



活动断裂研究

理论与应用

中国地震局科技发展司
《活动断裂研究》编委会

要目

反射地震剖面揭示的天山北缘地壳构造

胶辽渤海地区地壳上地幔结构特征与地震活动

活动断裂的分段地震震级评估

断裂间相互作用及其对活动断裂地震潜势的影响初步研究

强震原地重复模型在板内地震危险性概率评估中的不确定性分析

地震出版社

活 动 断 裂 研 究

理 论 与 应 用

Research on Active Fault

8

中国地震局科技发展司
《活动断裂研究》编委会

地 震 出 版 社

Seismological Press

2 0 0 1

图书在版编目 (CIP) 数据

活动断裂研究·8：理论与应用/中国地震局科技发展司等编. —北京：地震出版社，2001.2

ISBN 7-5028-1753-0

I. 活... II. 活... III. 地震-关系-活动断层-研究 IV. P315.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 38929 号

活动断裂研究·8 理论与应用

中国地震局科技发展司 《活动断裂研究》编委会

责任编辑：张 平

责任校对：庞娅萍

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：68423031

门市部：68467991

传真：68467972

总编室：68462709 68423029

传真：68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销：全国各地新华书店

印刷：北京地大彩印厂

版 (印) 次：2001 年 2 月第一版 2001 年 2 月第一次印刷

开本：787×1092 1/16

字数：282 千字

印张：11 彩插 1

印数：001~600

书号：ISBN 7-5028-1753-0/P·1046 (2251)

定价：20.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题，本社负责调换)

《活动断裂研究》第二届编委会

顾 问：丁国瑜 邓起东

Advisors: Ding Guoyu Deng Qidong

主 编：汪一鹏

Chief Editor: Wang Yipeng

副 主 编：张培震

Associate Chief Editor: Zhang Peizhen

委 员：(以姓氏笔画为序)

丁国瑜	马宗晋	马胜利	王椿镛	邓起东	卢演侔
刘百麓	江娃利	汪一鹏	吴卫民	吴宁远	杨主恩
李安然	张先康	张培震	洪汉净	闻学泽	徐锡伟
黄立人	程绍平	傅征祥	韩慕康		

Editorial Committee:

Ding Guoyu	Ma Zongjin	Ma Shengli	Wang Chunyong
Deng Qidong	Lu Yanchou	Liu Baichi	Jiang Wali
Wang Yipeng	Wu Weimin	Wu Ningyuan	Yang Zhuen
Li Anran	Zhang Xiankang	Zhang Peizhen	Hong Hanjing
Wen Xueze	Xu Xiwei	Huang Liren	Cheng Shaoping
Fu Zhengxiang	Han Mukang		

责任编辑：张 平

Executive Editor: Zhang Ping

编 辑：那 燕

Editor: Na Yan

重点文章提要

1. 反射地震剖面揭示的天山北缘地壳构造

根据北天山地区已有的深地震反射剖面 and 石油地震反射剖面资料的处理分析结果, 讨论天山北缘的主要断裂展布和深、浅构造关系, 以及马纳斯 7.7 级地震的发震构造。

2. 胶辽渤海地区地壳上地幔结构特征与地震活动

在前人工作的基础上, 主要根据作者多年来在胶辽渤海地区进行的深部地球物理探测与研究所获得的实际资料与成果, 重点讨论该地区 ($37^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$, $118^{\circ}\sim 124^{\circ}\text{E}$) 的地壳上地幔结构与地震活动的相关性。

3. 活动断裂的分段地震震级评估

活动断裂带不同段落未来可能发生的地震大小, 是长期地震预测中的强度预测问题。预测的地震强度类型随目的不同而不同。例如, 在工程地震危险性分析与地震危险区划中, 由于概率地震危险性计算是输入参数的需要, 所以要求估计出区域的背景地震震级; 而一般长期地震预测研究则要求能估算出特定震源或断裂段落未来地震的可能震级。本文的研究针对后一种目的。

4. 断裂间相互作用及其对活动断裂地震潜势的影响初步研究

从 Navier-Coulomb 破裂准则出发, 研究了断裂相互作用产生的同震库仑应力改变及其触震和缓震效应, 初步探讨了断裂相互作用对活动断裂地震复发概率的影响。

5. 强震原地重复模型在板内地震危险性概率评估中的不确定性分析

特征地震在大陆内部具有破裂尺度的可变性和时间上的非准周期性, 并分析了造成这种现象的原因。它使得地震平均重复间隔与实际重复间隔之间的差达上千年, 因此, 以特征地震复发模式为基础的地震危险性概率评估在大陆内部具有很大的不确定性。

目 录

反射地震剖面揭示的天山北缘地壳构造	王椿镛等 (1)
胶辽渤海地区地壳上地幔结构特征与地震活动	卢造勋等 (9)
活动断裂的分段地震震级评估	闻学泽 (32)
断裂间相互作用及其对活动断裂地震潜势的影响初步研究	张秋文等 (41)
强震原地重复模型在板内地震危险性概率评估中的不确定性分析	闵 伟等 (50)
潮汕平原黄岗水断裂晚第四纪活动定量研究	宋方敏等 (56)
冷龙岭断裂古地震初步研究	何文贵等 (64)
延怀盆地晚更新世湖侵分期	郑荣章等 (75)
郯庐断裂带及其附近地区活动断裂带内断层泥的变形类型	晁洪太等 (82)
第四系覆盖区水系线密度计算方法研究	叶燕林等 (92)
吉林省松原地区新构造运动的主要表现	李传友等 (100)
福建泉州清源山北西向断裂晚第四纪以来活动特征	黄卿团等 (111)
山西运城盆地的中条山断裂	苏宗正等 (120)
云南元谋地区新构造运动基本特征	申旭辉等 (131)
北京平原夏垫断裂潘各庄钻孔晚更新世晚期以来古地震事件分析	江娃利 (140)
嘉黎断裂带晚第四纪右旋走滑运动研究	沈 军等 (149)
阿尔金断裂带阿克塞—红柳峡段晚第四纪活动性状的新观察	虢顺民等 (159)
 书 讯	
《小江活动断裂带》简介	汪一鹏 (169)
《天山活动构造》简介	邓起东 (171)

