

2008年汶川特大地震的教训

谢礼立^{1,2}

(1. 中国地震局工程力学研究所, 哈尔滨 150080; 2. 哈尔滨工业大学土木工程学院, 哈尔滨 150090)

[摘要] 总结了汶川地震灾害以及建国60年来发生的地震灾害教训, 针对我国长期以来执行的预防为主方针和防震减灾工作的具体实践, 评价了预防为主方针在我国防震减灾工作中的执行情况和存在的问题, 认为从建国60年以来的地震灾害特别是汶川地震灾害的实际后果看, 预防为主方针没有收到应有的效果; 并讨论了众多的防震减灾重大科学问题, 如地震危险性评价和地震区划的局限性和不确定性, 地震诱发的地质灾害的评价和防御, 地震预报研究和应用等一时还难以彻底解决的前提下如何贯彻防震减灾工作中的预防为主方针; 强调要彻底解决减轻和预防地震灾害的问题, 必须依靠土木工程的方法并辅之以其他灾前和灾后的防震减灾措施; 指出防震减灾工作最重要的教训是没有将预防放在防震减灾工作之首, 没有将土木工程防灾放在预防工作之首; 对于列为防震减灾工作的三大体系之一的地震预报主要工作应该加强研究工作, 还远没到实际应用的阶段。

[关键词] 汶川地震; 防震减灾; 预防为主; 土木工程

[中图分类号] P315.9 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2009)06-0028-08

1 前言

2008年5月12日在我国四川省汶川县发生里氏震级8级的强烈地震, 受灾地区(地震烈度6度及以上的地区)面积接近 $50 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[1]。据国家汶川地震抗震救灾指挥部的最终报告, 认定这次汶川特大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广、救灾难度最大的一次地震, 它的主要特点如下。

震级大、烈度高、余震频繁。这次地震的里氏震级为8级, 地震释放的能量大致为1976年唐山地震的2倍, 最高地震烈度为11度; 截至2008年10月10日中午12时, 累计发生余震33 125次, 其中5.0~5.9级32次, 6级以上8次^[1]。

影响范围大, 受灾地区广。受灾地区波及四川、甘肃、陕西、重庆、云南等10个省市的417个县(市、区), 4 667个乡镇, 48 810个村庄, 受灾总面积接近 $50 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其中极灾区和重灾区面积达 13.2 km^2 。

次生灾害特别是伴生的地质灾害严重, 救灾难度大。重灾区大多位于交通不便的高山峡谷地区, 震后四川、甘肃、陕西灾区排查出的崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害及其隐患点13 000余处, 较大的堰塞湖35处。这次地震还造成了大范围的交通、电力、通信中断加重了灾后救援工作的难度。

在这次地震中受灾人口多达4 625.7万人, 其中一半以上人口灾后无房可住, 因灾害影响需要紧急转移的人口多达1 510.6万人, 截至2008年10月10日确认地震灾害遇难的人数为69 227人, 失踪人数为17 923人, 受伤人数达37.46万人^[1]; 在这次地震中, 共有796.7万间房屋倒塌, 2 454.3万间房屋损坏, 北川县城、汶川县映秀镇等部分城镇和大量村庄几乎被夷为平地, 位于重灾区的城镇也有相当多的建筑物进行过抗震设计, 震后虽仍挺立, 但因破坏严重有随时倒塌的危险; 基础设施大面积损坏, 据统计在这次地震中共有24条高速公路、163条国道和省道公路和7条铁路干线、3条铁路支线受损中

[收稿日期] 2009-03-19

[作者简介] 谢礼立(1938-), 男, 上海市人, 中国工程院院士, 中国地震局工程力学研究所研究员, 哈尔滨工业大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为地震工程、防灾工程及城市防灾; E-mail: llxie@public.hr.hl.cn

断,成都等 22 个机场受到不同程度的损坏,电力、通信、广播电视、水利等基础设施和文物损坏严重,地震发生后共计有 6 个县区、125 个乡镇停电、3 万多个通信基站、1 096 个广播电视台站、2 473 座水库、822 座水电站、1 105 处堤防、20 769 处供水管道受损^[1];经济损失巨大,据民政部会同有关部门和地区汇总核定,这次地震共造成四川、甘肃、陕西三省直接经济损失 8 451.36 亿元,其中四川一个省的经济损失就达 7 717.7 亿元^[1]。

