

Study on the Mid- to Long-term Potential of

Large Earthquakes on the Chinese Continent

Working Group of M7

中国大陆大地震 中—长期危险性研究

M7 专项工作组

地震出版社

中 国 大 陆 大 地 震 中-长期危险性研究

**Study on the Mid- to Long-term Potential of
Large Earthquakes on the Chinese Continent**

M7 专项工作组
Working Group of M7

地 震 出 版 社

Seismological Press

图书在版编目 (CIP) 数据

中国大陆大地震中-长期危险性研究/M7 专项工作组著. —北京: 地震出版社, 2012. 6
ISBN 978-7-5028-4100-3

I. ①中… II. ①M… III. ①在地震-地震预测-研究中国 IV. ①P315.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 127486 号

地震版 XM2316

中国大陆大地震中-长期危险性研究

M7 专项工作组

责任编辑: 王 伟

责任校对: 庞亚萍

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68455221

专业图书事业部: 68721991 68467982

<http://www.dzpress.com.cn>

E-mail: 68721991@sina.com

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京天成印务有限责任公司

版 (印) 次: 2012 年 6 月第一版 2012 年 6 月第一次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 550 千字

印张: 21.5

印数: 0001 ~ 2000

书号: ISBN 978-7-5028-4100-3/P (4778)

定价: 120.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

目 录

绪言	(1)
第1章 科学思路、研究目标与技术路线	(6)
1.1 国内外中-长期地震预测研究简要回顾	(6)
1.2 科学思路、研究目标与任务	(7)
1.2.1 科学思路	(7)
1.2.2 研究目标	(8)
1.2.3 工作任务	(9)
1.2.4 重点研究区	(9)
1.3 技术路线	(10)
1.4 已开展和完成的工作	(13)
1.5 中国大陆大地震发生的中-长期趋势与地域分析	(16)
1.5.1 未来十年及稍长时间的大地震活动趋势	(16)
1.5.2 未来大地震的主体发生地域	(17)
第2章 中-长期大地震危险性的地震地质研究	(20)
2.1 地震空区及其识别的基础	(20)
2.1.1 地震空区理论	(20)
2.1.2 第Ⅰ、Ⅱ类地震空区的问题	(22)
2.1.3 地震空区识别的基础——破裂信息的集成	(23)
2.2 地震空区识别的方法与例子	(25)
2.2.1 历史地震破裂位置与延伸的确定	(25)
2.2.2 破裂时-空图像与地震空区识别	(33)
2.3 地震空区危险背景的地震地质分析	(36)
2.3.1 玉树地震空区	(36)
2.3.2 安宁河地震空区	(38)
2.3.3 地震空区潜在地震震级的估计	(40)
2.3.4 地震空区及其危险性判定的不确定	(42)
2.4 考虑地震构造与动力学背景的强大震趋势分析	(44)
2.4.1 问题的提出	(44)
2.4.2 鄂尔多斯地块周缘断裂系统	(45)
2.4.3 云南小江与曲江—石屏断裂带	(49)
第3章 地震活动性定量分析方法及其应用研究	(57)
3.1 引言	(57)
3.2 地震目录完整性定量分析方法与应用	(57)
3.2.1 震级-序号法	(58)

3.2.2 定量的多参数方法	(58)
3.3 沿断裂带 b 值等参数的扫描与填图方法及其应用	(60)
3.3.1 沿断裂带 b 值等参数的填图方法与应用	(60)
3.3.2 断裂带分段的多参数组合分析方法与应用	(67)
3.4 地震加速矩释放 (AMR) 模型及其应用研究	(73)
3.4.1 强震前的加速矩释放 (AMR) 现象	(73)
3.4.2 AMR 扫描与计算方法	(75)
3.4.3 AMR 现象的震例剖析和适用性研究	(78)
3.4.4 应用研究与结果	(81)
第4章 中国大陆现代构造形变与大地震危险性	(85)
4.1 中国大陆整体水平运动、形变场与大地震	(85)
4.1.1 水平运动基本场与跨大型构造带形变	(85)
4.1.2 水平应变空间分布图像与大地震	(88)
4.1.3 小结	(90)
4.2 中国大陆分区地壳运动、形变场与大地震	(90)
4.2.1 资料与方法简述	(90)
4.2.2 华北地区	(93)
4.2.3 川滇地区	(97)
4.2.4 青藏高原东北缘地区	(102)
4.2.5 小结	(106)
4.3 华北和首都圈的应变积累与主要构造带形变	(107)
4.3.1 应变累积分布图像	(107)
4.3.2 主要构造带现今变形状态	(109)
4.3.3 小结	(113)
4.4 断层形变协调比与运动分量合成分析	(114)
4.4.1 断层形变协调比	(114)
4.4.2 断层运动分量与速率合成	(120)
4.4.3 小结	(124)
4.5 跨断层垂直形变分析	(125)
4.5.1 长水准测线的跨断层垂直形变	(125)
4.5.2 跨断层形变区域群体性变化与强震的关系	(129)
4.5.3 小结	(130)
第5章 中国大陆重力场变化与大地震危险性	(131)
5.1 中国大陆重力观测网、资料及其处理	(131)
5.1.1 重力观测	(131)
5.1.2 资料处理	(132)
5.2 中国大陆重力场变化图像	(132)
5.2.1 相邻两期的重力场变化	(132)
5.2.2 较长时期的重力场变化	(135)