Contents

Structure and Tectonics of the Crust in Northern Tian Shan Mountains Revealed by Seismic Reflection Profiles	Wang Chunyong Zou Jingwen et al. (1)
Structure Characteristics of the Crust and Upper Mantle and Seismicity in the Jiao liao-bohai Area	Lu Zao xun PanKe et al. (9)
Assessing Magnitudes of Segment-rupturing Earthquakes on Active Faults	Wen Xueze (32)
Preliminary Research on the Interaction Between Faults and Its Effect on Seismic Potential of Active Fault	Zhang Qiuwen Zhang Peizhen et al. (41)
The Indeterminacy of Seismic Risk Probabilistic Evaluation Using Earthquake Recurrence Model	Min Wei Zhang Peizhen et al. (50)
Quantitative study of Late Quaternary activity of the Huanggangshui Fault in Chaoshan Plain, Guangdong Province	Song Fangmin Wang Yipeng et al. (56)
Preliminary Research on the Palaeo-earthquake along the Lenglongling Active Fault Zone	He Wengui Liu Baichi et al. (64)
Dividing stages of Late Pleistocene Lake intrusion in the Yanhuai Basin	Zheng Rongzhang Ji Fengju et al. (75)
Types of Gouge Deformation in the Tanlu Fault Zone and the Adjacent Active Fault Zones	Chao Hongtai Deng Qidong et al. (82)
The calculation model of river line-density for the Quaternary-buried region	Ye Yanlin Han Zhujun et al. (92)
Principal Behavior of Neotectonics in Songyuan Area of Jilin Province	Li Chuanyou Wang Yipeng et al. (100)
The Features of Late Quaternary Activity of the NW-trending Qingyuanshan Fault in Quanzhou of Fujian Province ...	Huang Qingtuan Wang Yipeng et al. (111)
Study on Zhongtiaoshan Active Fault in Yuncheng Basin of Shanxi province, China	Su Zongzheng Cheng Xinyuan et al. (120)
Basic Characteristics of Neotectonics of Yuanmou Basin and Its Arrounds, Yunnan, China	Shen Xuhui Wang Yipeng (131)
Paleoearthquake Analysis of the Xiadian Fault Since Late Period of Pleistocene Epoch From Pangezhuang Boring in Beijing Plain	Jiang Wali (140)
The Late Quaternary Right-lateral Strike-slipping of the Jiali Fault Zone	Shen Jun Ren Jinwei et al. (149)
New Evidence about the Active Features of Akesai-Hongliuxia Segment of Altun Fault Zone in the Late Quaternary	Guo Shunmin Xiang Hongfa et al. (159)

反射地震剖面揭示的天山北缘地壳构造^①

王椿镛^② 邹景文^③ 史 钢^③ 楼 海^②

一、引 言

天山北缘活动构造研究结果表明,该地区具有典型的大陆内部活动构造特征,表现为平行山体的多排背斜和逆断裂(冯先岳等,1991;邓起东等,1991;张培震等,1993),其深部由一组逆冲断裂所控制。这组逆冲断裂可能受到更深处仍在活动的滑脱带的控制。1906年北天山玛纳斯7.7级地震震中位于北天山山前断裂附近,地表变形和破裂主要发生在约30km以外的霍尔果斯—玛纳斯—吐谷鲁断裂带。

“九五”期间在北天山地区开展的玛纳斯大震区孕震环境的探测和研究,使我们有条件更深入地探讨由盲断层、断坪、断坡和滑脱面所组成的逆断裂-褶皱构造系统的深部结构、断裂展布和深、浅构造的关系。这些工作有助于天山形成和演化过程的研究,以及该地区地震危险性的判定。本文根据北天山地区已有的深地震反射剖面 and 石油地震反射剖面资料的处理分析结果,讨论天山北缘的主要断裂展布和深、浅构造关系,以及玛纳斯7.7级地震的发震构造。

二、区域构造背景和地震反射剖面概况

在天山北缘的乌鲁木齐山前拗陷(又称安集海—昌吉拗陷)内有近东西向展布的三排背斜构造(图1、图2)。第一排构造紧邻天山北麓,包括昌吉、齐古、清水河、南安集海、托斯台构造群等,以隆起高、断裂褶皱强为特征,称为南部山麓背斜带;第二排构造为霍尔果斯—玛纳斯—吐谷鲁背斜带;第三排构造为独山子—安集海—呼图壁背斜带。第二、三排构造属山前褶皱带构造。这三排构造的形成年代由南向北逐渐变新,反映了构造活动向北迁移的趋势。

本文的研究涉及到在天山北缘地区的四条石油地震反射剖面(ZN96D02、ZN96D03、ZN96D04、ZN96D05),和用于研究北天山玛纳斯地震构造的深地震反射剖面(MNS9601),其中MNS9601剖面的南段与ZN96D04剖面重合(图2)。ZN96D02剖面从南安集海,经乌兰布拉克,至独山子南;ZN96D03剖面从博尔通沟,经霍尔果斯,至安集海;ZN96D04剖面从清水河南,经东湾,至玛纳斯北;ZN96D05剖面从齐古西,经吐谷鲁,至呼图壁西。MNS9601剖面的北段自ZN96D04剖面北端的玛纳斯北,往北经蘑菇湖,至准噶尔盆地沙漠边缘。这些剖面穿过了天山北缘山前拗陷的主要构造。石油反射地震剖面采用中间放炮的激发方式和组

