

滇西地区地壳上地幔速度结构特征的研究*

林中洋¹⁾ 胡鸿翔¹⁾ 张文彬²⁾ 章惠芬³⁾
何正勤¹⁾ 林真明⁴⁾ 邱陶兴⁵⁾

1) 中国北京100081国家地震局地球物理研究所

2) 中国郑州450003国家地震局地球物理勘探大队

3) 中国广州510070广东省地震局

4) 中国北京100085国家地震局地壳应力研究所

5) 中国福州350003福建省地震局

摘 要

本文描述滇西86-87工程资料处理解释的初步结果. 结果表明, 滇西地区自南向北速度结构有明显的横向不均匀性. 莫霍界面深度从剖面南端的38 km 加深到北端的58 km. 地壳的平均速度南低北高, 在6.17—6.45 km/s 之间. 固结地壳为上、中、下三层结构, P_1^0 界面是上地壳中的一个弱界面, P_2^0 和 P_3^0 界面分别是中、上地壳和中、下地壳的分界面, 个别地区, 在下地壳内部还可以追踪到另一个较弱的 P_4^0 界面. P_1^0 界面的深度为0—6 km, P_2^0 界面的深度为9.2—16.5 km, P_3^0 和 P_4^0 界面的深度分别在17.0—26.5 km 和25.0—38.0 km 之间. 上地壳的速度由南向北逐渐增大, 在南高寨与支梯之间达到最大值, 基底面的速度可达6.25—6.35 km/s, 再向北又开始变小. 中地壳的速度变化不大, 自金河洱海断裂向北中地壳是一速度为6.30 km/s 的低速层. 下地壳为一较强的梯度层.

在剖面南段的景谷与景云桥之间和无量山与澜沧江断裂之间存在一上地幔低速区, P_n 波速度只有7.70—7.80 km/s, 红河断裂以北 P_n 波速度也低, 为7.80 km/s. 在上地幔顶部还追踪到一个 P_5^0 界面, 剖面南端深65 km, 北端深85 km.

关键词 深地震测深; 滇西地区; 地壳上地幔; 速度结构; 深大断裂

1 前 言

滇西是我国地震活动最活跃的地区之一, 这里已发生过的地震不仅震级大, 而且频度高, 地震已成为国民经济建设和人民生命财产最突出的一种自然灾害. 因此, 国家地震局在这里建立了地震预报实验场, 是我国进行地震预报理论与方法研究的重要场地. 滇西

* 国家地震局地球物理研究所论著93A0092.

1991年6月24日收到本文初稿, 1992年11月23日决定采用.

地区的地壳结构与主要断裂的分布及其性质,不仅对场区的地学课题研究有重大意义,而且也为地震预报的研究工作提供了重要的深部构造背景.为此,国家地震局1982年曾在该地区实施了命名为滇深-82工程的地壳深部研究工作,取得了一批有价值的研究成果(胡鸿翔等,1986;Yan *et. al.*,1985;阚荣举、林中洋,1986),滇深86-87工程是滇深-82工程的延续与补充.

国家地震局深地震测深技术协调小组应滇西地震预报实验场的邀请,于1987年4—6月完成了86-87工程的野外资料采集工作,参加工作的单位有:云南省地震局、四川省地震局、江苏省地震局、广东省地震局、福建省地震局、湖北省地震局、国家地震局地球物理勘探大队、国家地震局地球物理研究所等8个单位.野外观测时共投入了CBY型、MCD-3型和DCJ-1型模拟磁带地震记录仪300台,其中单分向200台,三分向100台.观测了4条纵测线和7条大致呈圆弧形非纵测线.共放10炮,获2575张有效记录图.本文描述4条纵测线(P_1 , P_2 , P_3 , P_4)的资料处理初步结果.

