

中国科协三峡科技出版资助计划

强震应急 与次生灾害防范

李小文 黄润秋 主编 王运生 陈安 副主编



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

中国科协三峡科技出版资助计划

强震应急与次生 灾害防范

李小文 黄润秋 主 编
王运生 陈 安 副主编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

强震应急与次生灾害防范/李小文, 黄润秋主编. —北京:
中国科学技术出版社, 2012. 12

(中国科协三峡科技出版资助计划)

ISBN 978 - 7 - 5046 - 6261 - 3

I. ①强… II. ①李… ②黄… III. ①强震 - 应急对策 -
基本知识 ②地震次生灾害 - 基本知识 IV. ①P315.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 306765 号

总 策 划 沈爱民 林初学 刘兴平 孙志禹
项 目 策 划 杨书宣 赵崇海
出 版 人 苏 青
编辑组组长 吕建华 许 英 赵 晖

责任编辑 吕秀齐 赵 晖 张利梅
责任校对 刘洪岩
印刷监制 李春利
责任印制 张建安

出 版 中国科学技术出版社
发 行 科学普及出版社发行部
地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编 100081
发行电话 010 - 62103349
传 真 010 - 62103166
网 址 <http://www.espbooks.com.cn>

开 本 787mm × 1092mm 1/16
字 数 250 千字
印 张 12.25
版 次 2013 年 4 月第 1 版
印 次 2013 年 4 月第 1 次印刷
印 刷 北京华联印刷有限公司



书 号 ISBN 978 - 7 - 5046 - 6261 - 3/P · 170
定 价 38.00 元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

目 录

总 序	曹广晶
第 1 章 强震发生机理及次生灾害类型	1
1.1 强震的地质成因及发生过程	1
1.2 强震对地表的破坏作用及作用机制	11
1.3 强震次生灾害的成因与类型	24
参考文献	46
第 2 章 强震后的救援组织管理	47
2.1 强震后应急救援的主要任务	47
2.2 应急救援人员的组织与调配	49
2.3 应急救援人员的招募与甄选	54
2.4 应急救援人员的培训	57
参考文献	64
第 3 章 强震灾害后应急救援的资源管理	65
3.1 强震灾害后应急救援的资源保障	65
3.2 应急资源调配与调度	72
3.3 应急资源管理与补偿	76
3.4 次生灾害应对中的资金管理	82
参考文献	90
第 4 章 强震灾害后的社会组织与管理	91
4.1 政府作用的发挥	91
4.2 防灾减灾知识宣传与普及	95
4.3 媒体导向及管理	98
4.4 群体性事件及应对	102
4.5 社会秩序的恢复	102

4.6 灾区社会结构重构	105
参考文献	109
第5章 强震次生地质灾害及地质环境的监测与防治	110
5.1 强震导致的堰塞湖	111
5.2 强震引起的滑坡与泥石流	116
5.3 地球化学异常与污染	119
5.4 强震导致的生态环境变异	125
5.5 遥感用于监测地质灾害与地质环境的变化	126
参考文献	128
第6章 建筑物与构筑物的震损评估及修复	130
6.1 工业与民用建筑	130
6.2 道路、隧道与桥梁	136
6.3 水坝及其附属构筑物	142
6.4 文物及古建筑	145
参考文献	149
第7章 强震后防疫及疾病控制	150
7.1 强震后防疫工作的一般原则	150
7.2 震后易发肠道传染病及其监控与防疫	152
7.3 震后易发呼吸道传染病及其监控与防疫	153
7.4 震后易发自然疫源及虫媒传染病及其监控与防疫	156
参考文献	159
第8章 震后民众心理疏导及危机干预	160
8.1 震后民众心理反应的表现形式	161
8.2 震后民众的心理疏导	165
8.3 震后民众的心理危机干预	169
参考文献	179

第 1 章 强震发生机理及次生灾害类型

1.1 强震的地质成因及发生过程

1.1.1 强震的地震成因

地下深处断层受应力作用突然错动造成弹性波传播所引起的地面震动称为地震。按成因，地震可分为构造地震、火山地震和陷落地震三种。人类工程活动，如采矿、水库蓄水、深井注水、地下核爆炸等也可诱发地震。

强震一般属于构造地震。构造地震由现代地壳运动所产生，也是分布最广，数量最多（大于90%），危害最重的地震。构造地震一般产生于板块边缘和板块内部的构造活动带。岩石圈在地球内力作用下，应变能不断积累，一旦达到岩体强度极限，就会发生突然的剪切破裂（脆性破坏）或沿已有破裂面产生突然错动（黏滑），积蓄的应变能以弹性波的形式突然释放使地壳震动而发生地震，如图 1-1 所示。