① 中国地震局“九五”项目95-04-09的部分成果,该课题还得到国家自然科学基金委员会重点项目49734240和新疆维吾尔自治区305项目96-915-07-03的联合资助。

② 中国地震局地球物理研究所,北京,100081。

③ 四川石油山地地震勘探公司,成都,610225。

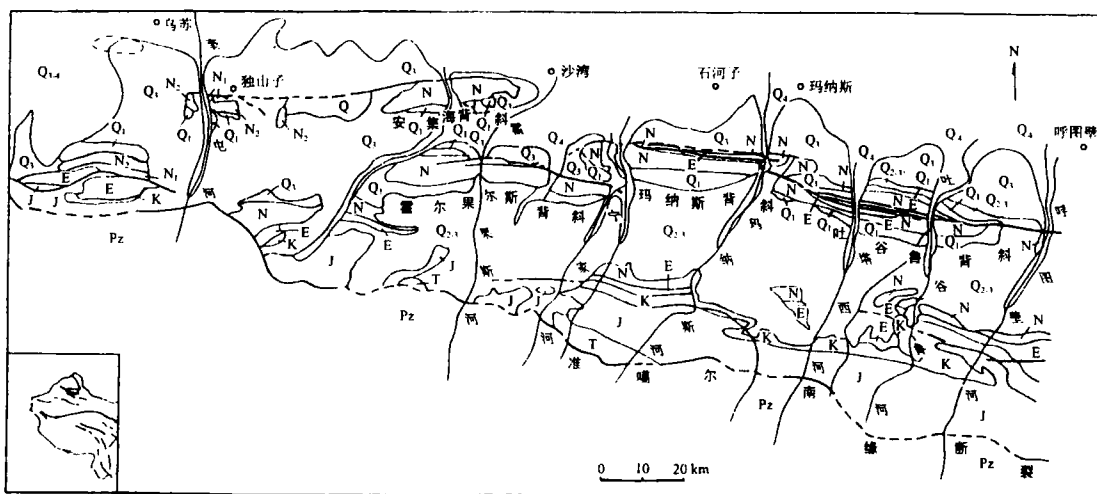


图1 天山北缘地质构造背景 (根据张培震等, 1993)

Fig. 1 Geologic setting in northern margin of the Tianshan Mountains (Zhang et al., 1993)

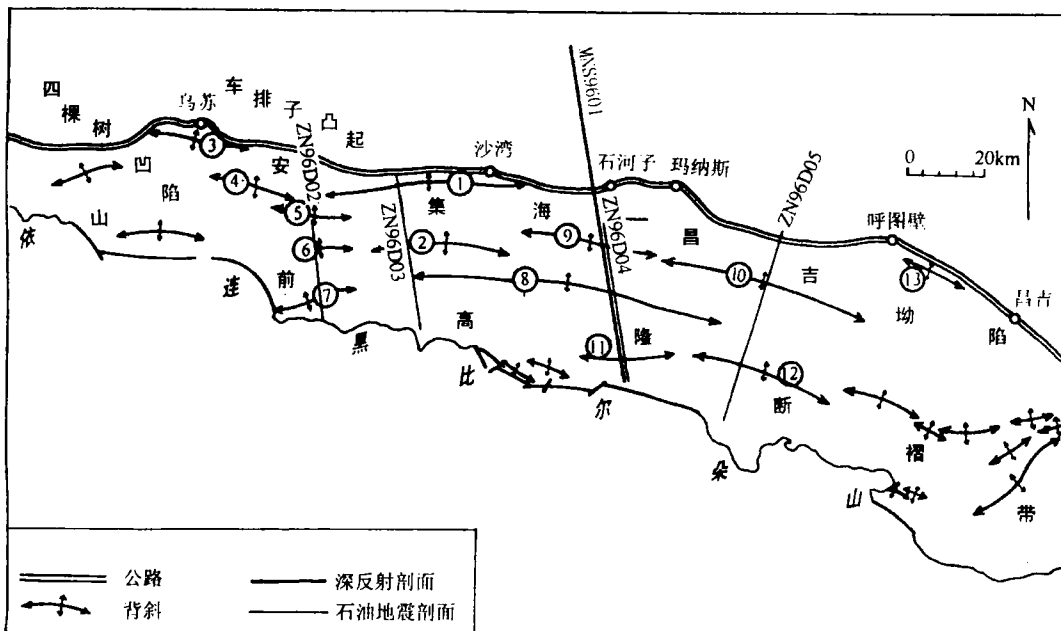


图2 反射地震剖面位置及有关的构造

①安集海背斜; ②霍尔果斯背斜; ③西湖背斜; ④独山子背斜; ⑤独南背斜; ⑥乌兰布拉克断鼻; ⑦南安集海背斜;
⑧东湾背斜; ⑨玛纳斯背斜; ⑩吐谷鲁背斜; ⑪清水河背斜; ⑫齐古背斜; ⑬呼图壁背斜

Fig. 2 Location of the seismic reflection profiles and its related active tectonic units

合检波接收方式, 接收道数为 120 道。野外施工主要参数是: 道间距 30m, 炮点距 30m, 最小偏移距 120m, 正常最大炮间距 1890m, 覆盖次数 30 和 60 次, 采样间隔 4ms, 记录长度 7s。这些反射地震剖面的野外资料经过数据处理, 得到 CDP 叠加剖面^①。

① 四川石油山地地震勘探公司, 新疆准噶尔盆地南缘 ZN96D02-至 ZN96D05 剖面地震勘探成果总结报告, 1997. 9。

三、深浅部断裂展布特征

图 3 (a) ~ (d) 分别为根据 ZN96D02 至 ZN96D05 反射地震部面图绘制的线描 (line drawing) 解释图。结合地表的地质调查和其它地球物理探测资料的分析, 得到如下认识:

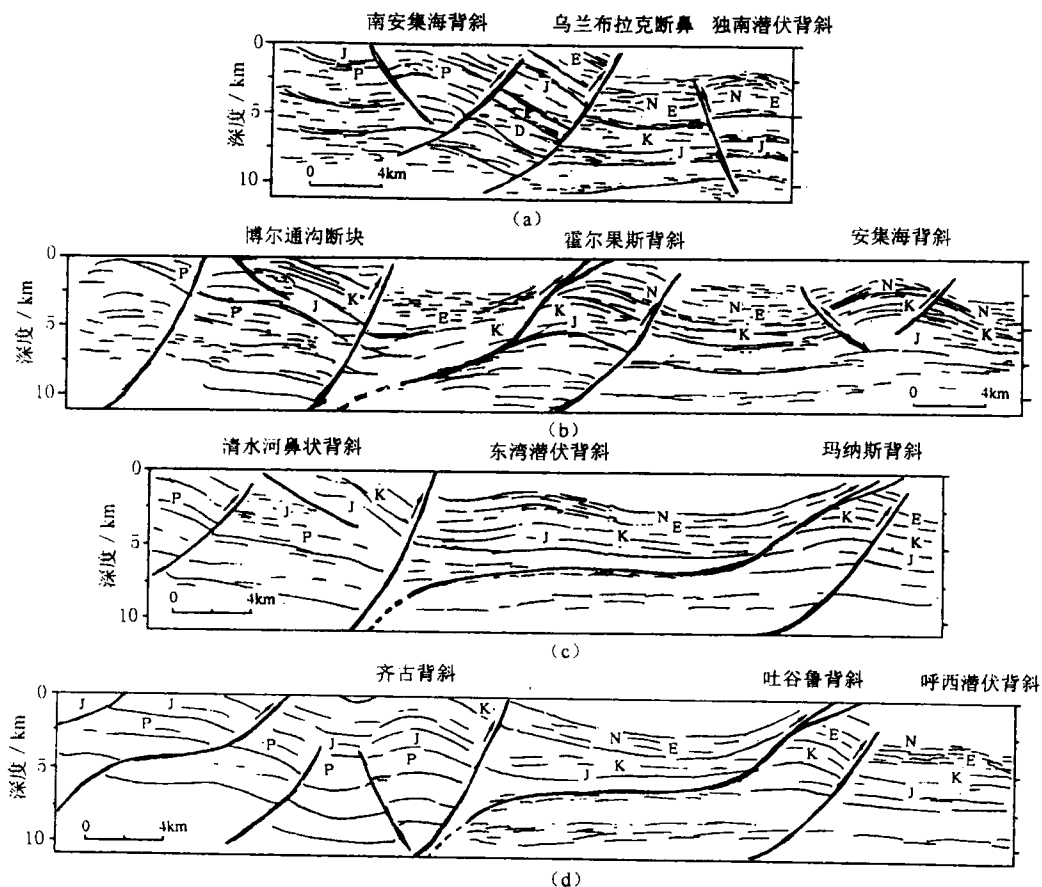


图 3 反射地震剖面的线描解释图 (根据四川石油山地地震勘探公司的总结报告修改)

(a) ZN96D02 剖面 (南安集海—独山子南剖面); (b) ZN96D03 剖面 (博尔通沟—安集海剖面);

(c) ZN96D04 剖面 (清水河—玛纳斯剖面); (d) ZN96D05 剖面 (齐古—呼图壁剖面)

Fig. 3 Line drawing interpretation of the seismic reflection profiles (modified from the comprehensive report of the Sichuan Mountainous Oil Seismics Company, 1997)

1. 区域性断裂

在四条反射地震剖面上共同显示了两条区域性断裂, 即托齐断裂和霍玛吐逆冲推覆断裂。它们的展布特征是:

(1) 托齐断裂: 它由托斯台断裂—南安集海断裂—博尔通沟断裂—清水河断裂—齐古断裂组成。断裂沿北天山山前拗陷带中第一排的背斜带北翼展布, 在三叠系及中下侏罗统沉积时为断面南倾的生长正断层, 后期受构造运动的影响使构造反转成为逆断层。地震剖面显示最大断距 (落差) 可达 4800m, 断面南倾, 倾角 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 向上可能断至地面, 向下断至基底。在该断裂上盘, 基底断裂发育, 腹地构造被明显的堑、垒或断块分割。

(2) 霍玛吐逆冲推覆断裂：它由霍尔果斯—玛纳斯—吐谷鲁等断裂组成。该断层前缘冲断层在霍尔果斯、玛纳斯、吐谷鲁构造轴部出露地表，主要表现为由二个或三个分支断裂夹持的安集海河组倒置于沙湾组之上，倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，向南急剧变缓，在向斜部位与安集海河组顶面或组内呈水平席状滑覆。在逆冲推覆断裂下盘，在霍尔果斯、玛纳斯、吐谷鲁构造上，下第三系中下部至侏罗系存在着较完整的背斜或断垒构造；在构造的南翼向斜部位存在着东湾—吐谷鲁南潜伏构造带。在 ZN96DC4 测线上，该断裂上盘东湾构造有隆起显示。

2. 局部构造及断裂

(1) 南安集海背斜：从 ZN96D02 剖面反映的背斜形态看，南翼略陡于北翼，基底以上各层均有隆起显示。二叠系顶界隆起幅度 1500m，宽 5km，埋深约 450m。二叠系底界埋深 2500m，隆起幅度 1500m 左右。南安集海北断裂侏罗系中统西山窑组落差为 4800m 左右，断面南倾，倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，呈上陡下缓。