5.2.3	重力变化与活动地块	(136)
5.3	大地震前后区域重力变化及其分析	(137)
5.3.1	2001 年青海昆仑山口西 8.1 级地震	(138)
5.3.2	2008 年新疆于田 7.3 级地震	(138)
5.3.3	2008 年四川汶川 8.0 级地震	(138)
5.3.4	2010 年青海玉树 7.1 级地震	(139)
5.3.5	2003 年新疆伽师 6.8 级地震	(139)
5.3.6	2008 年西藏改则 6.9 级地震和仲巴 6.8 级地震	(139)
5.3.7	2002 年吉林汪清 7.2 级地震	(140)
5.4	区域重力场演化与中-长期大地震危险性	(140)
5.4.1	晋冀蒙交界地区	(140)
5.4.2	青藏高原东北缘地区	(143)
5.4.3	川、滇、藏及其交界地区	(145)
5.4.4	新疆天山地区	(150)
5.4.5	南北地震带中段及其附近	(150)
5.5	小结	(155)
第 6 章	华北地区中-长期大地震危险性研究	(156)
6.1	华北区域地震地质背景	(156)
6.1.1	区域地震构造格局与动力学环境	(156)
6.1.2	华北主要地震构造带及地震破裂背景	(158)
6.1.3	强震破裂空段判别小结	(164)
6.2	华北地区强震活动的时、空不均匀性	(164)
6.3	山西地震构造带的地震活动及其参数图像	(166)
6.3.1	现代地震活动及其参数图像	(166)
6.3.2	加速矩释放 (AMR) 异常图像	(167)
6.3.3	沿主要断裂带/段的震源深度图像	(167)
6.3.4	b 值等参数图像及异常部位	(170)
6.4	华北平原及张-渤地震构造带地震活动及其参数图像	(172)
6.4.1	地震矩加速释放 (AMR) 现象分析	(172)
6.4.2	地震空区及其现代地震活动分析	(173)
6.4.3	b 值图像及其异常区	(174)
6.4.4	华北平原带南段的东支	(175)
6.4.5	小结	(177)
6.5	郯-庐断裂带和渤海的地震活动与参数图像	(177)
6.5.1	区域地震活动图像	(177)
6.5.2	沿断裂带的震源深度图像	(178)
6.5.3	沿主要断裂带的 b 值等参数图像	(179)
6.5.4	断裂带分段多参数组合图像	(180)
6.5.5	加速矩释放 (AMR) 异常	(181)

6.6	中-长期大地震危险区判定小结	(183)
第7章	南北地震带中-长期大地震危险性研究	(187)
7.1	区域地震地质背景	(187)
7.1.1	区域活动构造与动力学背景	(187)
7.1.2	主要地震构造带	(187)
7.2	南北带北段的中-长期大地震危险性研究	(194)
7.2.1	历史强震活动与地震空区	(194)
7.2.2	区域现代地震活动及其参数图像	(195)
7.2.3	地壳形变/重力异常区	(204)
7.2.4	中-长期大地震危险区判定小结	(207)
7.3	南北带中段的中-长期大地震危险性研究	(211)
7.3.1	历史强震活动与地震空区	(211)
7.3.2	巴颜喀喇块体北、东缘大地震的关联性	(216)
7.3.3	区域地震活动及其参数图像	(219)
7.3.4	地壳形变/重力异常区	(226)
7.3.5	中-长期大地震危险区判定小结	(228)
7.4	南北带南段的中-长期大地震危险性研究	(230)
7.4.1	历史强震活动与地震空区	(230)
7.4.2	现代地震活动及参数异常图像	(236)
7.4.3	地壳形变/重力异常区	(245)
7.4.4	中-长期大地震危险区判定小结	(245)
第8章	西北地区中-长期大地震危险性研究	(249)
8.1	西北区域地震地质背景	(249)
8.1.1	区域地震构造格局与动力学环境	(249)
8.1.2	主要地震构造带	(251)
8.2	西北的强震活动趋势与未来主体活动区	(254)
8.2.1	区域强震活动历史进程与发展趋势分析	(254)
8.2.2	未来大地震主体发生区/带分析	(257)
8.3	主要构造带大地震中-长期危险性分析	(258)
8.3.1	历史破裂图像与地震空区	(258)
8.3.2	现代地震活动及其参数图像	(258)
8.3.3	地壳形变/重力异常区	(269)
8.4	中-长期大地震危险区判定小结	(273)
8.4.1	危险区	(273)
8.4.2	值得注意地区	(275)
第9章	东南沿海地区中-长期大地震危险性研究	(279)
9.1	东南沿海地区的地震地质背景	(279)
9.1.1	区域地震构造格局与动力学环境	(279)
9.1.2	东南沿海强震构造带	(280)

9.2 东南沿海及邻近地区的强震趋势分析 (281)

9.2.1 区域强震活动历史进程与发展趋势 (281)

9.2.2 未来强震可能发生的地域分析 (283)

9.3 中-长期大地震危险性分析 (284)

