的条件下，多种灾害还会同时发生，由灾害链放大成灾害群。汶川及其周边地区属地质灾害高发区，在本次地震中面临很高的次生灾害风险。下文通过分析日本、美国、中国台湾、巴基斯坦和伊朗等国家和地区地震引发的主要次生灾害及其处理措施，为汶川大地震抗震救灾工作提供相关借鉴和参考。

世界部分国家（地区）地震次生灾害应对措施

1 日本

1.1 土壤污染

在日本阪神大地震中，由于加油站泄漏的汽油、洗衣店用作干洗剂的四氯乙烯以及一些工厂使用的化学制剂泄漏，许多有害物质残留在土壤中，部分物质向地下渗透，污染了地下水，导致了严重的、短期内难以修复的土壤和地下水污染问题。

大地震后，日本政府和灾区企业都只顾地面上看得见的重建工作，欣喜于工厂和住宅建设顺利推进，而地下看不见的污染却被忽视了。阪神大地震遗留下的地质污染问题至今没有解决，受污染的土壤还不断被采挖用于别处填埋之用，导致地质污染的进一步扩散。

日本土壤专家铃木认为，土壤污染治理一定要先于建筑物的重建，因为一旦地面的房屋建起来了，就会给地下的污染调查和治理带来障碍。大地震后首先要做的当然是营救和安置受灾居民，其次要做的是恢复水电、通信等市政设施，防止传染病的发生，第三步，就应该着手调查土壤污染并对存在问题的地方加以治理。调查人员对当地主要使用哪些有害物质和地震中发生泄漏的概率应做到心中有数，以便采用适当的污染检测方法。为避免土壤污染调查和治理影响灾后重建速度，理想的步骤应当是先排查受污染可能性低的地点，一旦排除受污染的可能性，就可以在这些地点先进行重建，然后重点调查受污染可能性高的地点。不仅要妥善应对和彻底解决地震可能造成的土壤污染问题，还要总结产生问题的原因，加强防范（如有害物质加固措施），避免再次地震时继续产生同类问题。

1.2 堰塞湖

2004年10月23日，日本新潟发生6.8级地震，到11月3日已经确认形成了45个堰塞湖，新潟县和日本国土交通省就此组建了调查组，采取了以下处理措施：

- 10月24-25日，派遣专家组掌握受灾状况，直升飞机调查和地面调查同时进行。

- 10月27日，根据新潟县的请求，由国土交通省砂防部官员、研究人员和志愿者组成“土砂灾害对策紧急支持队”共508人，对土砂灾害危险场所等进行检查（27-31日）。

- 10月28日，由专家组成的“堰塞湖紧急调查组”，对河道闭塞情况进行了实地确认，并提出对策建议。

- 10月29日，布置实地监视、观测的摄像装置。

- 11月1日，举行了记者招待会，对地震造成的滑坡情况进行了通报。

- 11月5日，东竹沢地区的排水用水泵布置完毕。

- 11月5日，接受新潟县请求，国土交通省直接负责芋川流域的东竹沢地区和寺野地区的河道闭塞处理工作。

- 11月12日，为了促进灾害现场对策的实施，设置了“芋川河道闭塞现场对策室”。

- 11月17日，为了从根本上解决芋川流域河道闭塞问题，开展长期对策的研讨，由相关组织和学者组成“芋川河道闭塞对策检讨委员会”。

- 12月20日，采纳了人工挡土墙等处理措施，并相应增加了预算。

- 12月21日，公布了10月份实施的由“土砂灾害对策紧急支援队”完成的紧急调查成果。

- 12月28日，针对融雪增水而开建的临时排水渠道完工。开始实施临时排水作业。

- 1月26日，决定将东竹沢和寺野地区等10个地方纳入国土交通省砂防灾害监测体系。

在新潟地震后，针对东竹沢地区堰塞湖问题所采取的主要措施是主动排水。自11月5日即开始利用水泵将上游蓄水向下游排水的处理作业。并于11月17就水泵排水口处的侵蚀问题提出了对策，由于水泵排水造成大约25m的侵蚀，影响到地基稳定，虽然立刻造成危险的可能性很低，但如侵蚀到滑坡坝处则有可能带来决堤的危险。针对排水侵蚀的解决方案包括：①调整水泵排水管至临时排水位置。②对遭侵蚀的地基进行修复，埋设缓坡度的排水管。③地基复原后，联结新埋设的排水管，继续排水。

2005年2月日本国土交通省就堰塞湖紧急应对情况进行了总结，其主要应对措施包括：①预测由于水位升高而影响的区域；②预测决堤时间；③最大流量的推算；④预测决堤方式及其可能造成的危害范围；⑤提出避险方案。