(2) 博尔通沟断块：在 ZN96D03 测线上，该断块主要由两条（博尔通沟北和博尔通沟南）南倾逆断层夹持，其间尚发育若干逆断层。三叠系以上地层有隆起显示。下第三系安集海河组底界隆起幅度 600m，宽 5km，埋深 500m。东沟组底界埋深 1200m，隆起幅度约 600m，宽 2km。

在博尔通沟北断裂上盘可见白垩系厚度由北向南明显减薄，还可见到下第三系和上第三系向构造顶部附近急剧变薄，其上为一明显的角度不整合面。博尔通沟北断裂白垩系上统东沟组底界落差 3000m 左右，断面南倾，倾角约 60° 。

(3) 清水河鼻状背斜：位于齐古构造的西侧，南邻塔西开尔向斜，构造核部出露侏罗系中统头屯河组。在 ZN96D04 剖面上，该鼻状构造地腹构造剖面形态总趋势为南高北低。在构造顶部发育一北倾逆断层。该断层侏罗系中统西山窑组落差约 1000m，向上可能断至地面。清水河北断裂侏罗系中统西山窑组落差 4500m，断面南倾，倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，向上可能断至地面，向下断至基底内。

(4) 齐古背斜（西端）：剖面 ZN96D05 通过齐古背斜西端。背斜两翼为南缓北陡，南翼倾角 10° 左右，北翼倾角 $48^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 。该背斜地腹构造剖面形态两翼近于对称，北翼发育断面南倾的齐古北断裂，南翼发育两条北倾断层将背斜抬升，形成断垒构造。齐古北断裂侏罗系中统西山窑组落差 4800m 左右，断面南倾，倾角约 60° ，向上可能断至地面，向下断至基底内。在此断裂的上、下盘白垩系厚度差异较大，上盘明显变薄。

四、深反射剖面揭示的地壳细结构

深地震反射剖面 MNS9601 的 CDP 叠加剖面（图 4a）显示了天山北缘的地壳细结构（王椿镛等，1999），它具有造山带的地壳增厚和缩短的特征（Meissner et al., 1991）。下面从地壳的三个部分（上地壳、下地壳和壳幔过渡带）作论述。

1. 上地壳

剖面的南端显示出一组逆冲低角度断裂，它对应于地表的清水河断裂。该断裂发育在中生代侏罗纪地层中，向下逐渐转化为高角度断裂。为第一个断坡（铲状逆冲断层）和第一排背斜构造，它属于齐古逆断层-褶皱带。剖面的中部显示了玛纳斯构造形态，其浅部由上背斜和下背斜组成。上背斜构造南翼有一条逆断层，断面南倾。北翼也有一条逆断层，断面亦向

南倾。背斜下方呈现地壳强烈变形的特征,表现为一组上拱的反射事件。下背斜在上背斜以北约 5km 处,未出露地表。剖面在 4~6s 部分显示出一些较强的反射事件,自南向北延伸距离达 25km,推测是滑脱构造。它的南端与清水河断裂汇合。在北端,玛纳斯断裂以铲形方式向下延伸,在 4s 左右归并于这一滑脱构造。剖面在 8s 左右可能还存在另一条滑脱构造,其南端亦与清水河断裂相连,向北延伸与玛纳斯下背斜相连。在石河子和东湾之间 10~11s 深度上呈现:“鳄鱼结构”的图像。

剖面北段在 1~6s 之间显示出沉积盆地的图像,其中连续性好的强反射对应于一组沉积层。沉积盆地最深处达 12~14km。反射地震剖面上,连续强反射事件的横向间断和错位一般都与构造或断裂的存在相联系。据此,在石河子以北可能有一条潜伏的构造。

