



地震 与中国大陆 | 形影相随

想知道您或您的亲人居住的城市是否位于地震活动断裂带上吗？
想知道哪些地方历史上曾经或今后还会发生破坏性地震吗？
地质学家从独特的视角帮助您解读中国地震

嵇少丞 著

地震

与中国大陆形影相随

嵇少丞 著

想知道您或您的亲人居住的城市是否位于地震活动断裂带上吗？

想知道哪些地方历史上曾经或今后还会发生破坏性地震吗？

地质学家从独特的视角帮助您解读中国地震

科学出版社

北 京

内 容 简 介

汶川地震不是中国的第一场地震,更不是中国的最后一场地震。地震是地球村的一员,是我们人类必须面对的自然灾害。本书是作者实地考察5.12地震灾区后撰写的科普力作,其目的是让广大读者更多地、科学地、理性地认识地震,了解中国地震的时空分布特征和成因,了解如何预防地震、抵抗地震,从而最大程度地保护生命,尤其强调城乡建筑抗震设防的必要性和重要性。

本书可供任何对地震感兴趣的人、任何想知道他或他的亲人居住的地方是否位于地震活动断裂带上的人、任何想知道中国哪些地方历史上曾经或今后还会发生破坏性地震的人阅读。

图书在版编目(CIP)数据

地震与中国大陆形影相随/嵇少丞著. —北京:科学出版社,2009
ISBN 978-7-03-024501-4

I. 地… II. 嵇… III. 地震-中国 IV. P316.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第064551号

责任编辑:朱海燕 文 杨/责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009年5月第一次印刷 印张:12 1/2

印数:1—3 500 字数:171 000

定价:29.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

天地不仁，以万物为刍狗。

汶川地震不是中国的第一场地震，更不是中国的最后一场地震。

地震是我们人类必须面对的自然灾害。

此书让您更多地、科学地、理性地认识地震，

了解中国地震的分布特征和成因，

了解如何预防地震、抵抗地震，从而最大程度地保护生命。

作者简介



作者 2008 年 11 月 14 日在“5.12”

地震宏观震中考察

嵇少丞，男，江苏省盐城市人，加拿大蒙特利尔大学工学院教授、中国地质科学院地质研究所客座研究员。主要研究领域为流变学、岩石物理、构造地质学和大陆动力学等。

1982年毕业于南京大学地球科学系，之后师从中国科学院地质所张文佑院士和钟大赉院士读研究生。1983年赴法国蒙彼利埃大学在 A. Nicolas 教授和 D. Mainprice 教授的构造物理实验室里留学，1987年6月获得博士学位，并获法国科技部最佳博士论文奖和中国矿物、岩石和地球化学学会第二届“侯德封”奖。

1987年8月至1989年8月,在中国地质大学(北京)池际尚院士指导下做博士后,1988年当选为第34届中国地质学会构造地质专业委员会委员。1989年9月至1991年11月,先后任巴黎地球物理研究所和加拿大地质调查局客座研究员。从1991年12月起先后任加拿大蒙特利尔大学理学院和工学院教授,曾主持加拿大国家自然科学基金委员会和国家LITHOPROBE攻关基金的多项前沿课题。1988年获德国“洪堡”基金,他还是中国国家杰出青年基金(海外学者)和中国科学院杰出海外青年学者基金的获得者,中国科学院海外评审专家。自1988起任国际地学期刊 *Tectonophysics* 编委,中国地学期刊《地球科学》和《大地构造与成矿》编委、中国科学院边缘海地质重点实验室(广州地球化研究所)学术委员、中国国土资源部大陆动力学重点实验室学术委员会副主任,加拿大地质学会构造专业委员会理事。曾连续三年(2001~2004年)出任加拿大国家自然科学基金和工程基金委员会地学组基金决审委员会委员。代表作有: *Rheology of Polyphase Earth Materials* (2002), *Handbook of Seismic Properties of Minerals, Rocks and Ores* (2002), *Deformation Mechanisms, Rheology and Seismic Properties of Rocks* (2008)。