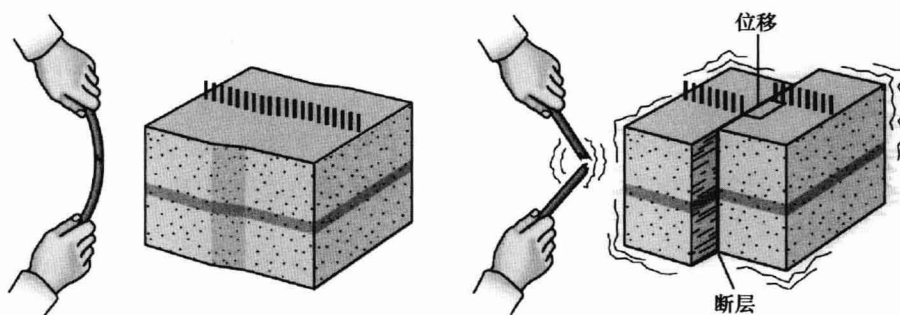


图 1-1 地震的孕育与应力释放

地震波产生（发源）的地方叫震源，震源在地表的投影为震中，地表任意一点到震中的距离叫震中距，如图 1-2 所示。震级代表一次地震本身的强弱，它由震源发出

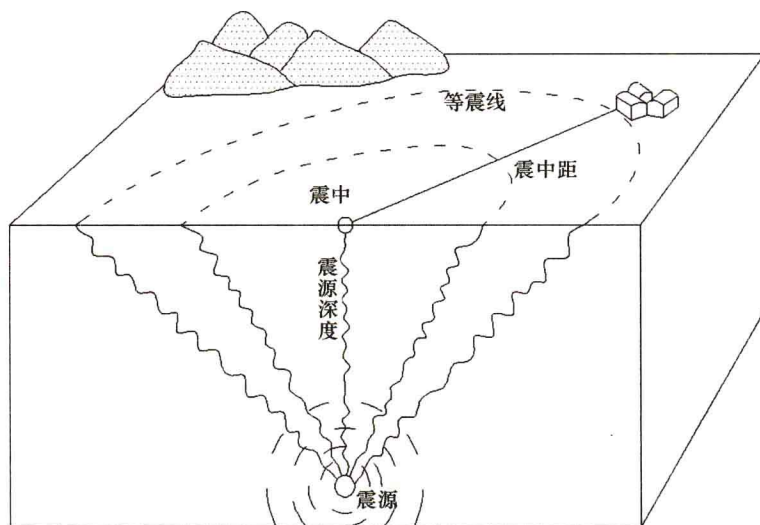


图 1-2 地震基本要素示意图

的地震波能量来决定，因此同一次地震只有一个震级。烈度在同一次地震中是因地而异的，共分 12 级，由当地的各种自然和人为条件所决定。影响地震烈度的五要素是震级、震源深度、震中距、地质结构和建筑物本身。一般来说，对于同一次地震，震中距越短，烈度则越高；另外，如果地震的震级与震中距相同时，则震源越浅烈度越高。汶川地震的主震等震线如图 1-3 所示。

当前，最基本的震级标度有 4 种：地方性震级 M_L 、体波震级（ M_b 和 M_B ）、面波震级 M_s 和矩震级 M_w 。前 3 种震级是通过测量地震波中的某个频率地震波的幅度来衡量地震的相对大小的一个量。 M_L 是用 1s 左右的 S 波（或 L_g ）的振幅来量度地震的大小， M_b 是用 1s 左右的地震体波振幅来量度地震的大小， M_B 是用 5s 左右的地震体波振幅来量度地震的大小， M_s 是用浅源地震的 20s 左右的面波振幅量度地震的大小。矩震级 M_w 是由基本的物理参数所计算的震级，描述了地震破裂面上滑动量的大小，一般通过波形反演的方法计算。我国规定对公众发布一律使用面波震级 M_s ，也就是我们一般所说的里氏震级。

根据震源深度，地震可以分为浅源地震（震源深度小于 70km）、中源地震（震源深度小于 70~300km）及深源地震（震源深度大于 300km）。

20 世纪 70 年代问世的全球板块构造理论是地球科学的一场革命，该理论从根本上解决了岩石圈运动机理及全球构造格局及其演化。根据板块构造理论，全球可以划分六大板块（图 1-4）：欧亚板块、太平洋板块、美洲板块、南极洲板块、印度洋板块和非洲板块。板块边界有三种类型：挤压型板块边界，如图 1-5 所示；转换型板块边界