2 测区概况与野外工作方法

2.1 地质构造概况

工区在构造上位于青藏高原东缘,是特提斯-喜马拉雅构造域东南段构造线明显转折的部位.由于自晚元古代以来,古大洋向其北侧塔里木-中朝准地台和东侧扬子准地台西缘古岛弧的挤压、俯冲以及碰撞形成长时间、多阶段、既强烈又复杂的多旋回地槽褶皱(陈炳蔚等,1987).在各时期主应力方向不断改变或交替出现的情况下,使该地区形成极其复杂的构造格局.在我国对岩石圈动力学和运动学以及地震成因的研究中占有重要的位置.因此,吸引了国内外许多地质工作者

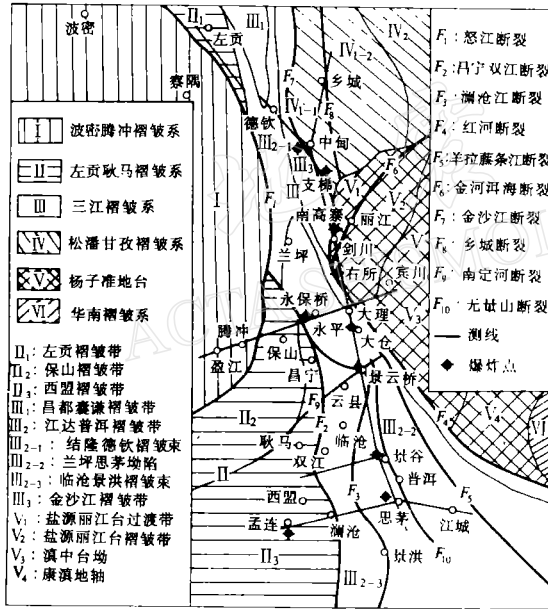


图1 工区构造区划和测线位置略图

者(陈炳蔚等,1987;李继良,1988)根据自己不同的理论、方法和所掌握的资料,先后对该地区的大地构造划分及其演化进行了多方面的研究.近年来,陈炳蔚等(1987)在所获资料的基础上(沉积建造、构造变动、变质作用及岩浆活动状况和深部构造特点等),将三江地区划分为6个一级大地构造单元(图1).自西往东为:I. 波密-腾冲褶皱系;II. 左贡-耿马褶皱系;III. 三江褶皱系;IV. 松潘-甘孜褶皱系;V. 扬子准地台;VI. 华南褶皱系.这些一级构造单元之间多以深大断裂为边界,其中主要断裂带又可能是不同时期,不同规模的板块俯冲带.例如:班公湖—怒江,北澜沧江—双江,金河—洱海—红河断裂等(李继良,1988).这些断裂多呈北西、北北西,少数北东、北东东走向.在长期的演化过程中,由于各时期构造应力场方向的变化,其俯冲方向及产状极其复杂,可以充分看出断裂带具有多次

叠加、长期多次活动的特点,这些特点无疑构成了相对比较复杂的深部地震地质条件,给深地震测深的资料处理解释工作造成极大困难。

工区内与大地构造格局密切相关的地形甚为复杂,高山丛立,沟壑纵横,地形南低北高,沿测线地形高差悬殊(海拔由思茅附近的800 m 左右到德钦附近的4300 m 左右)。工区交通不便,公路弯曲,测线只能沿弯曲多变的公路布设,使主测线几乎与构造走向平行,降低了勘探效果。

2.2 野外观测方法

测线与炮点位置示于图1。主测线(P_{1-2})始于思茅南的普文至滇西北的中甸,自中甸分成两支:一支至云南的德钦,另一支到四川的乡城,全长770余公里。沿测线共计8个炮点,即思茅、景谷、景云桥、大仓、右所、南高寨、支梯和中甸。炮间距40—140 km,观测点距2—4 km,最大观测距离达450 km,形成了相遇和追逐的观测系流。

主测线自南向北穿过三江褶皱系、扬子准地台和松潘-甘孜褶皱系3个一级大地构造单元。

孟连—思茅—江城(P_{m-s-j})和沧源—景谷(P_{c-j})两测线都为近东西走向,前者设孟连和思茅两个炮点,后者只设景谷1个炮点。两条测线均穿过左贡-耿马褶皱系和三江褶皱系,测线基本与构造走向垂直。该两条测线分别穿过昌宁双江断裂带、澜沧江和无量山断裂等,它们的实施对研究滇西南地震亚区的普洱和澜沧地震活动带的深部构造背景具有重要意义。

