

朝阳—义县地震区的深浅部构造、组成及其与地震的关系*

夏怀宽 卢造勋 牛 雪 姜德录

(中国沈阳 110121 辽宁省地震局)

摘 要

本文综合论述了朝阳—义县地区及其附近的地震活动、深、浅部结构,以及岩石动力学特征,认为本区存在中地壳低速层,且三层地壳速度均较两侧的低,存在上地幔隆起和软流层—低阻层隆起,探讨了三层地壳、低速层和上地幔软流层的物质组成,最后讨论了本区深、浅部结构、组成与地震活动、断裂新活动的成生联系。

关键词 地壳;低速层;上地幔;软流层—低阻层

朝阳—义县地区是辽宁西部地震分布比较集中的地区,有构造地震和北票矿震,地表有朝阳—北票活动断裂,为国家重点监视地震区之一。这里的地震构造为家关心,最近笔者参加了东沟—海城—东乌珠穆沁旗地学断面的编图工作,发现本区的深、浅部岩石物理、地球动力学特征比较特殊,为本区地震活动、断裂活动提供了深层依据,现将这些成果论述如下。

一、本区地震活动概况

在辽西地区自公元421年以来就记载有破坏性地震,1970年建立地震台以来至1984年共记录到 $M > 1$ 的地震约700次,其中1.0—1.9级地震约540次,2.0—2.9级地震约150次,3.0—3.9级地震9次,4.0—4.9级地震7次,5.0—5.9级地震2次。

朝阳—义县地区是辽宁西部地震最发育的地区,除发育1—3级地震外,还集中分布着辽西地区全部4—5级地震,其中2次5级地震分别为421年朝阳地震和1698年义县地震。

在本区还有一类罕见的地震——矿震,位于北票煤田中采掘最深的矿田及其附近。自1981年以来不断记录到许多地震,最大地震3.8级,2级以上地震就出现破坏,井下断层出现位移。矿震位于朝阳—北票活动断裂附近,且地震机制、井下断层的位移方式均与区域构造地震的机制一致(夏怀宽和张先泽,1986),表明其成因除了采矿因素外,还与区域构造活动有密切的关系。

* 本文由编委冯锐推荐。

1990年2月13日收到本文初稿,1990年9月25日决定采用。

二、区域地表地质构造特征

1. 区域地质构造

本区位于朝阳—义县中生代断陷中,其北西侧为内蒙地轴,南东侧为医巫闾山隆起。断陷是在太古宙和早元古代结晶基底上发育起来的裂谷构造。

太古宙和下元古界为建平群,厚达万 m,出露于内蒙地轴和医巫闾山隆起等地区。其下部为小塔子组,典型的岩石组合有辉石麻粒岩亚相和角闪麻粒岩亚相(王汉霞和李世涛,1985)。中、上部为瓦子峪组和大营子组的绿片岩相和角闪岩相岩石。

中、晚元古界和古生界为稳定的海相、海陆交互相—陆相沉积岩,厚度均不大。

中生代,这里为大陆裂陷,沉积厚达万 m 陆相火山—碎屑岩,有强烈的岩浆活动和褶皱运动。花岗岩主要分布在本区两侧隆起区。新生代全区隆起,基本缺失新生代沉积。

朝阳—义县地区的构造主要呈北东向,向斜、背斜相间排列,主要断裂有医巫闾山西侧断裂、朝阳—北票断裂等(图 1)。

上述地质构造和岩石学特征为我们分析本区深部构造、组成的基础。

2. 活动断裂特征

本区的活动断裂主要有两条,分别位于本区两侧。

(1) 医巫闾山西侧活动断裂 走向向北东,倾向北西,控制区域地貌分区,

东侧为医巫闾山剥蚀区,主峰望海山高达 866m;西侧为义县盆地,海拔 100m 左右,有零星的第四纪沉积。在断裂附近的西侧还断续分布干钱沟、马驹沟、上水泉、下牌楼等一系列小型中—上更新世沉积坳地。据断层泥鉴定结果,断层活动时代为上新世至早更新世,中、晚更新世部分地段有活动。断裂明显活动地段在义县及其以北地区。