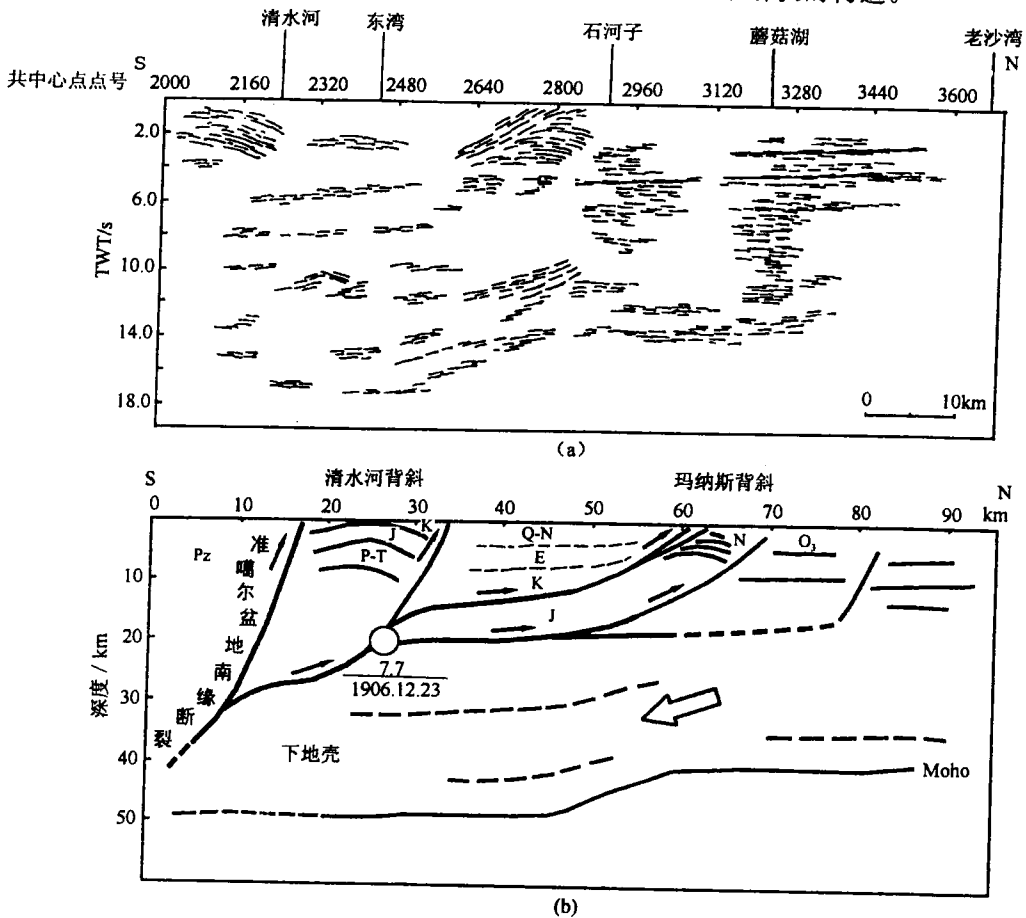


图 4 MNS9601 深地震反射剖面的 CDP 叠加剖面图

(a) 线描图; (b) 构造变形解释图

Fig. 4 CDP stacking section of MNS9601 deep seismic reflection profile

2. 下地壳

剖面北段的反射事件具有较强的能量,连续性好。这是沉积盆地通常在反射剖面上呈现的图像。在剖面南段的下地壳显示出较复杂的反射图像。这些反射事件虽然连续性较差,但在整体上表现为向南倾的特征。

3. 壳幔过渡带

在剖面的北段 13.5~14.5s 上显示出较清晰的 Moho 反射事件, 对应的深度为 45km 左右。在叠加剖面上有大约 1.0s 的持续时间。这一特征可与壳幔过渡带模型相联系 (Sandmeier, 1986)。剖面的 Moho 面向南倾斜, 且在玛纳斯背斜下方是一个较陡的斜坡。剖面的南段 Moho 面反射较模糊, 与准噶尔和天山块体的挤压过程有关。

五、1906 年玛纳斯 7.7 级地震构造

1906 年玛纳斯 7.7 级地震的震中位置为 (43.5°N, 85.0°E)。在第一排逆断层-褶皱带的清水河断裂附近地区, 玛纳斯县博尔通古、牛圈子、石场一带遭受地震的破坏最严重。地表的变形和褶皱隆起发生在距离震中位置约 30km 以外的第二排逆断层-褶皱带上。

清水河鼻状背斜和玛纳斯背斜分别是其中的第一和第二排背斜构造。两排构造之间, 在图 4(a) 中 4~6s 和 8s 左右呈现出较连续的反射事件, 对应于该地区深地震测深剖面得到的中上地壳内的两个主要间断面。我们将它们解释为相应深度上的两条滑脱带。在滑脱带上, 由于带内的剪切活动而形成韧性剪切。这两条滑脱带分别在 6s 和 8s 左右的深度上汇集到清水河断裂, 推测向南最终汇集到准噶尔南缘大断裂。根据反射剖面的图像, 并结合前人对活动构造研究的结果, 我们推断: 在准噶尔南缘大断裂大约 30km 深度上滑脱构造开始活动, 并向北发展, 首先是第一个断坡 (清水河逆冲断层) 的发育和第一排背斜构造带形成, 其后向北第二排断坡与相应玛纳斯背斜构造带的形成。

地质学家们对 1980 年阿尔及利亚的 EL Asnam 地震和近几年发生在美国加州的 Northridge 地震和 Colinga 地震的研究 (King and Vita-Finzi, 1981; Stein and King, 1984) 后认为: 它们均属于一类, 称为逆断层-褶皱带产生的强烈地震。这类地震的地表伴有褶皱变形。前人对 1906 年玛纳斯地震的研究认为, 玛纳斯 7.7 级地震属于逆断层-褶皱带类型的地震 (张培震等, 1994; Deng et al., 1996)。玛纳斯地震区地壳细结构的研究取得天山北缘构造变形特征的认识, 取得与前人基本一致的认识。

不同作者对 1906 年玛纳斯地震震源深度给出很不相同的结果, 从 12~30km 不等 (顾功叙, 1983; 谢毓寿和蔡美彪, 1986; 国家地震局震害防御司, 1996)。由于缺少当时的地震记录, 震源深度只能用野外调查资料推测, 因而误差较大。我们对自 1980 年以来由区域台网较精确确定的北天山地区发生的 110 个 $M \geq 3.7$ 地震的震源深度作统计的结果表明, 优势震源深度为 20km。如果用这些资料推断 1906 年玛纳斯地震的震源深度是可行的, 则震源深度为 20km 左右比较恰当。它正好位于本文深地震反射剖面显示的滑脱构造与清水河逆冲断裂相交汇处。其上方地表为相应的极震区, 即是博尔通古—石场一线。玛纳斯地震发生后, 由于滑脱构造的存在, 地表的变形和褶皱隆起发生在第二排逆断层-褶皱带上。因此, 1906 年北天山玛纳斯 7.7 级地震也是一次盲断裂地震。由清水河断裂、滑脱面和玛纳斯浅部断坡组成的断层系构成了 1906 年玛纳斯地震的地震构造 (图 4b)。

六、讨 论

我国西北地区大地构造的基本特征是大型挤压型盆地和隆升山体相间排列。强烈的变形

带位于天山与准噶尔盆地之间的过渡带上。天山的隆升是碰撞推挤的结果,相应发生地壳的缩短和增厚。在地壳缩短过程中,物质必须得到保存,这必然导致地壳或岩石圈的增厚。天山北缘的地壳结构图像表现出较显著的地壳缩短和增厚的构造特征(如逆冲断裂、“薄皮构造”和“鳄鱼结构”等)。