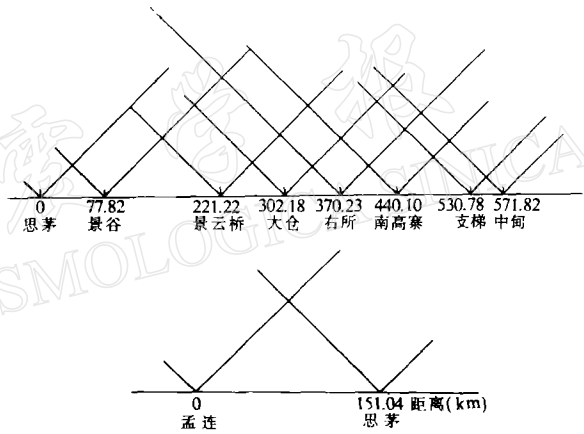
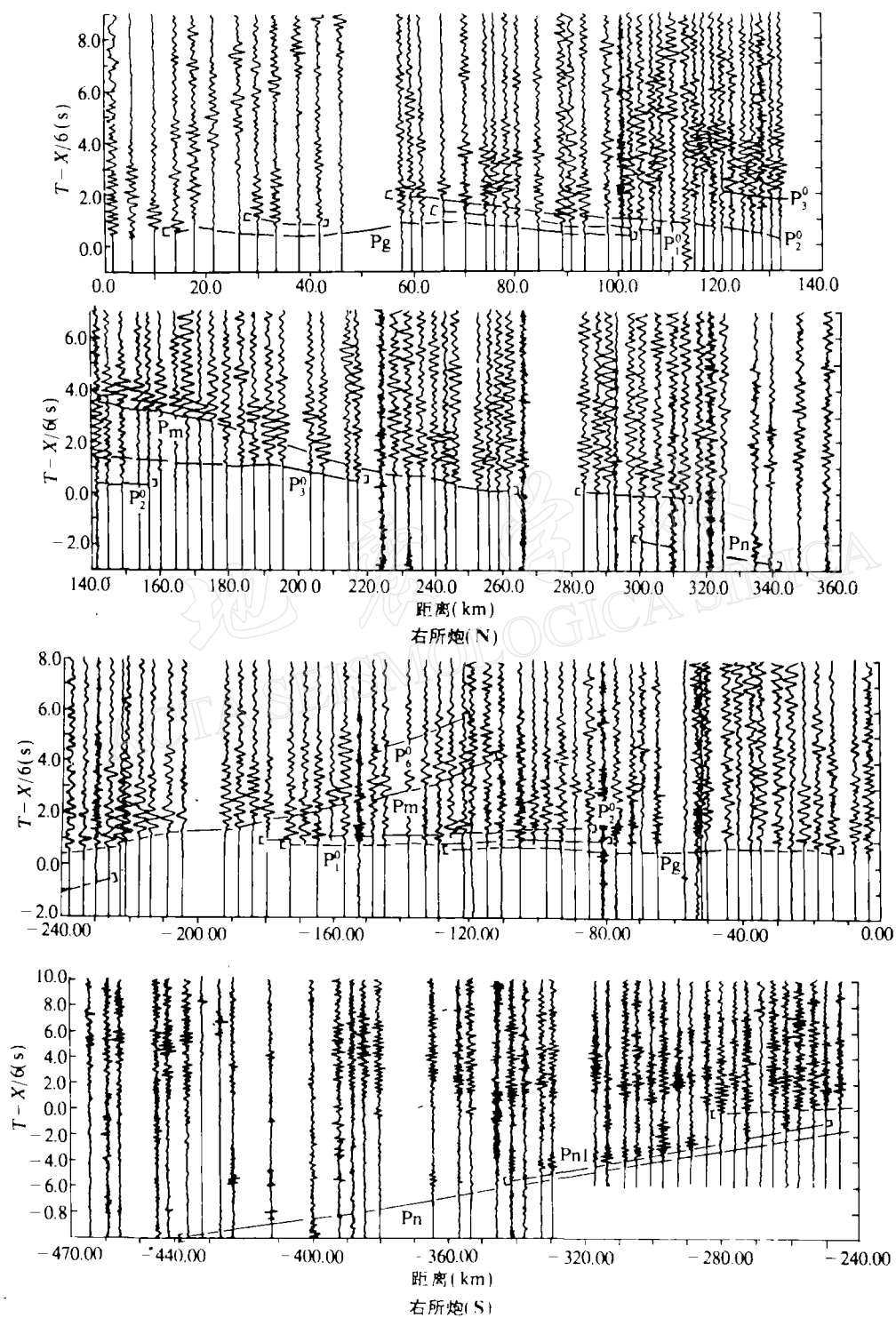