(2) 朝阳—北票活动断裂 是辽宁省内活动性最明显的断裂之一(夏怀宽和张先泽,1986),控制着断裂两侧地貌,形成黄花营子、河东、小白窑、朝阳等第四纪半地堑断陷盆地。朝阳盆地第四系累计厚达 70m 以上。该断裂还错断第四系,形成三宝、黄花营子、南窑等活动断层。活动明显地段也在断裂北段朝阳—北票地区。

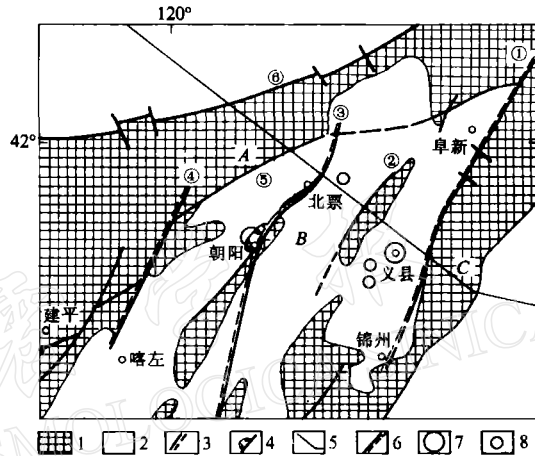


图 1 朝阳—义县地区及附近地区构造略图

1. 古生代及更老的地层出露区, 2. 中生代地层分布区, 3. 断层及推测断层, 4. 朝阳第四纪盆地, 5. 地学断面位置, 6. 活动断裂, 7. $M=5.0$ 地震, 8. $M=4-4.9$ 地震, A. 内蒙地轴, B. 朝阳—义县中生代断陷, C. 医巫闾山隆起, ①. 医巫闾山西侧断裂, ②. 柳河沟断裂, ③. 朝阳—北票断裂, ④. 朱碌科断裂, ⑤. 凌源—阜新断裂, ⑥. 赤峰—开原断裂

三、地壳结构和组成特征

1. 地壳分层

地震测深结果,本区地壳可分为上、中、下三层,中地壳又进一步分为两层(图 2). 根据国内外地质学、地球物理学、实验岩石学的研究,也证明地壳有明显的纵向分层变化. 传统的是将地壳分为花岗岩层、玄武岩层两层. 近代的多学科研究结果,许多地区的大陆地壳都可以分为三层:上地壳为绿片岩相岩石,中地壳为角闪岩相岩石,下地壳为麻粒岩相岩石,与本区三层地壳结构是一致的.

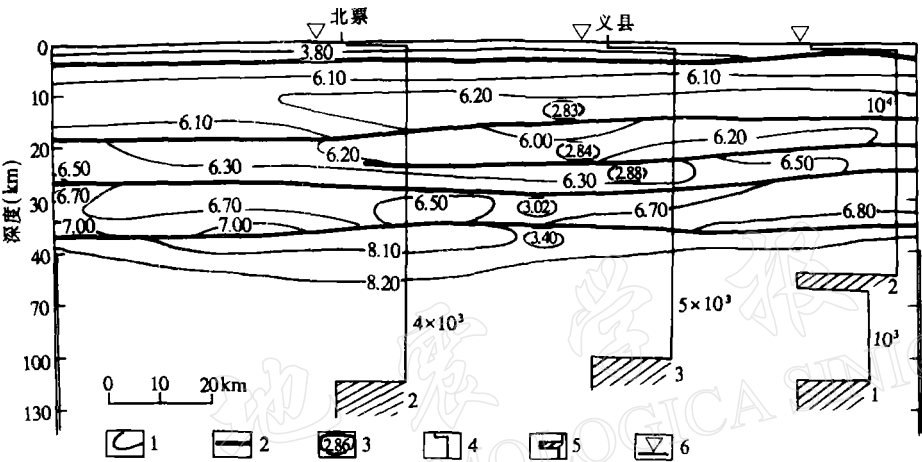


图 2 朝阳—义县地区人工地震测深和大地电磁测深剖面

1. 地震纵波速度等值线 (km/s), 2. 地壳分层界线, 3. 密度值 (g/cm³), 4. 大地电磁测深电阻率曲线 (Ω·m), 5. 低阻层, 6. 大地电磁测深点

深部地壳物质成分是复杂的,许多学者根据出露于地表的大陆地壳剖面岩石的研究及地球物理探测结果,推测了地壳中各层的物质组成,现将有关部分资料列于表 1.