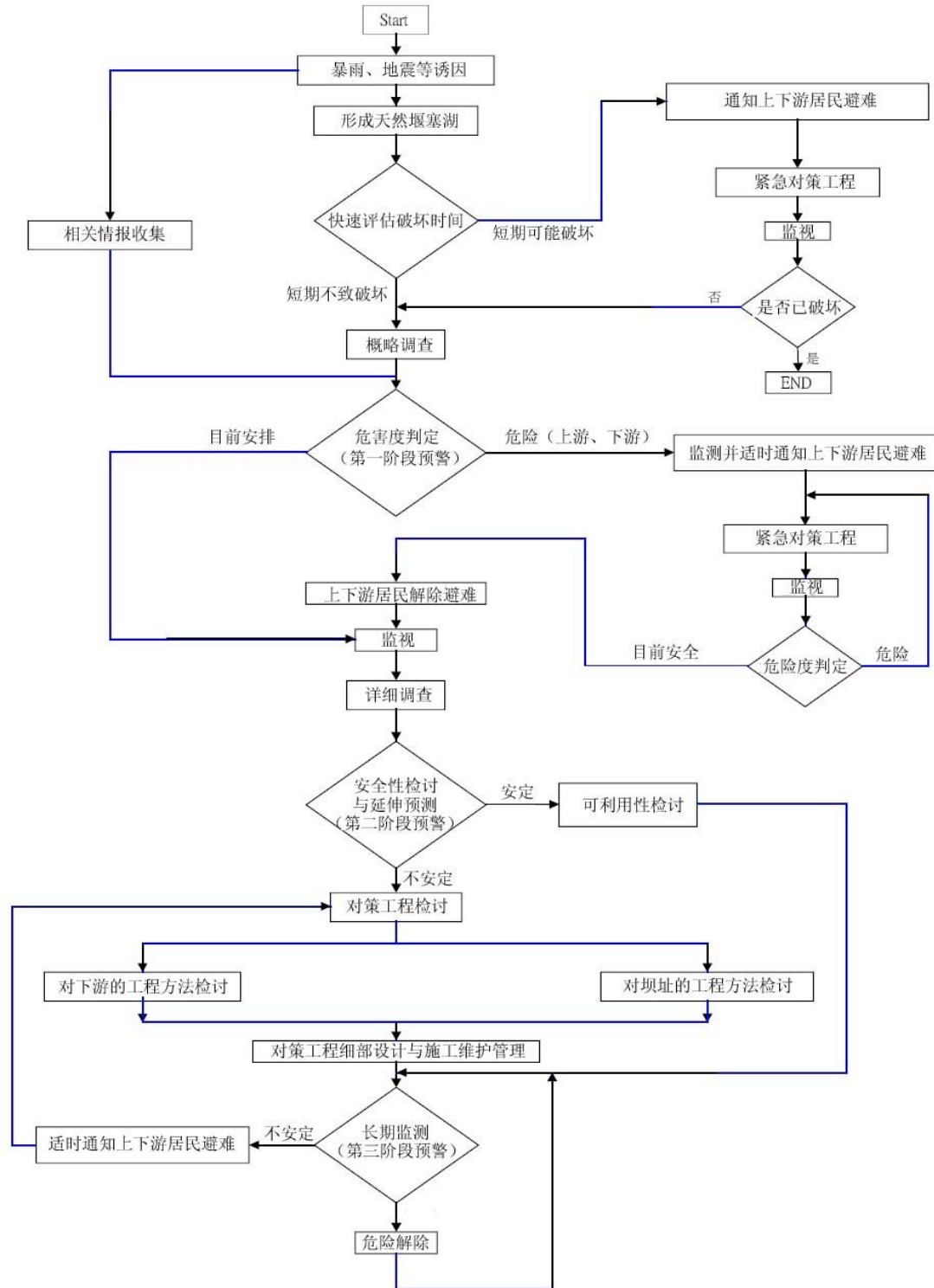


图1 堰塞湖形成后由调查开始至工程施工、维护管理的整体流程图

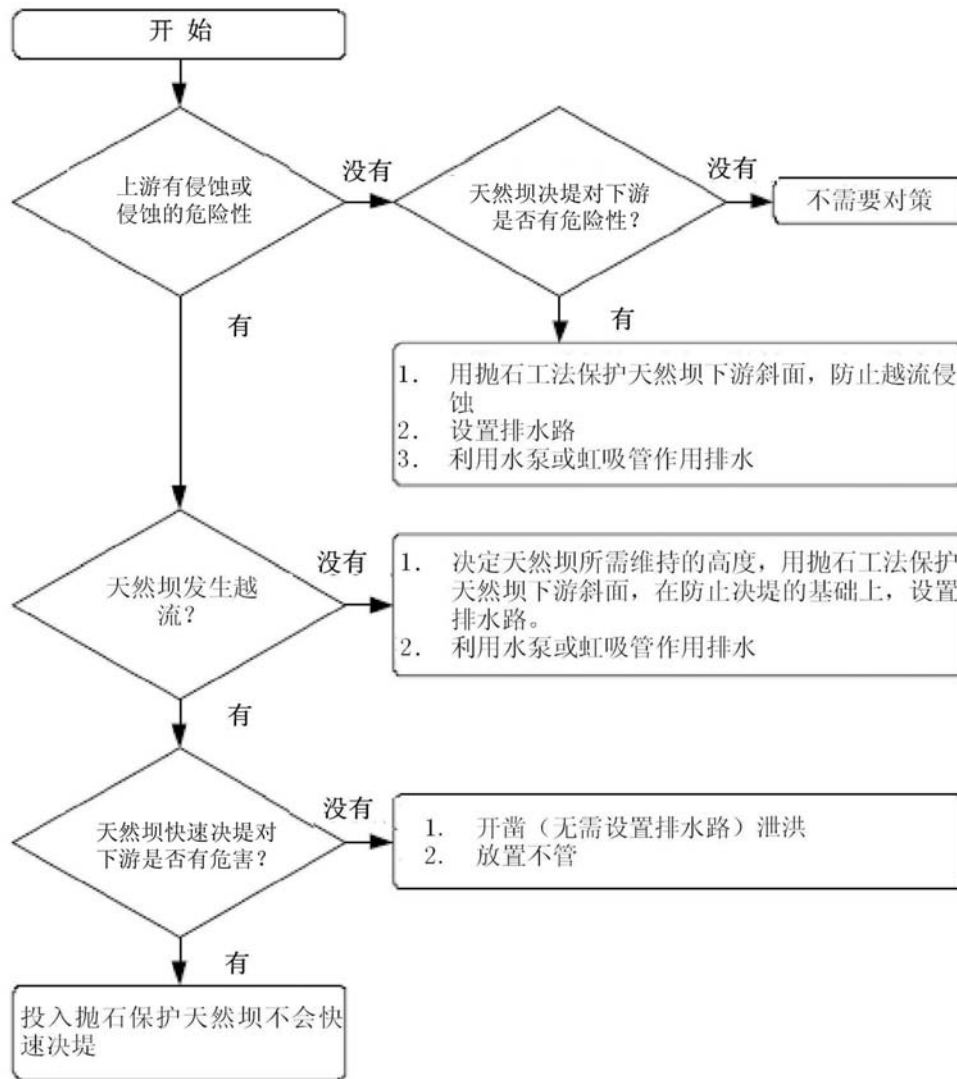


图 2 堰塞湖应急修复对策流程图

1.3 洪水

为预防地震后持续降水带来洪涝灾害，日本采取了相应的应对措施。首先清理河道并加高堤岸，在地震中容易溃堤处流出一条长 120 m 左右，比两边的堤岸低约 0.8 m 左右的漫堤，铺设中等大小、高低不平的碎石层，在碎石层上面用 8 号镀锌铁丝固定好，这样洪水来时顺着漫堤慢慢流入，增加洪水阻力，减轻洪水带来的冲击，使洪水沿着明渠向下游蓄水池流去，不会因溃堤而给下游带来灾难，也不会冲毁农田。在高风险的居民点周围建立 2 m 高的围坝予以保护，同时修建排水泵站可以排水。在洪水较大时，村落围起来的地方在移民后也可以作为泄洪区利用。

1.4 放射性污染

2007 年 7 月 16 日，日本新潟县柏崎市沿海地区发生里氏 6.9 级地震，及多次低于 6 级的余震，受地震影响，核电站短时间内发生两次含微量放射性物质的水泄漏事故，但未对环境造成影响。核电设施的抗震级别偏低，安全存在严重隐患，也暴露了有关方面在核能管理上的诸多漏洞。

此次核电站安全事件引起日本社会对地震安全预防和核电工业前景的广泛关注。日本是地震频发国家，在建造核电站过程中考虑了地震可能造成的影响。此次地震强度超过了核电站安全设计基准规定的 6.5 级，但据地震专家解释，当年设计核电站的地质勘查中，只发现了 20 km 之外的断层，而这次 6.8 级地震，是距核电站只有 9 km 的一个 30 km 长、25 km 深的断层运动所致，这个断层在当年开工前没有勘查出来。可以说，是当年犯下的错误导致了核电站事故。如果当时发现这个断层，核电站建设必然要避开它，选在别处。

1.5 火灾

1923 年 9 月 1 日，东京和横滨之间发生一次 8.2 级大地震。横滨市距震中 60 km，全市约 1/5 的房屋完全倒塌，有 208 处几乎同时起火。起初，火势虽很小，但因消防设备和水管被震坏，火灾无法扑灭，横滨市几乎全部被烧光。东京距震中 90 多公里，由于震后未能立即切断电源，关闭煤气等原因，有 200 多处同时起火。消防设备虽未被破坏，但由于街道狭窄，许多地段被倒塌的房子堵塞，救火车通不过，而且所有自来水总管被震坏，水源断绝，从水沟、水井抽水，也无济于事，结果全市大火，几天之内使东京烧掉了 2/3。除了建筑倒塌和次生火灾，这次地震引发的山崩、海啸等次生灾害也十分严重。

大地震中，天灾也引发了人祸。地震后，“朝鲜人放火”，“朝鲜人要暴动”，“大地震还要来”等谣言引起人为恐慌，警察和军队一些人趁机消除异己，造成了社会的动乱。日本政府宣布东京与神奈川戒严的命令。在这种情况下，军队、警察和市民自发组织的自警团杀害了约 6 000 名朝鲜人，还有数百名中国人也被杀害。

这次关东大震灾是 20 世纪世界最大的地震灾害之一。地震、地震次生灾害，特别是地震火灾的人员伤亡和财产损失是前所未有的。它使日本民族得到了血的惨痛教训，对日本的防灾工作产生了深远的影响。在以后的复兴计划和城市建设中，日本特别注意城市避难场所的设置、公园防火带的建设、各社区防灾据点的规划等，逐步形成了比较健全和完善的法制体系，并且建成的地震早期预警系统在监测到地震纵波后，立即由计算机自动向新干线上高速行驶的列车、核电站、城市供电和煤气输送系统发出制动指令，有效防止了地震次生灾害的发生。

2 美国

2.1 滑坡

1971 年 2 月 9 日，加利福尼亚 San Fernando 山区遭受 6.7 级地震，地震使得圣法南度水库（Lower San Fernando Dam）（洛杉矶水库的前身）上游的山坡地整个下滑约 30 英尺，滑动冲走了大部份在顶部上游用来抵挡 2 100 英尺深水库的凝土墙，只剩狭窄的泥墙。若当时水库的水位达满水位，水库的水早就高出水坝堤防而快速冲垮水坝、淹没下方的山谷。

地震滑坡迫使下游 80 000 多居民紧急搬迁，而花了 3 天时间将水库中的水全部泄完。经过 6.7 级的地震后，该水库已严重损坏，无法修复到能安全承受再次地震的状况，只好另建新水库，并根据当地的地震评估加入防震设计。1975—1976 年建造了新的洛杉矶水库，共花了 3 300 百万美金，位于圣法南度水库谷区上方 3 000 英尺高处。但旧的水坝并未拆除，相反地，它经过改建（虽未达美国地质调查局的防震标准）也提供了暴雨蓄水池及新水储备用地。1994 年的 Northridge 北桥大震再度考验了洛杉矶水坝。1994 年 Northridge 北桥大地震虽破坏了洛杉矶水坝上游斜坡的表面铺道，但因当初水坝建造时有重震防震设计，所以只受到些微的损害。

2.2 水污染、疫情

1994 年 1 月 17 日，洛杉矶以北地区遭受 6.6 级地震，地震切断了几乎整个洛杉矶地区的供电网，震坏了自来水管和煤气管道，大水从破裂的自来水管中喷涌而出，不少街道淹没在自来水中，造成水源污染，居民饮水困难。煤气管道爆炸和泄漏引起 100 多起火灾，多处火光冲天。地震发生数周后，在灾区及周边地区暴发了罕见的孢子菌病，这种由于吸入空气中的孢子菌而引起的呼吸系统疾病的发生率在震后 8 周内出现异常上升，并导致多人死亡。

2.3 火灾

1906 年 4 月 18 日，美国西部太平洋沿岸城市旧金山发生一次大地震，震级 8.3 级。地震时由于烟囱倒塌、堵塞及火炉翻倒，旧金山市有 50 多处同时起火。大火在 3 个地区持续燃烧了 3 天 3 夜以上，10 km² 的市区被完全烧光。因为供水系统瘫痪，消防队无法得到足够的水源，所以在市中心的几处相临大火汇成了范围更大的火灾。政府也试图控制火势，包括采用炸毁建筑物的办法来制造隔离带，可是事与愿违，炸药常常没有摧毁建筑物反倒引发新的火灾。最后在靠近大火边缘的地段，用炸药炸开了一条防火带，才控制住火势。

旧金山大地震时，虽然大部分水源地的蓄水库未受破坏，但自来水管却几乎完全损坏，凡是在坚固地基上的自来水干线破坏较轻微，而松软地基或沼泽地上的管道则多半破裂或扭曲，供水不足和断水严重影响了救火的时机，至使火灾发展到无法控制的地步。地震区的大城市，精心设计供水系统，并在普通供水系统之外建立单独的辅助高压消防系统，已成为城市抗震防灾的一个重要方面。

2.4 堰塞湖

1980 年 5 月 18 日圣海伦斯火山爆发，在大小冲沟沟谷中生成数个堰塞湖，斯皮里特湖是其中最大的一个。1982 年 8 月前，岩屑崩塌坝拦蓄湖水体积约 3.3×10⁸ m³。1982 年 11 月，美国陆军工程兵团在当地安装了一台 5 m³/s 的临时抽水泵，把湖水经一长 112 m，直径 1.5 m 的管道，跨过堵塞体顶部，抽入图特尔河北支流。后又开挖一条长 2 590 m，直径 3.4 m 的自流泄水隧洞来保持湖水位的稳定。

1959年8月，蒙大拿州西南山区发生了震级为7.1级的地震，岩石滑坡阻塞了河床，蓄成堰塞湖，湖长10 km，湖深60 m。堰塞湖形成后不久，美国陆军工兵部队立即在堰塞体顶部开挖形成了一75 m宽的泄流槽，通过泄量280 m³/s。为确保泄流道的稳定，沿泄流槽槽底和槽壁选用大石块铺砌成“护面”，同时，用施工器械和放水冲刷相结合的开挖方式，把堵塞体顶部削低约1.5 m。

2.5 核设施安全性

美国常做地震核设施安全诊断。1998年6月美国能源部和国防部高级计划局，联合美国紧急事务管理局，共同执行了一项美国核设施地震安全诊断计划，对全美32个重点基地、试验场、核潜艇停泊地、核武器储存地进行地震安全检查，包括评定这些地点的地震活动及其危险，设施抗震易损性以及预测地震发生期间的保护措施。检查结果表明，发生过地震的地点有破损的迹象，一些地点有发生中等强度地震的可能性，有关方面把采取的防护措施，如布设微震和强震监测设施、现有房屋及结构物的加固和提高设防标准的改建、设立军民联合专业工作队等，列入了联合研发计划。截止到2004年，已在19个地点设立了专用台网（站），24个地点进行房屋和设施的加固，3个实验室设备做了抗震加固等，还对试验场、核潜艇停泊地、核弹头储存库及管理部门做了突发事件（含地震）应急预案的修订，成立了应急服务工作队，对此类事件进行特殊管理。

3 中国台湾

3.1 土壤液化

1999年9月21日，中国台湾地区中部发生7.3级的大地震，中港出现土壤液化（当疏松且地下水位偏高的饱和砂质土壤，受到短暂的反复作用力，造成孔隙水无法立即排出而使孔隙水压极速上升，导致有效应力下降而趋近于零时，土壤失去了抗剪能力，使土壤呈现液态泥状的现象。），这是导致基础破坏的主要原因。

3.2 山崩

中国台湾921地震后发生山崩，整个山体变成了一个由大小1米到数米的巨石组成的堆积体。台中县石岗水坝被震垮，水坝主体被断层错开，主坝严重受损。三处闸门断裂，供应大台中地区200多万居民的生活用水一夕间流光，水库见底。

