

汶川地震地质 与滑坡灾害概论

GREAT WENCHUAN EARTHQUAKE:
SEISMOGEOLOGY AND LANDSLIDE HAZARDS

殷跃平 等著

地质出版社

汶川地震地质与滑坡灾害概论

殷跃平 潘桂棠 刘宇平 吴珍汉
张永双 吴树仁 张作辰 郑万模 著
李宗亮 李晓春 孙 萍 王德伟

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书概要阐述了汶川8.0级地震发震构造——龙门山断裂带地质成因、演化历史和活动特征；介绍了自1991年以来，特别是地震发生前后，龙门山断裂带及邻近地区地壳运动的GPS监测成果，以及沿龙门山断裂带产生的地震陡坎、地震鼓包、地表破裂等地震变形和同震位移调查成果。系统介绍了汶川地震诱发的15000多处滑坡等地质灾害基本分布和33处滑坡堰塞湖的风险评价结果；对地震滑坡的触发机理和类型进行了初步研究，并通过实例分析了地震滑坡的气垫效应、碎屑流效应和铲刮效应等高速远程滑动特征；最后，对汶川8.0级地震带来的问题进行了科学反思。

本书图文并茂，既收录了大量的现场实例，又进行了初步理论分析，是系统论述5·12汶川8.0级地震的地质背景和滑坡灾害专著。可供地质灾害、地震地质、工程地质、环境地质、水利工程、岩土工程、城镇建设等部门，以及有关院校和科研机构广大科技人员、研究生参考。

图书在版编目（CIP）数据

汶川地震地质与滑坡灾害概论 / 殷跃平等著. —北京：
地质出版社，2009.3

ISBN 978-7-116-06002-9

I. 汶… II. 殷… III. ①地震地质学—研究—汶川县
②滑坡—地质灾害—研究—汶川县 IV. P315.2 P642.22

中国版本图书馆CIP数据核字（2009）第037800号

WENCHUAN DIZHEN DIZHI YU HUAPAO ZAIHAI GAILUN

责任编辑：王春庆 祁向雷

责任校对：李 政

出版发行：地质出版社

社址邮编：北京海淀区学院路31号，100083

电 话：(010)82324508（邮购部）；(010)82324514（编辑室）

网 址：<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱：zbs@gph.com.cn

传 真：(010)82310759

印 刷：北京地大彩印厂

开 本：787mm × 1092mm 1/16

印 张：9.5

字 数：230千字

印 数：1—1000册

版 次：2009年3月北京第1版·第1次印刷

定 价：60.00元

书 号：ISBN 978-7-116-06002-9

（如对本书有建议或意见，敬请致电本社；如本书有印装问题，本社负责调换）

序

汶川地震发生后，在党中央、国务院统一领导下，全国人民万众一心，积极投入抗震救灾和灾后重建，再一次展示了中华民族不屈不挠的大无畏精神。汶川地震诱发了大量滑坡、崩塌和泥石流，造成了重大的人员伤亡和财产损失，严重威胁抗震救灾工作和灾区恢复重建。灾情就是命令，在震后第一时间，国土资源部即举全国之力，迅速组织了上千名专业技术队伍奔赴地震灾区，同志们不顾余震和高温，积极配合当地政府开展地质灾害隐患排查、应急调查和地震地质科学考察工作，为抗震救灾和灾后重建提供了重要的科学依据。

汶川地震发生后，我被派往四川，代表国土资源部参加国务院前线救灾工作，多次到灾区现场，亲临惨烈的灾害场面，强烈感到一定要从地质科学的角度把各种地震地质和地质灾害现象真实地描述下来，哪怕有些现象还不能用现有理论很好地解释清楚，也要进行调查记录，以供今后灾后重建、地震地质研究、活动构造地区工程规划、建设和编制有关国家标准规范时参考。因此，向亲临第一线的专家们布置了这一工作。

我欣喜地看到，殷跃平博士等专家学者，在地震发生后迅速赶赴灾区，通过对汶川地震地质、地面变形、地震破裂及地震诱发地质灾害等的现场调查，获得了大量宝贵的第一手野外观测资料，经系统整理，著成此书。相信书中很多资料和认识对今后地震地质与地质灾害研究会有很好的启迪和推动作用，这也正是出版本书的价值所在。