表 1 三层地壳速度与岩石资料

地壳分层	内华达(美国)	蒙他那(美国)	伊夫雷亚(意大利)等地区	马斯格雷夫(澳大利亚)等地区	房山(中国*)	冀东(中国**)
上地壳	$v_p=6.0$ $\rho=2.67$	$v_p=6.0-6.1$ 片岩、花岗岩	绿片岩相及未变质的岩石		$v_p=5.87-6.15$ 花岗岩	
中地壳	花岗岩、绿片岩—角闪岩相等		$v_p=6.45$ $\rho=2.78$ 角闪岩相片岩、片麻岩		$v_p=6.41-6.49$ 石英闪长岩	
下地壳	$v_p=6.9$ $\rho=3.03$ 以麻粒岩为主	$v_p=6.7-7.4$ 以石榴子石角闪岩和石榴子石麻粒岩为主	$v_p=6.9-7.3$ 基性麻粒岩	$v_p=6.7-6.8$ 中性麻粒岩		上层: 角闪麻粒岩亚相(中性) 下层: 辉石麻粒岩亚相(基性)

注: (1) v_p 为纵波速度, 单位 km/s; ρ 为密度, 单位 g/cm³.
(2) 资料来源: * 引自吴宗絮, 1988. 华北震源介质条件及其与地震活动的关系; ** 引自吴宗絮 (1988); 其它引自刘若新 (1988).

2. 上地壳

本区上地壳上部主要由出露于本区地表的中生代侏罗—白垩纪厚达万 m 的裂陷型火山-碎屑岩组成, 次为古生代和中、上元古代的沉积岩, 地震波 $v_p = 3.8 \pm \text{km/s}$.

本区上地壳下部底界深度 16km, 地震波 $v_p = 6.1 - 6.2 \text{ km/s}$, $\rho = 2.82 - 2.83 \text{ g/cm}^3$. 国内外对上地壳的研究, $v_p = 5.87 - 6.15 \text{ km/s}$, 岩石组合为绿片岩-角闪岩相岩石和花岗质岩石(表 1). 本区上地壳下部的 v_p 值与国内外的很接近, 加之本区两侧出露的下元古代基底地层为绿片岩-角闪岩相, 故推测本区上地壳下部为绿片岩-角闪岩相岩石(图 3).

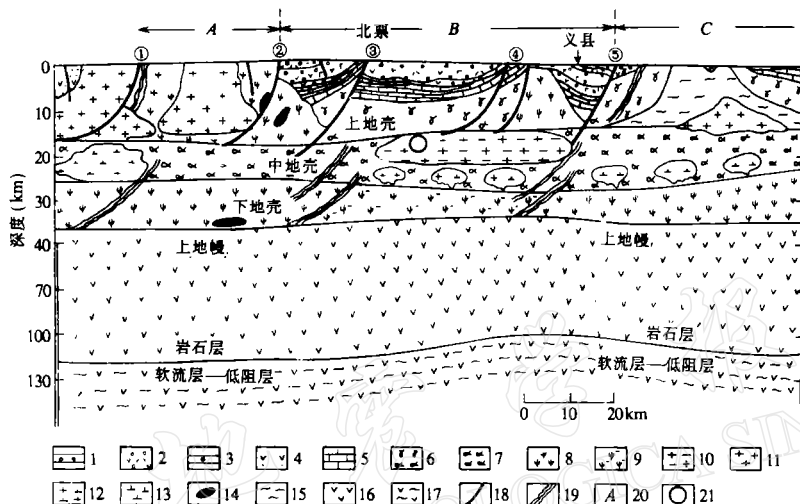


图 3 朝阳—义县地区及附近地区壳、幔解释性图

1. 新生代碎屑岩, 2. 中生代火山—碎屑岩, 3. 二迭纪—中石炭世海陆交互相沉积岩, 4. 上古生代火山—碎屑岩(内蒙地轴北侧), 5. 奥陶—寒武—中、晚元古代海相沉积岩, 6. 建平群大营子组—瓦子峪组绿片岩相—角闪岩相岩石, 7. 中地壳角闪岩相岩石, 8. 建平群小塔子组麻粒岩相岩石, 9. 角闪麻粒岩相岩石, 10. 含水局部熔融的花岗质岩石, 11. 花岗岩, 12. 花岗角闪岩, 13. 角闪岩, 14. 壳内超镁铁岩, 15. 混合岩, 16. 上地幔尖晶石橄榄岩, 17. 软流层尖晶石橄榄岩, 18. 断层及编号: ① 赤峰—开原断裂, ② 凌源—阜新断裂, ③ 朝阳—北票断裂, ④ 柳河沟断裂, ⑤ 医巫闾山西侧断裂, 19. 韧性剪切带, 20. 构造分区: A. 内蒙地轴, B. 朝阳—义县中生代断陷, C. 医巫闾山隆起, 21. 北票小塔子 4.7 级地震