9.3.1 历史强震破裂图像与地震空区 (284)

9.3.2 现代地震活动及其参数图像 (286)

9.3.3 地壳形变与重力异常区 (292)

9.3.4 中-长期大地震危险区判定小结 (297)

第 10 章 青藏块体中南部的地震构造与地震危险性分析 (299)

10.1 引言 (299)

10.2 青藏高原块体划分与近年地震活动 (300)

10.2.1 高原内部的活动构造块体划分 (300)

10.2.2 主体区的近年地震分布图像 (300)

10.3 主体区南边界的地震破裂空段 (302)

10.4 小结 (308)

第 11 章 结果与存在问题 (310)

11.1 主要结果 (310)

11.2 存在问题 (322)

鸣谢 (323)

参考文献 (324)

绪 言

1. 地震预报的艰辛探索与中-长期预测

地震对人类社会的危害是由于其突发性和巨大的破坏力。突发性表现在强震孕育的时间长达上百至数千年,而发生过程只有几十至数百秒;前者属于应力应变积累的逐渐量变过程,而后者则是应力应变瞬间释放的突变表现。要对地震这一长期孕育与潜伏、瞬间发生的事件做出预测,途径之一是捕捉能够指示地震发生的前兆异常,另外就是能够获得决定地震孕育、发生过程影响因素的科学认识,使得能够判定地震临近发生的危险程度。

1966年3月河北邢台发生强烈地震,造成重大人员伤亡。当时有大批科技人员赴邢台地震灾区。在那里,从地震现场判定后续震情的工作开始,启动了我国地震预报科学探索的艰难历程。在那个特殊的时代背景下,我国的地震预报探索从短临前兆观测和预报试验开始发展;来自各方的科技人员将自己所掌握的观测仪器和技术在震区开展观测,试图捕捉临近地震发生的可能前兆现象,包括宏观前兆。此后的10年中,中国大陆连续发生多次造成惨重破坏与伤亡的大地震。与此同时,在邢台地震现场工作思路与经验的指导下,在华北、南北地震带和新疆等地区,在引进、吸收、改进其他相关领域观测技术的基础上,逐步形成了以前兆及短临预测为主要目标的观测台网。1966~1976年期间积累的震例观测资料、预报经验和分析思路、模式等,成为此后几十年中国地震预报继续发展的主要基础之一,也使得地震短临前兆的监视和分析预报始终是我国地震预报最主要的工作内容和目标。2008年5月12日,在有一定前兆测点布设的龙门山断裂带发生了造成惨重灾害的汶川8.0级地震。震后的总结表明汶川地震之前能够识别的前兆观测异常变化远不足以在震前做出预测,表明我们对于地震孕育过程在临近终点时是否存在观测异常变化的认识能力仍然十分有限,仍处于初步探索阶段。这些反映出以前兆观测为基础的经验性地震短临预报探索的艰辛与面临的困境。

地震发生时释放能量的大小、断层错动的方式和位移量等,都是特定地质构造下长期积累的结果。获得地震能量积累方式和孕育程度的认识,有利于对地震强度、发震模式及发震紧迫性的预测。20世纪80年代,在对我国1966~1976年期间的震例进行科学总结的同时,开展了对中国大陆7级以上地震活动特征的研究,并获得重要的认识,包括认识到强震时间分布上表现的期幕特征,以及空间分布上存在主体活动区(带)及其随时间可发生迁移与交替的特征,等等,并在此基础上开始开展中-长期地震预测研究,主要目标是判定未来十年左右的最高地震活动水平以及强震可能集中发生的区域。1990年代,为将中-长期地震预测成果服务于政府决策及社会,在十年尺度地震危险区预测的基础上,进一步预测当地震发生时可能造成的危害性(地震灾害损失与影响范围),确定了1996~2005年全国地震重点监视防御区,作为政府防震减灾工作部署的参考依据。在2006~2020年全国地震重点监视防御区的预测研究中,应用了川滇等地区的中-长期地震危险性预测研究最新成果,这些研

* 执笔人:刘桂萍、闻学泽。

研究的主要特色是紧密结合地震地质、活动构造与地震活动性分析方法对未来十年及稍长时间可能发生6级（东部）和7级（西部）以上地震的危险地段进行综合预测。2008年的四川汶川8.0级地震以及2010年的青海玉树7.1级地震即发生在该项中-长期预测工作判定的7级以上地震危险区中。虽然该项预测成果未能为减轻汶川、玉树地震的灾害发挥作用，但表明该项研究的技术思路与方法具有一定的科学基础，值得开展进一步探索与应用研究。

提高对不同地震构造条件下的强震孕育过程和危险程度的认识、开展地震中-长期预测研究，是提高地震预报科学水平、增强地震短临预测基础的可能途径之一。我们认为今后我国的地震预测预报探索，似应从加强地震短临前兆异常观测与分析以及提高对地震孕育过程科学认识两个方面的深入研究予以推进。

2. 中-长期预测是地震预报的主要任务之一

2008年的汶川大地震发生后，经过科学反思与总结，我国地震系统确定了通过开展长中短临多路探索、推进我国地震预测预报工作的发展思路。这对于我国地震预报的发展具有重要意义，不仅继续保持我国地震预报注重实践的特色，同时，进一步重视相关基础科学的探索与知识积累。