汪民

2009年3月

前言

2008年5月12日14时28分04秒,四川省汶川县境内发生8.0级强烈地震,震中位于映秀镇西南,地理坐标为北纬 31.0° 、东经 103.4° 。汶川地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最大、诱发地质灾害最为严重的一次特大地震,造成8万7千多人死亡、37万人受伤,公路受损里程累计 5.4×10^4 km,受损供水管道累计 4.8×10^4 km,电信光缆损毁里程合计 3.7×10^4 km,直接经济损失达8451亿元。汶川地震震撼了整个中国,引起了全世界的关注。

汶川地震发生时,全国25个省(市、区)有明显震感。其中,四川、陕西、甘肃及重庆4个省(市)是受灾最为严重的区域。据不完全统计,四川省21个市(州)中有19个市(州)不同程度受灾,重灾区面积超过 10×10^4 km²,涉及6个市(州)、88个县(市、区)、1204个乡镇,受灾人口超过2792万人;陕西省汉中、宝鸡等10个地市92个县受灾,受灾人口超过300万;甘肃省超过 11×10^4 km²的地区成为灾区,包括陇南、甘南、天水、平凉、庆阳、定西、白银、临夏等8个市(州)46县(区),受灾人口500万;重庆市40个区(县)不同程度地出现灾情,受灾人口超过213万。

汶川地震发生后,国土资源部和四川、陕西、甘肃三省国土资源部门迅速组织百余人的专家队伍,奔赴地震灾区,开展灾害应急调查、地质灾害隐患排查和地震地质灾害考察,积累了大量宝贵的野外观测资料,为抗震救灾提供了重要的科学依据。根据国土资源部和中国地质调查局抗震救灾工作相关安排,作者等作为国土资源部专家组成员奔赴灾区现场开展了长达一个半月的地质灾害应急调查与防灾工作;在灾后重建过程中,又多次到灾区调查,进一步深化了原有认识。

本书分为七章。在系统整理各类相关资料的基础上,概要论述龙门山地区的区域地质背景与构造活动特征,综合分析汶川地震变形、地震破裂、同震位移及空间分布规律,研究地震诱发地质灾害类型、发育过程和形成机理,

反思有关科学问题。

第一章——区域地质构造背景，由潘桂棠、李宗亮执笔。主要论述了龙门山构造带的地质成因、构造演化历史，以及新构造活动特征。特别强调了龙门山构造带是青藏高原东缘的现代地壳运动围绕东喜马拉雅构造结作顺时针运动的滇藏旋转构造的一部分，与鲜水河断裂、小金河断裂、安宁河断裂、小江断裂等形成于统一的构造应力场中，构成“Y”字型活动构造体系，成为我国南北地震带的重要组成部分。现代地震研究应注重区域活动构造的动力学与运动学之间的联系。

第二章——地震前后地壳运动 GPS 监测分析，由刘宇平执笔。介绍了自 1991 年以来，在龙门山及邻区开展 GPS 监测现代地壳运动的成果，特别介绍了地震发生后，在龙门山地区的 GPS 监测数据。认为：汶川 8.0 级地震前，龙门山地区挤压速率达到 1mm/a，具有长周期、低速率的特征；地震时，龙门山断裂带以东四川盆地向北西移动并局部下降，龙门山汶川—茂县和平武—青川断裂以西地区向南东位移量增大并抬升，获得龙门山地区的同震位移量达到 1051mm，龙门山中段以右旋走滑—挤压作用为特征，而北段以挤压—走滑作用为特征。

第三章——地震断裂活动及同震位移，由吴珍汉、张作辰、张永双执笔。介绍了沿都江堰—映秀、都江堰—虹口、汉旺—清平、安县—北川、平通—陈家坝、江油—南坝、竹园—关庄—青川、阳平关—金山寺及白龙江西岸公路及两侧，对龙门山断裂带在汶川地震时的地表破裂、地震变形和同震位移的野外调查成果。主要类型包括地震陡坎、地震断裂、地震鼓包和地震破裂，形成长达 300km 的地震变形带。在震中区映秀观测到最大同震位移为 7.6m，虹口右旋走滑位移为 2.7m，北川右旋斜冲总位移为 6.6m，平通右旋斜冲总位移为 4.4m。龙门山前缘的汉旺—漩口断裂及龙门山后缘的茂县—汶川断裂、青川断裂也发生了显著的同震断裂活动，但同震位移为 1.0m。

第四章——地震诱发地质灾害，由殷跃平、郑万模、张永双执笔。基于大量野外调查资料，着重介绍汶川地震地质灾害的分布，并对滑坡、堰塞湖进行了风险评估。汶川 8.0 级地震触发了 15000 多处滑坡、崩塌、泥石流，估