3. 中地壳上部(壳内低速层)

本区中地壳上部为低速层, 深度 16—24km, 地震波 $v_p = 6.0 \pm \text{km/s}$, 其值不但比上地壳下部 v_p 值低, 而且还是长达 960km 的东沟—海城—东乌珠穆沁旗地质断面中地壳上部速度最低的地段, 低于海城地震区壳内低速层 $v_p = 6.1 \text{ km/s}$.

中地壳低速层是较普遍的现象, 在海城震区、华北地区(孙武城等, 1987)及国外的一些地区也存在. 由于低速层往往存在于震区, 其成因和组成引起人们的注意, 我们也作如下分析.

根据实验室测定的各类熔岩液化温度和凝固温度: 玄武岩为 $1000 - 1200^\circ\text{C}$, 安山岩为 $900 - 1000^\circ\text{C}$, 酸性岩为 $700 - 800^\circ\text{C}$; 如含有水, 在水压 $4 - 7 \times 10^8 \text{ Pa}$ 时, 液相温度分别下降为 $800 - 1000^\circ\text{C}$, $700 - 800^\circ\text{C}$, $500 - 600^\circ\text{C}$. 用二长温度计所作的测量表明, 花岗岩和伟晶岩的形成温度为 $550 - 620^\circ\text{C}$ (南京大学地质系矿物岩石学教研室, 1980).

由此表明,酸性岩或花岗质岩最有可能达到液化的状态,形成壳内低速层。

在 16—24km 深处是否有花岗质岩石的存在? 在苏联北西部科拉半岛摩尔曼斯克市西侧的地球最深钻孔,预测在深度 7—20km 处 $v_p=6.4-6.7\text{km/s}$,为玄武岩层地壳;实际钻进结果,在深度大于 10km 后,平均 $v_p=6.4\text{km/s}$,但不是玄武岩,仍是花岗质岩(范一超,1984)。故推测在本区中地壳上部 $v_p=6.0\pm\text{km/s}$ (小于深井的 v_p 值)的低速层可为花岗质岩石。

郭增建和秦保燕(1979)在分析地壳深度、压力、温度关系时提出,在地壳深度 20km 时,静压力一般约为 $5.5\times 10^8\text{Pa}$,温度可为 550°C 。如果考虑到低速层往往位于地震活动区(本区也是地震活动区),其温度、压力可能还有所增高(如海城)。虽然要达到安山岩、玄武岩的液化温、压条件较困难,但要达到上述花岗质岩石初始熔融的温、压是可能的。

由上所述,壳内低速层的组成推测为含水局部熔融的花岗质岩石。

4. 中地壳下部

本区中地壳下部地震波 $v_p=6.3\pm\text{km/s}$,深度 24—29.5km,厚 5.5km。意大利伊夫雷亚带的角闪岩相岩石带的 $v_p=6.45\text{km/s}$, $\rho=2.78\text{g/cm}^3$;房山石英闪长岩的高压实验 $v_p=6.45\text{km/s}$,其值与本区中地壳下部的 v_p 值接近,且在本区两侧出露的瓦子峪—大营子组中含有角闪岩相岩石,故本区中地壳下部应为角闪岩相岩石。

5. 下地壳

本区下地壳地震波 $v_p=6.5\pm\text{km/s}$,深 29.5—34.5km,厚 5km。据澳大利亚马斯格雷夫山脉、加拿大皮奎托奈带的角闪麻粒岩相岩石, $v_p=6.7-6.8\text{km/s}$;意大利伊夫雷亚带、西非卡西拉系、澳大利亚弗雷塞山脉等地的辉石麻粒岩, $v_p=6.9-7.3\text{km/s}$ 。结合其它地区的研究,表明下地壳应为两种岩石,角闪麻粒岩亚相岩石, v_p 值较低;辉石麻粒岩亚相, v_p 值较高。这两种亚相的岩石均在本区两侧出露地表的小塔子组中见到。本区下地壳的岩石应为 v_p 值较低的角闪麻粒岩亚相岩石。