天山北缘山前拗陷内的深地震反射剖面和石油地震剖面,清楚地显示了该地区近东西向展布的三排背斜构造。其中第二、三排构造属山前褶皱带构造,其核部为新生代地层。这些构造具有深、浅层构造形态不一致的特征,浅层陡,深层缓。由南往北,构造高度逐渐下降,隆起幅度逐渐减小,最后变为平缓的潜伏背斜。在地壳的中部存在一条向南缓倾的滑脱带,它控制逆断裂-褶皱带的形成和发展。在深地震反射剖面上,玛纳斯背斜由位于8~10km深度的滑脱面向南与清水河逆冲断裂相连接,Moho面在其下方45km左右的深度上,界面向南倾,在剖面南端深度达50km。

参 考 文 献

- 邓起东、冯先岳、尤惠川等,1991,新疆独山子—安集海活动逆断裂-褶皱带的变形特征及形成机制,活动断裂研究(1),北京:地震出版社。
- 冯先岳、邓起东、石监邦等,1991,天山南北缘活动构造及其演化,活动断裂研究(1),北京:地震出版社。
- 国家地震局震害防御司,1996,全球重大灾害性地震目录(2150B. C. —1991A. D.), 82,北京:地震出版社。
- 顾功叙,1983,中国地震目录(公元前1831—公元1969), 200~201,北京:科学出版社。
- 王椿镛、魏修成、楼海、吴庆举,1999,天山北缘地壳细结构,地球物理学报, 43。
- 谢毓寿、蔡美彪,1986,中国地震历史资料汇编(第四卷)(下), 6~7,北京:科学出版社。
- 张培震、邓起东、徐锡伟等,1993,天山北麓玛纳斯活动逆断裂-褶皱带的变形特征与构造演化,活动断裂研究(3),北京:地震出版社。
- 张培震、邓起东、徐锡伟等,1994,盲断层、褶皱地震与新疆1906年玛纳斯地震,地震地质, 16。
- Deng Qidong, Feng Xianyue, Zhang Peizhen et al., 1996, Active reverse fault-fold zones and earthquakes along northern Tianshan, Xinjiang, China, Seismology and Geology, 18 Suppl., 21~36.
- King, G. C. P., Vita-Finzi, C., 1981, Active folding in the Algerian earthquake of 10 October 1980, Nature, 292, 22~26.
- Meissner, R., Wever, T., Sadowiak, P., 1991, Continental collisions and seismic signature. Geophys. J. Int., 105, 15~23.
- Sandmeier, K. J., Wenzel, F., 1986, Synthetic Seismograms for a complex crustal model. Geophys. Res. Lett., 13, 22~25.
- Stein, R. S., King, G. C. P., 1984, Seismic potential revealed by surface folding: 1983 Colima, California, earthquake, Science, 224, 869~872.

Structure and Tectonics of the Crust in Northern Tianshan Mountains Revealed by Seismic Reflection Profiles

Wang Chunyong^① Zou Jingwen^② Shi Gang^② Lou Hai^①

Abstract

Based on the deep seismic reflection profile and oil seismic reflection profiles in the north margin of Tianshan Mountains, the structure and tectonics in the crust are discussed in this paper. The crust of the northern Tianshan piedmont is grossly a thin-skinned structure on the CDP stacking section. The image of crust structure shows a tectonic deformation of shorten and thicken crust, such as thrust, "thin-skin structure" and "crocodile structure", in the transition zone between the Tianshan Mountains and the Junggar basin. The Anjihai anticline, Huoerguos anticline, Qigu antiline, Manas anticline and Tugulu anticline are clearly shown on the CDP sections of oil seismic reflection profiles. The Manas anticline joins to the Qinshuihe thrust by the nearly horizontal detachments at depth of about 8km and 12km. A 12~14km-thick sedimentary layer exists in the piedmont depression. The Moho discontinuity beneath the depression is located at depth of about 45km and deepens southwards to about 50km in the southern profile. The seismotectonics of the 1906 Manas earthquake is related to the fault system, which consists of the Qingshuihe thrust, the detachments and the shallow Manas ramp.

① Institute of Geophysics, China Seismological Bureau, Beijing 100081, China.

② Sichuan Mountainous Oil Seismics Company, Chengdu 610225, China.

胶辽渤海地区地壳上地幔结构特征与地震活动^①

卢造勋^② 潘 科^③ 蒋秀琴^② 赵俊猛^④ 白 云^② 姜德录^②

一、前 言

胶辽渤海地区是我国东部地震活动较频繁的地区,近年来该区被列为我国地震重点监视防御区之一。了解该区地壳上地幔结构特征并分析其与地震活动的关系,对研究地震的孕育环境,从而提高地震科学研究水平具有重要的理论与实践意义。多年来,许多学者就渤海地区的地壳上地幔结构从不同角度、应用不同的资料作了许多论述(滕吉文等,1997;刘光夏等,1996),并获得有意义的成果。本文在前人工作的基础上,主要根据作者多年来在该地区进行深部地球物理探测与研究获得的实际资料与成果,重点讨论胶辽渤海地区($37^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$, $118^{\circ}\sim 124^{\circ}\text{E}$)的地壳上地幔结构特征与地震活动的相关性。

多年来,对该区的陆地地区,主要围绕海城 7.3 级与唐山 7.8 级两个地震震区进行了深地震测深、大地电磁测深、大地热流测量,地震转换波等综合地球物理探测与研究。在整个区域开展了重力、航磁等资料的分析与研究,取得了一批有重要意义的成果(卢造勋等,1985;刘昌铨等,1986;赵国敏等,1985),80 年代末 90 年初国际上开展的国际地学大断面(G. G. T)计划过程中,完成的内蒙古东乌珠穆沁旗至辽宁东沟地质断面(国际第 13 号断面)其东段穿越本区,揭示了若干重要的地质与地球物理现象(卢造勋等,1993)。此外,石油勘探部门多年来在该区进行了大量浅部人工地震勘探,取得了浅部地质构造的详细成果。近年来,应用大量的天然地震资料开展了研究区地壳上地幔速度的地震层析成像研究,取得了三维空间内有关地壳上地幔速度的分布结果,所有这些为进一步深入研究该区的地壳上地幔结构特征及其与地震活动的相关性提供了重要的科学依据并打下了良好的基础。