目 录

1. 汶川大地震的震中在哪?	1
2. 地震来时什么样?	21
3. 地震如何杀人?	31
4. 最不该倒的建筑倒了!	51
5. 抗震设防的必要性和重要性	61
6. 紫坪铺水库制造了 5.12 地震?	67
7. 汶川地震, 一本打开的地质和建筑教科书	77
8. 地震是地球村的一员	97
9. 逃逸的亚洲大陆	123
10. 中国地震分布特征	129
11. 拉萨地块	135
12. 鲜水河—小江断裂带	138
13. 滇西地震区	142
14. 龙门山断裂带	143
15. 昆仑断裂带和西秦岭断裂带	152
16. 阿尔金与祁连山断裂带	157
17. 天山断裂带	160
18. 阿尔泰断裂带	164
19. 鄂尔多斯地块周边断陷系	165
20. 张家口—渤海断裂带	171
21. 结束语: 中国的应对策略	176
参考文献	179
后记	189

1. 汶川大地震的震中在哪？

1.1 猝不及防的灾难

2008年5月12日14点28分4秒四川省阿坝藏族羌族自治州汶川县映秀镇附近发生里氏8.0级特大地震，震中位于北纬 31.00° ，东经 103.04° ，媒体称之为汶川地震。根据中国国家地震台网中心的信息，新华社最早报道的震级是“ $M_s7.6$ 级”；之后国家地震台网中心又将震级修订为 $M_s7.8$ 级。2008年5月18日，国家地震台网中心将汶川地震升级为 $M_s8.0$ 级。美国地质调查局（USGS）在汶川地震后约10分钟公布的汶川地震震级为 $M_s7.9$ 级，自始至终没有再修改过，USGS这个震级得到国际地学界较普遍地采用。

汶川地震是位于青藏高原北部的松潘—甘孜地块沿龙门山中央断裂和前山断裂向四川盆地强烈推覆斜冲造成的。龙门山是青藏高原东缘边界山脉，横亘于青藏高原和四川盆地之间。当你由成都平原西行，接近邛崃—都江堰—彭州—什邡—绵竹一线时，你会看到西边巍峨挺拔的龙门山，甚为壮观。唐朝大诗人杜甫曾用“窗含西岭千秋雪”来形容由成都遥看龙门山的景象。中华民族历史上第一个堪称国家的夏王朝（距今4100年）的奠基人——大禹就出生在龙门山地区。龙门山古称茶坪山或湔山，后人为了纪念大禹“凿龙门，铸九鼎，治水患”的伟大功绩，将之命名为龙门山。唐代司马贞在《史记索隐》中说，“禹为西羌，生于茂州汶川”。西汉杨雄《蜀王本纪》说：“禹生石纽”。古时候，人口少，行政区划不像现在这么细，汶川和北川皆属于一个行政区划。所以，争论究竟汶川还是北川是大禹的故里，其实意义不大。20世纪30年代国民党元老于右任先生去凭吊北川夏禹遗迹时说