从实践的角度，地震预报的最终目的是减轻地震灾害，减少人员伤亡、财产损失和对社会经济生活的冲击。虽然准确的短临预报和恰当的应急工作是实现这一目标的最直接有效途径，但社会综合防御能力的提高也是有效减轻地震灾害的重要措施。经过几十年的艰苦探索，发现地震预报，特别是短临预报的进展比当初设想的要缓慢得多；一方面表现在对于短临预报的把握性始终处于低水平，另一方面表现在已取得的进展具有很大的局限性，失败总是多于成功。与此同时，我国社会经济已发展到一新的高水平，完全有可能通过提高综合防御能力的方式来减轻地震灾害。在这种情况下，针对强震危险程度的、较长时间尺度的预测研究及其相应成果，更有利于社会综合防御能力的建设与提高。

随着社会经济继续发展，我国社会的综合减灾能力将不断提高。到2020年，我国大、中型城市将基本具备抗御6级地震的能力，地震灾害将主要由6级以上、特别是7级以上地震造成。需求就是动力，地震预测科学探索也将更加集中于强震。而地震震级越高，孕育时间越长，孕育机制和发生机理就越复杂，单纯靠经验性的认识，难以做出较高信度和准确的短临预报，就越需要开展中-长期预测的基础研究，以提高对强震孕育过程的认识。

地震中-长期预测包括对强震活动群体和单个强震两方面的研究内容。前者是对未来强震形势的预测，包括未来一段时间强震活动可能达到的最高水平和相对集中活动的区域（块体或地震带）；后者是对某一可能发生强震的危险断裂段以及危险程度的预测研究。本专项工作的研究属于后一方面。

地震的中-长期预测与短临预报的关系，既相对独立又相互依赖。相对独立表现在科学思路和技术途径两个方面中-长期预测与短临预报存在显著差异。短临预报的基本思路是“以场求源”，通过对各种观测异常变化的空间分布、时间演化以及数量与强度变化的分析，参照以往震例的相关经验，对可能临近地震的三要素进行预测。中-长期预测，特别是对大地震危险地点的判定，则主要依据对地震构造带、活动断层潜在破裂段的划分，以及对历史、史前大地震破裂与复发特征的研究，结合地震空区理论、地震学与构造大地测量学观测资料的分析等，综合判定、预测活动地块边界带、主要活动断裂带潜在大地震危险段落与潜在大地震的强度，进而估计未来特定时段内发震的危险程度。中-长期预测和短临预报的相

互依赖性主要表现在由中-长期预测研究获得强震危险地点、潜在地震强度、孕震构造特征及其动力学模式等，是开展地震短临预报、以及开展为短临预报服务的强化监测措施的重要基础。因为从现有震例的情况来看，短临异常具有非常复杂的特性，包括分布的不均匀性、特征的不重复性和成因的多解性，使得单纯依靠观测异常难以做出准确的地震短临预报；而科学的中-长期预测研究及其结果，有可能为短临预报阶段认识观测异常与孕震构造及动力学模式的相互关系提供重要参考，进而可能有助于短临预报的成功。

因此，中-长期预测和短临预报是地震预报工作不可或缺的两个重要组成部分。只有坚持不懈地从多种途径获取并积累对地震孕育发生的科学认识，才能稳步推动我国地震预测预报向前发展。

3. 中-长期预测的基础地位及研究的高起点推进

我国地震多、强度大、灾害广，是因在印度洋板块和太平洋板块的强烈碰撞、推挤的动力作用下，大部分国土都分布有发生强震危险的活动断裂（带）。因此，针对中国的国情，开展中-长期地震预测研究，一方面应是基础性的、普查性的，另一方面还应具有较高的研究起点与水准。

基础性一方面是指中-长期预测在长、中、短临预报工作体系中应处于基础地位。以十年尺度7级以上地震的危险区判定为目标的中-长期预测研究，结果应该既可直接服务于社会，又是短临预报的重要参考。预测十年及稍长时间尺度的强震危险区是确定我国特定时期地震重点监视防御区的首要环节，预测结果的科学性和可靠性决定了我国地震重点监视防御区的预测水平。地震短临预报的难点之一在于判定危险地点，而中-长期预测研究由于充分吸收了地震构造、动力学、历史强震背景以及地壳形变背景等方面的研究成果，有可能为短临阶段的危险地点判定提供有用线索。还有，短临预报的实现依赖于观测到短临前兆异常并可进行科学的解释，但经验表明短临异常出现的时间和地域带有极大的偶然性，只有在此前开展并已取得了具有一定科学水平的中-长期预测结果，才有助于提高短临预报水平，否则，有可能失去及时解读前兆异常、开展短临预报相关工作所需的时间。

鉴于中-长期预测的基础性地位，这项研究工作应立足于长远、立足于相关的或可开展研究的地震构造带。对我国大陆内部已具备条件（有一定观测、研究基础和资料积累）的活动构造区、带都应该开展强震孕育和危险程度的研究。因此，要在这些可能发生强震的地震构造区、带开展普查式的、长期不懈的大地震危险性的中-长期预测研究。对暂不具备条件的活动构造区、带，也应创造条件开展研究（如已开展相关的活断层填图、古地震研究、地震与地形变观测、地球物理探测，等等）。这样，最终可建立覆盖全国的中-长期地震预测研究的工作基础与组织体系。