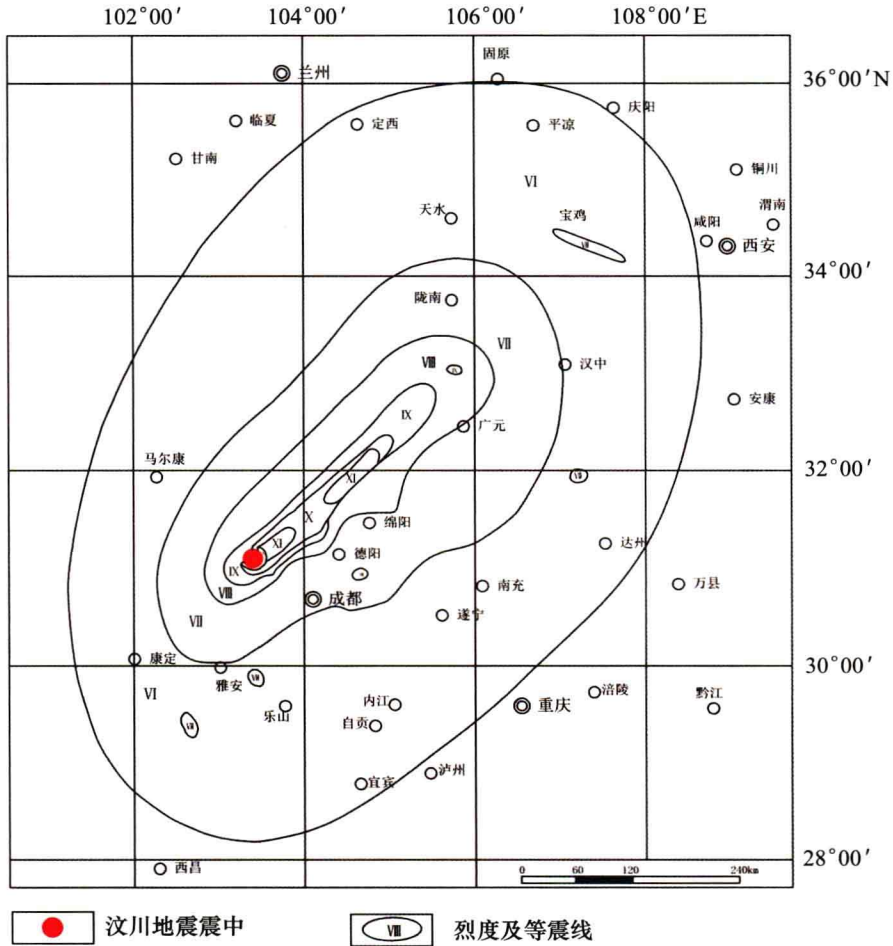


图 1-3 汶川地震主震等震线（据国家地震局，2008）

和拉张型板块边界，如图 1-6 所示。

板块理论认为全球地震主要集中在板块边界，挤压型板块边界的地震活动尤其强烈。全球性两大地震活动带，如图 1-7 所示，即环太平洋地震带和阿尔卑斯—喜马拉雅—印度尼西亚地震带都与此密切相关。事实上，环太平洋地震带分布着世界 80% 以上的浅震、90% 以上的中震和几乎 100% 的深震，地震总能量的 80% 是在这个地震带上释放的；阿尔卑斯—喜马拉雅—印度尼西亚地震带震中较环太平洋地震带的分散，地震带的宽度大且有分支，以浅源地震为主，中源地震在帕米尔、喜马拉雅有所分布，深源地震主要分布于印尼岛弧。环太平洋地震带以外的几乎所有深源、中源和大的浅源地震均发生于喜马拉雅—印尼带。释放能量约占全球地震能量的 15%。

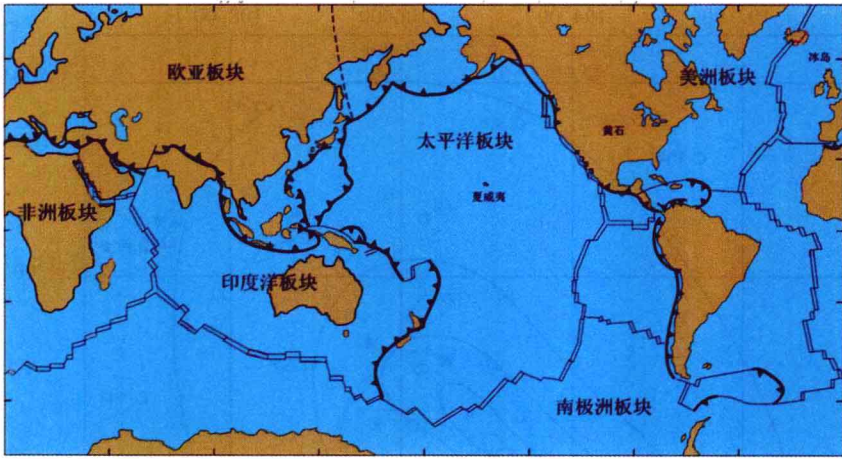


图 1-4 全球板块构造与板块边界

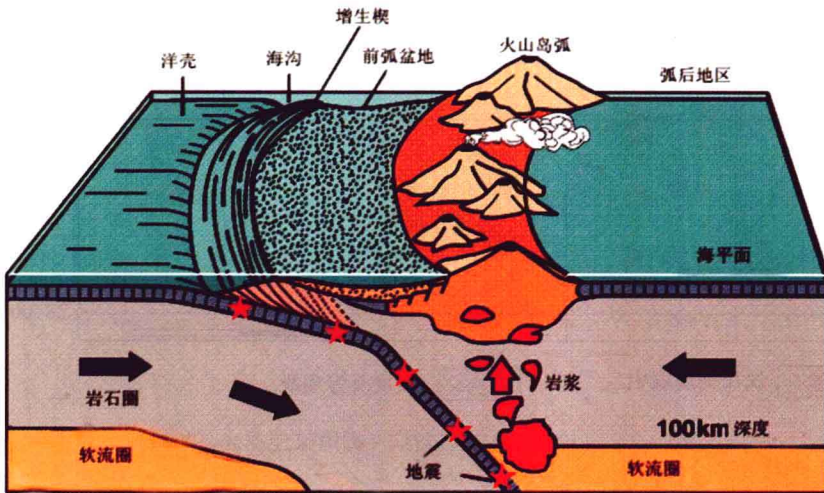


图 1-5 挤压型板块边界

转换断层地震发生在 bc 段，如图 1-8 所示，美国 1906 年旧金山地震就是沿转换断层——圣安德烈斯断层发震的。

沿拉张型板块边界的地震以浅震为主，一般小于 30km，强度一般较低，震级除少数例外均不超过 5 级。2008 年 5 月 29 日冰岛（北纬 64.0°，西经 21.0°）发生 6.5 地震就是拉张型地震。