地震发生后,我国广大工程单位、研究部门的科研设计人员和高等院校土木工程以及其他相关专业的师生都深入灾区对地震现场,特别是对土木工程建筑在地震中的表现进行了考察,有的单位的考察研究工作至今仍在继续,并相继发表了大量的文章,就汶川地震中的各类工程结构在地震中的表现进行了详尽的分析和总结^[2,3]。文章仅就汶川地震在宏观层面上带给我们的一些重要的经验和教训进行思考和总结,以期能引发我国广大防震减灾工作者其中包括政府行政管理部门、立法机构以及从事地震工程的科研和设计的专业工作者认真思考。

2 如何贯彻预防为主的方针

建国以来在我国境内多次发生强烈地震,给人民的生命财产带来了严重的创伤,表 1 中列出了自 1949 年建国以来 60 年间发生在我国的死亡人数超过 50 人的地震。从表 1 中可知:在过去的 60 年间,我国一次地震中死亡人数超过 50 人的有 17 次,超过 100 人的 14 次,超过 1 000 人的 8 次,超过 10 000 人的 3 次,超过 50 000 人的 2 次。值得一提的是在地震现场所见的各类建筑物的震害现象和地震灾害惨象虽然有的在时间上相差几十年,地点相距几千公里,但竟都是如此的相似。其实这也并不奇怪,因为产生这些灾害的原因都是相同的:遭受地震袭击的那些地方的建筑物的抗震能力低下或根本不足。而造成建筑物抗震能力低下的主要原因是设防不当,或者甚至根本就没有设防,除此以外当然也有设防技术和工程质量的问题;而这一现象在我国的许多地区,特别是在许多强震危险区还仍然大量存在。尤其应该指出的是迄今为止我们的农村基本上还属于抗震设防管理的空白地区。如果这个问题得不到根本的解决,那么就很难指望能从根本上解决我国地震灾害重、地震死亡人数高这一全国人民所不愿看到的现象。在我国的《防震减灾法》中明确规定

我国的防震减灾工作要贯彻预防为主的指导思想,但是从建国以来发生的地震后果,特别是从汶川地震的后果来看,很难说我们已经真正的重视和贯彻了这个方针。

表 1 1950 年以来我国发生死亡超过 50 人的地震统计
Table 1 Statistics of earthquakes during which over 50 death were claimed since 1950 in China

日期	震中位置	震级	震中烈度	受伤人数	死亡与失踪人数
1950 年 8 月 15 日	西藏察隅	8.5	11		近 4 000
1966 年 3 月 8 日	河北邢台地区	6.8,7.2	9		8 064
1970 年 12 月 3 日	宁夏西吉县	5.5	7	525	117
1970 年 1 月 5 日	云南通海县	7.7	10	35 466	15 621
1973 年 2 月 6 日	四川炉霍县	7.6	10	4 931	2 175
1974 年 5 月 11 日	云南大关县	7.1	9	3 023	1 641
1975 年 2 月 4 日	辽宁海城市	7.3	9	18 308	2 041
1976 年 5 月 29 日	云南龙陵县	7.3	9	2 540	98
1976 年 7 月 28 日	河北唐山市	7.8	11	406 000	242 000
1981 年 1 月 24 日	四川道孚县	6.9	8	612	123
1985 年 8 月 23 日	新疆乌恰县	7.4	8	267	64
1988 年 11 月 6 日	云南耿马、澜沧县	7.2	9	8 448	748
1990 年 4 月 26 日	青海共和县	7	9		119
1995 年 10 月 24 日	云南武定县	6.5	9	13 956	59
1996 年 2 月 3 日	云南丽江县	7	9	17 366	309
1998 年 1 月 10 日	河北张北县	6.2	8	705	49
2003 年 2 月 24 日	新疆巴楚、伽师县	6.8	9	4 853	268
2008 年 5 月 12 日	四川汶川	8.0	11	374 640	87 150

预防为主的宗旨是要将一切可以减轻灾害的有效措施做在灾害发生之前,一旦发生易导致灾害的自然现象时能尽量减少、甚至杜绝损失,特别是人民的生命和健康的损失。防灾措施一般有灾前的措施和灾后的措施两类,前者如进行有效抗震设防、加固抗震能力薄弱的建筑、普及大众的科学知识,做好应急预案和应急准备等,后者则有震后的生命救援,安置和援助受灾民众以及各种救灾和恢复重建等工作。要防止、减轻和杜绝灾害损失就是要强调做好灾前的措施,灾前的措施做好了,自然灾害的损失就会大大的降低,甚至可以不用或少用灾后的措施。灾后的减灾措施无疑是十分必要的,但灾后的措施应该只是一种补充的措施,一种因万一没有实施好灾前措施或灾前措施未能收到应有效果时才无奈采