在我国开展中-长期地震预测研究，应具有较高的研究起点与水准。中国地震预报工作的最主要特色在于短临预报实践，全球尚没有第二个国家像我国一样拥有众多的前兆观测站、点和手段，没有像我们一样的以短、临震情跟踪为岗位的职业队伍，更没有像我们仅靠自身实践与摸索总结出短临预报指标、经验和相关技术方法（尽管它们的有效性仍存在问题）。然而，一些西方国家很早就开展有计划的中-长期地震预测研究，并已获得了许多重要的科学理论、共识与进展，形成了多种假说与技术方法。例如弹性回跳假说与特征地震复发模式、地震空区与地震平静理论、凹凸体与断层闭锁理论、时间相依的概率地震危险性分析方法、利用地震活动及其参数分布识别高应力断裂段的方法、以及 AMR 模型等多种地震

活动性异常的定量分析方法,等等。因此,我国中-长期地震预测研究的发展道路会与短临预报的有明显不同。因为我国的中-长期地震预测研究,可更多地参考、引进或吸收国际中-长期地震预测相关理论与最新技术方法,并紧密合我国大陆的地震构造、动力学环境与观测资料的特点,使得研究即可参考、应用世界先进水平的相关科学思路与技术途径,又可坚持中国特色。因此,完全有可能较高起点、较高水准地推动我国中-长期地震预测研究,并持续、稳定发展。

通过长期不懈开展基础性、普查式的中-长期地震预测研究,将显著增强我国地震预报的科学基础和应用研究能力。这有益于我国地震短临预报与实践的继续向前发展,并促进我国地震预测相关科学研究的水平和能力能更好适应我国防震减灾的需求。

4. M7 专项工作的背景与初步成果

为实现上述科学思路和目标,2008 年 8 月初(四川汶川 8.0 级特大地震发生后仅 2 个多月),中国地震局监测预报司启动了“中国大陆 7、8 级地震危险性中-长期预测研究”工作专项,简称“M7 专项”,并成立了专项工作组,拟在我国现有的、对地震的科学认识以及地震科技能力的基础上,进一步探索研究我国大陆地区未来十年及稍长时间的大地震危险性。

在中国地震局监测预报司预报管理处具体组织下,M7 专项工作组首先开展系统的调研,了解过去 30 多年间国内外中-长期地震预测的理论、方法与研究发展趋势,分析我国大地震分布与活动构造的关系、可用观测资料的积累状态、以及 M7 专项工作组的人才队伍现状,并在参考国际地震科学界普遍认同的中-长期地震预测基础理论与技术方法的基础上,紧密结合我国实际,设计出以地震地质和历史地震、大地形变测量、地震学与地震活动性等多学科观测资料和技术方法为基础的多学科交叉与相结合的研究技术方案,针对我国大陆地区 I、II 级活动地块边界带及重要的活动断裂带,开展以判定未来十年及稍长时间的 7~8 级大地震危险地点为目标的中-长期地震预测研究,并在工作中逐步修正、完善研究的科学思路与技术方案。

M7 专项工作是 2008 年四川汶川 8.0 级特大地震后,我国地震系统实施地震预测预报多路科学探索思路的实践之一,所取得的研究成果已于 2009 年 7 月在北京召开的国际地震预报研讨会上作过专题介绍,向 2010 年度全国地震趋势会商会提交了针对南北地震带的阶段性研究报告,以及在 2011 年度全国地震趋势会商会上作了专题汇报。

三年多来,M7 专项工作组成员经过艰辛的努力,取得了相关的研究成果,所确立的总体科学思路和技术途径对于我国未来的中-长期强震危险区(段)预测研究具有参考意义。为系统总结本期 M7 专项工作的成果,监测预报司组织编著出版《中国大陆大地震中-长期危险性研究》专著。

本专著是 M7 工作专项在 2008 年 8 月至 2010 年 11 月期间完成的、主要研究成果的集成。以专著的形式保存 M7 工作专项研究的阶段性成果与资料,便于接受时间的检验,且有利于未来阶段的、后人研究工作的深入。需要提及的是,本专项的研究工作面临的诸多困难中,除了地震预测本身的科学难题之外,主要的困难还有可用观测资料时、空分布的高度非均匀性。正是为了在这种观测资料时空非均匀分布的情况下,尽可能维护中-长期地震危险性研究及其结果的科学性,本专项设计的重点研究区暂时没能包括我国青藏高原的大部、天山以外的新疆地区、东北地区、以及沿海海域的大部,因为这些地区的地震地质与历史地震

调查研究、现代地震与地壳形变的监测能力和资料积累还很不够。

本专著第 11 章已汇集了通过 M7 专项工作的研究判定出的地震危险区和危险性值得注意地区的分布图，同时还给出相应潜在地震的发震构造、震级范围、危险性急迫程度，以及这些危险区/值得注意地区的主要判定依据。相应的研究方法和危险性的分析、论证与判定过程，以及作为判定依据的相关资料与图件等，已分别在本专著第 1 章至第 10 章中给出。