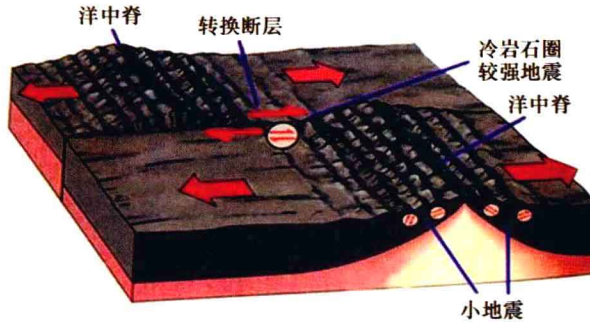


图1-6 拉张型及转换型板块边界

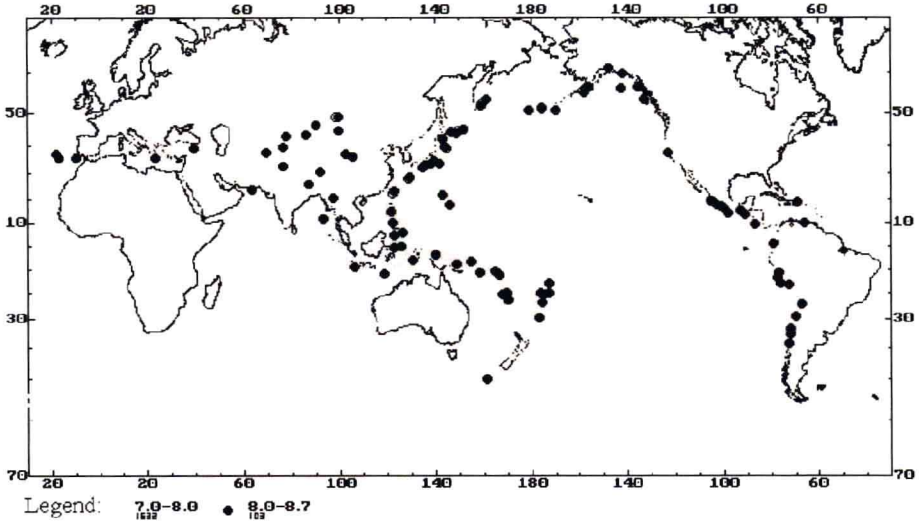


图1-7 1900—1995年全球强震分布图

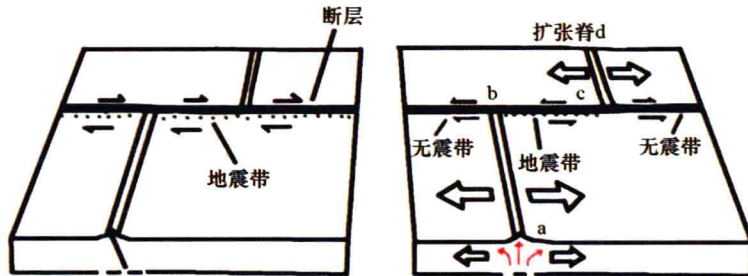


图1-8 转换断层、平移断层地震发生位置
左图为平移断层；右图为转换断层

1.1.2 我国地震地质基本特征

我国除台湾东部、西藏南部地震和吉林东部深源地震属板块边缘消减带地震外，其余地区的地震均属大陆板块内部地震。中国大陆岩石圈现代构造变形最显著特征是大规模的晚第四纪活动断裂发育很好，将中国大陆切割成不同级别的活动地块（active tectonic block）。不同地块的运动方式和速度不同，故地块边界的差异运动最为强烈。强烈的差异运动则有利于应力高度积累而孕育强震，所以地块的运动及其相互作用对中国大陆强震的孕育和发生起着直接的控制作用。我国大陆几乎所有 8 级和 80% ~ 90% 的 7 级以上强震都发生在此活动地块的边界带上。