取的措施。绝对不能将灾后的措施替代灾前的措施,这样就是本末倒置了。如果我们不能首先做好灾前的措施,就很难能减轻灾害带来的损失,任何好的灾后措施也无法挽回已经造成的损失。有没有贯彻好预防为主方针关键要看效果,也就是说当我们真正做到了预防为主,一旦发生突发的灾害性自然现象,也不会造成重大的损失。建国以来发生过的一系列地震灾害包括汶川地震灾害,唐山地震灾害等,都在警示我们:尽管我们十分重视灾害预防的工作,也早已提出了预防为主的方针,可是实际效果并不如人们预期的那样好,甚至是远远偏离了人们的预期。问题到底出在哪里?人们不禁要问,下一个“汶川”在那里?下一个“唐山”会在哪里?应不应该能够防止这些人间的惨象再次重演?建国60年以来,我们还不能将防震减灾的措施有效地做在下次大地震发生之前,以致一次又一次地导致重大的生命财产损失,这就是建国以来的历次大地震灾害带给我们的最大的教训,更是付出了极其沉重代价的汶川地震对我们的再次告诫。

汶川特大地震再次向我们揭示了要做到预防为主,必须提高现有建筑物特别是广大农村建筑物的抗震能力,除此以外没有其他途径可以替代。

地震灾害的本质说到底是一种土木工程灾害,造成土木工程灾害的主要原因是:在土木工程(小到包括农居在内)的规划或建设中由于不当的知识和技术或不当的选址、设计、施工、以及对建筑物的不当使用和维护导致所建造的工程不能抵御如地震一类的突发的载荷,导致土木工程失效和破坏乃至倒塌,造成了生命财产的损失,也就是说酿成了灾害。这些土木工程包括所有的建筑,地上和地下的、重大和一般的土木设施,如水库、铁路、公路、桥梁、隧道以及各种港口、矿山、电站和工厂等。

包括唐山、汶川等在内的地震灾害就是一种最典型的土木工程灾害。此外,风灾、滑坡、泥石流、煤气管线爆炸、地下水管爆裂、煤矿塌陷、溃坝等也都属于土木工程灾害的范畴。而减轻这种灾害的主要手段和方法应该是科学的土木工程方法,即要注意对工程进行正确的选址、设计、施工、使用、维护、加固和保养等。

近半个世纪以来人们经常会问,为什么在欧美甚至在地震多发的日本等这些国家中,几乎不注重地震预报,或根本不依靠地震预报,但当遇到相当强度的地震时也不会酿成太严重的灾害,对应的人员

伤亡数也远比我们要少?其实这里并没有深奥的原因,就是因为这些国家认识到,造成地震灾害和损失的根本原因是建筑物的抗震能力不足,因此都普遍重视提高和增强建筑物的抗震能力。也许有人还会问欧美日等发达国家的经验能适合中国吗?中国地震区域这么大,贫穷落后的地方这么多,能在短期内像这些经济发达国家那样使我们的建筑抗震能力提高吗?其实汶川地震本身已经给出了明确的回答。

就在这次汶川地震中,我们见到了在地震烈度8度区的甘肃省陇南市文县境内的临江镇东风新村,民居建筑均未出现震害。由于在2006年当地发生了一个震级仅5级的地震,全村90%以上的房屋倒塌或严重毁坏。地震后这个村按照恢复重建规划,将整个村落搬迁到紧靠212国道的白龙江边进行重建。在重建中,该村根据《甘肃省人民政府办公厅批转省地震局等6部门关于实施地震安全农居示范工程意见的通知》(甘政办发[2006]68号)要求,完全按照农居地震安全工程标准进行规划、设计和施工。全村重建地震安全农居73户,户均6间住房,县乡政府从重建经费中给每户平均补助10500元,借款2500元,以及经政府协调由农行给每户贷款2000元以及通过世界银行项目给每户贷款5500元。所有农居均本着经济实用、抗震安全的原则,按照地震部门提供的当地抗震设防要求0.20g(8度)设防。根据每户经济情况,由临江镇政府委托具有设计资质的勘察设计公司进行设计,为每户提供不同的房屋户型及庭院布局设计供选择。总体要求房屋平面、立面尽量规则对称,基础采用水泥毛石砌筑,以砖混和框架结构为主,按标准设置上下圈梁、过梁和构造柱等抗震措施,确保纵横墙体之间有必要拉结,房屋结构具有较强的抗震能力。