本期“中国大陆 7、8 级地震中-长期危险性预测研究”专项（简称“M7 专项”）工作的牵头单位是中国地震局地震预测研究所，技术负责人是闻学泽研究员。工作组成员分别来自中国地震局的地震预测研究所、地球物理研究所、第一与第二监测中心等直属单位，河北、山西、辽宁、江苏、安徽、山东、陕西、内蒙古、宁夏、新疆、青海、甘肃、四川、云南、广东、福建等省（区）地震局，以及中国科学院测量与地球物理研究所。其中，骨干成员有研究员/正研级高级工程师 12 位：闻学泽、田勤俭、袁道阳、张晶、杨国华、祝意青、王双绪、杜方、付虹、易桂喜、高立新、张素欣，副研究员/高级工程师 6 位：蒋长胜、郑勇、宋美琴、李霞、王行舟、盛菊琴，助理研究员/工程师等共 11 位：龙锋、冯建刚、李志海、马玉虎、袁丽文、黄元敏、李迎春、曾宪伟、刘春、石军、王亮、韩立波。

第 1 章 科学思路、研究目标与技术路线

1.1 国内外中-长期地震预测研究简要回顾

鉴于大地震的中-长期预测研究是地震预测预报科学探索与实践的重要方面, 研究结果对于提高国家与地方政府部门防震减灾规划与决策水平、增强防震减灾综合能力具有重要参考意义, 在过去的 30 多年中, 国内外与中-长期地震预测相关的科学研究一直在探索中进行。

自 1970 年代后期以来, 国际中-长期地震预测研究最突出的进展主要是在环太平洋地震带取得的, 该地震带最近 30 多年来绝大部分大地震、巨大地震都发生在依据“地震空区理论”判定的地震空区内 (Fedotov, 1965; Sykes, 1971; Mogi, 1979; McCann et al., 1979; Nishenko, 1991), 如 2004 年 12 月印度尼西亚苏门答腊 9.2 级巨大地震、2010 年 2 月 27 日智利南部康塞普西翁市海外 8.8 级巨大地震, 等等; 当然, 也有一小部分大地震和特大地震发生在事先未能充分鉴别出的地震空区中, 如 2011 年 3 月 11 日的日本宫城海外 9.0 级地震。最近十多年来, 我国大陆地区发生的 2001 年青海昆仑山口西 8.1 级、2008 年新疆于田 7.3 级与四川汶川 8.0 级、2010 年青海玉树 7.1 级等大地震, 均发生在活动地块边界或大型活动断裂带上的地震空区中。其中, 后三次大地震还发生在我国地震部门 2006 年预测、圈绘并公开发表的中-长期大地震危险区中 (参见地震出版社 2007 年出版的专著《2006 ~ 2020 年中国大陆地震危险区与地震灾害损失预测研究》64 页的图 3.14 和 225 页的图 7.3)。此外, 近十多年来, 基于 GPS 测量的地壳形变场时空变化研究、沿断裂带的 b 值等地震活动性参数的空间扫描、地震活动率与地震活动图像时空变化分析、以及地震引起的应力作用计算等方法已越来越多地应用于中-长期地震预测的探索, 并有一些较成功的例子。这些工作反映加强中-长期地震预测研究是有效减轻地震灾害与损失所期望和需求的重要工作, 因而也是国际地震预测研究的重要方面。

最近 30 多年来, 国内外开展数年至 30 年时间尺度的中、长期地震预测研究的进展主要体现在以下八个方面:

(1) 地震空区理论的应用 (例如, McCann et al., 1979; Sykes, 1984; Nishenko, 1991; Bilham et al., 2001; Wen et al., 2007、2008; 2006 ~ 2020 年中国大陆地震危险区与地震灾害损失预测研究项目组, 2007; 等等)。

(2) 活动断裂带/板块边界带分段的、时间相依的发震概率评估 (Working Group on California Earthquake Probabilities, 1988、1990、1995、1999、2003、2007; 日本防灾科学技术研究所, 2006; 闻学泽, 1990、1995、1998)。

(3) 区域地震活动图像分析及地震平静理论的应用 (例如, Mogi, 1979; Habermann,

* 本章执笔: 1.1 ~ 1.3 节, 闻学泽; 1.4 节, 蒋长胜; 1.5 节, 杜方、闻学泽、龙锋。

1981; 陆远忠等, 1985; 梅世蓉等, 1996; 张国民等, 2001), 其中, 紧密结合区域活动构造、区域与构造动力学背景进行分析, 是不同尺度地震活动图像、强震迁移研究逐步发展的重要特征之一 (例如, 马宗晋等, 1992; 马瑾, 1999; 刘百箴等, 2001; 张国民等, 2004; Wyss et al., 1988、1998; Wen et al., 2007; 闻学泽等, 2008, 2011a、b)。

(4) 地震活动性参数时、空变化的分析 (例如, 李全林等, 1978), 特别是沿活动断裂带多个地震活动性参数的时、空变化分析 (闻学泽, 1986; Wiemer and Wyss, 1997; 易桂喜等, 2004a、b, 2005, 2006, 2007, 2008, 2010, 2011)。

