

# 青藏高原地区地壳升降运动的分析\*

吕梓龄 庄 真\*\* 傅竹武 胡家富

(中国昆明 650091 云南大学地球科学系)

宋仲和 陈国英 安昌强 陈立华

(中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所)

## 摘 要

通过青藏高原及其邻区地壳、上地幔三维 S 波速度的分布, 换算出不同深度的压强分布规律; 结合岩石类型, 地震及地壳相对运动进行综合分析, 探讨青藏高原地区地壳上地幔结构, 并针对人们关注的问题(青藏高原隆起的驱动力是什么? 它还会上升多高? 它会不会突然下落?)做了讨论.

**关键词** 剪切波速度; 密度; 相对压强; 升降运动

## 1 前 言

青藏高原约占我国陆地面积的四分之一, 隆起的平均海拔高程为 4.1 km, 面积为  $230 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 是世界上近百万年来隆起的巨大高原, 是研究大陆内部地壳相对运动机制最理想的地区, 它受到国内外地学工作者的广泛重视.

近年来我国学者考察并研究了青藏高原的隆起, 青藏高原与印度板块缝合带的关系, 依据大量科学考察的结果, 提出了不同的构造模式, 如: 俯冲、仰冲、碰撞-聚合、拼合增生等演化模式.

本文依据三维 S 波速度的分布, 换算不同深度的压强分布规律, 探讨青藏高原隆起的驱动力.

## 2 计算与分析

### 2.1 青藏高原及邻区 S 波速度的三维分布

根据庄真等(1992)的结果, 得青藏高原如图 1 所示的 14 个分格组成, 规定 74, 75,

\* 国家自然科学基金资助课题.

1990 年 11 月 27 日收到初稿, 1993 年 3 月 12 日决定采用.

\*\* 现在地址: 福建省厦门市科学技术情报研究所.

76, 92 号分格为青藏高原西端; 77, 78, 93, 94, 95 号分格为青藏高原中西部; 79, 80, 96, 97 号分格为青藏高原东部; 81 号分格为青藏高原东北端. 青藏高原南面的 108, 109, 110, 111 号分格为恒河平原北部, 该区  $AA'$ ,  $BB'$ ,  $CC'$  所示的三条剪切波速度垂直断面如图 2 所示.

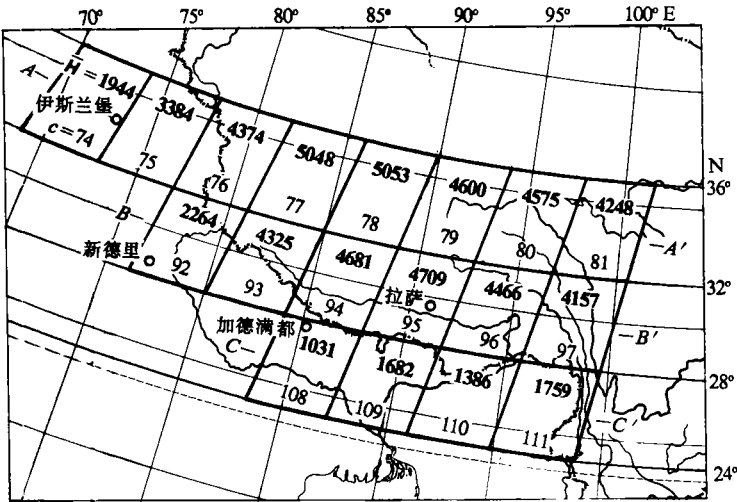


图 1 青藏高原及邻近地区平均高程  $\bar{H}$ (m), 分格号  $C$  及垂直断面位置图

各分格的平均高程是根据全球  $1^\circ \times 1^\circ$  的平均高程数据, 按分格内包含平均高程小块面积的比例加权计算得到.

由图 2 横贯青藏高原的  $AA'$  及  $BB'$  剖面看出, 青藏高原内部存在一个 S 波速度, 由 4.1—4.3 km/s 的速度增大极快的梯度带, 该带连续性好, 较为平缓, 是青藏高原地壳的下界面, 也称莫氏界面. 该界面西部深度为  $70 \pm 7$  km, 东部  $65 \pm 7$  km, 在地壳中, 西部 S 波平均速度为 3.55 km/s, 东部为 3.62 km/s. 在  $120 \pm 10$  km 深度, 存在 S 波速度随深度增加而减小的转变面, 该面定为岩石圈底面, 它与莫氏界面组成上地幔顶盖, 青藏高原上地幔