二、地质概况

研究区位于中朝地台的东北部,主要包括辽东台隆,燕山台褶带的东部,华北断坳中的下辽河断陷、渤海坳陷及济阳坳陷的北部,胶东台隆的北部(图 1)。根据研究区内的岩相建造类型、构造变形及岩浆活动特点可分出太古代—元古代构造层、古生代构造层、中生代构造层和新生代构造层等四个构造层。区内主要的活动断裂有郯庐断裂带,燕山—渤海断裂带和金州断裂。郯庐断裂带是我国东部规模最为宏伟的一条北东向断裂带,它由多条断裂组成,

① 中国地震局 95-04-10-05 研究成果,国家自然科学基金(49674220)部分研究成果。

② 辽宁省地震局,沈阳,110031。

③ 中国科学技术大学地球与空间科学系,合肥,230026。

④ 中国地震局地质研究所,北京,100029。

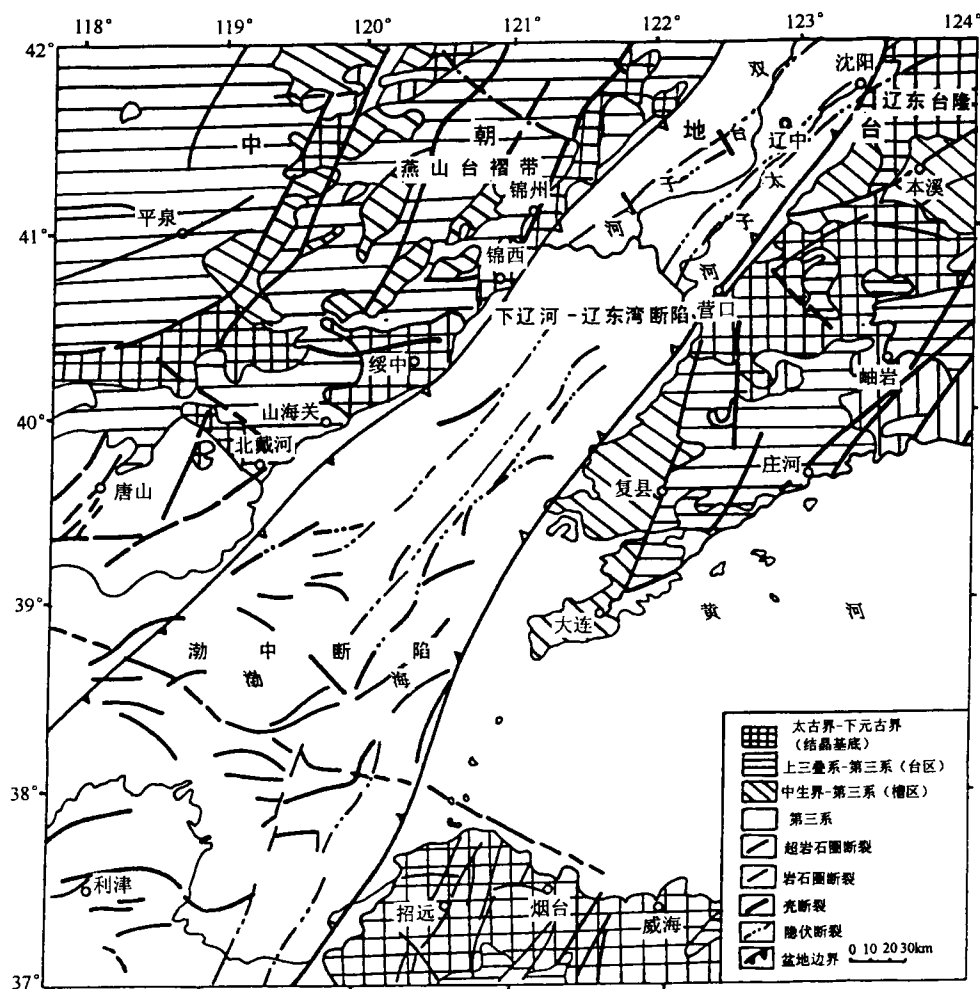


图 1 渤海及其邻区地质构造图

Fig. 1 Geological map of the Bohai Sea and its adjacent regions

研究区内仅是其中的一部分, 该断裂形成于五台运动后期, 中生代期间强烈活动, 新生代时期继续活动并控制了地震的分布。根据对郯庐断裂的分段研究, 区内包括莱州湾—渤中亚段、渤中—营口亚段 (辽东湾段) 和营口—沈阳亚段。燕山-渤海断裂带在区内经唐山、渤海一直延伸到山东烟台以北, 走向北西西, 它是一条复合型断裂带, 在渤海中与郯庐断裂相交, 该带构造极为复杂, 带上地震活动强烈。金州断裂是辽东半岛的一条主要断裂, 南起大连湾, 经金州、普兰店、盖县延至鞍山以南, 走向北北东, 从断裂的地质、地貌、地震、年代学和形变等资料综合研究, 说明该断裂是一条至今正在活动的断裂。根据地质构造特征和产状不同, 构造活动性差异、地震活动强弱程度及与其它构造的关系等依据, 将其自南向北分为大连—普兰店段, 普兰店—九寨段、九寨—盖县北段、盖县北—鞍山南段。综上所述, 研究区内地质构造复杂、断裂规模大、活动明显, 而且主要研究地区为巨厚的沉积覆盖区, 开展本区地球物理探测与研究显得更具有重要的现实意义。