

沂沭断裂带地壳结构特征:来自远震接收函数的证据

李沐洁¹, 赵俐红¹, 孔庆翰², 吕子强², 赵 硕¹

(1. 山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590;

2. 辽宁工程技术大学 矿业学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 沂沭断裂带的地壳厚度和泊松比是理解该区构造演化和深部物质结构的重要依据。本研究收集沂沭断裂带 50 个固定台站所记录的远震事件数据, 应用 P 波接收函数 $H-\kappa$ 叠加扫描方法, 分析研究区台站地壳厚度和泊松比特征。结果表明: 研究区地壳厚度 29.8~35.2 km, 平均厚度 32.8 km, 以沂沭断裂带为界, 具有自西北向东南减薄的趋势; 泊松比为 0.20~0.31, 平均 0.25, 表现出明显的分区特性, 位于沂沭断裂带内的台站泊松比明显高于附近地区, 该分布特征与研究区的地壳物质组成有关; 沂沭断裂带两侧构造单元的地壳结构特征存在明显的差异性, 说明沂沭断裂带对不同构造单元具有明显的分割效应。

关键词: 沂沭断裂带; 接收函数; 地壳厚度; 泊松比

中图分类号: P631

文献标志码: A

Crustal structure in Yishu fault zone: Evidence from teleseismic receiver functions

LI Mujie¹, ZHAO Lihong¹, KONG Qinghan², LÜ Ziqiang², ZHAO Shuo¹

(1. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;

2. College of Mining, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: The distribution of crust thickness and Poisson's ratio in the Yishu fault zone is an important basis for understanding the tectonic evolution and deep material structure in this area. In this article, the data of teleseismic events recorded by 50 fixed stations in the Yishu fault zone were collected, and the variation characteristics of crustal thickness and Poisson's ratio of the stations were analyzed by using P-wave receiver functions $H-\kappa$ superposition scanning method. The results show that the crust thickness in the study area, ranging from 29.8 to 35.2 km and with an average thickness of 32.8 km, shows a thinning trend from northwest to southeast with the Yishu fault zone as the boundary. The Poisson's ratio of the study area, ranging from 0.20 to 0.31 and with an average of 0.25, shows obvious zonal characteristics. The Poisson's ratio of the stations located in the Yishu fault zone is significantly higher than that of the nearby areas, which is closely related to the crustal composition of the study area. There are obvious differences in the crustal structure characteristics of the tectonic units on the two sides of the Yishu fault zone, indicating that the Yishu fault zone has obvious segmentation effect on different tectonic units.

Key words: Yishu fault zone; receiver functions; crustal thickness; Poisson's ratio

郯庐断裂(即郯城-庐江断裂)带是中国东部一系列北东向巨型断裂中的一条主干断裂带,自 1957 年航磁大调查被发现以来,一直是地学界关注和研究的热点,开展了一系列地球物理探测与研究,取得了显著的成果^[1]。其中沂沭断裂带位于郯庐断裂带中段,是山东省区域地质的重要分界线,被认为是郯庐断裂带最具发震

收稿日期:2022-08-17

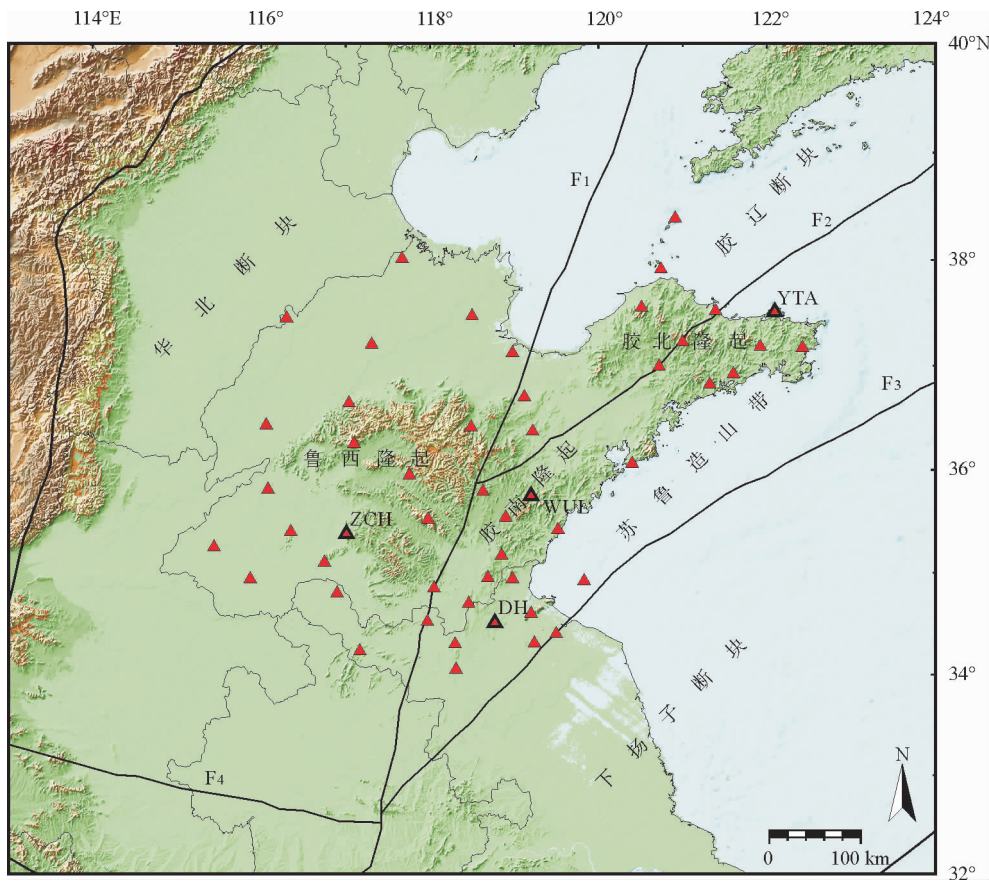
基金项目:国家重大研究计划项目(92058213);国家自然科学基金项目(41676039,41930535)