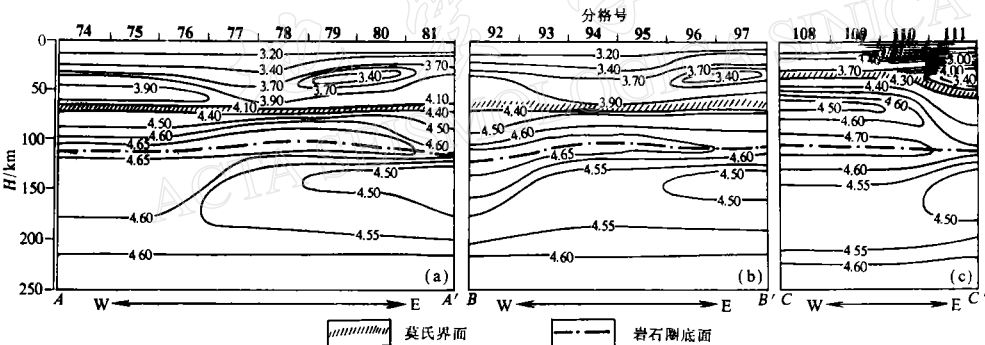


图 2 青藏高原及邻近地区剪切波速度垂直剖面

顶盖 S 波平均速度西部为 4.63 km/s,东部为 4.61 km/s. 青藏高原西端,50 km 深度附近有一减小较弱的低速层,地壳中 S 波等速界面上隆,地壳下等速界面明显下凹. 青藏高原中西部是青藏高原平均高程最高的地区,地壳中等速界面明显下凹,地壳较厚,上地幔顶盖较薄,地幔中有较厚的低速层. 青藏高原东部地壳中存在明显的低速层,地幔中也存在明显巨厚的低速层,是巨大岩浆囊存在和岩浆上升区的重要依据. 青藏高原东北端地壳较薄,上地幔顶盖较厚,地幔内低速层巨厚.

在 CC' 断面中,恒河平原北部的 108,109 及 110 分格,地壳厚度在  $34\pm 2$  km 深度,仅为北部青藏高原地壳厚度之半. 地壳内 S 波平均速度为 3.45 km/s,上地幔顶盖厚度为  $86\pm 10$  km, S 波平均速度为 4.63 km/s,在 55—83 km 深度,有一明显的低速层. 111 号分格位于滇西缅北地区,在上地壳和下地壳内各有一明显的低速层,地壳厚度在  $50\pm 4$  km,上地幔顶盖内 S 波平均速度为 4.42 km/s,是三条断面中,上地幔顶盖速度最小的分格. 地幔内存在巨厚的低速层,是岩浆活动上升最为激烈的依据.

2.2 岩石剪切波速度  $v_s$  与密度  $\rho$  的关系

岩石剪切波速度  $v_s$  与密度  $\rho$ ,与岩石种类、温度、压力有一定关系,但在同样的温度、压力下,岩石剪切波速度  $v_s$  随密度  $\rho$  的增大,而有增大的趋势,按布伦(1975)表 16.1 中浅部  $v_s$  与  $\rho$  的相关关系,通过平滑内插得如下结果(表 1).

表 1 剪切波速度( $v_s$ )与密度( $\rho$ )换算表

$v_s(\text{km/s})$	2.5	2.6	2.7	2.8	2.91	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
$\rho(\text{g/cm}^3)$	2.50	2.53	2.56	2.59	2.62	2.65	2.68	2.71	2.74	2.77	2.81	2.86	2.91
$v_s(\text{km/s})$	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0
$\rho(\text{g/cm}^3)$	2.96	3.00	3.05	3.10	3.15	3.20	3.24	3.28	3.31	3.35	3.39	3.43	3.48

海平面至地面间因缺乏系统的剪切波速度资料,其密度采用  $2.6\text{ g/cm}^3$  进行计算.

2.3 不同深度绝对重力值  $g$  的确定

重力值  $g$  随地面位置的不同而有改变,随高度和深度的变化也很复杂,但在同一地区差别不大,它对压强计算虽有一定影响,但影响不大. 本文采用国际正常重力公式的中间值作为海平面上的绝对重力值. 海平面以上的绝对重力值,采用布格校正系数,每上升 1 km,减小  $0.2\text{ cm/s}^2$ . 海平面以下的绝对重力值,考虑球体内部的布格校正系数,每降低 1 km,增加  $0.1\text{ cm/s}^2$ ,由此得出表 2 的结果.