6. 地壳结构、组成的横向变化

由图 2,3 可见,朝阳—义县地区地壳速度、结构、组成与两侧内蒙地轴、医巫闾山隆起区的有明显差别,横向变化是很明显的。上地壳,本区地堑型的火山—碎屑岩系向两侧变为隆起型的变质岩系;中地壳,向两侧,低速层消失, v_p 值逐渐增大到 6.2—6.3km/s;中地壳下部 v_p 值向两侧增加到 6.3—6.5km/s,且在北票以西中地壳的两层结构变为一层结构;下地壳,由本区向两侧 v_p 值自 6.5km/s 逐渐增至 6.7—7.0km/s,其岩石由角闪麻粒岩相变为辉石麻粒岩相或麻粒岩相岩石,其厚度由 5km 增到 $10\pm\text{km}$ 。由此表明本区三层地壳的 v_p 值和密度均较两侧的低,总厚度较小。

四、莫霍面、上地幔、软流层

1. 莫霍面

在本区深 34.5km 处,地震波 v_p 明显地由 6.5km/s 变为 8.1km/s,显示地下物质有突然的变化,存在莫霍面。在本区西侧内蒙地轴深 37.5km 处, v_p 由 7.0km/s 增到 8.2km/s;在东侧医巫闾山隆起深 36.5km 处, v_p 由 6.8km/s 增到 8.1km/s。这此数据表明,辽西地区的莫霍面不但清楚存在,而且以朝阳—义县地区为中心呈现莫霍面隆起,隆起幅度 2—3km。

上述意大利伊夫雷亚变质带在靠近糜棱岩带时转为超镁铁岩,其地震波有一突变,后者 $v_p = 8.5 \text{ km/s}$ (刘若新, 1988)。本区的情况与之相似,其莫霍面下的岩石应为超镁铁岩。

2. 上地幔与软流层

在通过本区的地学断面上,委托地质所进行了大地电磁测量,发现在莫霍面之下的上地幔中普遍存在低电阻层,电阻率普遍在 $1-3 \Omega \cdot \text{m}$,低阻层顶面与本区面波反演的低速层顶面相近。其低阻层对应于软流层,我们称为软流层-低阻层。此层顶面在义县深 100 km ,在医巫闾山隆起深 112 km ,在内蒙古地轴深约 116 km ,显示软流层顶面呈现隆起,隆起幅度 $12-16 \text{ km}$,隆起中心在义县附近。

据何永年等(1986)和邓晋福等(1987)对东北地区来自地下深 $50-103 \text{ km}$ 的玄武岩中橄榄石包体的研究,在莫霍面下的上地幔超镁铁岩为尖晶石相橄榄岩,在尖晶石相橄榄岩层下部(相当于软流层-低阻层)含有 $5-30\%$ 的熔融岩浆,为地表玄武岩的岩浆源,其温度为 $962-1177^\circ\text{C}$,压力为 $18.20 \times 10^2 - 29.10 \times 10^2 \text{ MPa}$,流动应力较高,等效粘滞度较低,显示裂谷附近的上地幔特征,易于出现上地幔软流层物质的局部对流。

五、浅、深部构造与地震的关系

地震主要位于地壳深处,它的孕育、发生与深部地壳物质结构、上地幔特征更有直接的关系。通过上述深、浅部结构、组成的论述,我们可以看到下列与地震活动背景有关的特征:

1. 朝阳—义县地区的上地幔顶面和软流层-低阻层顶面相对两侧地区呈现隆起,上地幔顶面隆起幅度为 $2-3 \text{ km}$,软流层-低阻层顶面隆起幅度为 $12-16 \text{ km}$ 。上地幔、软流层的物质密度较大,深度或厚度的差异必然导致至不平衡,且根据上述情况,其物性显示为裂谷区特征,易于发生流动。这些特征近同海城地震区(卢造勋, 1985),并同海城地震区一样,成为本区壳内活动、地震孕育,以及地表活动断裂形成的深部动力条件。