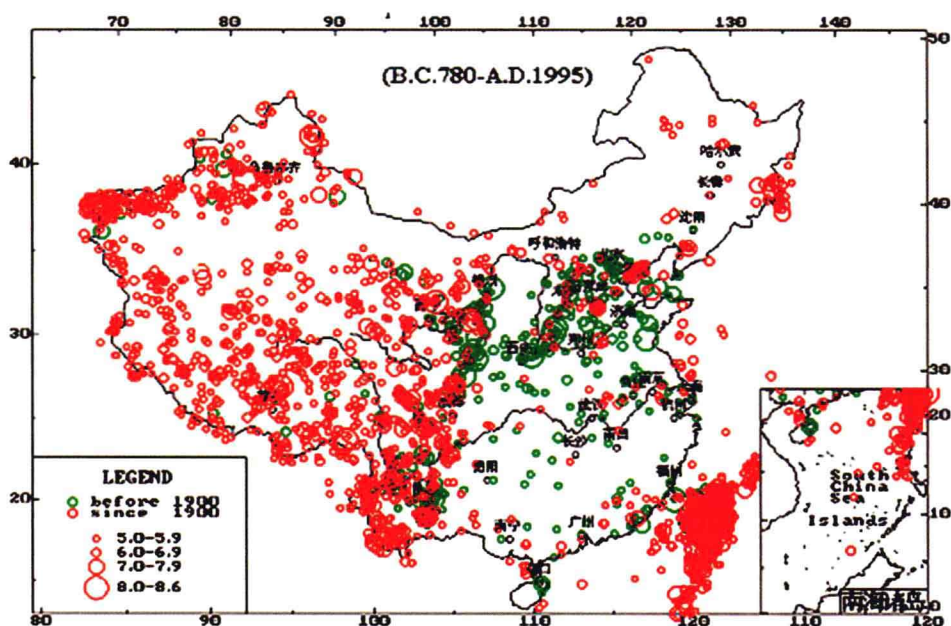


图 1-9 中国强震震中分布图

中国大陆板块内部构造活动的基本形式为块体运动。活动块体的边界被活动断裂、活动盆地和活动褶皱所围，块体内部相对稳定，而块体边缘的活动构造带则活动强烈，并伴有强震活动，如图 1-9 所示。有历史记载以来中国大陆的 119 次 7 级以上地震有 104 次发生在这些活动的地块边界带上。活动地块区和活动地块间的差异运动及其间的相互作用，对中国大陆地震的孕育和发生起着直接控制作用。

不同的研究者对于活动地块（active tectonic block）的划分略有不同，但大体是相同的，即一般分为两级。I 级为活动地块区（或活动断块区、活动亚板块），具体为：青藏、西域、南华、滇缅、华北和东北亚 6 个活动地块区。I 级地块内部又被活动断

裂分割成多个次级地块，如青藏地块自南而北可分出拉萨、羌塘、巴颜喀拉（唐古拉）、柴达木、祁连和川滇地块。西域地块分为塔里木、天山、准噶尔、萨彦、阿尔泰、阿拉善地块；东北亚地块分为兴安—东蒙、燕山、东北地块；华北地块分为鄂尔多斯、华北平原和鲁东—黄海地块；南华分为华南、南海地块。活动地块的运动状态是预测未来强震的背景资料。如图 1-10 所示，受印度板块与欧亚板块碰撞及持续楔入的强力推挤，西部地块运动强烈（速率可达 15~30mm/a）。东部地块活动微弱（速率一般 ≤ 10 mm/a），西部运移方向以 NNE-NE 向为主，东部则近东西向。地震活动也是西部强而东部弱。尤其是东部的东北和华南地块现今构造活动性与地震活动均较弱。

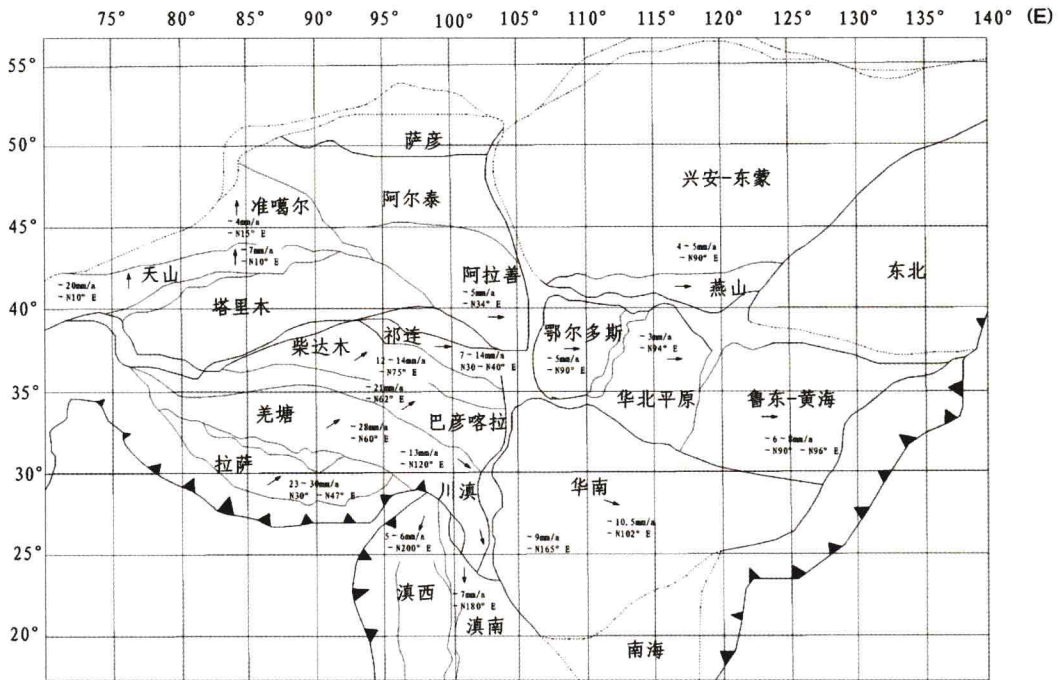


图 1-10 中国大陆活动地块运动速度矢量图（据张培震、王琪等）

我国大陆板内地震多发生在地壳内 10~25km 深处，西部地区也有地震发生在地壳内 31~37km 深处。由此可见，地壳深部构造活动和受力状态对地震的孕育和发生是更为直接的因素。不同级别的断裂如盖层断裂、基底断裂、岩石圈断裂和超岩石圈断裂，层间断裂在深部的活动往往是地震发生的主要原因。