作者简介:李沐洁(1998—),女,山东烟台人,硕士研究生,主要从事地震地球物理研究. E-mail:lmj980919@163.com

赵俐红(1976—),女,浙江诸暨人,教授,主要从事岩石圈动力学、海洋地球物理和构造地质等方面的研究,本文通信作者. E-mail:skd992826@sdust.edu.cn

危险的区域。沂沭断裂带是一条巨型断裂构造带,南起郯城,经潍坊向北延至莱州湾海域,其所在的华北克拉通东部自中、新生代以来受太平洋板块俯冲作用,岩石圈发生明显减薄和破坏,而这一深部构造运动过程常伴随地壳构造形变的发生^[2]。由于地壳厚度能反映地壳生长及地球的动力学过程,且有助于认识地球的演化^[3-4]。因此开展地壳结构特征的研究对了解该区地壳的形成及演化过程具有重要的科学意义。

研究区(114°~123°E,32°~40°N)主要包括华北断块、下扬子断块、胶辽断块以及苏鲁造山带等构造单元(图1)。近年来,国内外学者主要围绕沂沭断裂带的结构特征、形成演化、成盆成矿作用等进行研究。地震、大地电磁、宽频带地震台阵和重磁等地球物理探测技术可有效揭示沂沭断裂带的深部构造特征^[5]。接收函数方法常被用于计算地壳厚度,是目前主流的探测壳幔深部结构的方法,具有不受震源干扰和传播路径影响的优势^[6]。Chen等^[7]基于波动方程的接收函数偏移成像刻画了山东中部地区东西向莫霍面与岩石圈底界面的起伏特征。苏道磊等^[8]利用鲁西隆起区28个台站接收的远震事件计算了台站下方的地壳厚度 H 和泊松比 σ ,并结合高精度P波数据对沂沭断裂带进行层析成像,从地震学角度阐述了鲁西地区及沂沭断裂带伸展构造的成因^[9]。相较于苏道磊等^[8]的研究工作,申金超等^[10]将地震台站数量增至30个,研究范围扩大为鲁西隆起、沂沭断裂带及胶南隆起,认为沿断裂方向地壳结构存在明显的分段特性。为认识山东区域的整体地壳结构特征,郑宏等^[11]共收集了52个地震台站2014—2015年远震数据,计算得到该区地壳各向异性、地壳厚度及泊松比。尽管前人在沂沭断裂带的形成演化、内部结构以及动力学成因等方面提供了丰富的地球物理信息,但多围绕局部地区的地球物理特征,对于沂沭断裂带地壳结构特征的研究尚存在不足,更缺少苏鲁地震台站数据的整合研究。为全面了解沂沭断裂带的精细地壳结构,分别在山东和江苏地区选取36个



F₁—郯城-庐江断裂;F₂—烟台-五莲断裂;F₃—淮阴-响水口断裂;F₄—寿县-定远断裂;
 红色三角形表示本研究用于H-κ叠加的台站,黑色实线表示断层

图1 沂沭断裂带及邻区地形地貌和主要构造特征

Fig. 1 Topography and main tectonic characteristics of Yishu fault zone and its adjacent areas

和 14 个台站数据进行研究,扩大了覆盖面积,并选取远震事件较为丰富的 2012—2013 年远震数据用于计算接收函数,以补充现有研究区地壳厚度和泊松比的分布,为认识沂沭断裂带及邻区的地壳结构特征、岩石性质等提供地震学证据。

1 数据和方法

本研究收集了沂沭断裂带及附近地区布设的 50 个宽频带流动台站(台站位置由图 1 中红色三角形表示)记录的 2012 年 1 月—2013 年 12 月的远震数据,采用 575 个震级 $M \geq 5.7$ 、震中距为 $30^\circ \sim 90^\circ$ 的高质量远震事件(图 2)计算接收函数。

采用时间域迭代反褶积方法提取 P 波接收函数^[12]。首先对地震波形进行预处理,包括去除线性趋势、去除均值及对波形进行 0.05~1 Hz 的 4 阶巴特沃斯滤波。然后根据地震事件的方位角将波形从 ENZ(东向、北向和垂向)分量旋转到 TRZ(切向、径向和垂向)分量。为控制地震信号的质量,计算 R 分量和 Z 分量的信噪比,并去除信噪比小于 -2 dB 的地震事件。信噪比的计算公式为

$$\gamma_{\text{SNR}} = 10 \lg \left(\frac{A_S}{A_N} \right)^2 \quad (1)$$

式中, A_S 和 A_N 分别为理论 P 波到时后 100 s 数据均方根的信号部分和噪声部分,理论 P 波到时通过 Tau_p 工具包^[13] 计算获得。在理论 P 波到达前 10 s 和到达后 120 s 截取具有高信噪比的波形进行反褶积计算。在进行时间域迭代反褶积计算时,高斯系数取 1.5,最大迭代次数取 100 次,迭代误差取 0.001。

为获取研究区最佳地壳厚度和地壳平均波速比(κ),采用 H - κ 叠加法计算地壳厚度(H)和平均波速比($\kappa = V_P/V_S$)。为提高计算效率,根据申金超等^[10]、郑宏等^[11]、曲平等^[14] 的计算经验值,将 H 和 κ 分别设为 20~50 km 和 1.6~1.9,将转换震相 P_S 、多次波震相 $P_P P_S$ 和 $P_P S_S + P_S P_S$ 的振幅加权系数分别设为 0.5、0.3 和 0.2。地壳 P 波平均速度是 H - κ 叠加扫描法获得地壳厚度和平均波速比的主要依据,结合研究区已有人工地震探测结果^[15] 将该区的 P 波平均速度设为 6.3 km/s。为获取研究区最佳地壳厚度 H 和平均波速比 κ ,首先对同一地震事件的振幅进行加权叠加,再进行 H - κ 估计,最后为验证所得结果的可靠性进行相关的误差分析。