按照同一抗震要求进行建设的还有邻近的武都区外纳乡的李亭村和稻畦村。这三个村距汶川8.0级地震震中的平均距离约260km,经地震后现场考察确定当地地震烈度为8度(在附近基岩上测到的主震强震加速度峰值为水平向180gal.和竖向168gal.),附近其他未考虑抗震要求的农村民居破坏十分严重。武都区桔柑乡贺家坪村距稻畦村15km,距李亭村16km,距文县临江镇东风新村25km,贺家坪村80%的民房倒塌或严重毁坏(见图1),但武都区外纳乡李亭村和稻畦村、文县临江镇东风新村农居却完好无损(见图2),甚至连墙皮都没有开裂^[4]。



图1 贺家坪村90%以上房屋倒毁
Fig.1 90% houses were destroyed in Hejiaping village



图2 东风新村居民建筑物在汶川地震中丝毫无损
Fig.2 Lossless resident buildings of Dongfeng New Village in Wenchuan Earthquake

在上面提到的例子中,为了建成比较抗震的居住建筑,国家给农民提供的补助并不高,提供每户的经费包括政府补贴、借款和银行贷款在内也仅20 000元左右。可是由此带来的经济效益,即减少的经济损失是十分明显的,而防止人员伤亡带来的社会效益更是难以估量。反过来也足以说明,即使在目前我国广大的经济并不富裕的农村地区也并不是完全没有经济能力来建造抗震住宅,关键的是缺乏抗震意识和具体的技术指导。

中国政府继1994年提出要使我国大中城市具有抗御6级地震的能力后,又在2004年再次提出要在2020年以前使我国大部分位于地震危险区的城镇要达到能抗御6级地震的能力,甚至有的城市要达到中等发达国家的抗震水平,这无疑是一项充分体现预防为主思想的重要举措。但是如何实现这一目标,目前还缺乏统一的认识,更缺乏实施的细则,因而在具体操作时,还难以将一切防震减灾的努力

落实到能加强和提高我国城镇的防震减灾能力上,落实到把未来的地震灾害的损失切切实实的降下来。值得庆幸的是甘肃省省委、省政府已经做出决定,计划再用5年左右的时间,在全省农村全面实施农居地震安全工程,计划建造200万户抗震农居。这无疑为实现国务院提出的2020年防震减灾目标奠定了一个坚实的基础,在防震减灾工作中真正体现和贯彻了预防为主的精神。

当前全球正在爆发一场罕见的金融大危机,扩大内需和改善民生是我国应对全球金融危机的重大举措。毫无疑问加强城镇和基础设施的抗震能力是一项最急迫的确保民生的内需,也是我国防震减灾工作面临的最大的机遇,是实现预防为主的难得良机,不要等到家破人亡时再来重演一场悲壮的救灾悲剧。

3 地震危险性评估能力仍很低下

在我国地震区划图上,辽宁省海城市在1975年海城地震以前及河北省唐山市在1976年唐山地震以前都被划分为受地震影响不大的6度区;这次汶川地震中的重灾区(包括汶川,北川,绵竹,都江堰,江油,什邡等)在我国国家标准GB18306-2001《中国地震动参数区划图》上被标志的有效加速度峰值为0.10~0.15g,(大致相当于7度),也就是一个受地震影响中等偏弱的地区。可是事实表明,情况并非如此(见表2)。由于认识上的局限和不当知识的支配,这些地区的实际地震危险性要远比国家标准所认识的地震危险性要高得多,这种认识上的差异造成的直接结果就是:对于1975年的7.3级地震和1976年的7.8级地震来说,海城和唐山是两座不设防不抗震的城市,而对于这次汶川地震来说,这些重灾区都是抗震设防不足、抗震能力薄弱的地区。

汶川地震发生在四川龙门山逆冲推覆构造带上,经历了长期的地质演变,具有十分复杂的结构和构造。晚新生代的构造变形主要集中在断裂带西南段的彭县—茂县,中段的灌县—江油断裂(前山断裂)、映秀—北川断裂(中央断裂)和汶川—茂县断裂(后山断裂)及其相关的褶皱上,断裂带东北段第四纪早中更新世活动强烈,晚更新世活动不明显。这次8级强震发生在映秀—北川断裂上。更有意思的是映秀—北川断裂全新世(10 000年)以来的长期地质滑动速率约每年1mm,一直被认为断层活动处于一种“闭锁”状态,是“属于地震活动频度低但

具有发生超强地震潜在危险的特殊断裂”^[5]。可是这个“超强地震潜在危险”究竟在哪个时段爆发,目前的科学水平还难以精确预料,再加上地质科学往

往以数千、数万年甚至几十万年到上亿年来观察问题,因此该断层的地震活动性就一直被低估。

表2 汶川地震中受影响的实际烈度和全国地震动参数区划图的比较

Table 2 Comparison between real intensity and Wenchuan Earthquake and national earthquake diameter zoning map