地震带就是地震集中分布的地带。在地震带内震中密集，在带外地震的分布零散。地震带常与一定的地震构造相联系。中国有 23 条地震带，龙门山地区属中国南北向地震带。

1.1.3 强震发生过程类型

构造地震发生过程有多种形式：根据主震与前震或余震的关系可以分为单发型、主震型（包括前震主震型和主震余震型）、群震型和双震型。

(1) 单发型地震。又称孤立型地震。这种地震的前震和余震都很少而且微弱，并与主震震级相差悬殊，整个序列的地震能量几乎全部通过主震释放出来。此类地震较少，1966年秋安徽定远地震、1967年3月山东临沂地震，均未观测到前震和余震，震级很小，只有4~4.5级。

(2) 主震型地震。是一种最常见的类型，主震震级特别突出，释放出的能量占全系列的90%以上。进一步可以分为前震主震型和主震余震型。前震主震型是大震发生前有一系列小震出现，如1975年2月4日辽宁海城7.3级地震，发震前24小时内共发生了500多次前震，主震后又发生很多余次震。由于前兆明显，及时地预报和采取了一系列应急防震措施，海城地震全区人员伤亡共18308人，仅占Ⅶ度区总人口数的0.22%，重伤4292人，轻伤12688人，轻重伤占总人口数的0.2%，是大震中伤亡人数较少的一次。主震余震型大震发生前几乎无前震，即无前兆，临震预报很难作出，如1976年7月28日唐山大地震（7.8级），则基本没有前震，但余震连续数年不断，死亡26万多人；汶川地震也属这种类型，死亡8万多人。

(3) 震群型地震。由许多次震级相似的地震组成地震序列，没有突出的主震。此类地震的前震和余震多而且较大，常成群出现，活动时间持续较长，衰减速度较慢，活动范围较大。如1966年邢台地震，从2月28日~3月22日，震级由3.6、4.6、5.3、6.8、6.8逐步升到7.2级。有时这种类型的地震是由两个主震型地震组合在一起形成的。

(4) 双震型。最大地震与次大地震的震级之差小于等于0.5的地震序列被划为双震型。它约占地震序列总数的13%。如龙陵地震：1976年5月29日深夜22时，在龙陵县的镇达、平达、向达等乡镇（北纬24.4°，东经98.6°）连续发生两次7.3/7.4级强烈地震。震中烈度达9度。

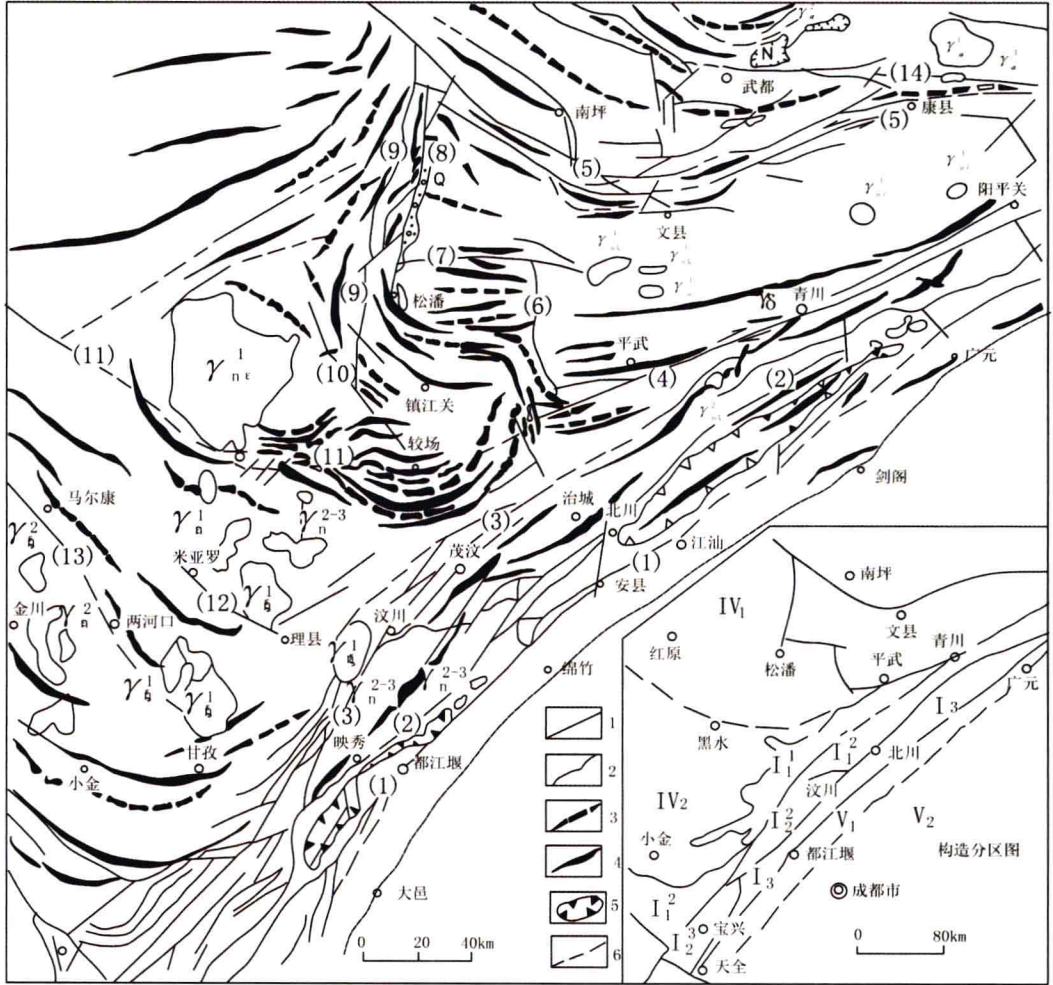
一次强震可以较为明显区分为极震区和外围的影响区。极震区在地震来临时纵波表现明显，接着是面波，破坏性大，但历时一般较短。地震持续时间与震源积累的应变能有关，一般地震持续时间在数秒至十余秒，很少超过60秒，汶川8.0级地震持续时间达80~120s，比较罕见。