图2 观测系统图

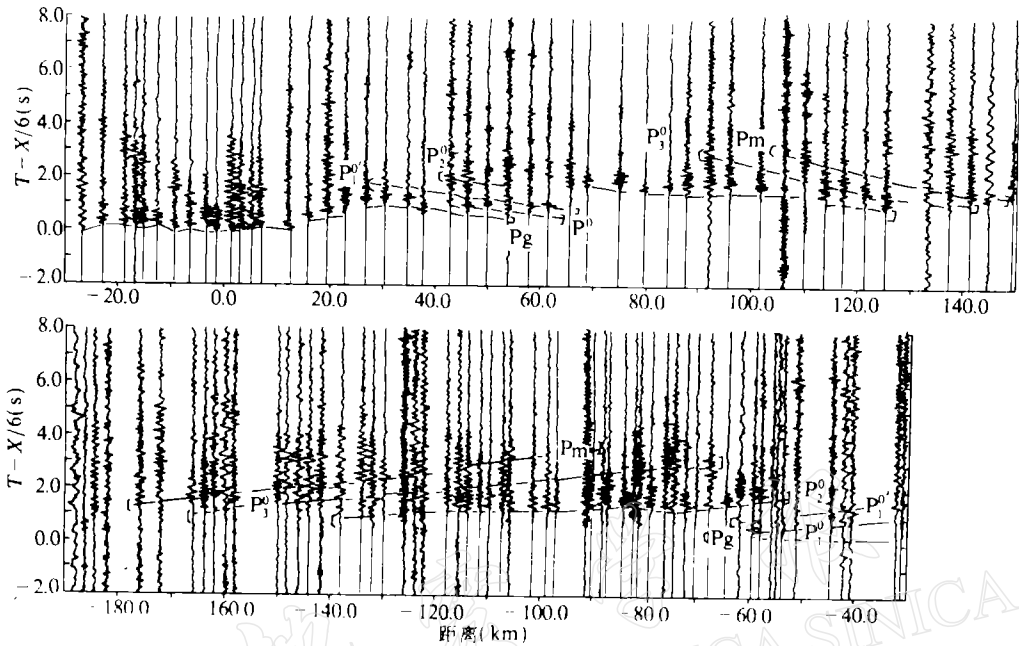
表1 各炮点参数

序号	炮点名	经纬度		高程 $H(m)$	爆炸 方式	组合 井数	爆炸井深 (m)	炸药量 (kg)	爆炸日期 (年·月·日)	爆炸时刻 (h-min-s)
		λ_E	φ_N							
1	思茅	100° 57' 48"	22° 48' 51"	1298	井	20	25.28	2000	1987. 4. 27	01-00-09.475
2	景谷	100° 42' 01"	23° 28' 15"	952	井	14	24.35	1500	1987. 5. 4	00-00-06.886
3	景云桥	100° 22' 13"	24° 43' 41"	932	水	15包	10.20	3000	1987. 5. 8	00-00-08.944
4	大仓	100° 11' 56"	25° 26' 26"	1770	井	25	17.42	1561	1987. 5. 13	00-00-10.133
5	右所	100° 02' 18"	26° 02' 01"	1968	井	24	27.14	2500	1987. 5. 25	00-00-08.116
6	南高寨	99° 57' 13"	26° 39' 51"	2266	井	24	21.00	2500	1987. 5. 30	00-00-06.688
7	支梯	99° 51' 55"	27° 48' 58"	3210	井	22	20.42	2500	1987. 6. 6	00-00-07.923
8	中甸	99° 46' 58"	27° 49' 28"	3271	井	20	25.40	2500	1987. 6. 6	01-00-06.623
9	永保桥	99° 20' 23"	25° 26' 29"	1194	水	12包	10.15	2256	1987. 5. 17	00-00-07.970
10	孟连	99° 35' 38"	22° 19' 07"	952	井	24	16.94	2000	1987. 4. 27	00-00-10.450

孟江—永保桥—宾川测线(P_{y-b})只设澜沧江永保桥附近的一个炮点,测线为北东东走



(a) 右所炮点



(b) 永保桥炮点

图3 典型地震记录截面图

向,全长340km,横跨波密—腾冲褶皱系,左贡—耿马、三江褶皱系和扬子准地台4个一级大地构造单元。3条测线上的观测点距离为2—4 km。除景云桥和永保桥两炮在澜沧江中激发之外,其它诸炮都在井中放炮。各测线的观测系统示于图2,各炮点的爆炸参数列表1。