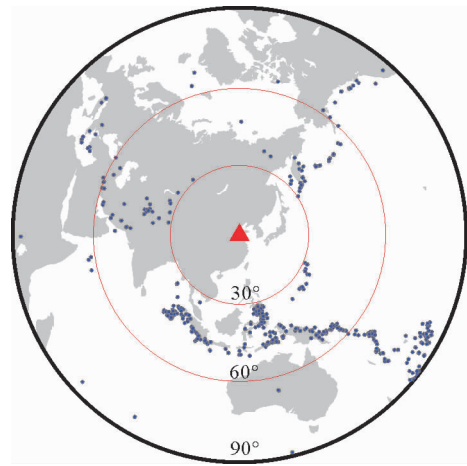


图 2 用于 H - κ 叠加的远震事件分布图

Fig. 2 Distribution of teleseismic events for H - κ stacking

2 H - κ 叠加结果

基于上述方法原理,对研究区 50 个宽频带地震台站的接收函数进行了 H - κ 叠加扫描,计算得到各台站的地壳厚度 H 与地壳平均波速比 κ 。其中 4 个台站受记录质量与数量、现场情况以及地下结构等的影响,提取的接收函数数量太少,无法判断结果的可靠性,故不采用;5 个地震台站的接收函数因波形过于杂乱或复杂以至于无法获得合理结果,也未采用。表 1 列出了研究区拟采用的 41 个宽频带地震台站的地壳厚度 H 、地壳平均波速比 κ 及泊松比 σ 等计算结果,泊松比 σ 的计算公式:^[16]

$$\sigma = \frac{\kappa^2 - 2}{2\kappa^2 - 2} \quad (2)$$

为更直观地呈现计算结果,通过对区内 41 个台站的地壳厚度 H 与泊松比 σ 进行插值计算,得到沂沭断裂带及其邻区的地壳厚度分布图(图 3)和泊松比分布图(图 4)。结果显示,研究区的地壳厚度 H 为 29.8~35.2 km,平均值 32.8 km,误差 0.89~2.14 km,平均误差 1.28 km;波速比 κ 为 1.64~1.89,平均值 1.75,

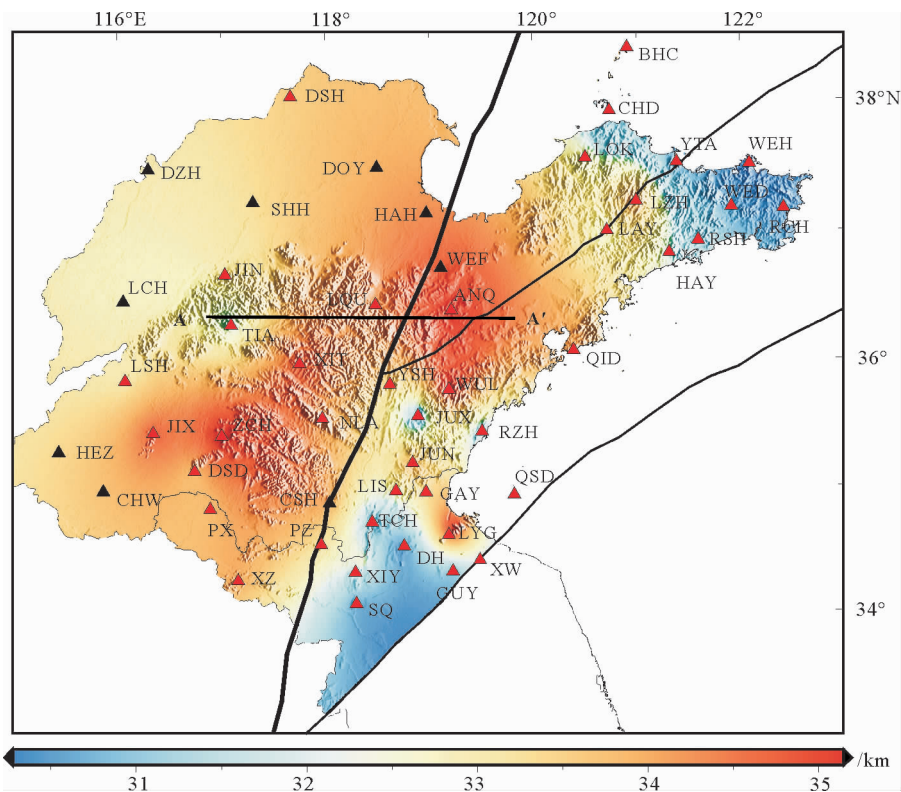
误差 0.027~0.068,平均误差 0.048;泊松比 σ 为 0.20~0.31,平均值 0.25。

表 1 研究区 41 个台站地壳厚度(H)、波速比(κ)和泊松比(σ)

Table 1 Crustal thickness, velocity ratio and Poisson's ratio of 41 stations in the study area