1.1.4 汶川地震形成机理

2008年5月12日发生的汶川地震的震中位于北纬31.0032°，东经103.3649°，处于龙门构造段中段。这次地震的震源深度为18.7km。地球物理资料揭示，川西北地区

深度约20km处存在一个1~2km的壳内低速带，是川西北断块向东运动的滑脱面，地震震源多位于该滑脱面附近。因此这次地震是在川西北特殊的构造背景下形成的。

岷山南北向隆起带地处川西北三角形断块内部，如图1-11所示。岷山隆起带西



据1:20万 1:5万 1:100万(四川省地质志)等资料编制

图1-11 川西北构造简图

1. 区域主干断裂; 2. 一般断裂; 3. 向斜; 4. 背斜; 5. 飞来峰构造; 6. 推测断裂; (1) 灌县—安县断裂; (2) 映秀—北川断裂; (3) 汶川—茂汶断裂; (4) 平武—青川断裂; (5) 塔藏—文县断裂; (6) 虎牙断裂; (7) 雪山断裂; (8) 岷江断裂; (9) 牟泥沟—洋洞河断裂; (10) 松平沟断裂; (11) 阿坝—黑水—较场弧形断裂; (12) 米亚罗—理县断裂; (13) 马尔康—两河口断裂; (14) 武都—成县断裂; (15) 广元—绵竹—大邑隐伏断裂构造单元; I. 龙门山巨型推覆断褶带; II. 平武—青川(也称摩天岭构造带)推覆构造带; III. 西秦岭地槽褶皱带; IV. 松潘—甘孜地槽褶皱带; V. 川西前陆盆地。

界为岷江断裂,东界为虎牙断裂和雷东断裂;北界为塔藏—文县断裂,南界为灌县—安县断裂。岷山隆起带南宽北窄,东西宽 50~90km、南北绵延约 200km;三维空间上浅部宽、深部窄。

岷山断块瓶颈效应导致龙门山中段第四纪推覆活动最为强烈,前寒武纪的彭灌杂岩被逆冲覆于三叠系须家河组之上,强大的推挤导致山前凹陷形成并接受来自岷江河水携带的大量的固体物质,形成著名的成都平原,第四纪堆积厚度达 300 余米以及凹陷盆地东缘龙泉山一带对冲断褶。因此,龙泉山断隆与龙门山中段空间上有很好的对应性,成生上有着密切关系。

对于灌县—安县断裂的活动性已有大量的研究资料,周荣军等在大邑青石坪沿该断裂开挖的探槽中,揭示出 2 次古地震事件,最新一次发生的碳 14 年龄为 $(3830 \pm 220) \sim (1170 \pm 100)$ a BP。在彭州菩萨堂开挖的剖面上,灌县—安县断裂发育于洪积砂砾石和灰色、灰黑色的黏土夹碎石(断塞塘沉积)之间,由两条次级断裂组成,断面光滑,具有清晰的斜擦痕。断裂断错了 TL 年龄为 (14.30 ± 0.11) ka BP 的地层,表明该断裂自晚更新世晚期以来仍有较强烈的活动。沿该断裂于 1327 年和 1970 年分别发生过 6 级和 6.2 级地震。在距成都市区 70~80km 的大邑双河(西岭镇)青石坪探槽场地,揭示出碳 14 年龄为距今 $(860 \pm 40) \sim (930 \pm 40)$ 年,折算年份为 $(1090 \pm 40) \sim (1020 \pm 40)$ 年最晚一次古地震事件;942~953 年 4~5 月,成都、华阳一带记载了 11 次地震事件,其中记载破坏较重的有两次,这两次地震对成都市区的破坏应达到 VI 度~VII 度,龙门山断裂带中段是晚更新世以来强烈活动段,历史上发生过多中强地震,现代小震成带分布,因而具备发生强震的构造条件。

龙门山构造带多数段落为全新世活动断裂、北川—映秀断裂为主要活动断裂。北川—映秀断裂具有全新世活动性,仅有的 2~3 个探槽亦揭示出史前强震的地质记录。龙门山构造带仅有 3~4 次 6.0 级以上强震,最大地震为 1657 年汶川 6.5 级地震,判定的断裂潜在地震能力在 7.0 级左右。

从历史地震和成都平原考古发现可以看出,岷山隆起南段两条断裂第四纪活动明显,与川西平原巨厚的堆积及大邑—绵阳一带众多灾变事件有很好的对应关系。根据前述的岷山隆起带南缘特大地震复发周期,汶川地震应该是三星堆灾变事件以来又一次重大事件,无数的崩塌、滑坡及 246 个堰塞湖(规模巨大的 60 余个)可以断定若发生在生产力落后的古代,地震及震后次生灾害(堰塞湖溃坝引起的特大洪水灾害)对沿河集镇及山口集镇几乎是毁灭性的。