3 波场特征

以右所炮点和永保桥炮点的记录为例(图3)综合分析其它炮点的记录截面图可以看出,本地区主要记录到以下几组震相:

(1) P_g 震相是来自结晶基底或古老变质岩底部的弱梯度回折波或首波,特点是震相清晰、衰减慢,走时曲线直性好,大多可以追踪至60—100km左右。用近炮点走时计算的沉积盖层的平均速度为4.60km/s, P_g 震相的界面速度一般为5.90—6.04 km/s,但在南高寨炮点附近可以达到6.25—6.35km/s。

(2) P_1^0 , P_2^0 和 P_3^0 震相都是固结地壳内部的反射波,能量较弱、连续性较差,其中以 P_2^0 和 P_3^0 波较为清晰。尤其是 P_2^0 波,振幅较稳定,能量稍强,它们的视速度都随距离递减,追踪范围一般为30—130 km。在个别地段上尚可追踪到 $P_2^{0'}$ 和 $P_3^{0'}$ 震相,它们分别是上地壳和下地壳内部的反射波。

(3) P_1^0 (P_m) 震相是一组振幅大、标志清晰的莫霍界面上的反射波。在工区南部距炮点90 km左右即可追踪。但在北部地区,由于地壳厚度增大,在130 km左右才开始出现。其视速度 V_a 随距离递减,当 $V_a \leq 7.0$ km/s 时,该震相已经过渡到其它性质的波组。因此,我

们解释时所取的莫霍面反射波是指 $V_a \geq 7.0 \text{ km/s}$ 的那段距离内的震相。

(4) $P_4(P_n)$ 震相是来自莫霍界面的首波, 走时曲线直线性较好, 初动清晰, 追踪距离在 200—350 km 之间, 距离再远时, 由于该波的衰减, 信噪比降低, 追踪已很困难. 沿测线该波的界面速度多为 8.0 km/s. 但在景谷与景云桥两炮点之间, P_n 波的界面速度只有 7.70 km/s. 在南高寨炮点以北, P_n 波的速度亦偏低为 7.80 km/s, 与熊绍柏等(1986)的结果一致.

(5) P_5^o 和 P_6^o 震相是来自上地幔内部界面的反射波, 其中 P_5^o 波在沿测线的许多地段都能追踪到. 它的能量较强, 直线性较好, 又往往出现在 P_n 的续至区, 易被误认为是上地幔顶部界面的首波. 但是真正的首波应出现在更远的距离上, 故判断它为反射波. P_5^o 震相只在上地幔的低速区(景谷与景云桥炮点之间)出现. 其次, 在 P_n 的续至区有时还可追踪到一组 P_{n1} 震相, 其视速度约为 8.30—8.40 km/s, 这可能是上地幔顶部界面的首波, 与上述 P_n 波同属一个界面.