序号	台站	北纬/(°N)	东经/(°E)	H/km	κ	σ
1	ANQ	36.37	119.22	35.2 ± 1.30	1.73 ± 0.044	0.249
2	BHC	38.39	120.91	34.0 ± 2.14	1.67 ± 0.059	0.220
3	CHD	37.91	120.74	30.9 ± 1.33	1.81 ± 0.048	0.280
4	CSH	34.85	118.05	34.0 ± 1.04	1.75 ± 0.041	0.258
5	DSD	35.10	116.75	33.8 ± 1.16	1.74 ± 0.045	0.253
6	HAY	36.82	121.32	32.2 ± 0.99	1.75 ± 0.043	0.258
7	JIN	36.64	117.04	32.9 ± 1.70	1.76 ± 0.053	0.262
8	JIX	35.40	116.35	34.7 ± 1.02	1.73 ± 0.043	0.249
9	JUN	35.17	118.85	33.7 ± 1.27	1.78 ± 0.046	0.269
10	JUX	35.54	118.90	31.5 ± 0.98	1.89 ± 0.027	0.306
11	LAY	36.99	120.72	32.5 ± 1.07	1.78 ± 0.047	0.269
12	LOK	37.55	120.51	32.5 ± 1.57	1.71 ± 0.051	0.24
13	LQU	36.41	118.49	34.1 ± 1.06	1.75 ± 0.042	0.258
14	LSH	35.81	116.08	33.0 ± 1.33	1.79 ± 0.046	0.273
15	LZH	37.22	121.00	33.8 ± 1.27	1.71 ± 0.048	0.240
16	NLA	35.52	117.98	34.0 ± 1.12	1.73 ± 0.040	0.249
17	QID	36.06	120.40	34.0 ± 1.78	1.69 ± 0.056	0.231
18	RCH	37.17	122.42	30.5 ± 1.12	1.70 ± 0.047	0.235
19	RSH	36.92	121.60	31.7 ± 1.19	1.74 ± 0.046	0.253
20	RZH	35.42	119.52	31.8 ± 1.60	1.86 ± 0.047	0.297
21	TCH	34.70	118.46	31.3 ± 1.08	1.83 ± 0.047	0.287
22	TIA	36.25	117.10	32.1 ± 1.67	1.78 ± 0.054	0.269
23	WED	37.18	121.92	30.7 ± 0.89	1.75 ± 0.044	0.258
24	WEH	37.51	122.09	30.3 ± 1.46	1.76 ± 0.068	0.262
25	WUL	35.75	119.20	35.0 ± 1.53	1.76 ± 0.049	0.262
26	XIT	35.95	117.76	34.6 ± 1.14	1.72 ± 0.045	0.245
27	YSH	35.79	118.63	33.3 ± 1.24	1.79 ± 0.047	0.273
28	YTA	37.52	121.39	30.7 ± 1.28	1.76 ± 0.049	0.262
29	ZCH	35.38	117.01	35.2 ± 1.10	1.69 ± 0.039	0.231
30	DH	34.51	118.77	30.4 ± 0.92	1.72 ± 0.047	0.245
31	GAY	34.94	118.98	33.2 ± 1.35	1.73 ± 0.052	0.249
32	GUY	34.31	119.24	31.1 ± 1.25	1.67 ± 0.050	0.220
33	LIS	31.65	119.11	29.8 ± 1.18	1.79 ± 0.055	0.273
34	LYG	34.64	119.24	35.2 ± 1.23	1.64 ± 0.041	0.204
35	PX	34.80	116.90	33.8 ± 1.20	1.78 ± 0.050	0.269
36	PZ	34.52	117.97	33.1 ± 1.12	1.70 ± 0.044	0.235
37	QSD	34.92	119.83	30.7 ± 1.35	1.72 ± 0.067	0.245
38	SQ	34.05	118.31	30.7 ± 1.05	1.79 ± 0.048	0.273
39	XIY	34.38	118.39	32.4 ± 1.18	1.78 ± 0.049	0.269
40	XW	34.38	118.39	32.2 ± 1.29	1.72 ± 0.049	0.245
41	XZ	34.23	117.17	34.0 ± 1.25	1.76 ± 0.045	0.262

根据 H - κ 搜索叠加方法计算得到的地壳厚度 H 值(表 1),与深反射地震剖面结果^[5]和接收函数叠后偏移成像结果^[7]基本一致, H 值均介于 35 ± 5 km。根据 Chen 等^[7]采用接收函数叠后偏移成像方法获得研究区岩石圈结构剖面(剖面 A-A'位置见图 3),并将相邻台站的 H - κ 叠加结果进行对比,如图 5 所示,计算得到泰安台(TIA)、临朐台(LQU)和安丘台(ANQ)的地壳厚度分别为 32.1、34.1、35.2 km,与上述剖面结果误差小于 1 km,证明了本研究结果的可靠性。同样,将本研究结果与前人^[8-11]利用接收函数方法获得的结果进行对比分析,多数台站的观测结果接近,差值均小于 1 km,仅有 5 个台站结果差值大于 2 km。需要指出