表 2 地球内部不同深度岩石密度及重力值

深度(km)	-5	0	10	24	40	60	85	115	150	185	220	260	300
重力 $g(\text{m/s}^2)$	9.80	9.81	9.82	9.83	9.84	9.85	9.86	9.87	9.88	9.89	9.90	9.91	9.92
密度( $\text{g/cm}^3$ )	2.60	2.65	2.67	2.80	3.32	3.33	3.34	3.35	3.36	3.37	3.38	3.39	3.40

2.4 不同深度压强值的计算

由于大气压强仅相当于 4 m 厚的岩层压强,对于岩层内部的压强影响不大,因而不考虑大气压强的影响.

计算不同深度的压强,采用该深度以上各岩层的厚度,用各层的平均密度与各层中心的绝对重力值的乘积相加而得.

如从地表至某深度  $h_i$  分为  $\Delta h_1, \Delta h_2, \dots, \Delta h_i$  层, 各层的平均密度为  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_i$ , 各层中心处的绝对重力值为  $g_1, g_2, \dots, g_i$ , 则可得到  $h_i$  深度的压强  $p_i$  为

$$p_i = \sum_{j=1}^i \rho_j g_j \Delta h_j$$

(1)

当  $i$  改变时, 可得到不同深度的压强. 计算时分层越细, 各层平均密度越准确,  $g_i$  值越准确, 压强值越可靠.

相对压强值的计算方法, 由于相对压强是地壳相互垂直运动的主要驱动力, 因而如计算青藏高原  $AA'$  断面的相对压强, 可将不同分格, 不同深度的速度  $v_s$  值列于表 3; 并按照表 1 的关系, 给出不同分格不同深度的密度值也列于表 3, 然后应用式(1)算出不同深度的压强, 对同一深度不同分格的压强取平均值, 从同一深度不同分格的压强减去该深度的平均压强, 即为相对压强, 如表 4 所示.

表 3 青藏高原  $AA'$  断面  $v_s$  与  $\rho$  值表

$S_d$ (km)	分格中不同深度的 $v_s$ (km/s)							分格中不同深度的 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )						
	74—75	76	77	78	79	80	81	74—75	76	77	78	79	80	81
	2.664*	4.374	5.048	5.053	4.600	4.575	4.248							
—5	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
0														
5	3.01	2.98	2.98	3.10	2.64	2.67	2.97	2.65	2.64	2.64	2.68	2.53	2.55	2.64
20	3.19	3.20	3.16	3.19	3.43	3.45	3.41	2.71	2.71	2.70	2.71	2.78	2.79	2.77
30	3.38	3.37	3.30	3.23	3.85	3.83	3.75	2.76	2.76	2.74	2.72	2.98	2.97	2.94
40	3.90	3.86	3.61	3.63	3.33	3.36	3.98	3.00	2.98	2.87	2.88	2.75	2.76	3.04
50	3.92	3.90	3.70	3.75	3.80	3.83	4.08	3.01	3.00	2.91	2.94	2.96	2.97	3.09
65	3.84	3.85	3.90	3.90	3.98	3.99	4.10	2.98	2.98	3.00	3.00	3.04	3.05	3.10
80	4.40	4.42	4.40	4.40	4.56	4.56	4.45	3.24	3.25	3.24	3.24	3.30	3.30	3.26
100	4.54	4.56	4.60	4.63	4.65	4.64	4.52	3.29	3.30	3.31	3.32	3.33	3.33	3.29
120	4.70	4.71	4.69	4.68	4.65	4.64	4.57	3.35	3.35	3.35	3.34	3.33	3.33	3.30
140	4.63	4.63	4.53	4.53	4.49	4.48	4.43	3.32	3.32	3.29	3.29	3.28	3.27	3.25
170	4.63	4.63	4.52	4.53	4.49	4.48	4.47	3.32	3.32	3.29	3.29	3.28	3.27	3.27
200	4.59	4.60	4.55	4.56	4.53	4.53	4.53	3.31	3.31	3.30	3.30	3.29	3.29	3.29
230	4.59	4.60	4.59	4.60	4.59	4.59	4.58	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.30
260	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.67	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34
300	4.74	4.74	4.73	4.74	4.74	4.74	4.74	3.37	3.37	3.36	3.37	3.37	3.37	3.37

注:  $S_d$  为底面深度; \* 为分格平均海拔高度.