中寮变电所是中国台湾南电北运的枢纽，紧邻集集镇，地震中严重受创，在地震到来的最初几秒中就震坏，造成全台湾大范围停电，北部发生限电危机，直至震后第19天抢修完成跨接变电所的临时输电线路后，才解除限电。不过，停电也避免了电线短路及煤气管道泄漏引发的火灾。

强大的地震活动也改变了中国台湾中部地区的土地覆盖状况，使岩层破碎，破碎的岩层因表面积的加大更容易受到风化、侵蚀作用的影响，而诱发更大的崩塌作用。造成山区土石松散、地层松动与土崩，在后来几年台风所带来的强降雨下，原本

因地震而松滑的土石大量滑落，造成严重的泥石流灾害，河床也因土石泥沙的堆积而被提升，形成严重的洪患。

控制灾害防治的基本原则为预防、避开、缓冲、替代、限制、监测、维护等，这些原则与方法可使灾害减轻至最少。

3.3 水灾

921 地震后，中国台湾没有注意到后续的水灾。当时是梅雨季节，紧接着桃芝台风又造成了 200 多人的死亡。如果事先预防的话，可能不会死那么多人。

3.4 堰塞湖

中国台湾地处板块接触带，地震频繁，而降雨多集中于台风季，且常以暴雨形态出现，尤因地质脆弱，故经常发生因暴雨或地震引起的地滑、崩塌及泥石流，其严重者会堵塞河道形成堰塞湖，其中以 1999 年 921 地震所引发的草岭及九份二山堰塞湖最具代表性。崩塌土石阻断清水溪，河道阻断长度约 5 km，高度约 40~50 m，并于崩塌区上游形成堰塞湖。形成堰塞湖的土体，往往会引起上游回水淹没及可能溃决造成下游洪水泛滥等二次灾害。为避免次生灾害，采用挖土机、推土机等重型机械，在崩塌土体上方开挖形成一溢流水道，同时利用沿线地形上天然洼地进行消能与滞流，以减轻溢流水道冲刷。

处理堰塞湖，除了在下游安装警示装置，增加更多的监控点之外，还要派专人驻守。这种自然形成的堰塞湖，不像人工水库那样经过计算而知道坝堤的抗压程度是多少，堰塞湖达到什么水量后发生溃堤无法预知。台湾 921 地震形成的几个堰塞湖，到现在还是河川警示区。处理堰塞湖，第一步应以最危险的受害情形，谨慎评估出下游影响距离和疏散范围，采取或炸或挖的导引措施；若未采取立即性的处理措施，第二步应实施长期密集监测，掌握天气变化和下雨资讯，随时应变；第三则在严密预防下，让堰塞湖自然冲刷解体流失。

4 巴基斯坦

4.1 滑坡

2005 年 10 月 8 日，巴基斯坦发生 7.8 级地震，巴拉考特镇中心区出现多处山坡和河岸滑坡。Kaghan 峡谷地区严重滑坡点分布较密集，在长约 8 km 的峡谷地段存在严重滑坡 30 余处。使得位于 Kaghan 峡谷的中巴公路遭到重创，出现大量大规模的堵塞、坍塌、断错，严重影响救灾和伤员救助工作，震后很长时间内只能靠直升机开展救援工作。由于稳定性差和余震不断，Kaghan 峡谷中的滑坡体一直在坍塌，持续了很长时间。在流经巴拉考特镇中心的 Kunhar 河两侧，河岸的大面积土体滑坡使各类建筑物向河流倒滑倒塌，公路被严重破坏，形成沿河流域的重灾分布点。

巴基斯坦使用重型机械来打通因山体滑坡等造成的道路阻塞，同时还派军队徒步进入灾区。不仅如此，巴基斯坦还有动物运输队，它们习惯于走山路，既可以背负救援物资还能够运出伤员。

4.2 泥石流

这次地震引发了泥石流，把多个村庄夷为平地，巴基斯坦北部山区是重灾区。余震以及地震引发的泥石流也使得无数惊魂未定的居民在生命财产受到严重威胁的同时不得不再次跑到街上躲避灾难。由于当地下着大雨和冰雹，泥土变成了粘稠的泥浆，救援工作进行得非常困难。

山区大地震灾害问题相对平原地区更为严重。滑坡隐患体治理是确保震后交通安全和快速修复的关键，也是减轻地震灾害的重要因素。

4.3 疫情

由于地震带来了滑坡、泥石流等地质灾害，从而对水质造成了破坏。

在巴基斯坦的穆扎法拉巴德，居住在一个事先没有规划、装备很差的营地中的1 800人中爆发了严重的水性腹泻，共有超过750个病例，其中大部分是成人。

在流离失所的难民中，发现了超过1 200例急性黄疸，其中很多被确认为E型肝炎。流离失所的灾民中患上急性呼吸道感染（ARI）和由此死亡的病例是最多的。另外，还发现了破伤风病例。

“无国界医生”组织11日在巴基斯坦重灾区拉响疫情警报。然而，巴基斯坦灾区近千家医院完全被毁，不要说防疫，就连救治受伤灾民都力不从心。一些国家的医生紧急行动，组建医疗队支援灾区。

在提供了充足的饮用水和卫生方便设施之后，很多疫情得到了控制。另外，灾民还组成了志愿救援队，协助医生和护士照看上千名伤员，印军飞机还向灾区空投了安葬死者所需要的裹尸布。

5 伊朗

5.1 泥石流

2003年12月26日，伊朗东南部克尔曼省巴姆地区发生了里氏6.3级强烈地震。由于在地震之后天气条件十分恶劣，有的地方仍然下着雨夹雪，这使地震后的救援行动受到了不小的影响。通往一些灾区的道路也因地震造成的塌方和泥石流而无法通行。1990年6月21日，伊朗西北部地区发生里氏7.3级强烈地震。地震和余震及地震造成的山体滑坡波及吉兰省和赞詹省27个市镇、1 870个村庄，造成大约4万人死亡，50万余人无家可归，此次地震是伊朗有记录以来破坏最严重的一次。

5.2 疫情

在巴姆地震中，虽然伊朗及国际救援人员全天候投入工作，但由于罹难者遗体太多，当地唯一的墓园已经不敷使用，街头遗体横陈，并且已经发出臭味。巴姆当地的两家医院已在地震中被毁，而一些临时搭建的医院一时还不足以应付局面。

由于时间紧迫，许多尸体已不能清洗处理，工作人员不停地喷洒消毒药剂以防止病菌扩散。为防止出现疫情，红十字国际委员会建议人们戴上手套和面罩。

同时，巴姆地震灾区的自来水系统被禁止使用，灾民可以通过供水车等获得干净的生活用水。当局还将巴姆地区划分为 12 个区，每个区都有专门的政府官员负责监控卫生状况和环境问题。

一般强震之后，避免大规模传染性疾病发生、维护社会秩序、保障幸存者的基本生活需要等，会上升为震区迫切需要解决的问题。

参考文献：

- [1] <http://blog.edu.cn/user2/44907/rss2.xml>
- [2] http://www.mlit.go.jp/river/sabo/kondankai/pdf/050218_4.pdf
- [3] http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/05/051117_.html
- [4] <http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h16niigata/h16niigata.pdf>
- [5] http://news.xinhuanet.com/environment/2008-05/24/content_8243824.htm
- [6] <http://news.sina.com.cn/w/2007-07-17/001413459476.shtml>
- [7] <http://www.cjw.gov.cn/index/digest/detail/20080515/102030.asp>
- [8] <http://www.iwhr.com/special/scdz/kjkb/kjkb-5.pdf>
- [9] <http://921.yam.com/experience/dam.html>
- [10] <http://mil.eastday.com/m/20080524/u1a3609566.html>
- [11] <http://ncdr.nat.gov.tw/91conf/cd/G/GR01.pdf>
- [12] <http://ncdr.nat.gov.tw/91conf/cd/D/DR13.pdf>
- [13] <http://www.eqqh.gov.cn/Article/sjqyzh/200712/396.shtml>
- [14] <http://www.022net.com/2008/5-20/403350302648065.html>
- [15] http://lw.xinhuanet.com/htm/content_3276.htm
- [16] <http://www.rmloho.com/user6/43368/archives/2008/346519.html>

（安培浚 曲建升 赵纪东 王雪梅 熊永兰）

地震预警、预报

编者按：5·12 汶川大地震震惊世界，人们的目光再一次转向地震的预测预报。本文比较了地震预测、预报、预警的差异，阐述了地震预警及预警系统的技术原理，介绍了地震预警系统在部分国家和一些重大工程中的应用，以及地震预警具有的潜在效益，对地震预警的未来发展趋势进行了分析，并对我国的防震减灾工作进行了一些思考。希望能够为我国的地震科学研究，以及防震减灾工作提供参考和借鉴。

国外地震预警系统的发展应用及其对我国的启示

地震预警主要利用电磁波与地震波的速度差，以及地震 P 波与 S 波的速度差来实现地震发生后的及时预警。发出预警的时候，有害的地震波（S 波、L 波、R 波）往往还未到达地表，因此，人们仍然有时间采取紧急措施。虽然地震预警的时间非常短，往往只有几秒、十几秒或数十秒，但是如此短的时间仍然可以挽救很多生命，减少很多损失。在目前地震预测、预报还很不成熟的情况下，为了应对突发性和毁灭性的地震灾害，最大可能地降低损失，进行地震预警非常现实，也很有意义。

1 地震预测、预报、预警的区别

地震学家把地震预测 (prediction) 定义为“同时给出未来地震的位置、大小、时间和概率四种参数”的研究, 并且每种参数的误差 (不确定的范围) 应小于、等于下列数值: ① 位置: $\pm 1/2$ 破裂长度; ② 大小: $\pm 1/2$ 破裂长度或 ± 0.5 级; ③ 时间: $\pm 20\%$ 复发时间; ④ 概率: 预测正确次数 / (预测正确次数 + 预测失误次数)。地震预测通常分为长期 (10 年以上)、中期 (1~10 年)、短期 (1 天至数百天以下) 预测, 短期预测又细分为短期 (十天至数百天) 和临震 (一天至十天以下) 预测。

在国际上, 有地震学家把不符合上述定义的“预测”等统称为“预报” (forecasting), 例如对在一段长时期内的某一不确定的时间发生地震的概率做出估计就应叫作地震预报。亚洲地震委员会 (ASC) 前副主席吉布森 (Gibson, 2004) 认为, 预报指可能发生 (probably), 而预测则指肯定发生 (definitely)。在我国, 也有科学家把由政府主管部门依法发布的有关未来地震的警报称作地震预报。几年前, 很多科学家认为, 对地震来说, 预报和预测都是不可能的, 而现在, 主流观点认为预报还是可能的, 但预测非常困难。