计直接造成2万人死亡。地质灾害隐患点达12700多处,以崩塌体增加最为显著,威胁近百万人的生命安全。通过综合分析堰塞湖库容、滑坡坝高以及坝体物质组成和结构,对地震形成的33处坝高大于10m的滑坡堰塞湖进行了评估,划分出极高、高、中和低四种溃决危险。据遥感和现场初步调查,位于安县高川乡的大光包滑坡是汶川地震触发的体积最大的滑坡,前后缘长4500m。滑坡堆积体长2800m,宽1700~2200m,最大厚度达580m,若以平均厚度200m计,体积达 $10 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

第五章——地震滑坡触发特征分析,由殷跃平、郑万模、王德伟执笔。通过现场调查、地面强震加速度记录分析,沿龙门山主中央断裂带(10km范围内),竖向地震力要大于水平力。因此,汶川地震触发了大量“特殊类型”滑坡,与常见重力主导的滑坡明显不同,这些滑坡的滑床往往不具连续平整的滑面,是由于上部滑体被地震力抛掷后与下部滑床边缘发生“撞击”的结果,是极震区滑坡的一大共性,并以阶型滑坡、凸型滑坡、勺型崩滑、座落(振胀)型滑坡、巨大滚石五种类型最为典型。

第六章——地震滑坡高速远程特征分析,由殷跃平、李晓春、孙萍执笔。初步分析认为,高速远程滑坡发生了3种效应:①高速气垫效应,滑坡体由较大块石和土构成,具有一定厚度,飞行行程可达3km;②碎屑流效应,撞击粉碎的土石呈流动状态,特别是含水丰富时,形成长程流滑;③铲刮效应,巨大撞击力导致下部岩体崩裂,形成新滑坡、崩塌,但其厚度通常不大,滑床起伏不平。本章解剖了3个典型滑坡:第一例滑坡发生于映秀南牛圈沟,滑坡转化为高速碎屑流,经历四次撞击斜坡和转向,形成长约3.2km,高差900m的运动径迹,这可能是汶川地震触发的滑动距离最远的滑坡。第二例滑坡发生在北川县城城西,具有高位抛滑撞击、滑覆、气浪击毁3个阶段特征,整体飞行约400m,超覆于老县城之上,导致数百间房屋被毁,其中,6层以上建筑约50幢,1600人被埋死亡,是汶川地震触发的最严重的滑坡灾难。第三例滑坡发生在青川东河口,前后缘高差700m,滑程约2400m,7个村庄被埋,约400人死亡,是汶川地震触发的机理最为复杂的复合型滑坡。

第七章——认识与反思，由张永双、吴树仁、殷跃平执笔。在上述六章的基础上，综合研究了汶川地震变形、地震破裂及地震地质灾害的基本特征。结合西部构造强烈活动区重大工程建设和汶川地震区灾后恢复重建，对如何选择和评价“安全岛”等进行了思考。20世纪60年代依据李四光先生“安全岛”思想指导选址的工程并未受到毁灭性打击，成为地质力学服务于重大工程建设的典范。提出了在我国西部地区，必须强化对一二级构造结构面控制的山体稳定和区域地壳稳定性的研究，从调查、勘查、评价，到如何进行控制和改造的见解。

作者非常感谢国土资源部副部长、中国地质调查局局长汪民教授的关怀指导，并为本书作序。非常感谢国土资源部姜建军司长和四川省国土资源厅宋光齐厅长，他们在地震发生后，亲自带领专家组奔赴灾区，参与并指导了地质灾害调查和应急处置。感谢国土资源部柳源副司长、熊自力处长、高平处长，四川省国土资源厅王平副厅长、徐志文处长、李云贵站长，四川省地质勘查局范崇荣副局长、李廷祥队长、祝世强队长、肖友元队长、黄勇队长，四川省地质调查院岳昌桐院长、成余粮副院长、鄢毅副总、王军主任，成都理工大学黄润秋副校长、许强院长，中国地质调查局钟自然副局长、张洪涛副局长、董树文副院长、丁俊所长、韩子夜所长、王平主任、王殿奇副主任、侯金武院长，国土资源部信息中心查宗祥副主任等同志的支持和帮助。在现场工作过程中，还得到了贺模红、钱江澎、赵松江、王作堂、缪志谋、曾青石、王治华、秦绪文等专家的帮助，一并表示感谢。