应用同样方法对  $BB'$  断面的绝对压强和相对压强值列于表 5、表 6. 应用表 4 和表 6 即可制作  $AA'$  断面及  $BB'$  断面的相对压强图, 由于压强增大的地区存在下降力, 为了使相对压强图和地层升降运动比较直观, 选择相对压强增大的方向垂直向下, 如图 3、图 4 所示.

2.5 青藏高原地区  $AA'$  及  $BB'$  断面相对压强图的分析

由表 4 及表 6 中平均压强值看出,  $AA'$  断面不同深度的平均压强均略大于  $BB'$  断面相应深度的平均压强, 这说明藏南上升力略大于藏北上升力.

由图 3 看出, 74, 75 分格自浅至深部均存在极强的上升力. 76, 77, 78 分格, 浅部有极强的下降力, 50 km 以下转为上升力, 仅 76 分格在 140 km 以下出现下降力. 79, 80, 81 分格, 自浅至深均存在下降力, 其中 81 分格下降力特强.

由图 4 看出, 92 分格浅部有上升力, 65 km 以下, 上升力减弱. 93, 94, 95 分格, 浅部存在下降力, 但 50 km 以下出现上升力. 96, 97 分格自浅至深均存在下降力.

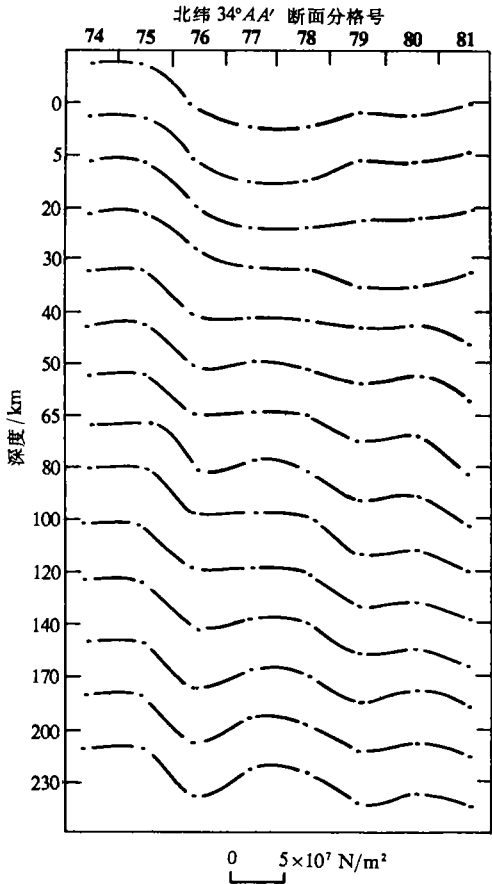


图 3 青藏高原 AA' 断面相对压强图

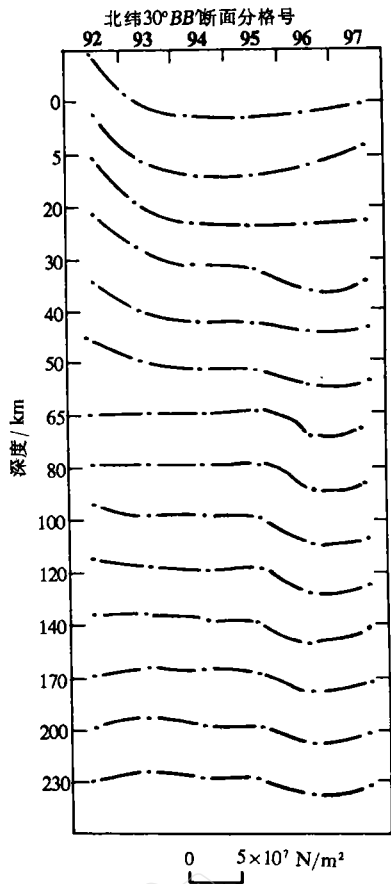


图 4 青藏高原 BB' 断面相对压强图

2.6 青藏高原及邻区断面压强图的制作和分析

为了求得青藏高原 4 个分区的相对压强特征, 并求出青藏高原整体与邻近地区不同深度的相对压强图. 利用不同深度压强值的计算方法, 依据图 5 可得出表 7 的结果, 绘于图 6, 由图 6 分析可得以下结论.