红色三角形表示本研究用于计算的台站;黑色三角形表示未参与计算台站;A-A'为 Chen 等^[7]研究剖面

图 3 研究区地壳厚度分布图

Fig. 3 Distribution of crustal thickness of the study area

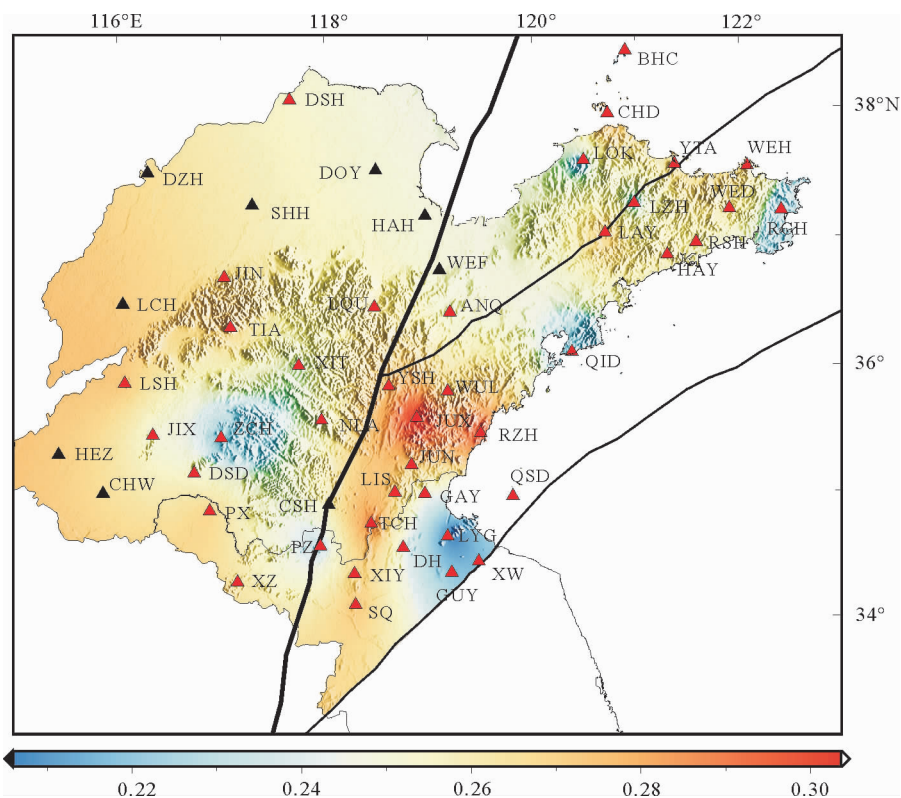
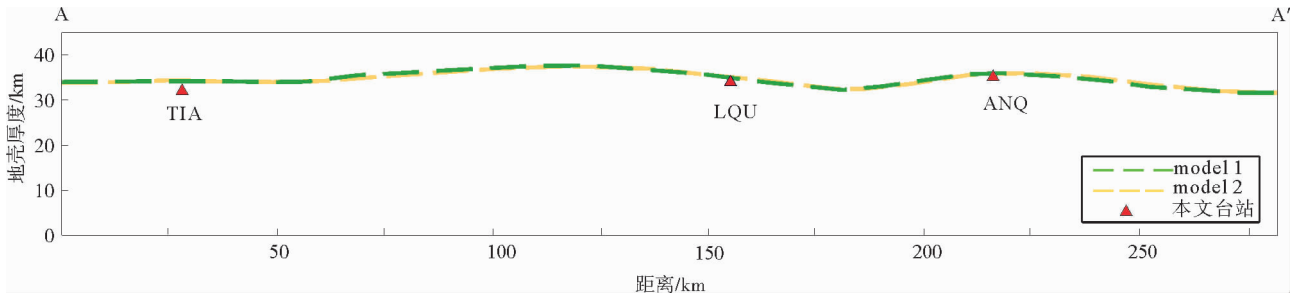


图 4 研究区泊松比分布图

Fig. 4 Poisson's ratio distribution of the study area

的是,对于差值大于 2 km 的台站,分析其接收函数记录,最终确定可靠的地壳厚度与波速比。如 TIA(泰安)台站,本研究计算得到的地壳厚度为 32.1 km,而申金超等^[10]给出的地壳厚度则为 29.9 km,选择位于鲁西泰山断块的 TIA(泰安)台站的接收函数,经计算其 P_s 转换震相与直达 P 波的时差为 4.08 s,分析认为其地壳厚度为 32.1 km 更可靠。该台站 $H-\kappa$ 分析结果与郑宏等^[11]估计的地壳厚度(32.1 km)一致。



model1、model2 均为参考 Chen 等^[7]进行的综合建模;model1 中地壳包含一个具有负速度梯度的弧形不连续面; model2 包含一个类似的不连续面,但位于上地幔 60~80 km 深处,波动幅度增强;剖面 A-A' 的位置见图 3