“5·12”汶川地震灾区的地质工作条件非常恶劣，没有同志们的无私帮助，并提供大量资料，根本不可能完成此书。书中引用的遥感影像由国土资源部航空遥感中心、信息中心和四川地质调查院等单位提供，特此致谢。

殷跃平

2009年3月

目次

序 前 言

第一章	区域地质构造背景	1
第一节	龙门山构造带基本特征	2
第二节	龙门山构造带的冲断作用	5
第三节	龙门山地区新构造运动特征	13
第四节	龙门山邻区活动断裂的地质特征	16
第五节	小结	19
第二章	地震前后地壳运动 GPS 监测分析	20
第一节	汶川地震前龙门山地区地壳运动 GPS 监测	22
第二节	汶川地震后龙门山地区地壳运动 GPS 监测	29
第三节	汶川地震前后龙门山地区 GPS 速度矢量场的变化	32
第四节	小结	33
第三章	地震断裂活动及同震位移	34
第一节	活动断裂与地震构造背景	34
第二节	地震破裂、地震变形与同震位移	37
第三节	同震断裂活动与地震复发周期	56
第四节	小结	58
第四章	地震诱发地质灾害	60
第一节	地震地质灾害基本灾情	61
第二节	龙门山地震断裂构造的滑坡分布	68
第三节	汶川地震触发的最大滑坡	70
第四节	滑坡堰塞湖及危险性评估	73
第五节	小结	80

第五章 地震滑坡触发特征分析	81
第一节 地震滑坡形成特征分析	81
第二节 地震滑坡触发特征分析	92
第三节 地震滑坡典型实例分析	100
第四节 小结	103
第六章 地震滑坡高速远程特征分析	104
第一节 汶川映秀牛圈沟五冲程高速滑坡 – 碎屑流	104
第二节 北川县城城西高速远程滑坡	111
第三节 青川东河口滑坡 – 碎屑流	115
第四节 几点讨论	123
第五节 小结	126
第七章 认识与反思	127
第一节 基本认识	127
第二节 几点反思	129
后 记	137
参考文献	139

第一章 区域地质构造背景

龙门山构造带地处青藏高原东部边缘,是中国乃至全球山脉中地形陡度最大的区带之一,是西部巴颜喀拉活动地块向东部扬子稳定陆块的过渡带,是经受了强烈地壳运动迄今仍然处于活动状态的陆内造山带。由于龙门山构造带处于比较特殊的大地构造位置,发育典型的推覆构造系统,因此,长期以来备受国内外地质学家的关注(刘增乾等,1980;林茂炳等,1996;陈智梁等,1998;骆耀南等,1998)。20世纪20~30年代,丁文江、谭锡畴、李春昱、黄汲清等老一辈地质学家开展了奠基性工作;20世纪60~70年代四川省区测队全面完成1:20万区域地质填图,80年代很多地学单位开展了诸如矿产普查、地震地质和各种综合性、专题性地质研究,积累了非常丰富的实际观测资料(潘桂棠等,1983;唐荣昌等,1993;郭正吾等,1997)。持不同大地构造观点的学者,提出过这一地区地质构造特征与演化众说纷纭的设想和模式(常承法等,1973;李春昱等,1980;许靖华,1980;任纪舜等,1980;潘桂棠等,1990,2006)。但学术观点的不同,并不妨碍对某些问题取得共识:龙门山存在中晚三叠世之交古特提斯洋消亡、弧陆碰撞造山事件的连锁反应;新生代中晚期以来发生强烈的新构造活动,第四纪以来发育强烈地震活动带。

本章根据前期有关地质调查成果和前人相关地质资料(骆耀南等,1998;潘桂棠等,1983,1990,2006),从新生代地质演化和构造活动出发,分析龙门山地区的区域地质构造特征与汶川地震地质构造背景。