地名	台站名	汶川地震中实际 受影响的烈度 ^[4]	实测地震加速度峰值/g			GB18036-2001 规定值
			东西向	南北向	竖向	
北川	江油含增	11	0.52	0.35	0.44	0.10 g (7-)
汶川	理县桃平	9	0.34	0.34	0.38	0.10 g (7-)
	汶川卧龙 (含映秀镇 11 度)		0.96	0.65	0.95	
安县	安县塔水	9	0.29	0.20	0.18	0.10 g (7-)
都江堰	郫县走石山	9	0.12	0.14	0.10	0.10 g (7-)
	茂县地办		0.31	0.30	0.27	
茂县	茂县叠溪	9	0.25	0.21	0.14	0.15 g (7+)
	茂县南新		0.42	0.35	0.35	
绵竹	绵竹清平	9	0.82	0.80	0.62	0.10 g (7-)
青川	平武木座	9	0.27	0.29	0.18	0.10 g (7-)
广元	广元石井	8	0.32	0.27	0.14	0.05 g (6)
	广元曾家		0.42	0.41	0.18	
江油	江油地震台		0.51	0.46	0.20	0.10 g (7-)
	江油重华	8	0.30	0.28	0.18	
	江油含增		0.52	0.35	0.44	
理县	理县木卡		0.32	0.28	0.36	0.10 g (7-)
	理县沙坝	8	0.22	0.26	0.21	
理县	理县桃平		0.34	0.34	0.38	0.10 g (7-)
	理县桃平	8	0.22	0.26	0.21	
宁强	广元曾家	8	0.42	0.41	0.18	0.05 g (6)
平武	平武木座	8	0.27	0.29	0.18	0.15 g (7+)
什邡	什邡八角	8	0.56	0.58	0.63	0.10 g (7-)

在国际上地震危险性被低估或被高估的情形时有发生,特别是低估的地震危险性其危害更大,而高估的危险性虽会导致过度的设防和过高的投资,但能给人们带来更大的安全。目前世界各国的地震危险性分析技术虽然有了许多的改进,但是从本质上来说主要还是遵循两条颇有争议的原则:即在历史上发生过的最大地震有可能在原地(或原地质条带上)重演的原则和类同的地质构造可能会有类似地震活动性原则。几十年来虽然在判断地质构造、地质活动和历史地震的技术上有了许多进步,但是这两条长期以来一直存有争议的“基本原则”似乎还难以替代。因此不能精确估计未来地震活动的情形,特别是低估地震活动性的可能在相当长的历史阶段还一定会继续发生,而这种错误的估计特别是偏低的估计就可能掩盖了未来严重的灾难。地震区划图是我们进行建设规划,开展防震减灾工作必不可少的重要技术资料,在我国建设的各个阶段都发挥了十分重要的作用,今后还会继续发挥重要的

作用。但是土木工程师、防震减灾工作者以及灾害管理部门对此一定要有清醒的认识,不是有了区划图就必然会给我们的安全带来充分的保障,特别是在确定抗震设防水平,制定抗震设计规范,进行抗震设计和施工时更要充分估计到这一情况,防止侥幸心理。

确定设防烈度是一种风险决策,理论和方法都不完善的地震危险性分析和据此编制出的区划图,在某种程度上必然会无形地增加我们的决策风险。经济发展了,生活水平提高了,人们对地震安全的可靠性也应该随之提高,设防水平和设防烈度也应适当提高,随着小康社会的建成,所有位于地震区的村镇都像上面提到的三个村落那样按 8 度设防也应该是可实现的,虽然可能由此增加了一些投资,但是人民的安全更有保障了,何况增加的投资直接提高了建筑物的抗震性,同时也增强了居民的安全性,因此一定会物有所值的。

4 城镇和工程抗震场址选择的新课题

汶川地震的另一个突出教训是,地震触发了大规模的地质灾害,滑坡、崩塌、滚石,并进而引发了更多的其他次生地质灾害,如堰塞湖、泥石流等,给已经经受了地震灾害的人们带来了新一轮的难以抗拒的生命财产威胁,也给救灾工作带来了新的困难。据不完全统计,在汶川地震中因地质灾害造成的人民生命损失约占这次地震总死亡人数的1/10左右。表3列出了在汶川地震中,死亡人数超过30人的滑坡和崩塌的地点、规模和相应的人员死亡和经济损失的统计数据。

表3 汶川地震中(死亡数超过30人)的诱发地质灾害^[6]

Table 3 Induced geological disasters (over 30 victims) in Wenchuan Earthquake^[6]