(1) 青藏高原和邻区相比, 浅部具有极强的下降力, 但到青藏高原地壳底部, 巨厚的低密度地壳, 不但抵消了巨厚高原多余的压力, 而且还出现了巨大的上升力, 其中西端上升力最强. 依据 65—200 km 平均压强计算, 上升力可使西端上升 1.4 km, 中西部地区上升 0.94 km, 东部地区上升 0.19 km, 东北端下降 0.45 km, 平均能使青藏高原上升 0.76 km. 因而, 可以预测青藏高原仍有不断上升的趋势, 青藏高原的上升力, 主要来自青藏高原下面巨厚的低密度层.

(2) 根据珠穆朗玛峰上升高度的分析, 青藏高原中西部地区上升高度为 0.94 km. 但由珠穆朗玛峰所在的 94 分格分析, 该分格上升力相对青藏高原而言能使该分格上升

0.15 km, 相对邻近地区可上升 0.91 km, 略小于中西部地区的上升高度. 由此预测, 珠穆朗玛峰上升的极限高度为 9.76 km.

(3) 关于珠穆朗玛峰能否出现下落的问题, 曾有人分析珠穆朗玛峰附近的重力异常, 认为围绕珠峰附近有  $110 \times 10^{-3} \text{cm/s}^2$  的均衡重力异常, 因而认为珠穆朗玛峰附近应有较