国际减灾战略秘书处 (ISDR Secretariat, 2001) 指出, 自然灾害的预警是指对即将发生的灾难进行的紧急警告, 包括对即将来临的灾害 (如热带风暴、洪水等) 发出的紧急警告, 也可以包括对一段时间后由此灾害可能引起的灾难 (如饥荒与干旱等) 发出的延期警告。因此, 一般来说, 地震预警就是指地震事件已经来临但震害还未触及地表的情况下向社会发布地震警告, 号召大家采取相应的紧急措施。目前, 精准的地震预测或相对准确的地震预报仍然是世界性的难题, 但地震预警不同, 它已经有了很多的应用实例。

2 地震预警技术及地震预警系统

地震 P 波不具破坏性, 在地质媒介中的传播速度最高, 高于 S 波、L 波等, 而电磁波的传播速度 (30 万 km/s) 远大于地震波速度 (约 10 km/s), 地震预警技术就是利用 P 波和 S 波的速度差、电磁波和地震波的速度差, 在地震发生后, 当破坏性地震波尚未来袭的数秒至数十秒之前发出预警预告。

1868 年, 美国的库珀 (Cooper) 最先提出建立地震早期预警系统的构想, 1985 年, 西顿 (Heaton) 提出了电脑现代化后的地震警报系统。20 世纪 90 年代, 计算机技术、数字通信技术和数字化强震观测技术日趋成熟, 日本、墨西哥等国纷纷开始建立地震预警系统。

现在的地震预警系统的预警方式为地震参数预警, 与之相对的是较为传统的地震动值预警。地震参数预警是利用台站的 P 波或 S 波确定出震级、震源深度、震中距等参数, 从而确定预警的范围和级别。这种方式所需决策时间长, 但有效性高。地震动值预警则直接利用地震动值是否超过给定的阈值来判断预警, 它既不区分 P

波与 S 波震相，也不确定地震的有关参数，有效性较低。另外，根据与预警目标区（城市或重大工程场地）的距离远近，地震预警系统又可分为异地震前预警和本地 P 波预警两类。

地震预警系统的一般工作流程为：地震监测系统（数字化实时强震仪）→通信系统（电话线、无线拨号上网、中继站）→控制中心（计算机和专业软件）→警报发布系统（手机、电子媒体、政府）。

3 国外主要地震预警系统的发展和应用

目前，墨西哥、日本、罗马尼亚等国，以及一些重大工程，如水坝、核电站等都已部署了地震预警系统，这些预警系统的具体构建和性能各有不同，现简介如下：

3.1 基本应用状况

3.1.1 墨西哥城地震预警系统

墨西哥处在环太平洋地震带上，从 1978 年以来，墨西哥一直处于频繁的地震状态，这促使了墨西哥进行地震预警系统的开发。墨西哥城地震预警系统 SAS (Seismic Alarm System) 于 1991 年 8 月投入使用，是世界上唯一向公众发布地震警报的地震预警系统。

SAS 由四部分组成：① 地震检测系统，在格雷罗 (Guerrero) 沿海地区 300 km 长的范围内布设了间距为 25 km 的 12 台数字强震仪，每个台站有一台微机，可在 10 s 内确定震级，如 $M > 6$ 或 $5 \leq M \leq 6$ 即发布警报，如有 2 台以上确定地震的发生，就向公众发布警报；② 通讯系统，有一个甚高频 (VHF) 中央无线电中继站和 3 个超高频 (UHF) 无线电中继站，可在 2 s 内将地震信息传至墨西哥市；③ 中央控制系统，设在距格雷罗海岸地区约 320 km 的墨西哥市，可连续接收地震信号并自动处理，确定震级后决定是否发布警报；④ 警报发布系统，通过商业电台发布警报，有关部门配有专用接收机，由专人负责接收并协调防灾活动。

另外，墨西哥国家理工学院的巴埃纳·迪亚斯等人于 2005 年发明了一种地震预警系统，可以在地震波抵达前 200 s 通过手机向人们发送预警信号。该系统由三部分组成，埋在地下用于测量地震波的感应设备、负责把地震波信息发送至卫星的传送设备和把预警信号放大并发送至手机用户的卫星。研究人员在太平洋沿岸的瓦哈卡州、格雷罗州和米切肯州分别埋设了感应设备，对于这些州沿海发生的地震，如震动超过里氏 5 级，该系统将自动激活，届时住在墨西哥城的手机用户将获得预警。

3.1.2 日本地震早期预警系统

日本气象厅 (JMA) 所建构的地震早期预警系统 EEW (Earthquake Early Warning) 已经在 2007 年 10 月上线，推广到全日本境内。

EEW 之所以能够发出预警，主要归功于日本境内密集分布的地震测站（大约每

二十公里一座), 以及计算机能够迅速计算出地震发生地点与震波传播方向的能力。当地震发生, 邻近震源的地震测站会根据所收到的 P 波讯号, 首先判断地震强度。一旦地震强度在 4 级以上(根据日本气象厅地震震度分级), 相当于麦加利地震强度(Mercalli intensity scale)的 6~7 级时, EEW 便会发出预警。

若是后续其它测站的计算结果异于最初的估计, 达到水平方向误差 0.2 度, 垂直方向误差 20 km, 地震强度比原先估计的大 0.5 级或小一级时, EEW 会更新先前所发出的预警。甚至有可能当第一个测站收到震波讯号, 让 EEW 发出了预警, 但后续其它测站却没有收到震波讯号, 表示数据可能有误, 此时 EEW 也会取消预警。

3.1.3 罗马尼亚地震即时预警系统

罗马尼亚是地震频发的国家之一。罗马尼亚人对一些轻微地震引发的建筑物晃动, 似乎早已经习惯。然而, 震级达到里氏 7 级以上的毁灭性强震, 仅在 20 世纪就在罗马尼亚境内发生过 3 次。罗马尼亚目前的地震预报与监测重点, 主要集中在首都布加勒斯特东北 180 km 远的弗朗恰山区一带。这里不但是罗的地震多发区, 而且几次强震的震中均位于此地, 罗马尼亚政府在这里建立的即时地震预警系统有各种现代化的电子装置与设备。

罗马尼亚发生的地震, 震源经常位于地表 110~150 km 以下的地心深处。因此, 专家们重点开展了即时地震预警研究, 当 110 km 以下的地壳深处发生地震时, 地震波传播到地球表面大约需要 28 至 32 s 的时间, 而专家们在当地设置的电子感应仪只需 2~3 s 的时间就可检测到地震, 也就是说专家们至少可在毁灭性打击到来之前 25 s 得知地震已经发生。

2006 年 4 月, 罗马尼亚国家地球物理研究所在弗朗恰的两个地震观测站对他们最近研究成功的一种新的地震即时预警系统进行了演示。该系统共有 3 个感应器, 可在 1~2 s 内确定是否发生地震, 同时, 系统会自动将地震警报发往首都布加勒斯特, 且无需人工操作。

3.1.4 美国加州的地震预警系统

目前, 美国加州综合地震台网(California Integrated Seismic Network, CISN)正在进行地震预警系统方面的测试, 该项目计划于 2009 年完成, 其目标是成为一个可对地震进行较为准确预警的公共预警系统。

CISN 在实时地震网络上测试了 3 种早期预警系统。其中, 在北加州测试的 ElarmS 系统(Earthquake Alarm Systems)测出了明矾岩(Alum Rock)的地震, 这是 1989 年加州洛马普列塔(Loma Prieta)地震以来, 旧金山湾最大的地震, 并且, 仅用了 3 或 4 s 的时间就估计出了震级, 准确度在 0.5 级之内。ElarmS 还推测出了地震分布情况, 与麦氏震级强度范围的误差在一个单位之内。即使是 ElarmS 的 15 s 延迟处理, 其预测的地震强度也比地震高峰来临的时间早了好几秒钟。现在, CISN

的研究人员正努力将延迟处理的时间缩减到 10 s，以争取更多的时间，这意味着如果将来加州再次发生地震，旧金山和奥兰多在 10 s 后就可知预警信息。

另外，土耳其伊斯坦布尔也建立了自己的地震快速反应与早期预警系统 IERREWS (Istanbul Earthquake Rapid Response and Early Warning System)，哥斯达黎加以及我国台湾等也都已经部署了地震预警系统。

3.2 在重大工程中的应用

3.2.1 日本的高速铁路地震预警系统

目前最新型、最先进的铁路地震预警系统为日本的紧急地震检测与预警系统 UrEDAS (Urgent Earthquake Detection and Alarm System)，这是一个利用地震 P 波和 S 波信息快速估计地震参数并结合已有震害统计结果有针对性发布地震预警信号的智能系统，该系统的最大特点是单个台站用 P 波初动就能确定震源参数。考虑到多台站系统的复杂性和网络系统的脆弱性，UrEDAS 采用单台信号报警，实时监测单个观测点处的地面运动。UrEDAS 在检测到地震 P 波后的 3 s 内估算出震中方位、震级、震中距和震源深度等地震参数，并发出第一次警报，在 S 波到达后计算出更精确的地震参数后，再发出第二次警报。由中心台接受各台发布的警报并进行综合处理，在第一个台检测到 P 波后 2 min 内自动发出警报。

3.2.2 立陶宛伊格纳利纳核电站地震预警系统

立陶宛伊格纳利纳 (Ignalina) 核电站地震预警系统于 1999 年建成，采用地震动值预警。该系统由 1 个中心控制台和位于距电站约 30 km 的圆周上的 6 个台站组成，形成所谓的地震“围栏”。每个台站有 1 台地震仪和 3 台加速度计连续运行，3 台加速度计的记录都输入到一个“地震开关”中。当其中 2 个记录到的加速度超过预置的阈值 (初始设置为 0.025 g) 时，地震开关发出警报信号，经数字编码后用 UHF 调频波段无线电发送到控制中心。系统能提供 4 s 的预警时间，而反应堆控制棒的插入时间为 2 s，这说明该地震预警系统能使伊格纳利纳核电站在地震波到达前停止运转。

3.2.3 伊朗卡尔黑水坝地震监测网络

伊朗水电资源开发公司 IWPC (Iran Water and Power Resources Development Company) 的卡尔黑 (Karkheh) 水坝地震监测网络由瑞士 GeoSIG 公司承建。该系统实质是一个水坝地震安全性监测网络，其任务范围包括：① 评估和观测大坝结构的安全与完整；② 评估和比较水坝是否达到抗震设计要求；③ 发展和改进应对紧急情况的措施；④ 提供该地区的地震数据。该系统的地震动观测设备为 6 台 AC—63 型三分量力平衡加速度计和 6 台 GSR—18 型强震记录仪；通信系统为电缆、调制解调器和两个转发器，以此实现各强震台和控制中心的互连，提供定时、触发和通信服务；控制中心为拥有 18 个频道和一个指令舱模块的中心台。