序号	灾害点 位置	灾害 类型	规模/ 10 ⁴ m ³	死亡人 数/人	经济 损失/万元
1	北川县曲山镇	滑坡	1 000	1 600	1 600
2	北川县陈家坝乡	滑坡	188	906	1 500
3	北川县曲山镇	滑坡	1 000	700	1 200
4	北川县陈家坝场镇	滑坡	1 200	400	500
5	青川县红光乡	滑坡	1 000	260	5 000
6	北川县陈家坝乡	滑坡	480	141	120
7	都江堰市紫坪铺镇	滑坡	20	120	500
8	北川县陈家坝乡	滑坡	500	100	110
9	彭州市银厂沟景区	崩塌	5.4	100	8 000
10	彭州市银厂沟景区	崩塌	10	100	8 000
11	彭州市九峰村7社	滑坡	400	100	4 000
12	都江堰市青城山镇	崩塌	120	62	800
13	平武县南坝镇	滑坡	1 250	60	5 000
14	北川县桂溪乡	滑坡	30	50	130
15	青川县曲河乡	崩塌	70	41	200
16	平武县水观乡	滑坡	400	34	8 000
17	彭州市团山村	滑坡	40	30	800
总计				4 804	

在这次地震中被列为重灾区的44个县(市)中,在震前早已发现的地质灾害隐患点就达5 184处,其中滑坡3 300处、崩塌492处、泥石流604处、不稳定斜坡751处,直接威胁到291 098名群众的生命财产安全。地震发生后截至7月20日,经实地排查,44个重灾县(市),震后新增地质灾害隐患9 671处。在经过统计的8 627处隐患中,滑坡3 627处、崩塌2 383处、泥石流837处、不稳定斜坡1 694处,其他86处。直接威胁804 945名群众的生命财产安全^[6]。

我国有许多省份位于潜在的地震危险带,又往往是潜在的地质灾害频发的地区,如四川、甘肃、云

南、广东、广西、山西、陕西、西藏等。汶川地震中因地震引发的大量地质灾害及其防御的经验和教训对我国乃至全世界的防震减灾工作具有十分重要的意义。从目前科学技术发展水平来讲,要十分经济有效地防御地质灾害特别是那些因地震引发的次生地质灾害,还是一件十分困难的事。唯一有效的办法是躲避,也就是说要在建设以前先期做好场地的勘探和选择工作,要将城镇以及大型工程的场地选在地质上比较稳定和安全的地带。在地质灾害多发的地区,必须事先进行详细的勘探、监测和防治,并在此基础上编出地质灾害区划图,供社会和工程部门使用。一般来讲距发震断层越远,引发次生地质灾害可能性就越小。但是如何精确地判断潜在的地质灾害地点,和合理的确定避让的距离也是一个急需研究的课题。

5 必须提高学校、医院等建筑物的抗震能力

这次在汶川地震中得到的另一个重要教训是,必须提高地震区学校,特别是中小学建筑物的抗震能力。据报道四川省常务副省长魏宏在2008年11月21日中国国务院新闻办公室例行记者会上表示,“目前我们已经公布的学生死亡人数为19 065名。”也就是说在这次汶川地震中,因地震死亡的中小学学生约占地震总死亡人数的27.5%甚至可能更高!我国在校的中小学生的数量约占全国总人口的15%~16.5%,也就是说汶川地震中死亡的中小学学生比例要超出全国中小学生的数量占全国总人口比例数的11%~12%,这是一个惊人的数字。其中的原因一方面与中小学学生缺乏应急防灾知识,在紧急情况下保护自己的能力和逃生的能力比较低有关,同时也反映了面对弱势群体的学生们,社会没有为学校提供足够的抗震能力,确保学校必要的地震安全性。除此以外,考虑到在地震灾害中,学校可以作为临时的避难场所以及学生复课也是震后恢复工作的重要内容等,社会应该为我们的学校提供更安全的校舍,使我们的校舍比一般建筑物有更强的抗震能力。一方面医院也是弱势群体治疗疾病的地方,同时也是地震灾害中对受伤的群众进行生命抢救和救治的必不可少的重要场所,作为医院的建筑物也应该有比一般建筑物更高的抗震能力。我们还应该从汶川大地震中的教训中懂得,不仅是学校和医院,还有幼儿园、敬老院、疗养院以及残疾人等弱势群体生活和工作的场所都应该有比一般建筑