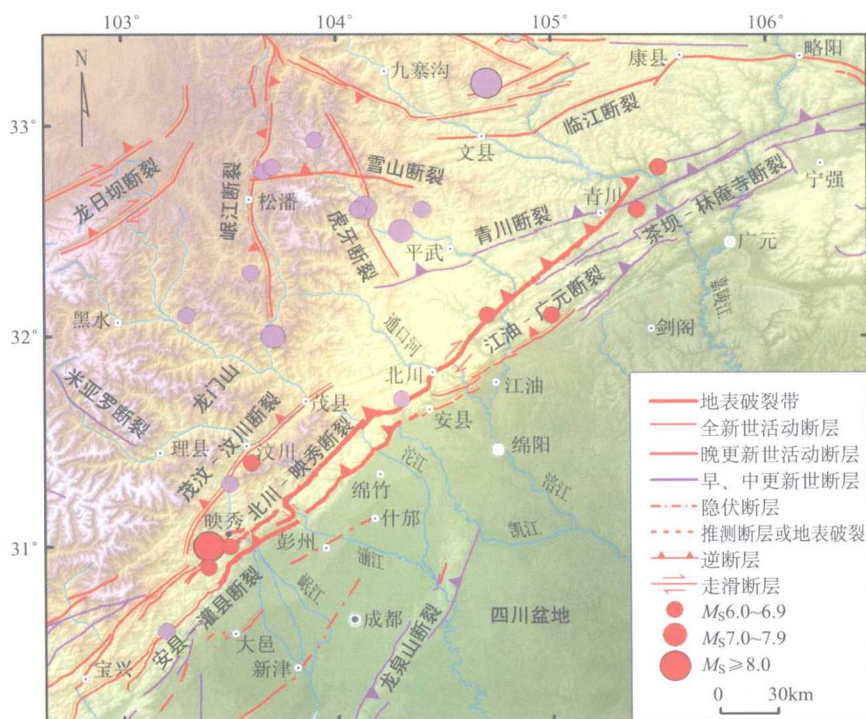


图1 龙门山地质构造简图

改自李陈侠等 2008

过：“禹王明德古今悬，哪计汶川与北川”。

5.12 地震震源深度究竟多少？目前尚存疑议，国家地震台网中心最初速报的是 33 公里，随后正式公布的是 10 公里，2008 年 6 月 26 日下午中国地震局地质研究所所长张培震在北京人民大会堂代表中国地震局向全国人大常委会汇报，“震源深度为 14 公里”。美国地质调查局自始至终报震源深度 19 公里。笔者认为美国地质调查局的估计应更接近实际情况。据岩石流变学理论，小于 15 公里深度是很难形成 8.0 级特大地震的。

流变学是研究物质在应力作用下流动的科学。在英文中，流变学（Rheology）与神学（Theology），仅一个字母之差。流变学的英文词头“Rheo”来源于古希腊哲学家赫拉克利特（公元前 540～公元前 475 年）一句名言：“万物皆流”。神学说，群山在上帝面前流动，因为上帝永远不死，在他的时间尺度里，所有物质都是流动着的：高原在流动，洋底在流动，地幔在流动，山脉在流动，冰川在流动……《圣经》上说，西奈全山冒烟，因为耶和华在火中降于山上，全山烟气腾冲，犹如烧窑，遍山强烈震动……。古希腊神话说，海神波塞冬是大地的震撼者，他一发怒，海洋与大陆就同时震动，海岸悬崖就要崩塌。日本神话说，地下一条大鲰鱼，它翻一下身，便会发生地震。上帝派一位神仙看管着这条巨鲰，神仙手拿石槌。但是，神仙也有疏忽的时候，每当神仙瞌睡了，巨鲰就会乘机作乱。

龙门山地下岩石在痛苦地支撑着由地壳运动产生的强大的地应力，弹性应变能越积越高，震源体处的岩石终于支撑不住了，于 2008 年 5 月 12 日 14 点 28 分突然崩溃了，震源深度以上所有岩层瞬时破裂，释放出巨大的能量，其中约 90% 的能量耗散于岩石破裂、碎裂、摩擦、升温（形成一种由极细的岩石碎屑和熔浆混合而成的假熔岩）等，另外 10% 左右的能量以地震波的形式迅速传遍半个亚洲，震撼整个中国大陆。特别在从映秀经北川到青川长达 275 公里北东向延伸的同震破裂带及其附近地区（图 1），地震波引起的强烈地面震动造成大量房屋倒塌，从而造成 69 226 人死亡（已确认），17 923 人失踪（尸体尚埋在