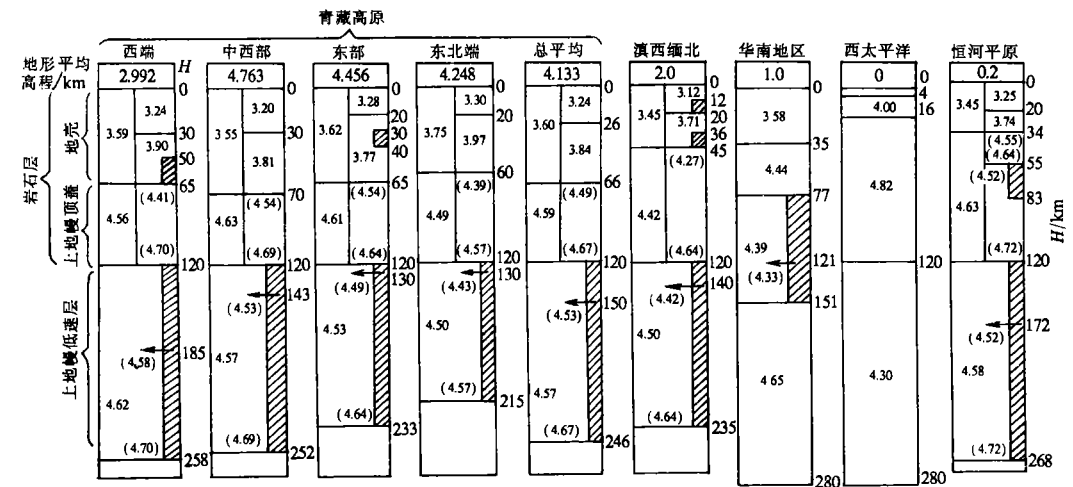


图 5 剪切波速度的分区特征, 阴影表示低速层, 单层的速度带括号, 多层的加权平均速度不带括号, 箭头指示最低速度层出现的位置, 有效深度为 170 km

表 4 青藏高原 AA' 断面压强及相对压强值表

$S_d$ (km)	$\Delta H$ (km)	$d_m$ (km)	$g$ ( $\text{m/s}^2$ )	不同深度压强 $p(10^6\text{N/m}^2)$								$\bar{p}$ 74—81	不同深度相对压强 $\Delta p(10^6\text{N/m}^2)$							
				74—81	76	77	78	79	80	81	74—81		74—75	76	77	78	79	80	81	
—5	5	—2.5	9.8050																	
0	0	0	9.8100	68	112	129	129	117	117	108	106	—38	6	23	23	11	11	2		
5	5	2.5	9.8125	198	242	259	260	241	242	238	235	—37	7	24	25	6	7	3		
20	15	12.5	9.8218	597	641	657	659	651	653	646	638	—41	3	19	21	13	15	8		
30	10	25.0	9.8306	868	912	926	926	944	945	935	916	—48	—4	10	10	28	29	19		
40	10	35.0	9.8369	1163	1205	1208	1209	1215	1217	1234	1202	—39	3	6	7	13	15	32		
50	10	45.0	9.8425	1459	1500	1494	1498	1516	1509	1538	1497	—38	3	—3	1	19	12	41		
65	15	57.5	9.8488	1899	1940	1937	1941	1965	1960	1996	1942	—43	—2	—5	—1	23	18	54		
80	15	72.5	9.8550	2378	2420	2416	2420	2453	2448	2478	2424	—46	—4	—8	—4	29	24	54		
100	20	90.0	9.8617	3027	3071	3069	3075	3110	3105	3127	3077	—50	—6	—8	—2	33	28	50		
120	20	110.0	8.8683	3688	3732	3730	3734	3767	3762	3778	3735	—47	—3	—5	—1	32	27	43		
140	20	130.0	9.8743	4344	4388	4380	4384	4414	4408	4420	4386	—42	2	—6	—2	28	22	34		
170	30	155.0	9.8414	5328	5372	5355	5359	5386	5377	5389	5362	—34	10	—7	—3	24	15	27		
200	30	185.0	9.8900	6310	6354	6334	6338	6362	6353	6365	6341	—31	13	—7	—3	21	12	24		
230	30	215.0	9.8986	7293	7337	7317	7321	7345	7336	7345	7324	—31	13	—7	—3	21	12	21		
260	30	245.0	9.9063	8286	8300	8310	8314	8338	8329	8338	8317	—31	13	—7	—3	21	12	21		
300	40	280.0	9.9150	9623	9667	9643	9651	9675	9666	9675	9653	—30	14	—10	—2	22	13	22		

注:  $S_d$  为底面深度,  $\Delta H$  为分层厚度,  $d_m$  为分层中心深度,  $g$  为中心深度处重力值.

大的下降力。珠穆朗玛峰上升是由于板块挤压而向着更不均衡的方向发展,当挤压力消失,珠穆朗玛峰附近会出现大面积陷落,这一论点,从本文压强图分析、从地球内部动力来看是不会出现的。

表 5 青藏高原 BB'断面  $v_s$  与  $\rho$  值表

$S_d$ (km)	分格中不同深度的 $v_s$ (km/s)						分格中不同深度的密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )					
	92	93	94	95	96	97	92	93	94	95	96	97
	2264*	4325	4681	4709	4466	4157						
-5	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
0												
5	3.15	3.00	3.05	3.14	2.72	2.78	2.70	2.65	2.67	2.69	2.57	2.58
20	3.21	3.18	3.18	3.20	3.47	3.53	2.71	2.70	2.70	2.71	2.80	2.83
30	3.53	3.42	3.34	3.26	3.75	3.73	2.83	2.78	2.75	2.73	2.94	2.93
40	3.95	3.70	3.69	3.69	3.37	3.40	3.03	2.91	2.91	2.91	2.76	2.77
50	4.02	3.80	3.76	3.73	3.84	3.86	3.06	2.96	2.94	2.93	2.98	2.98
65	4.20	3.90	3.88	3.83	3.97	3.97	3.15	3.00	2.99	2.97	3.04	3.04
80	4.42	4.45	4.40	4.45	4.53	4.51	3.25	3.26	3.24	3.26	3.29	3.28
100	4.47	4.60	4.62	4.63	4.62	4.60	3.27	3.31	3.32	3.32	3.32	3.31
120	4.68	4.68	4.69	4.69	4.65	4.63	3.34	3.34	3.35	3.35	3.33	3.32
140	4.65	4.52	4.54	4.55	4.50	4.49	3.33	3.29	3.29	3.30	3.28	3.28
170	4.62	4.52	4.53	4.53	4.50	4.50	3.32	3.29	3.29	3.29	3.28	3.28
200	4.52	4.54	4.55	4.55	4.54	4.54	3.29	3.29	3.30	3.30	3.29	3.29
230	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31
260	4.67	4.67	4.67	4.67	4.68	4.68	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34
300	4.73	4.73	4.73	4.73	4.74	4.74	3.36	3.36	3.36	3.36	3.37	3.37