第一节 龙门山构造带基本特征

沉积岩相、古生物组合、沉积厚度分析研究表明,从古生代到三叠纪,青藏高原的东部边缘龙门山地区,大致以映秀—北川—南坝大断裂带为界,东侧为地台型沉积,各时代碳酸盐台地相发育;西侧为与特提斯洋演化密切相关的大陆边缘弧盆系沉积,包括如海底喷发的黄龙志留纪枕状基性熔岩、宝兴二叠纪枕状基性熔岩、南坪三叠纪枕状基性熔岩,以及厚度巨大的深水岩相,复理石建造发育,反映了海水自东向西的加深。就是说,在侏罗纪以前的地史时期,在四川盆地以西存在大陆边缘,存在一个海域完全相通的特提斯大洋盆地。在整个龙门山带的古生代和三叠纪地层中没有发现过磨拉石砾岩层,更未见含有基底岩层的中酸性岩浆岩的剥蚀产物形成的砾岩层。到三叠纪末,西部古特提斯大洋盆消亡,弧—弧、弧—陆碰撞导致龙门山连同西部巴颜喀拉前陆盆地褶皱隆起(潘桂棠等,1997),龙门山西部成了剥蚀区,东部成了侏罗—白垩纪直至新生代的湖盆相沉积区。现有资料表明,龙门山北段大致在安县以北邻接西秦岭构造带的地段,印支运动的构造形迹是很明显的,以古生界为核部的若干褶皱构造以及印支期断裂被下侏罗统白田坝组不整合覆盖。但是,在整个北东向展布近500km的龙门山构造带之南段,在四川盆地的西部,自震旦纪以来直至古近纪的沉积盖层,都没有显著的反映造山事件的角度不整合。也就是说,在它的中段和南段,古近系与下伏的各时代沉积地层均一起在新生代中期才产生了许多明显的与造山事件有关的压缩变形(图1-1)。

龙门山发育的彭灌岩浆杂岩、叠覆型断块隆起及山前磨拉石建造在时空演化和成因方面存在密切关系。以前震旦纪彭灌岩浆杂岩体及白水河群变质岩系为主体的九顶山基底推覆隆起断块,是龙门山构造带中很重要的组成部分,也是导致汶川8.0级地震的主体。长期以来不少研究地史学、古地理学和构造地质学的学者认为是“晋宁期后隆起的古岛”,是一个“古隆”,是一个“长期发展起来的古隆起”。这一基底隆起断块到底是何时才占据现今的构造位置,它

究竟是否为“古岛”、“古陆”、“古隆起”，这些问题的正确解答对于能否正确认识龙门山构造带的地质构造演化以及新生代构造活动特征和地震地质有着重要意义。

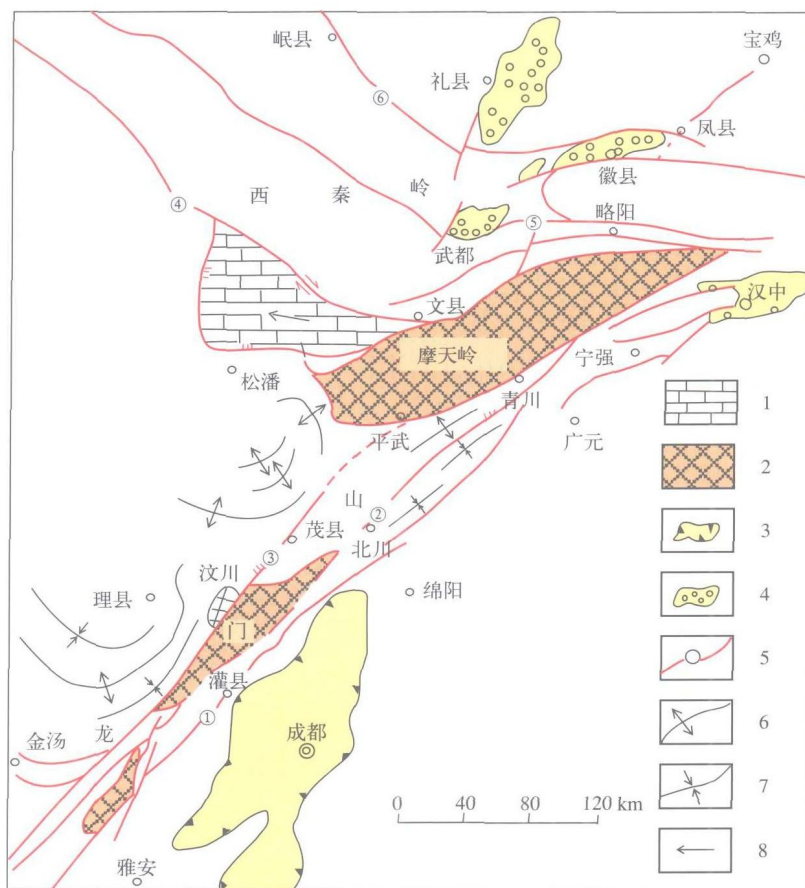


图 1-1 青藏高原东部边缘新生代构造变形略图

Fig. 1-1 Skeleton map of Cenozoic structure deformation in the east margin of Qinhai-Tibet plateau