地球物理探测与地质分析均认为岷山隆起南部三条断裂向深部收敛,在壳内低速层归并成同一滑脱面,岷山隆起带南缘的应力积累导致南缘的映秀—北川断裂和灌县—安县断裂应力高度集中,成为孕震断裂。根据汶川地震震源参数(震中牛眠沟、震源深度 18.7km),首先前山断裂发生破裂。岷山隆起瓶颈式锁固具有平面上前小后

大、剖面上下小上大，由于南北两侧的夹击和向东部收口，隆起带南界活动首先应该是逆冲提供位移空间后才能发生右旋走滑。因此，汶川地震在岷山隆起带南缘以垂直逆冲为主，兼有很小的走滑分量。应力状态的瞬时变化和强大的应变能释放驱动位于震源上方的映秀—北川断裂联动并出现大规模地表破裂。破裂迅速向北东方向扩展，在东侧边界北川一带遇阻并出现累进性破坏，释放巨大应变能。

岷山隆起南缘逆冲后，锁固瞬时被取消，强大的来自西侧的推挤力迅速传向隆起东侧的平武—青川断块（震前由于岷山隆起带的屏障作用处于较低应力环境），使昔日平静的青川断块及其龙门山北段余震不断，与此同时岷山隆起西侧边界南段因岷山隆起的东移，应力状态发生了明显变化，应力调整导致两侧块体沿边界活动，结果是余震沿鱼子溪电站闸址—理县间频发活动，汶川地震余震空间分布呈对勾形。

1.2 强震对地表的破坏作用及作用机制

强震对地表的破坏表现形式多种多样：纵波、剪切波以及面波导致建筑物、窑洞、道路、桥梁及隧洞的倒塌或坍塌，这也是历次陆上地震重大伤亡的主因。在山区由于地震加速度在不同高程的放大作用，触发大量滑坡、崩塌及碎屑流；地震造成的堰塞湖溃坝，将导致大洪水横扫下游。震级大于6.5级的地震发生时，地表会出现破裂，并有明显错位。破裂带上的所有建筑物、道路、管网因突然大幅度错移而毁坏，含中细砂层且地下水位较浅的冲积平原及沿河低地会出现砂土液化、喷水冒砂，导致高层建筑整体倾斜；地震的强烈震动不但改变山区地貌，还会改变山区水文地质条件，导致水质污染、泉水水量减小或增大等现象。在海底发生地震，会诱发巨大海啸，导致受到影响的沿岸地带因巨浪而毁于一旦。

1.2.1 强震对房屋的破坏

汶川地震以前，我国广大地区包括城镇居民住宅及乡村居民点，很少考虑防震，楼房以砖混结构为主，预制板接头无焊接，抗震能力弱。在偏远的山村，以土坯房（如凉山州农村）或石头房（川西藏族地区）为主，抗震能力极差，因此，地震发生时大多被夷为平地。当震级大且位于极震区时，即使是框架结构的建筑，如果设防烈度偏低时，房屋同样会被毁坏。只有少数地区如青藏高原上藏族、云南纳西族等木构房屋，抗震性能较好，地震发生时虽有损坏，但多半不会倒塌，伤亡相对较轻，1996年2月3日丽江里氏7.0级大地震死亡只有305人，抗震性较好的纳西族木构建筑起着关键性作用。2008年5月23日国务院新闻办公室发布统计消息，汶川大地震倒塌房屋546.19万间，严重损坏的593.25万间，破坏程度可见一斑。汶川地震极震区除大量居民房屋倒塌外，一些跨度较大的教室（预制板楼板）倒塌极为严重，成为地震死亡的重灾点。如图

1-12~图1-17所示。

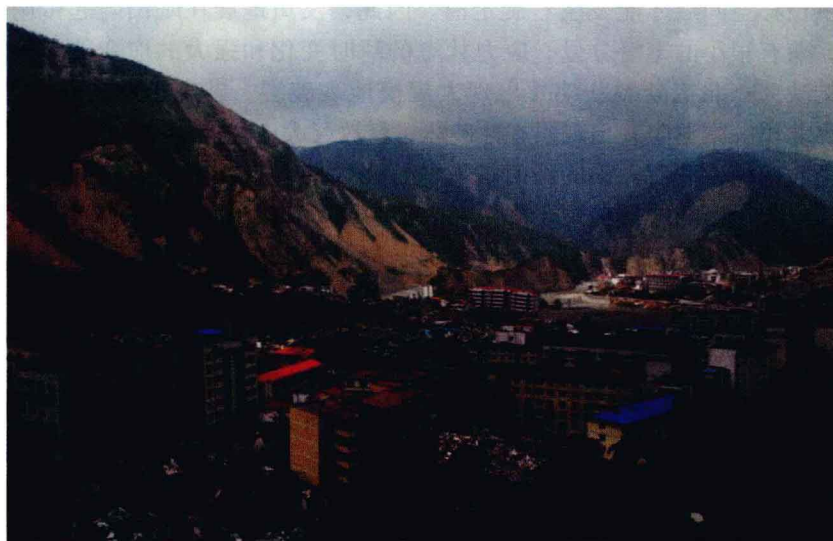


图 1-12 北川老县城成为一片废墟



图 1-13 二王庙在地震中遭到空前的破坏