(5) 地震可预测计划 (CSEP) 发展的统计模型、方法及其应用, 例如加速矩释放模型 AMR、时空从集模型 ETAS 以及图像信息模型 PI 等方法的发展与应用 (例如, Holliday et al., 2007; Garavaglia et al., 2007; 蒋长胜等, 2008、2009、2010)。

(6) 基于近场 (或跨断层) 形变观测资料的中期异常变化分析 (例如, Sylvester, 1986; 张晶等, 1998、2011)。

(7) 基于构造大地测量 (Tectonic geodetics) 的区域/断裂带应变/位移场、重力场时空与动态变化的研究 (例如, Bilham et al., 2001; Hirose and Obara, 2005; Aguiar et al., 2009; Dixon, 2009; Caltech, 2003; 杨国华等, 1995; 江在森等, 2003、2009; 杜方等, 2009; 祝意青等, 2009; 张晶等, 2011)。

(8) 地震引起的应力转移及其影响的计算分析 (例如, Stein, 1999; Freed and Lin, 2001; Pollitz and Sacks, 2002; Papadimitriou et al., 2004)。

以上的 (1) 和 (2) 方面可划归为地震地质与历史地震研究, 第 (3) ~ (5) 方面应属于地震学与地震活动性研究, 第 (6) ~ (8) 方面应属于近场/构造大地测量与动力学研究。由此可见, 最近 30 多年中, 国内外的中-长期地震预测研究主要涉及地震地质与历史地震、地震学与地震活动性、近场/构造大地测量与动力学等多个分支地球科学领域研究的分工与协作。这些对于形成本工作专项研究的科学思路与技术路线具有重要启示。

1.2 科学思路、研究目标与任务

1.2.1 科学思路

综合考虑以上总结的、国内外中-长期地震预测研究的多学科探索特点与发展趋势, 结合现有人才队伍与可用观测资料现状, 形成本工作专项 (即“中国大陆 7、8 级地震危险性中-长期预测研究”, 简称“M7 专项”) 研究的基本科学思想是: 中国大陆地区中-长期尺度的、大地震潜在发生地点的判定, 应当基于地震地质与历史地震、地震学与地震活动性、近场/构造大地测量与动力学等多学科方法与资料的研究, 其中, 既有分工又有协作。首先, 设法鉴别出活动断裂带上的大地震空区、或者已有高应力/应变积累的活动断裂段/构造部位, 同时排除那些大地震破裂发生不久、或者应力/应变积累水平尚不高的活动断裂段/构造部位; 然后, 再综合利用与时间相关的技术方法与观测资料进行分析 (如地震活动性及其时-空变化的定量/统计分析、基于大地测量/重力测量资料的区域形变场、应变场、重力场的时-空变化分析, 等等), 进一步缩小中-长期尺度的、大地震潜在危险区的范围。

开展中国大陆地区中-长期大地震危险地点预测研究, 首要的问题是: 在中国大陆众多

的、不同规模和活动程度的活动断裂（带）上，哪一些更有可能是未来大地震主要的发生场所？

中国地震局承担的一项国家重大基础科学研究项目（973 项目）“大陆强震机理与预测”的成果揭示：中国大陆是由不同级别的地壳活动块体所组成的，其中 86% 的 $M \geq 7$ 级地震、所有的 $M \geq 8$ 级地震均发生在 I、II 级活动地块边界带（图 1-1）（张培震等，2003；张国民等，2004、2005）。因此，鉴于中国大陆 $M \geq 7.0$ 级地震及其灾害主要沿 I、II 级活动地块边界带分布，本工作专项确定以 I、II 级活动地块边界带为研究的重点地带，以多学科分工—合作的研究途径综合判定未来十年及稍长时间 7~8 级大地震可能发生的地点为重点研究目标的科学思路，以便能集中有限的资源、突出重点开展研究，并有利于获得对未来一段时期我国的防震减灾和中期、中-短期大地震预测研究工作有一定参考意义的成果。