① 龙门山前主边界大断裂；② 龙门山主中央大断裂；③ 后龙门山大断裂；④ 文县弧形大断裂；⑤ 略阳大断裂；⑥ 岷县—两当大断裂。1—新生代中期(?)走向滑动的台形断块；2—新生代中期强烈隆起的基底断块；3—第四纪拗陷范围；4—新近纪沉积盆地；5—大断裂；6—复背斜；7—复向斜；8—滑动方向

多年来的野外观察和有关资料的分析研究表明,龙门山前的多个旋回磨拉石建造中的物质成分尤其是砾岩层中的砾石成分,是确定龙门山带“彭灌杂岩体”隆起时代的极其重要依据。

在龙门山山前的灌县、大邑、邛崃一带,上新世—第四纪大邑砾岩层中的砾石成分主要为来自“彭灌杂岩体”中的花岗闪长岩、钾长花岗岩,其次有古

生界的灰岩、砂岩、火山岩等。砾岩层为浅褐色、灰色，巨厚层理，并且显示河流相及泥石流堆积特征，为典型的磨拉石建造。下伏的古近系到白垩—侏罗系为红层，是一个连续的沉积系列，其中紫灰—紫红色砾石层中的砾石成分主体是灰岩、砂岩，仅见到个别基性岩小砾块。大邑砾岩层与下伏地层之间存在明显的区域性角度不整合，产状均向东倾，但两者之间的倾角角差达 20° 左右。联系到大邑砾岩层是灰色层，而下伏的地层为红层，两者反映了古气候的重大变化。据此，可以认为在古近纪以前“彭灌杂岩体”没有隆起暴露于陆地表面，而是深埋于地下深处。只是到中新世以后才伴随青藏高原隆起出露于地表遭受剥蚀，而且至今仍是活动性斜冲推覆断块。

从构造变形角度看，“彭灌杂岩体”及其邻近的“杂岩体”剪切破裂分离岩块，往往与其周围的岩层，如震旦系白云岩和火山岩，志留系茂汶群浅变质碎屑岩和泥岩，甚至与上三叠统须家河组含煤砂页岩（黑砾岩）等呈断裂接触，在映秀还可见与更新世砾石层呈断裂接触。这种刚性的基底岩块与其周围曾经是上覆的各时代沉积盖层分别呈断裂接触的现象，恰恰反映了该基底岩块是经过了强烈的构造挤压而推覆隆起的断块。不仅在彭灌杂岩体边部发育有强烈的片理化带，就是在岩浆杂岩体内部的特定部位也见有宽度较大的片理化带，而且与区域构造线方向一致，可知“彭灌杂岩体”隆起过程中遭受了强烈的侧向挤压。从龙门山褶皱冲断带的整体看，这一巨大的隆起岩块，可以被视为由汶川—茂县断裂、映秀—北川断裂、九顶山断裂所围限的大型透镜状构造断块。这一大型断块隆起，包括其毗邻的雪龙包岩浆杂岩体等断块隆起，才造就了龙门山陆内造山带的面貌。卫星影像上所显示的清晰的透镜体形像，正反映了它在晚新生代时期形成的构造活动性特点，也可能是汶川特大地震的主导性活动逆冲断块。

第二节 龙门山构造带的冲断作用

龙门山构造带由一系列北东向展布的、左行雁列的紧密褶皱和3条主干大断裂及次级断裂系组成,自东向西是龙门山前主边界断裂带、主中央断裂带和后龙门山断裂构成的复杂褶皱冲断带,是特提斯海洋板块消亡以后,至少晚三叠世以来,特别是古近纪至新近纪交替时期,发生了大陆壳块间相互作用、斜向碰撞对挤构造变形作用的活动性构造地区(图 1-2)。