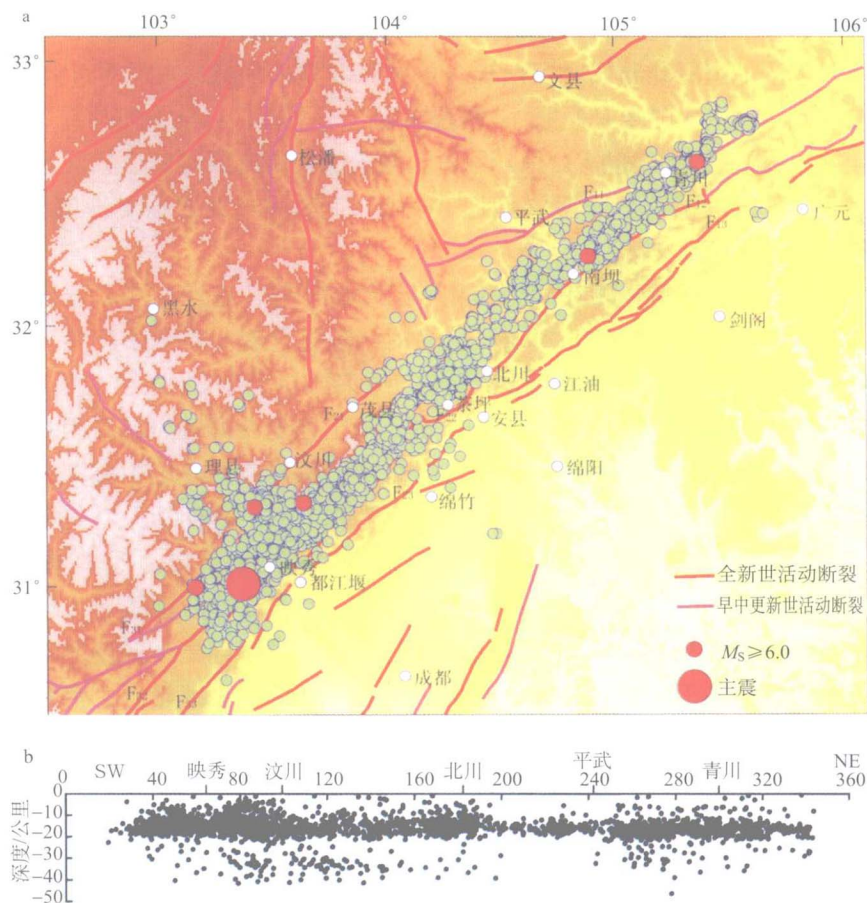


图2 汶川地震主震及其余震微观震中分布图(a)和震源深度分布图(b)

改自朱艾嫒等(2008)

废墟、塌方或泥石流之中), 374 643人受伤, 4500 多万人失去家园, 导致上万亿元的财产损失。上述是国家民政部 2008 年 9 月 4 日公布的数据。

汶川地震的极重灾区和重灾区位处四川盆地向青藏高原的过渡带——龙门山。龙门山内高山峡谷密集, 地形地貌条件极为复杂, 加之强烈地震引发地面隆起和陷落、道路错裂、桥梁倒塌, 还有山崩、滑坡、塌方、泥石流、堰塞湖、山洪等严重的次生地质灾害, 摧毁了交通、通信等生命线系统, 给营救工作带来巨大困难。

汶川地震最大烈度 11 度, 主震后 112 天内共发生余震 27 000 多次, 余震范围长达 320 公里, 宽 80 公里 (图 2a)。90% 的余震分布在 0~20 公里深的上地壳, 其余 10% 的余震分布在 25~40 公里深的下地壳, 在 20~25 公里深度之间存在明显的缺震层 (图 2b), 对应于龙门山推覆构造的韧性滑脱面。截至 2008 年 8 月 5 日, 共发生大于等于 4 级的余震 249 次, 其中 4.0~4.9 级 211 次, 5.0~5.9 级 30 次, 6.0~6.9 级 8 次, 最大余震为 5 月 25 日青川的 6.4 级地震。5.4 级以上的较强余震均分布于茂县、绵竹以南及平武以北地区, 中间部分无较强余震发生。震级较大的余震给灾民和救援人员的生命带来非常大的危险, 因为建筑物结构在主震时已经受到损坏, 再受到余震袭击, 损坏就会扩大, 甚至造成倒塌。主震之后, 援救人员到破坏的建筑物内搜寻和营救灾民, 原居民回家寻找亲人, 取回物品, 都冒着非常大的危险。