另外，GeoSIG 公司还承建了瑞士贝兹瑙 (Beznau) 核电站测震仪器网络、希腊

普雷韦扎 (Preveza)——亚克兴 (Aktio) 的水下浸入式隧道地震和接缝位移监测系统。

4 地震预警系统的潜在效益

经过多年的探索和研究,地震的中、长期预测已经取得了一定的进展,但作用相对比较重大的短、临预测进展不大。1980 年代以后,国际上对地震前兆的研究重点转移到探索大地震前的暂态滑移前兆,但至今未见重大突破。地震预报仍然是概率性事件,目前的最大成功率不超过 20%。

相对于地震预测、预报而言,地震预警的时间相当短,但其准确率却相对较高,因此很多国家早已开始重视地震预警在防震减灾中的作用。如果地震前几秒钟发出预警,就理论而言,哪怕只有几秒的预警,也可以挽留无数的生命,有关方面也可以利用这极为短暂的时间采取一些紧急措施,减小地震可能引发的灾难,比如及时切断煤气以及电源供应的开关,降低震后发生火灾的可能。

1995 年 9 月 14 日格雷罗州科帕拉发生 7.3 级地震,在地震波到达墨西哥市前 72 s,其 SAS 系统发布了警报,86 台接收机中除 12 台外都收到了警报,及时采取了防震措施。据估计,在这次地震期间约有 438.9 万人听到了这个警报。尽管这是由于震中距远达 320 km 而产生的特殊事例,但它证明了地震预警系统的功能。墨西哥国家理工学院 2005 年新开发的预警系统经过几次对墨西哥南部太平洋沿海地震活动的跟踪,表明该系统预警成功率在 90% 以上。

罗马尼亚的地震即时预警系统有自己的创新之处,在警报发出后的 0.9 至 1.2 s 之内,强震发生时可造成重大损失的大型企业将自动停止运行,如天然气、石油管道,切尔纳沃德核电站等。此外,该系统同时还可以让正在运行的电梯和高速列车行进至安全位置,以尽可能地减少损失。2006 年春季,在维也纳举行的欧洲信息社会技术颁奖仪式上,该系统成为相同领域的唯一获奖项目。

目前,日本已在东京地区、青函海底隧道、东海道新干线、山阳新干线等地区布设了近 30 套 UrEDAS 系统。日本的 UrEDAS 不仅可以用于火车的紧急制动,也可以扩展应用于建筑物主动控制装置的启动、化工厂和核电站紧急防震措施的实施、高层建筑电梯的地震控制、海啸报警以及消防部门和医院及时采取措施等。立陶宛伊格纳利纳核电站的地震预警系统则完全能在地震波到达前使该核电站停止运转。

2000 年,中国学者夏玉胜、杨丽萍从理论上预测了地震预警系统可减少的人员伤亡:如果预警时间为 3 s,可使人员伤亡比减少 14%;如果为 10 s,人员伤亡比减少 39%,如果预警时间达到 60 s,则可使人员伤亡减少 95%。

5 地震预警系统的未来发展趋势

目前,地震预警系统大体上仍处于摇篮阶段,但发展中的这种系统还是十分有效,日本、墨西哥等国家已经部署。不过大多数的国家,包括美国,仍然处于研究阶段。就目前的状况看来,其未来的发展趋势应该是提高系统的准确率和速度。

5.1 提高系统准确率，减少误报或不报

地震预警系统确实能够有效地减轻地震灾害，但误报是这项技术的主要挑战之一。地震预警系统存在自身的缺陷，对于发生在距预警目标区 20 km 以内地区的直下型地震，除了可以安装由 P 波触发的自动控制装置外，已没有时间对人员发出预警。因此，在震中距 20 km 以内的地区，被认为是地震预警的盲区。

如果发生大型地震（七级以上），因为断层破裂的时间较长，日本的 EEW 就会无法完整推估地震强度；当两个地震连续发生在同一地点时，EEW 亦无法精确识别出两个先后发生的地震。日本在 2004 年 2 月到 2005 年 8 月测试 EEW 系统时，该系统共发布了 245 条警报，有 10% 被确定为“假情报”。同时，墨西哥的 SAS 系统也被证明存在误报的情况。美国专家认为，减少误报的办法是必须让更多的数据互相检验，需要有充分的强地动观测数据及相关研究。土耳其的科学家则计划将强震识别模式和一个基于条件判断的附加系统联合起来，以探测在地震动估计和测量之间有矛盾的地震。另外，地震早期预警系统算法的研究也被很多专家认为很有意义。

2008 年 5 月 8 日，日本东京东北 200 km 处发生了一场 6.7 级地震，日本的 EEW 系统却未及时发出警报。这次失败是因为此次地震的烈度恰好处在边界线上，未来似乎很有可能对“地震烈度”的划分展开进一步探索。

5.2 提高系统速度，延长预警时间

2004 年，日本中部发生了一次 6.5 级地震。当时向该地区行驶的高速火车的地震预警系统发出警报，使火车大幅减速，但由于预警时间太短，火车最终还是出轨了，日本高速火车 40 年历史中的第一次灾难也就这样发生了。

地震预警时间的长短，依地震发生地点至预警地区的距离远近而定。地震发生地点愈靠近预警地区，则预警时间愈短。根据近年来对旧金山地震的研究，加州大学伯克利分校地学系助理教授理查德·艾伦（Richard Allen）认为，预警系统在大地震到来之前提前发出警报的时间，完全可以超过 20 s。在一项测试过程中，艾伦设计的系统在接收数据 4 s 后，就准确测算出地震的大小。墨西哥城的地震预警系统根据该城市与附近主要地震海岸的距离，从理论上讲则可以提前 60 s 发出预警。

地震预警系统要求把许多传感器分布在广阔的地理区域，传感器的数目越大，震中和震级的计算越准确，预警也越早。为了填补常规地震仪留下的空白，一些研究人员建议开发膝上型计算机里面的传感器，把它们用作分布式 P-波传感器。虽然膝上型计算机传感器不是十分敏感，但它们巨大的数量也许会有价值。

6 国外地震预警系统对我国防震减灾的启示

6.1 地震前兆，仍需探索

我国目前的地震预报研究主要集中在地震前兆上，有地震一定会有前兆，但是有前兆不一定有地震。现在，我国监测的前兆项目很多，但是对这些前兆和地震之

间的具体关系还需要探索。

6.2 当务之急，探清断层

地震发生的时间和强度很难预测，但发生地点都无一例外地位于断层。我国普遍比较注重理论，而实际操作却相对比较弱，对基础性的研究不够深入，使得我国的地震预报一直局限在“经验主义”范畴。因此，目前的当务之急应该是基础资料的观测，把地下的每条断层的位置都尽量探测清楚，把每条断层历史活动资料研究清楚。这对于地震预警系统的部署意义重大，因为其中一些断层很可能就是预警系统的重要监测点所在。

6.3 地震台网，有待完善

或许正因认识到地震预报的艰巨性和不确定性，迄今为止，全世界可能只有我国把地震预报作为政府的常规职责，而其它国家则更多地采取类似的地震预警系统来应对地震的威胁。目前，中国也已准备开始研制类似的地震预警系统，但由于对预警的准确性没有确切把握，这一系统的实际运行尚没有时间表。地震台网的建设是建立地震预警系统的基础，但对我国而言，这项基础工作还有待完善。与国际水平相比，中国数字台网建设依然不足。以强震台覆盖密度为例，日本为 1 323 台/万 km^2 ，美国为 53 台/万 km^2 ，我国只有 0.3 台/万 km^2 。

6.4 地震预警，任重道远

我国目前仅有“首都圈”的二市一省（北京、天津及河北）在“九五”期间建立了初步的地震应急指挥框架，其他地区特别是沿海地区、西部地区、地震应急工作远远无法满足需要。“十五”规划中的“中国数字地震观测网络”建设总投资近 23 亿元，这项规划实际从 2003 年正式实施，2008 年 4 月 11 日通过验收。根据这一计划，我国将对包括北京、上海、成都在内的 25 个城市及其周边开展活跃断层探测工作，以确定其潜在的危险及危害程度。如果该工程的整套系统得以正式投入运行，我国的地震工作将得到全面提升。但是，寄希望这一项目解决所有问题似乎也不现实。将地震威胁减到最低，是一个无比复杂的系统工程，比如，即使建立了地震预警系统，信息如何通报、民众能否及时获得并有能力及时准确作出反应，这都不是一个机构或组织所可以决定。

已经通过验收的数字地震观测网络将保证全国各省、区、市和市县的地震信息网络连通，24 h 地震信息共享；在烈度四度以上地震发生后，我国地震局将有能力在 10 min 内向政府和社会报告震动强度和地震烈度分布。但是，这显然还不能进行有效的地震预警，因为地震预警指的是在有害地震波还未到达地表前，于很短的时间内发出警报。目前，仍在实施中的美国国家地震监测台网系统 ANSS（Advanced National Seismic System）计划中就包含了地震预警系统，日本的地震预警系统也非常好，但要在我国全面建立这一体系难度比较大，因为这不仅要求我们对地震的震

中、震级、烈度的确定要及时、准确，还要求我们的监测、通讯等仪器能长期、稳定地工作。

地震预警系统工程的投入和产出跟企业有别，它不是一件立竿见影的事。未来，我国若要真正意义上实现地震预警，进行防震减灾，仍然任重道远。

参考文献：

- [1] 陈运泰. 地震预测——进展、困难与前景. 地震地磁观测与研究, 2007, 28 (2): 1-24
- [4] 陈颐, 陈运泰, 等. “十一五”期间中国重大地震灾害预测预警和防治对策. 灾害学, 2005.3, 20 (1): 1-14
- [5] 袁志祥, 单修政, 等. 地震预警技术综述. 自然灾害学报, 2007, 16 (6): 216-223
- [7] Espinosa-Aranda J.M., Rodriguez F.H., 等. 墨西哥城的地震警报系统. 世界地震译丛, 2004, (3): 1-7
- [15] 夏玉胜, 杨丽萍. 地震预警(报)系统及减灾效益研究. 西北地震学报, 2000, 22(4): 452-457
- [16] 吴逸民. 地震预警之研究现况. 台湾活动断层与地震灾害研讨会, 2004: 162-172
- [17] 张晓东, 张国民. 关于地震预警的思考. 国际地震动态, 2004, (6): 42-46
- [8] http://www.most.gov.cn/gnwkjdt/200507/t20050717_23250.htm
- [9] http://www.sciscape.org/news_detail.php?news_id=2331
- [10] Hoshiba M., 等. Earthquake Early Warning Starts Nationwide in Japan. EOS, 2008, 89 (8): 74-75
- [11] <http://news.dlinfo.gov.cn/2006/9-19/11131683703.html>
- [12] <http://scecddata.usc.edu/earlywarning/>
- [13] http://www.istis.sh.cn/istis_old/qt/rdqb/list.asp?id=5139

(赵纪东 编写)