2. 在朝阳—义县地区中地壳上部存在低速层,为东沟—海城—东乌珠穆沁旗地学断面中 v_p 值最低的地区,比海城震区还低,应为低密度含水局部熔融的花岗质岩,塑性较大,易于流动,易于传递应力,在受到区域构造应力场的作用后,其附近便构成壳内应力易于集中、岩石易于破裂、地震易于发生的层位。1977年北票小塔子 4.7 级地震震源深度 18 km (本区唯一已知震源深度的构造地震),便位于此层附近。

3. 朝阳—义县地区的地壳特征与两侧内蒙地轴、医巫闾山隆起的地壳特征有明显差别,突出的除前区存在低速层之外,其下地壳厚度和速度均为东沟—海城—东乌珠穆沁旗断面的最小值,推测为角闪麻粒岩亚相,有别于两侧的辉石麻粒岩亚相岩石。再结合上述上地幔特征的差别,必然在本区两侧过渡区导致明显的新构造活动,出现活动断裂。现已查明,在本区两侧存在朝阳—北票和医巫闾山山西侧两条活动断裂,且其最大活动部位均在断裂北段,即在地学断面的附近。

4. 在朝阳—义县地区内,西侧活动因素较东侧明显:在北票以西,中地壳两层结构变为一层结构,地壳厚度、软流层-低阻层顶面深度及其变化梯度,西侧均较东侧稍大。在内蒙古地轴附近还显示明显的区域重力梯积带。在地表的活动断裂中,朝阳—北票断裂不但是全区最活动断裂,也是辽宁省内活动性最明显的断裂,其附近有朝阳地震和北票矿震。

六、结 论

1. 朝阳—义县地区是辽宁省西部的地震活动区,有朝阳—北票、医巫闾山西侧两条活动断裂。

2. 朝阳—义县地区的地壳可分为上、中、下三层。据其地震波速度推测的绿片岩相、角闪岩相、麻粒岩相(含亚相)等岩石均在本区两侧出露的基底岩系中见到。

3. 在朝阳—义县地区存在上地幔、软流层隆起,其组成分别推测为尖晶石橄榄岩相和含熔融物质的尖晶石橄榄岩相岩石,为本区地震活动和新构造活动的深部动力条件。

4. 朝阳—义县地区中地壳上部为低速层,推测为低密度含水局部熔融的花岗质岩石,其附近为易于地震孕育的地壳层位。

5. 本区地壳和上地幔结构、组成与两侧地区均有明显差别,特别是西侧的差别尤为明显,这与本区的地震活动、断裂活动特征一致。

参 考 文 献

- 邓晋福、鄂莫岚、路凤香, 1987. 中国东北地区上地幔组成、结构及热状态. 岩石矿物学, **6**, 1, 1—10.
- 岛村英纪著, 1984. 范一超译, 地球上最深的井孔——与预料相反的地球内部. 国际地震动态, **9**: 19—20.
- 郭增建、秦保燕, 1979. 震源物理, 159—169. 地震出版社, 北京.
- 何永年、林传勇、史兰斌, 1986. 我国东北部与华北上地幔某些物质状态特征的比较: 来自幔源包体的信息. 中国地震, **2**, 2, 16—23.
- 刘若新, 1988. 大陆地壳岩石断面研究的进展. 地震地质译丛, **10**, 3, 26—30.
- 卢造勋, 1985. 海城震区深部地球物理探测. 中国地震, **1**, 1, 56—65.
- 南京大学地质系矿物岩石学教研室编, 1980. 火成岩石学, 7—9. 地质出版社, 北京.
- 孙武城、李松林、罗力雷, 1987. 初论华北地区的地壳低速层. 地震地质, **9**, 1, 17—26.
- 王汉霞、李世涛, 1985. 辽西太古代变质岩系的多期退化变质作用. 辽宁地质学报, **2**, 27—39.
- 吴宗絮, 1988. 冀东太古宙麻粒岩及下地壳分层的讨论. 地震地质, **10**, 3, 87—92.
- 夏怀宽、张先泽, 1986. 朝阳—北票逆掩断层特征、活动性及构造应力场演化. 中国科学院南京地质矿产研究所所刊, 增刊, **1**, 42—47.
- 夏怀宽、张先泽, 1986. 朝阳—北票活动断裂特征和构造应力场演化. 中国地震, **2**, 4, 62—66.