图 5 地壳厚度对比图

Fig. 5 Comparison of crustal thickness

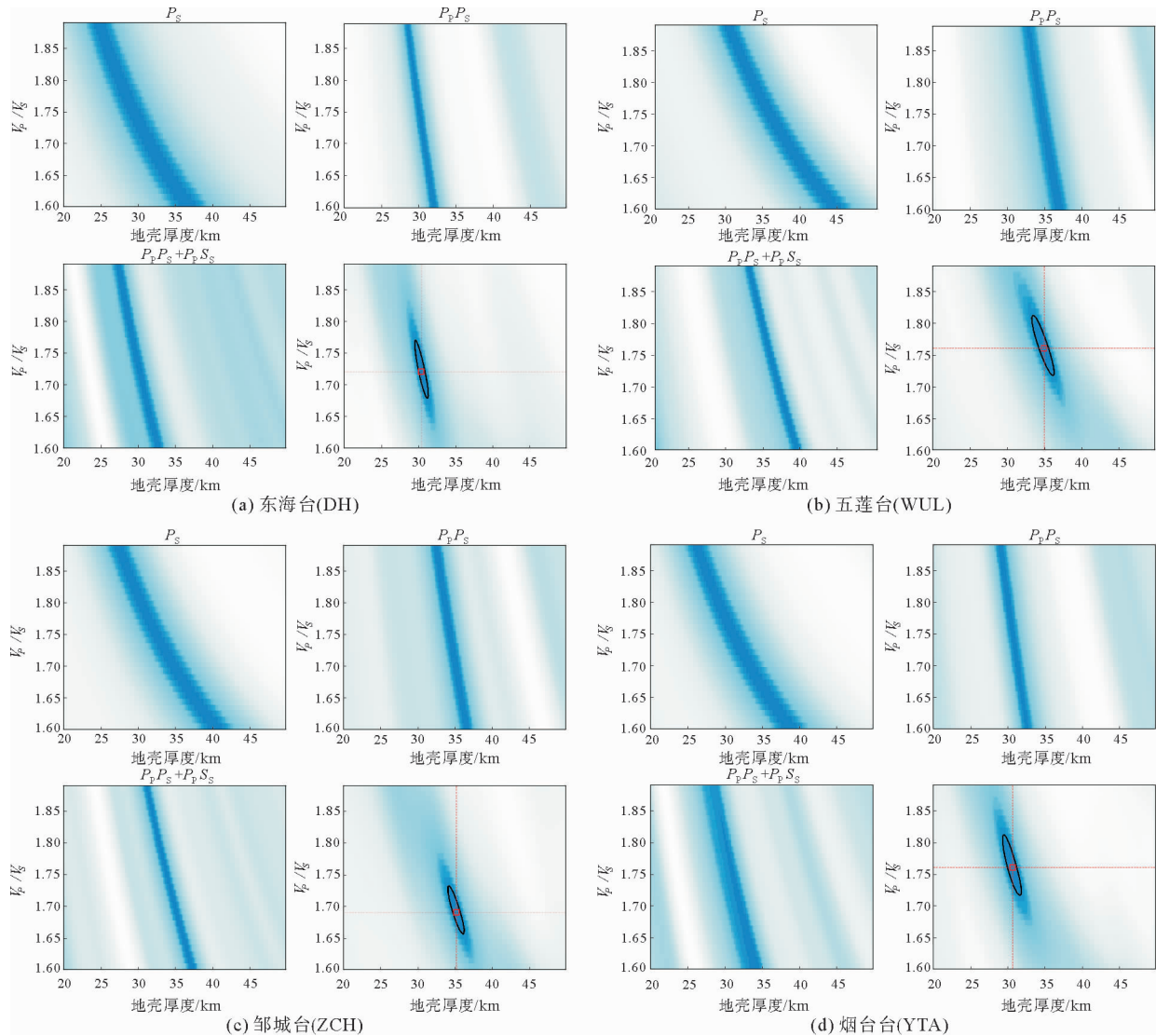
从不同构造单元中各挑选一个示例台站,分别为东海台(DH)、五莲台(WUL)、邹城台(ZCH)和烟台台(YTA),其中东海台位于胶南隆起南部,五莲台位于胶南隆起北部,邹城台位于鲁西隆起,烟台台位于胶北隆起,图中红色方框区域为最大叠加振幅,其 $H-\kappa$ 反演结果如图 6 所示。图 6(a)展示了位于苏鲁造山带的东海台(DH)的 $H-\kappa$ 叠加结果,其地壳厚度为 30.7 km,波速比为 1.72,计算得到泊松比为 0.245。该台站共获得 222 条接收函数,波形质量较好,叠加结果能清晰地展示 P_s 、 P_pP_s 与 $P_pS_s + P_sP_s$ 的震相,与之相对应的叠加振幅加权之和最大,因而获得的该台站地壳厚度值和波速比等信息较可靠。同样,位于胶南隆起的五莲台(WUL)和鲁西隆起的邹城台(ZCH)震相叠加清晰,叠加结果分别如图 6(b)、6(c)所示。图 6(d)为地处胶北隆起的烟台台(YTA) $H-\kappa$ 叠加结果,其平均地壳厚度 30.7 km,波速比 1.76,计算得到泊松比为 0.262,共获得 231 条接收函数。虽然该台站接收函数中 $P_pS_s + P_sP_s$ 震相相对较弱,但 3 种震相叠加振幅的最大值比较突出,所获得的信息仍具有一定可靠性。基于 $H-\kappa$ 方法得到的地壳厚度、平均波速比以及泊松比,再根据各台站地壳厚度与泊松比的插值得到研究区地壳厚度与平均泊松比分布图,如图 4、图 5 所示。

3 结果分析与讨论

3.1 地壳厚度特征

由图 3 可知,沂沭断裂带及其邻区地壳厚度为 29.8~35.2 km,与中国大陆地壳平均厚度 37 km 相比^[17],研究区地壳厚度较薄,以沂沭断裂带为界,东西两侧地壳厚度存在差异,且具有自西北向东南减薄的趋势,以鲁西隆起区地壳厚度最大,苏鲁造山带块体最小,胶辽断块居中。

根据区域地质构造将研究区在沂沭断裂带东西两侧划分为不同的构造单元,西侧为鲁西隆起,东侧以淮阴-响水口断裂为界,北部为胶辽,南部为苏鲁。沂沭断裂带西侧的鲁西隆起区地壳厚度最大,平均地壳厚度为 34 km,泰山周边地区地壳厚度最小值为 32.1 km,由于该区域发生过较强烈的岩浆活动,铁镁质岩浆的侵入导致脆性矿物成为中上地壳的主要成分,鲁西隆起区的地壳厚度比周围其他区域偏高^[14]。而沂沭断裂带东侧地区的平均地壳厚度为 32 km,并且胶北地区各台站地壳厚度存在较大差异,其中胶北隆起东部平均地壳厚度为 30.5 km,结合梁文栋^[18]利用地球化学数据获得的山东东部近海地区晚中生代以来发生的火山岩浆活动及其演化结果,认为胶北地区的幔源岩浆底侵加热导致了该区地壳熔融,从而使得胶北隆起的近海地壳厚度减薄。区内胶南隆起的平均地壳厚度仅为 29 km,地壳厚度与地表地形呈良好的对应关系,即地壳在山脉隆起区较厚,在平原地区较薄。

图6 研究区部分台站 $H-\kappa$ 反演结果Fig. 6 $H-\kappa$ inversion results of some stations of the study area

3.2 泊松比分布

Christensen^[16]认为泊松比对地壳岩石的组成和二氧化硅含量相对敏感。地壳中的二氧化硅含量会影响泊松比,镁铁质-超镁铁质或部分熔融也可增加泊松比。基于泊松比随矿物含量的变化关系,学者们根据泊松比的大小将地壳组成划分为低泊松比($\sigma < 0.26$)、中泊松比($0.26 \leq \sigma \leq 0.28$)和高泊松比($\sigma > 0.28$)3种类型,低泊松比可能与地壳中的高长英质含量有关,中高泊松比反映地壳中的铁镁质成分,而高泊松比则表示地壳存在部分熔融物质^[17]。因此,相比于P波或者S波速度,泊松比更能清楚地描述地壳的组成成分。