注： $S_d$  为底面深度，\* 为分格平均海拔高程。

表 6 青藏高原 BB'断面压强及相对压强表

$S_d$ (km)	$\Delta H$ (km)	$d_m$ (km)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	不同深度压强 $p$ (10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup> )						$\bar{p}$ 92-97	相对压强 $\Delta p$ (10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup> )					
				92	93	94	95	96	97		92	93	94	95	96	97
-5	5	-2.5	9.8050													
0	0	0	9.8100	58	110	119	120	114	106	105	-47	5	14	15	9	1
5	5	2.5	9.8125	190	240	250	252	240	233	234	-44	6	16	18	6	-1
20	15	12.5	9.8218	589	638	648	651	653	650	638	-49	0	10	13	15	12
30	10	25.0	9.8306	867	911	918	918	942	938	916	-49	-5	2	2	26	22
40	10	35.0	9.8369	1165	1197	1204	1204	1214	1211	1199	-34	-2	5	5	15	12
50	10	45.0	9.8425	1466	1488	1493	1492	1507	1504	1492	-26	-4	1	0	15	12
65	15	57.5	9.8488	1931	1931	1935	1931	1956	1953	1940	-9	-9	-5	-9	16	13
80	15	72.5	9.8550	2411	2413	2414	2413	2442	2438	2422	-11	-9	-8	-9	20	16
100	20	90.0	9.8617	3056	3066	3069	3068	3097	3091	3075	-19	-9	-6	-7	22	16
120	20	110.0	8.8683	3715	3725	3730	3729	3754	3746	3733	-18	-8	-3	-4	21	13
140	20	130.0	9.8743	4373	4375	4380	4381	4402	4394	4384	-11	-9	-4	-3	18	10
170	30	155.0	9.8414	5357	5350	5355	5356	5374	5366	5360	-3	-10	-5	-4	14	6
200	30	185.0	9.8900	6333	6326	6334	6335	6350	6342	6337	-4	-11	-3	-2	13	5
230	30	215.0	9.8986	7316	7309	7317	7318	7333	7325	7320	-4	-11	-3	-2	13	5
260	30	245.0	9.9063	8309	8302	8310	8311	8326	8318	8313	-4	-11	-3	-2	13	5
300	40	280.0	9.9150	9642	9635	9643	9644	9663	9655	9647	-5	-12	-4	-3	16	8

注： $S_d$  为底面深度， $\Delta H$  为分层厚度， $d_m$  为分层中心深度， $g$  为中心深度处重力值。

表 7 青藏高原及邻区压强和相对压强值表

压 强 $p(10^6\text{N/m}^2)$										相 对 压 强 $\Delta p(10^6\text{N/m}^2)$									
地 区	青 藏 高 原 地 区					滇 西 缅 北	华 南 地 区	西 太 平 洋	恒 河 平 原	五 区 平 均 值	青 藏 高 原 地 区					滇 西 缅 北	华 南 地 区	西 太 平 洋	恒 河 平 原
	西端	中西部	东部	东北端	平均值						西端	中西部	东部	东北端	平均值				
深度 (km)	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	$\Delta\bar{h}(\text{km})$	
0	77	121	114	108	105	51	26	0	5	37	40	84	77	71	68	14	-11	-37	-32
5	207	252	239	238	234	183	166	70	139	158	49	94	81	80	76	25	8	-88	-19
30	879	920	942	935	916	865	866	868	827	868	11	52	74	67	48	-3	-2	0	-41
65	1917	1935	1959	1996	1941	1921	1989	2039	1964	1971	-54	-36	-12	25	-30	-50	18	68	-7
100	3045	3069	3101	3127	3075	3049	3107	3212	3113	3111	-66	-42	-10	16	-36	-62	-4	101	2
140	4362	4380	4405	4420	4385	4348	4375	4515	4419	4408	-46	-28	-3	12	-23	-60	-33	107	11
170	5346	5355	5376	5389	5361	5320	5353	5464	5400	5380	-34	-25	-4	9	-19	-60	-27	84	20
200	6327	6333	6352	6365	6339	6299	6332	6413	6388	6354	-27	-21	-2	11	-15	-55	22	59	34
300	9639	9643	9665	9675	9650	9598	9631	9684	9717	9636	3	7	29	39	14	-38	-5	-52	81
0—30 km 处平均相对压强											33	77	77	73	64	12	-2	-42	-31
65—200 km 处平均相对压强											-45.4	-30.4	-6.2	14.6	-24.6	-57.4	-13.6	83.8	12
各区相对压强能使 200 km 处岩层升降运动的高度 (km)											1.40	-0.94	-0.19	0.45	-0.76	-1.77	-0.42	2.58	0.37

注：  $\Delta\bar{h}$ 为地区平均海拔高程。



(4) 青藏高原东北端是青藏高原下降力最强烈的地区,也是地震活动最严重的地区之一。

(5) 滇西缅北地区是 5 个地区中上升力最大的地区,该区 65—200 km 的平均上升力,能使岩层上升 1.77 km,约为青藏高原上升高度的 2.3 倍,是 5 个区中最为活跃的地区。该区地震活动性强,活动造成的地震类型多,我国唯一的中美合作的滇西地震预报试验场就设立在此。