物更强的抗震能力。

提高学校、医院以及一般弱势群体工作和生活场所等建筑物的抗震能力,可有3种方法:一是提高建筑物的设防水准(标准),二是提高建筑物的重要性类别并辅之以必要的抗震措施,这两种方法都是国内外目前常用的方法。但是这两种方法都存在一个缺点,它们都只能在定性上增强建筑物的抗震能力,无法确切(定量地)知道采用了相应的方法后,建筑物的抗震能力到底能提高多少,建筑物的什么部位得到了提高,什么部位可能没有提高。为了弥补这个缺陷,笔者认为还可以采用提高设防建筑物的性态目标的方法来增强建筑物的抗震能力。目前我国抗震设计规范依据的准则是:经过抗震设计的建筑物能够经受设防地震,但是容许建筑物发生中等程度的破坏,容许在更大的地震下发生严重的破坏而不倒塌。应注意的是,这里提到的一些指标,如经受设防地震、发生严重的破坏而不倒塌等,一方面都是定性的,难以控制,另一方面也难以判断所谓的“经受设防地震”以及“发生严重的破坏而不倒塌”还会不会对人民的生命产生威胁和产生多大的威胁?唯有提高设防的性态目标不仅可以定量地控制建筑物在规定地震作用下的变形程度以及破坏的程度,以致能比较有效地确保生命安全和控制财产损失的程度,同时还能使除了主体结构以外的其他附属结构或构件的变形限制和连接得到有效和可靠的保证,从而能更有效的确保建筑物的地震安全性。这种方法的基础也就是当前国际上流行的基于性态的抗震设计方法。目前我国已经编制并经审查批准颁布了相应的规程^[7]。

6 正确认识地震预报在防震减灾工作中的作用

尽管在这次汶川特大地震发生前地震预报专业人员没有发现有地震前兆,也就未能做出相应的预报。但是成功的地震预报在防震减灾中的作用是不容怀疑的。1975年海城地震的成功预报就是一个例子。但是汶川地震又一次向我们提出了一个十分严肃的问题:根据目前的技术,我们能预报地震吗?地震预报还应该成为我国防震减灾工作体系中的重要内容吗?或者我们还可以换一种提法:到底还需要多久我们才可以相信地震预报会成为我们防震减灾工作体系中的一个有效而又可靠的内容?

众所周知,地震预报是一个世界科学难题,中国

政府和科学家在这个领域所做的努力是其他国家望尘莫及的。地震预报之所以是世界科学难题,主要是因为人类目前还不能通过直接的方法去观测它,研究它。这是因为绝大多数地震发生在人类目前还无法到达的地球深部,以致我们所能观察到的有关地震的现象或测量到的信息,几乎都是间接地经过层层介质传递得到的,在获得的间接信息中既有与地震直接有关的信息,也包含了大量的,千变万化的与地震无关的信息。人们对地震的研究都是通过这种间接的被“污染”了的千变万化的观测资料进行的。另一方面,一个破坏性的地震震源都是在地壳深部的一个大到几十甚至上百公里尺度的空间范围内,当地震在地壳中孕育和发展过程中产生的信号传到地球表面上时,也会在一个非常大的范围内有所反应,而且在不同部位的反应都会有很大的差异,可是我们目前观测的范围还是十分有限的,也就是说我们对地震的观测和研究不仅是间接的,而且是局部的,不完整的。如果再考虑在地球表面这么大的范围内收集和观测到的地震的信息更难免有时还会混入发生在地球内部的与地震无关的其他地壳活动信息,以及在地球外部的各种难以避免的干扰信息,就更会增加对所获得的资料分析的复杂性。因此要想能通过地震发生的真正物理过程来分析和预报地震绝对不是人类目前能做到的。

地震预报从通常的意义上讲,可以有解析预报(或称物理预报)和经验预报两种,前者是指在搞清地震发生的成因和机理的基础上通过对地震的物理过程的分析来进行的预报,这当然是极其困难的。

其实建立在经验基础上的经验性地震预报也同样是十分困难的。这不仅因为地震是一个小概率的自然现象,而且来得很突然,发生的过程也很短,稍纵即逝。其实概率小还不是最主要的困难,最主要的困难在于我们不能事先预知地震发生的时间和地点,即使这种珍贵的小概率事件偶尔发生,我们也同样不能抓住机会对它进行观测和研究,以便逐步积累经验。天文学中也有许多小概率事件,可是天文学家能精确计算它们发生的时间和空间,就可以有机会对它们进行直接的观测和研究。许多天文现象不就是这样发现的吗。可是对地震来说我们还无法做到。