由图4可以看出,研究区各台站地壳泊松比介于0.2~0.31之间,平均泊松比为0.25,略低于全球地壳泊松比的平均值0.27^[19]。低值区域主要分布在鲁西隆起南部和苏鲁造山带东部及南部地区,泊松比均小于0.24,表明该区域地壳属于长英质组分。而沂沭断裂带中段以及鲁西隆起北部台站的地壳平均泊松比高于周边地区,泊松比也较高(平均0.26),说明该区地壳富含铁镁质成分,可能与苏鲁造山带存在大量高压、超高压变质岩有关。莒县台(JUX)泊松比达0.3以上,切割较深,泊松比高值可能由深大断裂导致,表明地壳已发生部分熔融^[17]。结合有关地质背景研究推测,苏鲁造山带在板块构造上可能发生过2次俯冲碰撞作用,大量花岗质岩浆的侵入和局部火山喷发导致大规模高速、高密度超高压变质岩返回地壳,形成大量泊松比较高的基性岩和超基性岩^[8-10]。

3.3 沂沭断裂带地壳结构差异性

沂沭断裂带地壳厚度(图3)、泊松比(图4)均存在较强的不均匀性和明显的分段性特征:沂沭断裂带中段存在明显的地壳减薄和高泊松比特征;莒县台(JUX)以北区段表现为高地壳厚度、中低泊松比特征。沂沭断裂带西侧平均地壳厚度和平均泊松比分别为34 km和0.25,东侧则分别为32 km和0.26,存在明显差异。

沂沭断裂带西侧的鲁西断块地壳厚度呈北薄南厚特征,泊松比则呈北高南低特征。由于鲁西隆起早白垩世岩浆活动强烈^[20],且张尚坤等^[5]的深反射地震剖面结构显示北部泰山及其周边地区的莫霍面呈弧形上拱特征,因此推测该区地壳厚度较薄是由地幔热流上涌造成的。地幔热侵蚀作用引起的地壳部分熔融和铁镁质岩浆侵入导致泊松比升高,因此该构造单元北部地壳厚度与泊松比呈负相关关系。而鲁西隆起的南部区域地壳厚度相对较大,泊松比相对较小。基于曲平等^[14]偏移成像结果和已有研究证据表明,该区曾遭受较强烈的拉伸作用,导致下地壳明显减薄及中上地壳泊松比较低。另外,伴随华北地区岩石圈的减薄,鲁西隆起南部地区下地壳也随之减薄,引起岩石圈折沉^[8]。因此,鲁西隆起南部地区的泊松比明显降低,鲁西隆起南北两段的泊松比存在明显差异。

沂沭断裂带东侧胶南隆起北部地壳厚度与泊松比呈负相关关系,与鲁西隆起南部地区相似,均由中上地壳增厚、下地壳拉伸减薄所致。尽管胶南隆起南部和苏鲁造山带的地壳厚度相对较小,但泊松比增大,可能与区内广泛分布的超高压变质岩体有关^[11]。另外,地壳厚度及泊松比的差异也表明沂沭断裂带及大别-苏鲁造山带的地壳结构不同。

4 结论

为认识沂沭断裂带不同构造单元的深部结构特征及差异性,选取研究区50个固定地震台站的数据,筛选41个台站的远震P波接收函数进行 $H-\kappa$ 叠加扫描计算,得到地壳厚度和泊松比的分布特征。

1) 沂沭断裂带地壳厚度呈西北高东南低的特点。沂沭断裂带西侧的鲁西隆起平均地壳厚度为34 km,东侧胶辽断块与苏鲁造山带较小,为32 km,该结果与区域地形特征一致。研究区泊松比呈明显的分区性,沂沭断裂带内台站的泊松比明显高于其周围地区,表明断裂带内可能含有较高的铁镁质成分或地壳存在部分熔融现象。

2) 沂沭断裂带的地壳厚度及泊松比呈明显的分段性。沂沭断裂带中段存在地壳减薄和高泊松比现象,为岩石圈强烈减薄带和壳幔作用带。胶南隆起的地壳厚度也相对较薄,且胶南地块的泊松比高低相间、变化复杂,反映该区地壳深部活动强烈。

3) 沂沭断裂带两侧的地壳结构存在明显差异。鲁西隆起北部地壳厚度与泊松比呈负相关关系,可能与地幔热流上涌和铁镁质岩浆的侵入有关,但南部却与断裂带以东的胶南隆起北部相似,推测由中上地壳增厚、下地壳拉伸减薄所致。胶南隆起南部和苏鲁造山带的地壳厚度与泊松比呈负相关关系,是由区内广泛分布的超高压变质岩体所致。

参考文献:

- [1] 梁光河. 郯庐断裂带的几个关键问题探讨[J]. 黄金科学技术, 2018, 26(5): 543-558.
LIANG Guanghe. Discussion on several key problems of the Tanlu fault[J]. Gold Science and Technology, 2018, 26(5): 543-558.
- [2] 朱日祥, 徐义刚, 朱光, 等. 华北克拉通破坏[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(8): 1135-1159.
ZHU Rixiang, XU Yigang, ZHU Guang, et al. Destruction of the North China Craton[J]. Science China Earth Science, 2012, 42(8): 1135-1159.
- [3] YAO Z X, ERIC S, WANG C Y, et al. Asthenospheric upwelling beneath northeastern margin of Ordos Block: Constraints from Rayleigh surface-wave tomography[J/OL]. Tectonophysics, 2020, 790. DOI: 10.1016/j.tecto.2020.228548.
- [4] 顾勤平, 李大虎, 丁志峰, 等. 利用接收函数研究郯庐断裂带鲁苏皖段及邻区地壳结构特征[J]. 地球物理学报, 2022, 65(9): 3280-3296.
GU Qiping, LI Dahu, DING Zhifeng, et al. Crustal structure characteristics beneath the Shandong-Jiangsu-Anhui segment of the Tan-Lu fault zone and its adjacent regions using receiver functions[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2022, 65(9):

3280-3296.