(6) 西太平洋浅层有极强的上升力,但 30 km 以下,上升力消失而变为极强的下降力,因而可以预测,西太平洋将向下降的方向发展,下降的最大幅度可达 2.58 km,它的下降动力来自太平洋壳以下具有巨厚的高密度体。

(7) 华南地区有较弱的上升力,恒河平原有较弱的下降力。

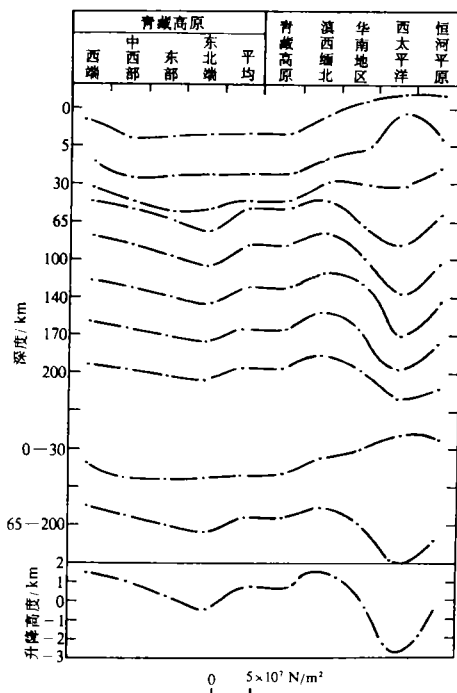


图 6 青藏高原及邻区相对压强断面

### 3 结 论

(1) 剪切波三维速度结构是研究区域地球结构的基础资料,它对地学大断面的研究有重要意义。

(2) 利用剪切波三维速度结构换算三维密度结构,制作不同深度相对压强图,对研究地球内部驱动力及地震机制有重要意义,本文给出了换算方法,并对青藏高原及邻区的相对压强图进行了分析。

(3) 青藏高原西端上升力强,中西部也有较强的上升力。东部上升力较弱,东北端有下降力。青藏高原整体有相当强的上升力,上升力的来源是青藏高原之下有巨厚的低密度层。

(4) 珠穆朗玛峰还能继续上升,上升的极限高度可达 9.76 km。

(5) 青藏高原邻近地区中,滇西缅北是上升力最强的地区,西太平洋是下降力最强的地区。

### 参 考 文 献

- 布伦, K. E. (著), 1975. 地球的密度, 356—358. 曹可珍、宋炳忠等(译), 1982. 地震出版社, 北京.  
陈国英、曾融生, 1985. 用地震面波频散研究喜马拉雅山与西藏高原岩石圈构造的差异. 地球物理学报, 28, 增刊 1, 161—173.

冯锐, 1985. 中国地壳厚度及上地幔密度分布. 地震学报, 7, 143—157.

孙克忠、腾吉文, 1985. 由长周期地震面波研究青藏高原地区的地壳和上地幔的速度分布. 地球物理学报, 28, 增刊 1, 43—53.

腾吉文, 1985. 青藏高原地区地壳与上地幔地球物理研究概论. 地球物理学报, 28, 增刊 1, 1—15.

吴功建、高锐、余钦范、程庆云、孟令顺、董学斌、崔作舟、尹国勋、沈显杰、周姚秀, 1991. 青藏高原“亚东—格尔木地学断面”综合地球物理调查与研究. 地球物理学报, 34, 552—562.

姚振兴、李白基、梁尚鸿、朱碣定、孙立敏、卢善声, 1981. 青藏高原地区瑞利波群速度和地壳构造. 地球物理学报, 24, 287—295.

庄真、傅竹武、吕梓龄、胡家富、宋仲和、陈国英、安昌强、陈立华, 1992. 青藏高原及邻近地区地壳与上地幔剪切波三维速度结构. 地球物理学报, 35, 694—709.

庄真、邓大量, 1987. 勒夫波群速度频散与太平洋地壳及上地幔三维构造. 地球物理学报, 30, 246—260.

周兵、朱介寿、秦建业, 1991. 青藏高原及邻近区域的 S 波三维速度结构. 地球物理学报, 34, 426—441.

赵文津、Nelson, K. D.、高锐、Browr, L. D.、车敬凯、Hauck, M. L.、武长春、郭宗汾、卢德源、黄立言, 1993. 喜马拉雅和青藏高原深地震反射剖面的初步成果. 地球物理学报, 36, 125.