汶川地震是中华人民共和国建国以来损失惨重、波及范围最广而且援救最困难的一次强烈地震。这次巨灾使得山崩地裂, 江河易容, 美丽的家园满目疮痍, 鲜活的生命瞬间凋零……举国同悲, 全球震惊。

1.2 微观震中与宏观震中

震源位于活动断层上, 是岩石在应力作用下最先开始发生破裂的地方, 因此也是地震波传播的起始点。震中是震源在地面上的垂直投



图3 汶川县漩口镇蔡家杠村莲花芯山上(宏观震中)坚硬的花岗岩和花岗闪长岩在地震时发生强烈地瞬时脆裂,形成干碎石流,吞没了下游几十户居民

影点，亦可以说震中是地震破裂最先到达地表的地方，震中及其周围地区往往是地面破坏最大的地方。震中周围几百到几千公里范围内的地震仪都能记录到纵波（P 波）和横波（S 波）到达的时间（国际时间），再知道每种波在岩石中传播的速度就可计算出该地震台到震源的距离。据两个以上的地震台站的数据就能确定震中。用这种方法确定的震中称之为仪器震中或微观震中，媒体上公布的现代地震震中都是微观震中，通常以经度和纬度表示。

根据地震后实地调查确定的地震破坏最严重的地区叫极震区，极震区的几何中心叫宏观震中。因为古时候还没有精密的地震仪，文献上提到的历史地震的震中其实系指宏观震中。这些古地震的震中是地震地质学家后来调查极震区时考证出来的。至于破坏最严重的标志则按具体情况而定，有的以房屋破坏程度来定，有的则以地表断裂错动的大小来定。

对于大地震，微观震中和宏观震中往往并不一致，微观震中只有一个，它是根据首先到达地震仪的 P 波和 S 波的时间差确定出来的；而宏观震中可能是一个，也可能是几个，沿着断裂带分布。这次 5.12 特大地震就有 4 个宏观震中。

震源到震中的垂直距离叫震源深度。

5.12 特大地震的微观震中位置，中国地震局公布的是：北纬 31.0° ，东经 103.4° ；美国地质调查局公布的是：北纬 30.989° ，东经 103.329° ，精确到小数点后第三位。据四川省地质矿产勘查开发局区域调查队的总工程师范晓，离微观震中最近的居民点是汶川县漩口镇八角庙村的桂子坪，微观震中位于离桂子坪还有 1.7 公里古溪沟的沟尾。

距离微观震中最近的一个宏观震中是漩口镇何家山牛眠沟（也有人称之为牛圈沟）蔡家杠村附近的一个叫“莲花芯”的山顶，卫星定位（GPS）测量的地理坐标是：北纬 31.0456° ，东经 103.4556° 。牛眠沟里住的农民大多姓蔡，故名蔡家杠村。地震后胡锦涛主席和温家宝总理都曾到这里视察过。一条小溪从莲花芯的山上经过一个约 100 米高的瀑布流进牛眠沟，然后流入岷江。牛眠沟里有一块巨石（其实是