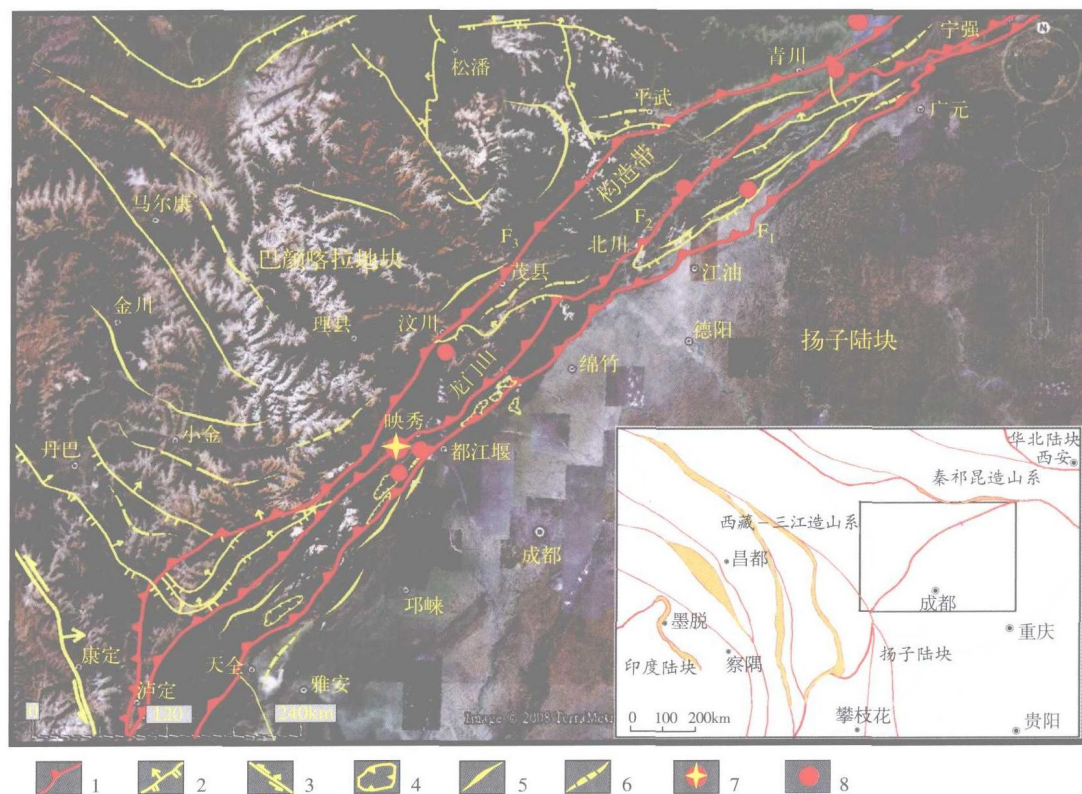


图 1-2 龙门山构造带遥感影像图

Fig. 1-2 RS image of the Longmen Mt. tectonic belt

F_1 —龙门山前主边界断裂; F_2 —龙门山主中央断裂; F_3 —后龙门山断裂。1—主干逆冲断层; 2—次级逆冲断层; 3—左行平移断层; 4—飞来峰; 5—复背斜; 6—复向斜; 7—主震中; 8—余震震中(6.0级以上)

一、龙门山前主边界断裂

龙门山前主边界断裂是南西段双石—大川断裂、中段大邑双河—二王庙—安县断裂、北东段马角坝断裂的总称。沿断裂带切割部分古生代地层、三叠系及侏罗—白垩系红层。总体走向为北东 45° ，断面倾向北西，倾角 50° 左右。沿走向呈缓波状弯曲，总长约400km。在灌县二王庙可观察到上三叠统须家河组煤系地层向南东逆冲。在断裂带附近较软弱的页岩层揉碎为“基质”，相对刚性的砂岩成硬块，呈现类似构造透镜体的现象。下盘因强烈的构造剪切作用而相对俯冲，只可见侏罗系上统莲花口组的很少一部分红色砂泥岩及其上的白垩系砾岩。被认为印支运动形成的马角坝断裂，可以观察到两个相邻岩块在对挤—剪切作用下，在主干断裂的俯冲盘产生一系列次一级的叠瓦状构造。虽然俯冲盘的上三叠统须家河组煤系地层构成的倒转向斜被侏罗系白田坝组不整合覆盖，表现了早期的构造形变，而断裂在北东向延伸的地段又切割白田坝组地层。由于四川盆地西侧龙门山前的侏罗系、白垩系、古近系三者是连续沉积的，是一起被褶皱的，所以大断裂是古近纪末—中新世冲断作用的结果。

主边界断裂的北西侧岩块的推覆、仰冲、超叠，南东侧地层相对的俯冲、压缩变形特征是十分明显的。在原地质部第二普查大队在石油地质综合研究(1978)^①所编制的四川盆地三叠系各统的等厚度图已充分表明了这一特征(图1-3)。从图上不难看出，几乎当时沉积盆地的一半已相对俯冲入龙门山构造带之下。