Nature: 日本地震预警系统再次失败

据 *Nature* 杂志网站新闻报道, 2008 年 5 月 8 日, 东京东北 200 km 处发生了一场 6.7 级地震, 尽管此次地震造成的损失并不严重, 但是大大动摇了日本公众对地震预警系统的信心。在此次地震中大东京地区仅有数十人受轻伤, 多是被掉落的花瓶、相框和喇叭砸伤的, 尽管如此, 日本去年 10 月份才投入使用的预警系统本应该发出警报。日本气象厅 (JMA) 的官员解释说, 这套系统应该至少提前 10 s 发出警报, 这次失败是因为此次地震的烈度恰好处在边界线上。

这套系统基于日本的“地震烈度”划分法。地震震级测量的是震中释放的能量, 烈度则表示地震在地表引起的破坏强度。8 号的这次地震发生在地表 40 km 处, 受影响的大多数地区的烈度被定为 4 级或 4 级以下。而只有烈度到达了至少 5 级该系统才会发出警报 (5 级的破坏强度是 4 级的 30 倍。) 通常地震烈度在 5 级低端时, 墙面会开裂, 书架会翻倒, 而 Chiba 县北部的一些地区的烈度确实达到了 5 级。

对烈度的预估需要综合分析震级、震源的深浅以及震中到地表之间的地质特征等。通过探测地震产生的 P 波, 这种预估在地震开始发生的几秒钟之内是可能的。P 波是地震发生后的第一轮非破坏性波, 比第二轮破坏性波提前数十秒钟到达。

日本气象厅的地震探测仪将收集到的 P 波数据传给计算机, 计算机自动分析震级和深度, 并估测地表不同地点的烈度。第一轮计算完成后, 计算机仍会源源不断

地收到地震计发出的数据，并不断地计算更正估测结果。5月8日，震后1 min内计算机共得出了9套数据，其中震后最初9.3 s得出了第一套，震后58.3 s得出了第九套。这9套数据给出的估算结果各不相同，震级从6级到6.9级，深度则从地下10~70 km不等。直到第9套数据，也就是地震发生后1 min、Mito地区感受到地面震动后40 s的时候，这次地震的烈度才被确定为低5级。后来通过对数十部地震计的数据的分析得出了更精确的结果：这是一次震级6.7级，深度为地下40 km的地震，御津和另一个城镇的烈度为低5级。

该预警系统已经不是第一次失败了。2008年4月28日，日本南部的Miyakojima岛发生了烈度为5级的地震，而Miyakojima岛的居民在感受到地震后6 s才收到警报。日本气象厅的计算机还曾经低估了今年1月26日发生在日本海岸Ishikawa县的一次地震的烈度。

日本气象厅地震与海啸观测部副主任Akihiko Wakayama说，该机构收到了很多政府官员和民众的投诉，他表示，大家都说这套系统毫无帮助，但是关于这套系统的局限性他们一直说得再明白不过了。这套系统对更大的地震会更有效一些，这样可以及时停运火车和电梯，避免灾难发生。较小的地震的数据更不明朗，而大地震会产生更多数据。震级越大，就越能更快地发出警报。

(赵纪东 摘编)

原文题目: Japan's earthquake warning system fails again

摘自: <http://www.sciencetimes.com.cn/htmlnews/2008519134714553206855.html>

检索日期: 2008年5月23日

地层电流地震预报理论引起关注

2008年五月初，美国宇航局(NASA)的科学家从地球红外监测图像上发现，中国西南部地区有异常迹象。一位名叫Dimitar Ouzounov的科学家在给同事的一封邮件中指出：中国四川会有状况发生。

对NASA地球物理研究员Friedemann Freund来说，这为他那套简单但引起热烈争论的理论提供了又一力证。这位曾从事化学研究的科学家认为，地震是地球物理活动持续积聚的结果，有时在大的活动发生前一周多时间就可以发现征兆。Freund的主要想法是：岩层承受足够大压力之后（比如因地质构造板块移动而受压）会变成类似“电池”那样的蓄电体，其产生的电流能在地层里传输到数英里之外的地方。他表示，NASA观测到的红外图像就集中在离此次四川地震震中位置几百英里远（1 mile = 1.6 093 km）的地区。

Freund当初获得这一发现非常偶然。那是在2005年年初某个周五的下午两点，就在他和他的研究生即将把临时实验室的物品完成打包整理时，他们突然决定在第167号实验中用一个铜导线测试一下受压岩石是否会产生电流，结果是肯定的。

一个多世纪以来，研究人员一直对为实现地震预测所付出的种种努力持有争议。

直到目前，将电磁信号、红外波或大气层变化与地震来临联系起来观点仍没有得到广泛支持。Freund 的理论也受到了很多同行的质疑。他们认为，不能肯定他实验室里的岩石是否能充当地下岩层的可靠模型。批评人士还指出，就算电流确实存在，Freund 在证明电流能在含水岩层中传导或能长距离传输方面做的工作还不够。

美国地质调查局（USGS）下属的地震灾害研究项目副协调人 Mike Blanpied 表示，当前这种理论基本上还处于猜想阶段。该调查局对大约 100 个地震研究项目提供了资金支持，但不包括 Freund 的项目。不过，Blanpied 补充指出，他并不完全排除能开发出某种地震早期预报系统的可能性。即使这种可能性相对很小，但考虑到事关重大，仍值得加以探索。

曾在 2004 年的一场 6.0 级地震中负责检测圣安德烈斯断层（San Andreas fault）帕克菲尔德区域（Parkfield）的 Stephen Park（加州大学河滨分校地球物理学研究人员）表示，他没有看到任何有价值的迹象。有些信号持续存在，在事后总结的时候似乎可被归为地震相关征兆。一直以来存在一个让人困惑的问题：由于难以跟踪地震，人们很难搜集到数据来建立地震探测装置。在大地震时早期预警信号会比较明显，但科学家本人及现场测试设备必须做到在准确的时间出现在准确的地点。Park 表示，要是能如此先知先觉，他们就不需要做现在的这个试验了。

不过，这并没有让已经 75 岁的 Freund 气馁。他已将自己和小说家妻子 Hisako Matsubara 共同积攒的 100 万美元拿出来投到了研究工作中。他们的儿子 Minoru Freund 如今在加州芒特维尤（Mountain View）的 NASA 艾姆斯太空探索中心（NASA Ames Exploration Center）担任高级宇航材料及设备研究中心（Center for Advanced Aerospace Materials and Devices）的主任，同时他也和父亲一起研究理论。这对父子兵希望，卫星设备能有助于他们将理论研究推进到下一阶段。

那位向同事发送邮件提到四川异常情况的 NASA 科学家 Ouzounov 正在研究震前大气变化中的热力学现象。他跟 Freund 的理论方向不同，但他们有一个共同前提，那就是地震前发布预报是可能的。

现有的地震预警系统都是依靠对已经发生的地震所产生的震动进行跟踪，最多只能发出数小时的警报。真正的地震预测也只是根据过往的历史和地理数据估算出其可能性。而有关地震来临前的怪异迹象，如天空中的莫名光亮、人体晕眩、动物反常举动、水位变化等等或许可以用 Freund 的电流理论来解释。

NASA 喷气推进实验室（Jet Propulsion Laboratory）图像应用部门负责人 Nevin Bryant 表示，他认为 Freund 在某些地方说到了点上。在所有天气条件足够观察的地震案例中，他们都从地球卫星图像上看到了反常迹象。NASA 艾姆斯太空探索中心地球科学分部也同意这个说法。该分部负责人 Steve Hipskind 表示，人们感觉到 Freund 提出的理论中至少有很强的合理成份。在该中心从事研究工作的 Freund 承认

自己的理论还需要进一步完善，并表示为此还需要大量的科学和资金支持。他希望能筹措到 2 亿美元发射更多地球轨道卫星来跟踪地球表面的变化。

Freund 的发现在成为完善的早期预报系统之前还需要扫清其它障碍，比如：如何辨别将要发生的是小震动还是大地震？Freund 承认，还有大量问题需要他积极地加以解决，但他相信自己不会被难倒，他表示自己坚信能克服一切难题。

（赵纪东 摘编）

原文题目：Attention Grows on Quake-Warning Systems

摘自：<http://chinese.wsj.com/gb/20080520/fea164447.asp>

检索日期：2008 年 5 月 21 日

海城地震预报回顾

1975 年 2 月 4 日，发生在辽宁海城——营口的 7.3 级大地震震惊了世界，震前 6 小时，相关部门发布了地震预报，因此挽救了无数生命，避免了很大的损失。此次地震被地震界视为里程碑式的事件，它是人类历史上第一次准确预报的强震，联合国迄今为止只承认了这一个准确预报的地震案例。

1 海城地震的预报过程

（1）地震危险性估计：自 1966 年邢台地震后，地震活动有沿着北东方向向北迁移的趋势；我国东部郯城——庐江地震带向北延入辽宁境地，历史上辽宁的地震活动均受该地震带的控制；辽南地区的金州、庄河、鸭绿江口等活动断裂穿越的地区，历史上均发生过破坏性地震，六七十年代以来这些地方的小震活动有增强态势；据长水准复测资料，辽南地区地壳垂直形变发生了较大差异运动。

（2）中期、短期地震趋势分析：1974 年 6 月，国家地震局召开华北及渤海地区的地震趋势会商会，对 1973 年、1974 年出现的地震频次增加、金州活动断裂带垂直形变异常、地磁场强度变化、渤海海面上升变异等进行研究，综合提出渤海北部地区一两年内，可能发生 5~6 级地震的预报意见。

1974 年 11 月，东北三省召开地震趋势会商会，在对已有资料研究的基础上，又综合了一些异常发展的分析资料，明确提出：营口、大连等地是近期发生破坏性地震危险性较大的地区。

1974 年 12 月 20 日，辽宁省地震部门根据辽南地区出现的地震前兆现象：水井变浑、变味、冒泡和水位大幅度涨落；蛇、鼠、家畜、家禽习性反常；地倾斜曲线出现提前转折打结、加速异常；以及水氡异常等，提出在丹东，盘锦——营、熊岳——金县，近期可能发生 5 级左右的地震。

1975 年 1 月中旬，国家地震局又召开了全国地震趋势会商会，会议综合分析了各方面的异常资料，明确提出营口至台县一带，以及丹东地区，是 1975 年上半年可能发生 5.5~6 级地震的地区。

（3）临震预报：1975 年 2 月 1 日起营口石砬峪地震台记录到震中距 20 km 范

围内的小震活动，这是建台以来很少发震的地段，小震不但空间上相对集中、而且额度和强度逐渐升级。辽宁省和沈阳地震部门，反复会商研究上述突变现象，认为可能是临震的异常现象，于是在2月3日深夜编写出震情简报，提出在营口、海城地区可能要发生一次较大的地震，随即把震情简报和预报意见送到辽宁省政府，并派人赶赴海城配合有关部门开展防震减灾工作。