- [5] 张尚坤,罗文强,于学峰,等.基于深反射地震剖面的沂沭断裂带岩石圈精细结构[J].地质学报,2021,95(11):3192-3204.
ZHANG Shangkun,LUO Wenqiang,YU Xuefeng,et al.Research on fine lithospheric structure of Yishu fault zone based on deep reflection seismic profile[J].Acta Geologica Sinica,2021,95(11):3192-3204.
- [6] WHANG C Y,SANDVOL E,ZHU L,et al.Lateral variation of crustal structure in the Ordos block and surrounding regions,North China,and its tectonic implications[J].Earth and Planetary Science Letters,2014,387:198-211.
- [7] CHEN L,ZHENG T Y,XU W W.A thinned lithospheric image of the Tanlu Fault Zone, eastern China; Constructed from wave equation based receiver function migration[J/OL].Journal of Geophysical Research; Solid Earth,2006,111(B9).DOI: 10.1029/2005JB003974.
- [8] 苏道磊,吴时国,申金超,等.鲁西隆起地壳厚度和泊松比及其地质意义[J].地球物理学进展,2015,30(6):2551-2557.
SU Daolei,WU Shiguo,SHEN Jinchao,et al.The crustal thickness and Poisson's ratio beneath the Luxi uplift area and its geological significance[J].Progress in Geophysics,2015,30(6):2551-2557.
- [9] 苏道磊.沂沭断裂带及邻区地壳三维结构与界面反演及地震活动性[D].青岛:中国科学院大学(中国科学院海洋研究所), 2015.
SU Daolei.Inversion of crustal 3-d structure and seismic activity of Yishu fault zone and adjacent areas[D].Qingdao: University of Chinese Academy of Sciences(Institute of Oceanography,Chinese Academy of Sciences),2015.
- [10] 申金超,张斌,苏道磊,等.鲁西隆起、沂沭断裂带及胶南隆起区域地壳厚度、泊松比分析[J].地震研究,2016,39(2):246-254.
SHEN Jinchao,ZHANG Bin,SU Daolei,et al.Analysis on crustal thickness and Poisson's ratio beneath area of Luxi Uplift, Yishu fault and Jiaonan uplift[J].Journal of Seismological Research,2016,39(2):246-254.
- [11] 郑宏,范建柯,李翠琳,等.山东地区各向异性、地壳厚度及泊松比分布特征[J].地球物理学进展,2021,36(5):1905-1915.
ZHENG Hong,FAN Jianke,LI Cuilin,et al.Characteristics of crustal anisotropy,thickness and Poisson's ratio in Shandong region[J].Progress in Geophysics,2021,36(5):1905-1915.
- [12] XU M J,HUANG H,HUANG Z C,et al.Insight into the subducted Indian slab and origin of the Tengehong volcano in SE Tibet from receiver functions analysis[J].Earth and Planetary Science Letters,2018,482:567-579.
- [13] CROTWELL H P,OWENS T J.The TauP toolkit; Flexible seismic travel-time and ray-path utilities[R].Columbia: University of South Carolina,1999:154-160.
- [14] 曲平,吕杰,郭震,等.山东地区地壳及上地幔结构研究[J].北京大学学报(自然科学版),2020,56(4):649-658.
QU Ping,LÜ Jie,GUO Zhen,et al.Study on crust and upper mantle structure in Shandong area[J].Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis,2020,56(4):649-658.
- [15] 林吉焱,嘉世旭,段永红,等.郯庐断裂带中段东西两侧地壳结构差异及构造意义研究[J].大地测量与地球动力学,2014, 34(5):50-54.
LIN Jiyao,JIA Shixu,DUAN Yonghong,et al.Differences of crustal structures and tectonic significance on both sides of central Tanlu fault zone[J].Journal of Geodesy and Geodynamics,2014,34(5):50-54.
- [16] CHRISTENSEN N I. Poisson' ratio and crustal seismology[J].Journal of Geophysical Research; Solid Earth,1996,101 (B₂):3139-3156.
- [17] 危自根,储日升,陈凌,等.复杂地壳接收函数 $H-\kappa$ 叠加:以安纳托利亚板块为例[J].地球物理学报,2016,59(11):4048-4062.
WEI Zigen,CHU Risheng,CHEN Ling,et al.Analysis of $H-\kappa$ stacking of receiver functions beneath crust with complex structure: Taking the Anatolia Plate as an example[J].Chinese Journal of Geophysics,2016,59(11):4048-4062.
- [18] 梁文栋.山东东部近海晚中生代火山-岩浆系统演化特征:以五莲及附近地区为例[D].青岛:中国石油大学(华东),2016.
LIANG Wendong. The evolution of Late Mesozoic volcanic-magmatic system in the offshore of eastern Shandong Province; A case study of Wulian and Vicinity[D].Qingdao:China University of Petroleum(East China),2016.
- [19] CAI Y,WU J P,WANG W L.Crustal thickness and Poisson's ratio in Tianshan region from receiver functions[J].Pure and Applied Geophysics,2021,178:3529-3542.
- [20] 曹光跃.山东中生代青山群火山岩的年代学及地球化学研究[D].北京:中国地质科学院,2018.
CAO Guangyue.Geochemistry and geochronology of the Mesozoic Qingshan group volcanic rocks in Shandong Province [D].Beijing:Chinese Academy of Geological Science,2018.