图4 (a)北川县湔江边上的公路被山体滑坡掩埋。(b)地震致使平武县多处发生严重的山体滑坡

据《四川画报：5.12大地震——绵阳抗震救灾纪实》

一次古地震时从山上飞落下来的一块滚石)，形如一条卧躺着、安睡着的水牛，所以这条沟被蔡家的祖先命名为牛眠沟。

蔡家的家谱上有诗云：

牛眠沟
怪石威威一条牛
一时独占千古秋
风吹草地无毛动
水打浑身湿汗毛

蔡家的家谱上还录有先祖蔡文元的一首诗：

泪痕七言
漩口红灯照牛眠
牛眠沟有万顷田
莲花芯里开莲花
地动山摇到今朝

“想不到莲花芯里开的莲花是石头碎裂之花，太恐怖了！”亲历 5.12 地动山摇的村民蔡永富如是说。地震中，他失去了妻子和孙女。5.12 大地震时，莲花芯里的龙门山中央断裂带中的花岗岩和花岗闪长岩在强烈地逆冲挤压和剪切作用下，瞬间发生无数脆性破裂，约 400 万立方米的白色岩石碎块和碎屑在短短 30~40 秒的时间内，从断裂带中喷涌而出（图 3），抛到对面山上的岩石碎块和碎屑将山坡上的泥土、森林、其他植被和悬岩一并击落与震塌，干的岩石碎屑流（和潮湿的泥石流不同）立刻将 2000 多米长的山谷填平，居住在莲花芯和牛眠沟里的几十户人家的房屋瞬间被掩埋。据 5.12 当天的目击者说，地震时他们看见莲花芯山上的石头像挤牙膏一样喷射到空中，然后落入山谷，碎屑流在瀑布处冲出莲花芯沟口（即上述的瀑布处），飞溅到对面 200 多米外的山坡上，再右转沿着牛眠沟向下游的岷江冲去，整个过程仅约两分钟。

2008 年 11 月 14 日当我到达宏观震中时，见到当地村民在那里竖了一块木牌，上书：“5.12 地震中心喷发点”。

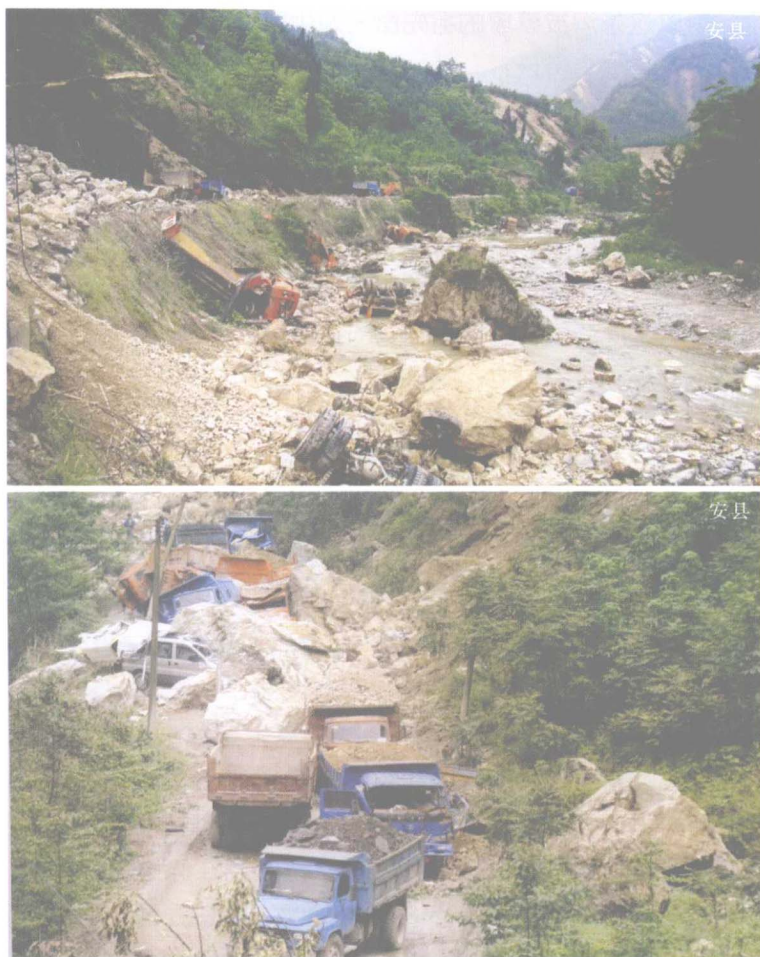


图5 汶川地震时山上崩落下来的岩石堵塞了公路，有的还将汽车推进深沟，车毁人亡

据《四川画报：5.12大地震——绵阳抗震救灾纪实》