1975年2月4日上午营口、海城地区出现了两次有感地震（4.2和4.7级），其后小震急剧下降呈现平静。当天19时36分，7.3级地震发生了。由于海城地震事前预报，使预防准备工作充分，在大震前赢得了时间，取得了史无前例的减灾成效。

2 海城地震预报成功的原因

海城地震预报的成功和海城地震工作者与政府在各方面的决策有很大关系，但跟海城地震本身也有非常密切的关系。因为辽宁中部（包括海城、鞍山附近）地区的地震有一个特点，就是强震发生之前，往往会出现一个小的震群。对此，地震学家们有一个总结，称作“小震闹腾，大震到”。

但是唐山地震却与这样的规律截然相反。地震之前三个月，不仅唐山当地没有地震，周围唐山、天津这一带也没有什么小地震；尤其是唐山，地震之前三个月一级以上的地震都没有。这样的实例告诉我们，地震的类型是非常多样的，不是只有一种类型。海城地震只是其中一种类型。可以说，直到今天为止，人类对地震孕育过程的基本规律仍然没有完全掌握，只能说是在局部找到了一些经验。

在海城地震30周年之际，曾经举办过一场学术研讨会，与会专家得出两个结论，一次成功的地震预报取决于两大因素：一是各级地震部门提出的准确地震预报意见；二是各级人民政府所作出的果断的地震预报决策及其所采取的有效防震减灾紧急措施。

3 结语

1975年，《美国地震协会公告》上的一篇专文评论认为：虽然海城地震的预测是结合了混乱、经验主义分析、直觉判断和好运气，但这是预测地震的一次尝试，且第一次没有以失败而告终。

33年后的汶川大地震，使我们不得不重新提及地震预报这个世界性难题。目前在地震预报方面依然以经验性预报为主，在科学预报方面尚未取得突破性进展，防震减灾事业仍然任重道远。

参考文献：

- [1] 钟以章. 1975年海城地震成功预报的回顾与思考[J]. 防灾博览, 2005(1): 17-18
- [2] 肖和平. 1975年辽宁海城地震预报之回顾[J]. 城市防震减灾, 2000(3): 15-16
- [3] <http://blog.tom.com/wp.vip/article/6983.html>

（赵纪东 整理）

Nature Geoscience: 地震的动态触发在全球普遍存在

地震可由应力场的局部变化引发，应力场的变化则归因于邻近的地震，或遥远地方大地震的面波（L 波、R 波）传播产生的应力。然而，相关机制、频率、控制因素和全球范围内的地震动态触发事件尚未得到充分理解。

地震的触发分为两个主要研究领域：静态和动态。静态触发在主震破裂断层的长度范围内发生，起因于滑动诱发的局部应力场变化，其影响力通常在方圆 100~200 km 的范围内逐渐消退。反常地震的频率增加，以及静态应力增加可影响范围外的地震肯定由其它一些过程引发。这些事件就是所谓的动态触发，其通常与大振幅、长时间的瞬态信号有关，即地震面波。面波通常是震动图上振幅最大的波，当其沿地球表面传播的时候，将产生很强的应力。对面波的振幅影响最大的是地震破裂的性质，比如地震发生的深度、震源机制和破裂方式。面波的传播也包括分散，此过程中速度是频率的函数。

为了研究地震面波对地震动态触发的作用，美国德州大学埃尔帕索分校（UTEP）、美国地质调查局（USGS）加州分局、美国犹他州大学地震台站的研究人员从美国地震学联合研究会（IRIS）的数据管理中心（DMC）的可利用的开放式网络数据（全球地震台网 GSN、美国地震观测台阵 USArray 等）中获取了宽频震动图，利用这些数据集，他们以自动化的方法系统地鉴定了面波信号中隐藏的小信号（小型地震的低振幅信号通常会被高振幅的面波所遮盖），并记录了全球范围内动态引发的地震。

研究结果显示，从 1990 年至今，在 15 个震级大于 7 级的地震中（512 汶川大地震不包括在内），有 12 次地震的 L 波和 R 波在传播过程中使全球小地震的数量明显增加。这说明大地震在一些遥远大陆引发了较小规模的地震，比如，2004 年 12 月，印尼苏门答腊发生大地震后，随即一些遥远的地方，如美国的阿拉斯加州、加利福尼亚州，以及厄瓜多尔就发生了地震。

另外，位于全世界不同地质构造环境下的 500 个监测站的数据显示，上述 15 次地震的面波通过后，95% 的情况下小地震的频率会加倍。其中，L 波使得局部地震频率在平均水平上增加了 37%，而 R 波则使全球地震频率增加了 60%。

因此，研究人员认为，由于 L 波和 R 波的传播，全球范围内动态触发的地震经常出现，并且其不受被触发地震和主震的地质构造环境影响。同时，一些物理机制也肯定在动态触发中发挥了作用。

（赵纪东 编译）

原文题目：Global ubiquity of dynamic earthquake triggering

译自：<http://www.nature.com/ngeo/journal/vaop/ncurrent/full/ngeo204.html>

检索日期：2008 年 5 月 26 日

俄勒冈海岸外的地震群困扰科学家

在 2008 年 4 月初的十天时间里，美国俄勒冈州立大学哈特菲尔德海洋科学中心（Hatfield Marine Science Center）的科学家们在俄勒冈州海岸一个地震活动并不是非常强烈的地区记录到了 600 多次地震。俄勒冈州立大学的海洋地质学家 Robert Dziak 表示，这种地震活动的“聚集”非常罕见，它发生在胡安德富卡板块（Juan de Fuca Plate）的中部，而不是板块的边界处。

在过去的 17 年里，Robert Dziak 等人一直通过水听器录音（hydrophone recording）对海洋进行监测，但他们从来见到过这类地震在某一地区聚集的现象，也不知道这些地震意味着什么。他们希望能够有一艘船只到达具体位点，采取水样进行进一步的研究，因为水样可能能够说明引发这些地震的过程到底是板块构造还是热液活动。

Dziak 表示，这些“聚集”的地震中的有三次地震的震级超过了 5 级，这也非常罕见。2008 年 4 月 7 日星期一，发生了最大的地震，震级达到了 5.4 级。当周，地震活动一直在持续，在星期四也就是 4 月 10 日发生了 5 级地震。几次高震级地震事件之间一直伴随着很多小型地震。由于地震起源于海岸处的海洋深部，因此在海岸上可能能够感受到一些地震。

这些地震发生在俄勒冈州纽波特（Newport）西南部 150 海里的一个盆地。这个盆地位于两个地下“断裂”地质特征之间，形成于深部深海沉积物。最接近地震“聚集”位点的盆地部分似乎位于从 Blanco 转换断层到胡安德富卡洋脊（Juan de Fuca ridge）的这样一个西北方向的弧形构造边缘。

地震的“衰减（decay）”速率主要反映地震向四周扩散过程中的强度降低。通过对这个指标的分析，研究人员发现，“聚集”地震并不是主要地震活动之后一系列余震，这样一种一般序列的地质活动。目前，一些继续向下进行的地震活动正维持着地壳的较高剪应力。

Dziak 和他的同事通过一个位于洋底的水听器系统对地震进行监测。这个被称作声音监控系统（Sound Surveillance System, SOSUS）的监测网络曾在冷战中被应用于监测太平洋北部的潜艇活动。冷战结束后，这些军事设施及其它一些军事设施被提供给民用研究人员进行环境研究。哈特菲尔德海洋科学中心的研究人员还创造发明出了自己的便携式水听器，Dziak 已将其部署在南极洲，监测该地区的地震活动。敏感的水听器已经记录下了丰富的“声音”，这些“声音”不仅对海底地震研究有很大帮助，同时对巨大冰山的运动，以及鲸、企鹅、海象等其它海洋物种的声音研究也大有裨益。

这并不是研究人员第一次记录到美国俄勒冈州海岸附近的地震“聚集”。在 2005 年，Dziak 等人曾记录到了俄勒冈 Astoria 西北部的胡安德富卡洋脊在两周时间内所

发生的数以千计的小型地震。这些地震的规模比较小，发生在构造板块的边界处。今年是过去十二年来第八次记录到这种地震“聚集”，前七次很可能是因为胡安德富卡洋脊的火山活动引起。胡安德富卡板块并不以一种连续的方式进行移动，其部分移动速度相对较快。当岩浆注入洋壳的时候，该板块发生运动，并使板块出现分裂。

Dziak 指出，这些地震“聚集”的时候，有时熔岩会一直深入到达海底。通常情况下，板块的运动速度与人类手指甲的生长速率相近，大约每年三厘米。但是，当地震“聚集”式出现的时候，板块的运动速度可能超过每两周一米。但是，这第八次地震“聚集”与众不同，它发生板块的中部，而不是边界处，因此，其非常值得深入研究。

(赵纪东 编译)

原文题目: Unusual Earthquake Swarm off Oregon Coast Puzzles Scientists

译自: <http://oregonstate.edu/dept/ncs/newsarch/2008/Apr08/swarm.html>

检索日期: 2008年5月6日

Geology: 全球 9 级地震发生的频率

数十年来的地震观测发现: 世界上的地震并非随处都发生, 而是集中在少数的地带上。尤其自 20 世纪 60 年代世界标准地震观测网设立以来, 世界地震发生的位置和范围便更明确的显现出来。2008 年 3 月份 *Geology* 上的这篇文章指出: 超级大地震可能发生在任何一个俯冲带, 比如 2004 年的印尼大地震, 事前人们根本没有想到这个地方会发生地震, 此次地震的发生打破了全球 8.5 级以上地震 40 年的平静状态。

根据一项最新研究显示, 每个世纪世界各地平均发生 3 次灾难性 9 级地震, 或者更强烈的地震。该项研究发表在 2008 年 3 月份的 *Geology* 上, 文章题目为《全球 9 级地震的频率》(Global frequency of magnitude 9 earthquakes)。

该研究排除了这种地震发生所受的地点限制。现在看来, 似乎任何处在俯冲带 (subduction zone), 即一个地质构造板块向另一个地质构造板块下放推进的地方, 都有可能经历具有灾难性的 9 级地震。以前, 人们认为根据正在相撞的两个板块的速度、它们的硬度和年龄, 不同俯冲带造成 9 级地震的风险会更高或更低。这个著名假设在 2004 年 12 月 26 日被推翻。新西兰政府研究机构——地质和能源研究协会 (GNS) 的地震学家罗伯特·麦卡弗雷 (Robert McCaffrey) 博士表示, 苏门答腊——安达曼地震正是发生在人们认为最不可能发生的一个地方。

麦卡弗雷决定通过最近历史上已知的大地震, 或者通过用来预测任何俯冲带引发超级大地震风险的失败理论, 重新测定没有偏离他的模拟的最大地震的风险。他进行模拟时发现, 任何俯冲带引发这种超级大地震的风险是平均每世纪发生 3 次, 尽管这种地震并不是时常发生。至于麦卡弗雷的模拟得出的结论为什么比过去 50 年