主边界断裂是四川盆地和青藏高原东部边缘山地的大地形单元的分划性界线，其西侧峰峦叠嶂，东侧地形平缓开阔，所以在地貌景观上或在卫星影像上都明显表现出新构造活动的踪迹。Tapponnier和Molnar(1976)利用卫片解释龙门山构造时，也认为“第四纪冲积层上的前缘逆冲断裂特别清晰”。

①地质部第二普查大队，1978。石油地质综合研究（内部资料）。

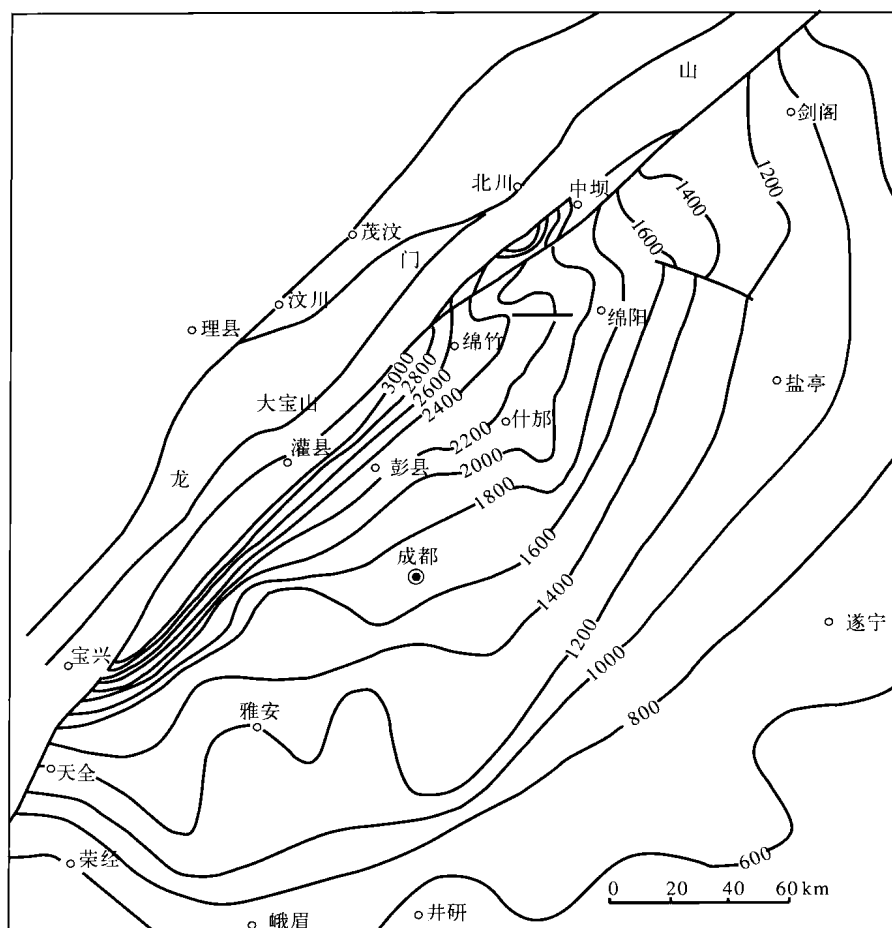


图 1-3 龙门山前四川盆地上三叠统残留厚度图

(据地质部第二普查大队, 1978)

Fig. 1-3 Contour map of Upper Tertiary remains in the Sichuan Basin in front of the Longmen Mt.

二、龙门山主中央断裂

龙门山主中央断裂是扬子地台和西部高原多岛弧盆系构造区的分界线, 断裂带斜贯整个龙门山。在龙门山中段称映秀—白水河—北川断裂, 南西段包括了盐井、石龙冲断裂, 北东段称南坝—广元水磨断裂, 切入陕西境内与勉县—阳平关断裂相交, 总体呈北东向延展达 400km 以上。大断裂破坏的地层有前震旦黄水河群变质岩系、古生界及三叠系。由若干条次一级的断裂组成次一级的叠瓦状构造型式, 总的产状向北西倾斜, 倾角 60° 左右 (图 1-4)。

在彭州白水河, 断裂带强烈挤压破碎, 挤压扁豆体、断裂泥、糜棱岩化