基于经验的地震预报的另一个困难是人类在这方面所积累的经验实在太少了,迄今为止成熟的或者被公认的地震预报经验几乎还没有,国内如此,国

外也同样如此。尽管我国学者从事地震预报的研究和实践已经有 40 多年的历史,尽管他们也成功预报过 1975 年 7.3 级的海城地震,尽管此后他们也同样成功预报过 1976 年 7.2 级的四川松潘地震,1994 年 5.8 级的青海共和地震,1995 年 7.3 级的孟连地震,1996 年 5.5 级的巴塘—白玉地震,1999 年 5.4 级的岫岩地震等共 21 个 $M \geq 5.0$ 的破坏地震^[8,9],但是这也丝毫改变不了我们几乎没有掌握,甚至也没有接近将来可能被公认的能用来成功预报地震的经验和方法这一实际情况。因此,目前我们的预报既不可能是基于地震发生机理的解析预报,也不可能是基于有效经验的经验预报,更不可能是带有两者结合型的既有机理作为背景也有一定经验作为依据的混合型预报,而是一种还多少带有一些初级博弈性质和随机性质的预报。也就是说这种预报会在相当长的一段时期内都处在一种十分粗浅的初级阶段,不应该对此寄予太高的厚望,更不应该将防震减灾的重任押在地震预报上。

地震预报是世界性的难题,再难也难不过聪敏智慧的人类,人类最终一定会登上这个世界难题的顶峰解决这个难题,不过我们目前还做不到。我们现在所说的“地震是不能预报的”,指的是在我们当前的知识水平、技术水平、经验水平和财富水平的条件下是不可能真正解决地震预报的难题的。尽管我们今后还会出现像海城地震预报成功那样的激动人心的事件,但这也丝毫不会改变人类目前还难以预报地震的这一根本现实。

根据这样的分析,我们应该理解:尽管我们的地震预报工作者吃尽了千辛万苦,白天和梦中都在思索如何能将地震预报出来,以挽救人民的生命和财产,但是这个任务对谁来说都是一个难以完成的任务,说要比“上天”、“登月”还难,也是一点也不夸张的。今后我们应该要给从事地震预报的科研人员、专业工作者创造一个宽松的环境,让他们可以潜心的研究。作为社会或者各级政府也应该理解这一客观的现实,不应该将地震预报作为任务指标,要求他们去完成。再者,在一个法制社会里,应该严格控制或限制那些还无法证明其安全性、可靠性、成熟性的技术和方法在社会中推广应用,医药和食品是这样,

其他技术,包括地震预报也应该是这样的。

从防震减灾角度来看,我们的任务是要减轻地震灾害,特别是要减轻地震时的人员伤亡,这是一项刻不容缓的任务,同时我们也要讲减轻地震损失的社会成本、经济成本、机会成本以及时间成本。正像前面所分析的那样,造成地震灾害和损失的主要原因是由于土木工程建筑的抗震能力的不足或缺乏,而解决这个问题的科学技术问题已经基本成熟,在中国解决这个困难的经济条件也已经基本具备。再接再厉,我们一定会取得防震减灾的真正成功,这样的成功也丝毫不亚于我们中国人有一天能登上月球,征服星球。

后记:本文是综合作者在多种学术讨论会上发表的意见和应邀为南京工业大学学报(2009 年第 1 期)撰写的报告基础上编写的。作者要感谢陈章立、王兰民、李小军、张敏政和孙景江等教授对本文提出的宝贵意见;作者特别要感谢胡进军博士对全文的校核。

参考文献

- [1] 国务院抗震救灾总指挥部.汶川特大地震抗震救灾总结报告[R].2008
- [2] 《汶川地震建筑震害调查与灾后重建分析报告》编委会.汶川地震建筑震害调查与灾后重建分析报告[R].北京:中国建筑工业出版社,2008
- [3] 中国地震工程联合会.汶川地震工程震害调查成果交流会 ppt 报告集[R].成都,2008
- [4] 甘肃地震局.2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震灾害评估报告_甘肃灾区(6 月 1 日评审会稿)[R].2008
- [5] 全国地震区划图编制委员会.汶川地震灾区地震动参数区划图(送审稿)[R].2008 年 5 月
- [6] 黄润秋.汶川大地震次生灾害及其对重建的影响(ppt)[A],汶川大地震工程震害调查成果交流会[C].成都,2008
- [7] 中国工程建设标准化协会标准.建筑工程抗震性态设计通则(试用)[S].北京:中国计划出版社,2004
- [8] 车用太,刘成龙.汶川地震后关于地震预测问题的再思考[J].国际地震动态,2008,10(358):1-6
- [9] 李志雄,陈章立,张国民.汶川地震引发的对监测预报工作的某些思考[J].政策研究,2008,2(31):8-16

(下转 88 页)