中发生9级地震的次数更少，他表示，这只是样本量的问题。为此，他打了个比方：你走进一个友好的家庭内，在你停留的10分钟内朋友的孩子一直在啼哭不止。因此，在你离开时会认为那个孩子总是在哭。然而，你也可能正好看到那个孩子一整天只突然发作一次，这就像你看到一个规模真正庞大的罕见地震突然发生一样。

麦卡弗雷称，他们观测到这个过程是数千年循环一次。然而，地震仪仅在大约100年前发明，而有关9级地震的历史纪录仅能上溯到大约300年前。因此，现在人们弄不清楚其看到的哪种形式更能体现长期的平均数字。美国西北大学（Northwestern University）的地震学家塞斯·斯坦教授的论断是，有俯冲带的地方就无法排除会发生超级大地震的可能性。这意味着，当人们考虑一场大海啸时，根本不能确定它们将在哪里发生。换句话说就是，对海啸应急策划人来说，麦卡弗雷的论文是个坏消息，因为它增加了这种灾难的可能性。

（赵纪东 摘编）

原文题目：Global frequency of magnitude 9 earthquakes

摘自：<http://www.sciencetimes.com.cn/htmlpaper/2008312142609161413.html>

检索日期：2008年5月20日

地震资料

地震震级与烈度的划分

地震震级与烈度的概念存在根本性区别，震级代表地震本身的强弱，只同震源发出的地震波能量有关；烈度则表示同一次地震在地震波及的各个地点所造成的影响的程度，与震源深度、震中距、方位角、地质构造以及土壤性质等许多因素有关。

1 地震震级（Earthquake Magnitude）

地震震级是根据地震波记录确定的一个没有量纲的数值，用来表示一定范围内各个地震的相对大小（强度）。震级作为一个观测项目，是美国地震学家C.F.里克特于1935年首先提出的。最初的原始震级标度只适用于近震和局部地震。1945年B.古登堡把震级的应用推广到远震和深源地震，奠定了震级体系的基础，他利用宽频带地震仪记录远震传来的面波，根据面波的振幅和周期来计算震级。

最常用的震级表示方法有：① 近震震级（local magnitude, ML），又叫里氏、芮氏震级（Richter scale），是表示地震规模大小的标度。它是由观测点处地震仪所记录到的地震波最大振幅的常用对数演算而来，是目前国际通用的震级标准。② 面波震级（Surface-wave magnitude, Ms）③ 体波震级（Body-wave magnitude, Mb）④ 矩震级（Moment magnitude, Mw）。

表1 里氏震级及其对应的地震影响

里氏震级	近震源地区的影响
<M3.5	通常人无感觉，但仪器有记录
M3.5~M5.4	一般人有感觉，但很少会造成破坏
>M6.0	对设计良好的建筑物有轻微的损坏，在小范围内能对设计、建造不佳或偷工减料的建筑物造成很大破坏
M6.1~M6.9	可对方圆100 km以内的地区造成破坏性影响
M7.0~M7.9	可对超过100 km以外的区域造成严重破坏
>M8.0	可对1000 km以外的区域造成严重破坏

2 地震烈度 (Earthquake Intensity)

地震烈度即地震发生时对地面产生的实际影响与破坏程度。地面振动的强弱直接影响对人的感觉的强弱，器物反应的程度，房屋的损坏或破坏程度，地面景观的变化情况等。因此烈度的确定主要依靠对上述几个方面的宏观考察和定性描述。

震级代表地震本身的大小强弱，它由震源发出的地震波能量来决定，对于同一次地震只应有一个数值。烈度在同一次地震中是因地而异的，它受着当地各种自然和人为条件的影响。对震级相同的地震来说，如果震源越浅，震中距越短，则烈度就越高。同样，当地的地质构造是否稳定，土壤结构是否坚实，房屋和其它建筑物是否坚固耐震等对当地的烈度高低有着直接的关系。(影响地震烈度的五要素：震级、震源深度、震中距、地质结构、建筑物)。一次地震中，人们往往强调震中（或称极震区）的烈度。

烈度的表示用“修正麦加利地震烈度表”(Modified Mercalli Intensity, MMI)表示，分为12级，用罗马数字的 I—XII表示。地震动峰值加速度 (Peak Ground Acceleration, PGA) 是指与地震动加速度反应谱最大值相应的水平加速度，地震动反应谱特征周期是指地震动反应谱开始下降点的周期，其单位为g (gal, 中文伽或盖)。地震烈度及其对应的地震动峰值加速度和地震影响见表2。

表2 地震烈度及其对应的地震动峰值加速度和地震影响

MMI	PGA (g)	地震的影响
I	<0.002	人无感觉，仅在极少数有利环境下有感。
II	0.002~0.003	个别完全静止中的人能感觉到，特别是在高层建筑物上，悬挂的物体会略有轻微摆动。
III	0.004~0.007	室内的人感觉明显，尤其是在高层建筑物上，但大多数人意识不到这是地震；停靠的汽车会有轻微的摇动；地震引起的震动如卡车经过。
IV	0.015~0.020	白天室内大多数人能感觉，室外少数人能感觉；夜晚一些睡觉的人会惊醒，屋内器皿、门窗受到震动，墙会发出声响，感觉如重型货车撞击建筑物，停靠的汽车有明显的震动。

V	0.030~0.040	几乎所有的人都能感觉到。睡觉的人大多会惊醒，一些器皿、门窗玻璃会被震碎，少数地方墙面的灰泥会破裂，不牢固的物体会倒塌，室外的树、竿及其它高的物体会摇晃，钟摆可能停止摆动。
VI	0.060~0.070	所有的人会感觉到，许多人会受到惊吓并奔出屋外；一些沉重的家具会发生位移，有些案例中会发生墙体倒塌与烟囱受损；造成的影响轻微。
VII	0.100~0.150	所有人会奔向屋外。设计建造良好的建筑物几乎不会受到损坏；普通设计较好的建筑物会受到轻微到中等的损坏，一些危房或设计差的建筑物会受相当大的破坏，一些烟囱会受到破坏。驾车的人能明显感觉。
VIII	0.250~0.300	一些特别设计的建筑物会受到轻微损坏，普通坚固的建筑物会受到相当大的破坏，部分还会倒塌；建筑较差的房屋破坏严重，框架结构的墙板会错位；烟囱、工厂高炉、房屋圆柱、纪念碑、墙等会倒塌；沉重的家具会被晃倒。会有少量的沙子与泥浆喷射出来；井水会发生变化；驾车的人会受到扰乱
IX	0.500~0.550	特殊设计的房屋也会受到相当大的损坏，设计良好的框架结构出现扭曲不垂直情况，一般坚固的建筑物严重破坏，部分还会倒塌；建筑物的地基受到影响；地面会有明显的裂痕，地下管道会破裂。
X	>0.600	一些建筑良好的木质结构房屋受到损坏，大多数砖石与框架结构建筑的地基受到破坏，地面出现严重裂痕；铁轨变形；河岸与陡峭的崖壁会发生崩塌及滑坡。河流中的水会涌出河岸。
XI		很少有房屋不被震塌，桥梁会倒塌，地面出现宽阔的裂痕，地下管道会完全瘫痪，地面发生沉降，铁轨严重变形倾斜。
XII		所有一切完全摧毁，地形剧烈变化；物体会抛到空中。

(王勤花 编译)

原文题目: Keeping Schools Safe in Earthquakes

译自: <http://www.oecd.org/dataoecd/43/10/33628793.pdf>

检索日期: 2008年5月26日

版权及合理使用声明

中科院国家科学图书馆《科学研究监测动态快报》（简称《快报》）遵守国家知识产权法的规定，保护知识产权，保障著作权人的合法权益，并要求参阅人员及研究人员认真遵守中国版权法的有关规定，严禁将《快报》用于任何商业或其他营利性用途。未经中科院国家科学图书馆同意，用于读者个人学习、研究目的的单篇信息报道稿件的使用，应注明版权信息和信息来源。未经中科院国家科学图书馆允许，院内外各单位不能以任何方式整期转载、链接或发布相关专题《快报》。任何单位要链接、整期发布或转载相关专题《快报》内容，应向国家科学图书馆发送正式的需求函，说明其用途，征得同意，并与国家科学图书馆签订协议。中科院国家科学图书馆总馆网站发布所有专题的《快报》，国家科学图书馆各分馆网站上发布各相关专题的《快报》。其它单位如需链接、整期发布或转载相关专题的《快报》，请与国家科学图书馆联系。

欢迎对中科院国家科学图书馆《科学研究监测动态快报》提出意见与建议。

中国科学院国家科学图书馆

National Science Library of Chinese Academy of Sciences

《科学研究动态监测快报》(简称系列《快报》)是由中国科学院国家科学图书馆总馆、兰州分馆、成都分馆、武汉分馆以及中科院上海生命科学信息中心编辑出版的科技信息报道类半月快报刊物,由中国科学院规划战略局、基础科学局、资源环境科学与技术局、生命科学与生物技术局、高技术局研究与发展局等中科院职能局、专业局或科技创新基地支持和指导,于2004年12月正式启动。每月1日或15日出版。2006年10月,国家科学图书馆按照统一规划、系统布局、分工负责、系统集成的思路,对应院1+10科技创新基地,重新规划和部署了系列《快报》。系列《快报》的重点服务对象首先是中科院领导、中科院专业局职能局领导和相关管理人员;其次是包括研究所领导在内的科学家;三是国家有关科技部委的决策者和管理人员以及有关科学家。系列《快报》内容将恰当地兼顾好决策管理者与战略科学家的信息需求,报道各科学领域的国际科技战略与规划、科技计划与预算、科技进展与动态、科技前沿与热点、重大研发与应用、科技政策与管理等方面的最新进展与发展动态。

系列《快报》现有13个专辑,分别为由中国科学院国家科学图书馆总馆承担的《交叉与重大前沿专辑》、《现代农业科技专辑》、《空间光电科技专辑》、《科技战略与政策专辑》;由兰州分馆承担的《资源环境科学专辑》、《地球科学专辑》、《气候变化科学专辑》;由成都分馆承担的《信息科技专辑》、《先进工业生物科技专辑》;由武汉分馆承担的《先进能源科技专辑》、《先进制造与新材料科技专辑》、《生物安全专辑》;由上海生命科学信息中心承担的《生命科学专辑》。

编辑出版:中国科学院国家科学图书馆

联系地址:北京市海淀区北四环西路33号(100080)

联系人:冷伏海 朱相丽

电话:(010)62538705、62539101

电子邮件:lengfh@mail.las.ac.cn; zhuxl@mail.las.ac.cn:

地球科学专辑

联系人:高峰 安培浚 赵纪东

电话:(0931)8270322 8271552

电子邮件:gaofeng@lzb.ac.cn; anpj@llas.ac.cn; zhaojd@llas.ac.cn