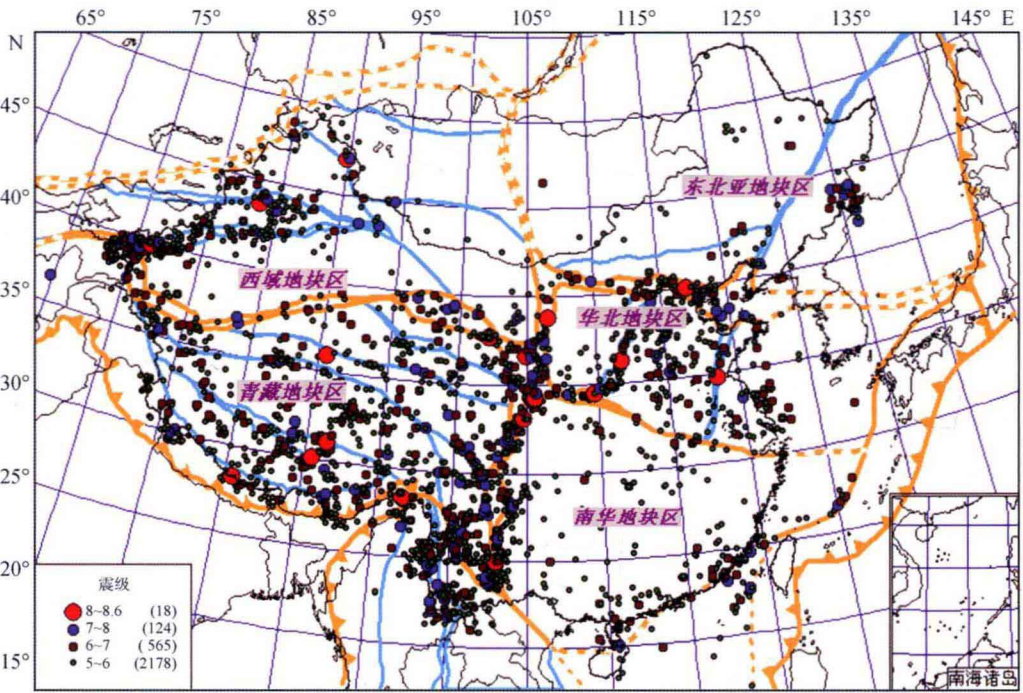


图 1-1 中国大陆及邻区 I、II 级活动地块与 $M \geq 5$ 级地震震中分布（张国民等，2004）
桔黄色、蓝色条带分别为 I、II 级活动地块边界

1.2.2 研究目标

M7 专项工作的研究目标是：基于活动构造与历史强震资料、区域与跨断层形变/重力测量资料以及现代地震观测资料，采用地震地质、地震活动性、地壳形变场/重力场分析等多学科相结合的技术方法，研究与判定中国大陆地区（青藏高原中南部、新疆南和北部、东北等地区暂时除外）部分活动地块边界带与地块内部重要活动断裂带未来十年及稍长时间的 $M \geq 7.0$ 级地震危险区。

1.2.3 工作任务

针对以上科学思路与研究目标,设定 M7 专项工作的主要任务是:

(1) 判定中国大陆未来大地震主体活动区/带以及特定区/带的危险性。

分析不同时-空尺度的强震、大地震活动特征,判定未来十年及稍长时间中国大陆大地震的主体活动区域以及相关的活动构造区/带;结合区域与构造动力学分析,研究特定活动构造区/带 $M \geq 7.0$ 级大地震的中-长期危险背景。

(2) 鉴别活动地块边界带/重要活动断裂带上存在的地震空区(大地震破裂空段)。

综合应用活动构造、历史与现代地震的破裂资料(含古地震资料),确定重点研究区主要活动地块边界/重要活动断裂带的强震、大地震震源区/破裂区的展布,从中识别出长期缺少 $M \geq 7.0$ 级地震破裂的段落,即地震空区。

(3) 分析现代地震活动异常的区域,识别出小震及其参数分布异常的断裂段。

利用区域地震台网目录分析重点研究区活动地块边界带/重要活动断裂带的现代地震活动性及其参数的空间分布,圈定出小震分布及地震活动性参数异常的段落。对于部分地震监测能力好的地区,开展地震重新定位,并利用重新定位的地震目录进行相应的分析研究。

(4) 研究地块/断裂带的现代运动与变形/应变状态,鉴别相应的异常区域/断裂段。

利用跨断层(近场)与区域/构造大地测量(如 GPS、水准、重力、基线等)资料,分析重点研究区活动地块边界带、地块内部重要活动断裂带的现代运动与应变状态,判定出异常运动状态以及高应变积累的断裂段。

(5) 综合判定未来十年及稍长时间的大地震危险区。

基于以上第(1)~(4)项内容的研究结果,结合地震引起的应力变化(库仑应力影响场)的相关研究结果,综合判定重点研究区活动地块边界带/重要活动断裂带未来十年及稍长时间的 $M \geq 7.0$ 级震危险区,尽可能依据现有信息估计出危险区潜在大地震的震级范围,并在综合考虑判定依据的科学性与充分性的基础上,对危险区的判定结果进行可靠性分类。

1.2.4 重点研究区

考虑到中国大陆西部以及东部滨海的一些地区缺少长期完整的历史地震资料,地震地质调查研究不足,同时,现代地震与地壳形变观测资料的积累也很有限,暂不能满足开展十年及稍长时间尺度的大地震危险性判定研究对基础调查与观测资料的需求,本工作专项暂未对青藏高原的大部分(尤其是青藏高原中南部)地区、天山构造带以外的新疆地区、东北地区、以及东部一些滨海地区开展系统研究。而已列入本工作专项重点研究区的是:

(1) 华北地区:华北地块及其次级活动块体的周缘:山西—渭河断陷带、华北平原地震构造带、郯-庐断裂带(辽宁—渤海—安徽部分)、张家口—渤海地震构造带、河套地震构造带。

(2) 南北地震构造带:包括青藏地块中次级活动块体的东缘及其附近,由北而南有吉兰泰—银川断陷带、海原—六盘山构造带、西秦岭北缘断裂带、祁连山断裂带东段、东昆仑断裂带东段、岷山—龙门山构造带、甘孜—玉树断裂带、鲜水河—安宁河—则木河断裂带、大凉山与马边断裂带、莲峰与昭通断裂带、金沙江—中甸断裂带、小江断裂带、红河断裂