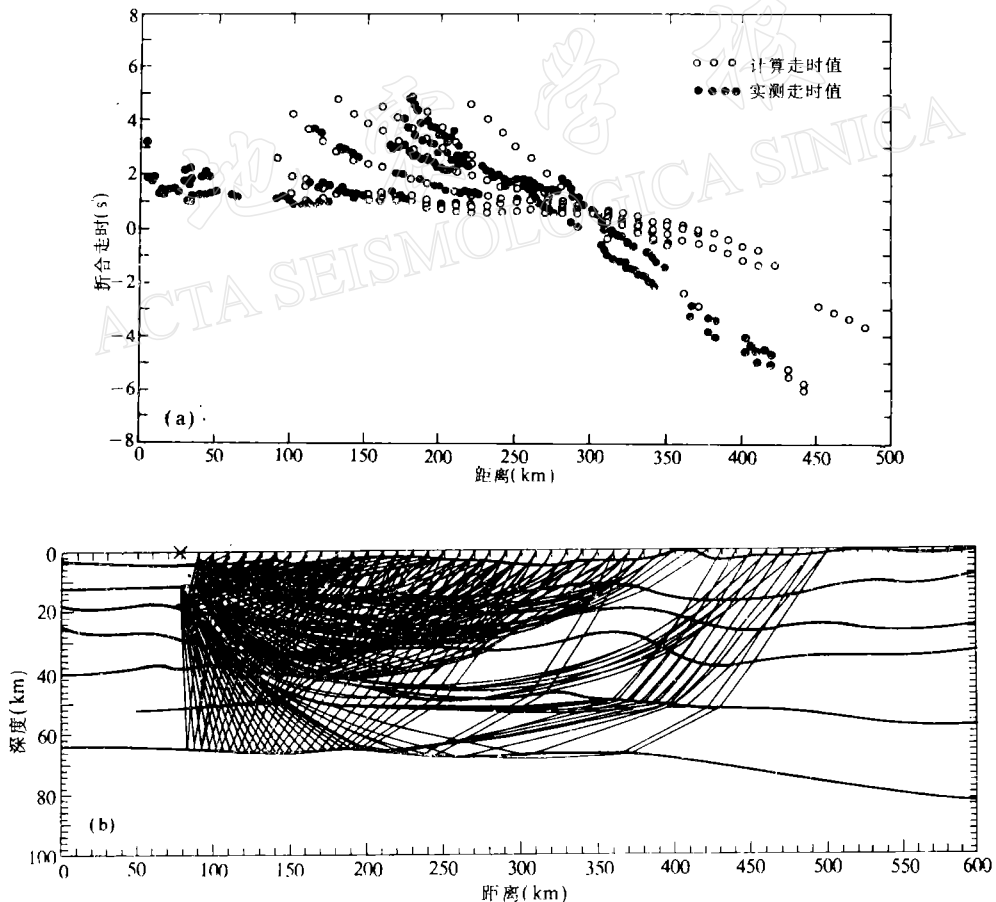


图4 景谷炮的射线追踪图(北支)

4 资料分析解释过程和方法

利用经过地形校正后(校正时盖层速度采用4.60 km/s, P_{s-z} 测线的校正参考线为海拔2500 m, P_y 测线为1500 m, 而 P_{m-s-j} 和 P_{s-j} 测线为1000 m)的 P_g 波走时, 用差异走时法(甘布尔采夫等, 1955) 算出界面速度, 用 t_0 法反演沉积层的厚度, 再根据所获每个观测点和炮点的沉积盖层厚度资料对 P_{s-z} 和 P_{m-s-j} 测线的震相进行沉积层影响校正(P_{s-j} 和 P_y 测线因无相遇观测系统未作沉积层校正). 校正时沉积层的平均速度用4.60 km/s, 而界面速度用6.0 km/s. 利用经地形和沉积层校正过的地震波走时值, 运用计算反射波和折射波深度的常规方法(欧州中部爆破地震研究, 1983), 计算各波组的反射深度和平均速度, 获得各条测线的剖面图, 然后计算出每个炮点两侧的一维速度模型图, 所得数据列入表2.

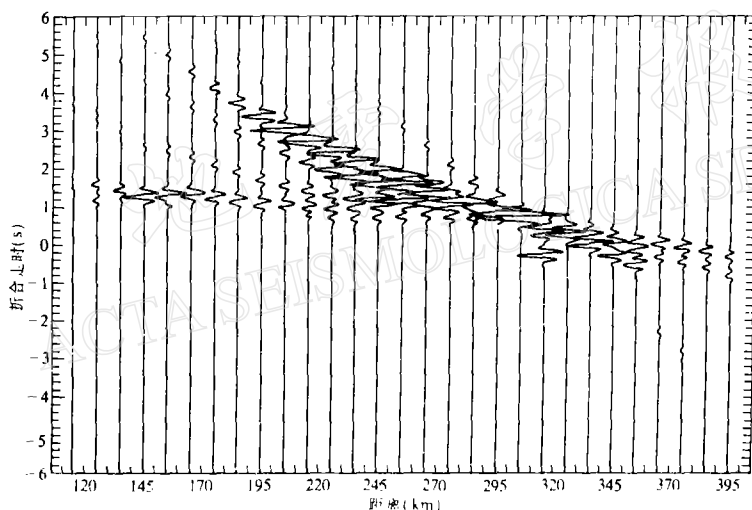


图5 景谷炮的理论地震图(北支)

在该工作的基础上, 用 RAY-82 和 SEIS-81 程序对 P_{s-z} 和 P_{m-s-j} 剖面上的各炮点作了二维射线追踪, 其部分结果示于图4. 利用 SEIS-81 程序计算的理论地震图示于图5. P_{s-z} 和 P_{m-s-j} 两剖面的二维速度结构图示于图6.

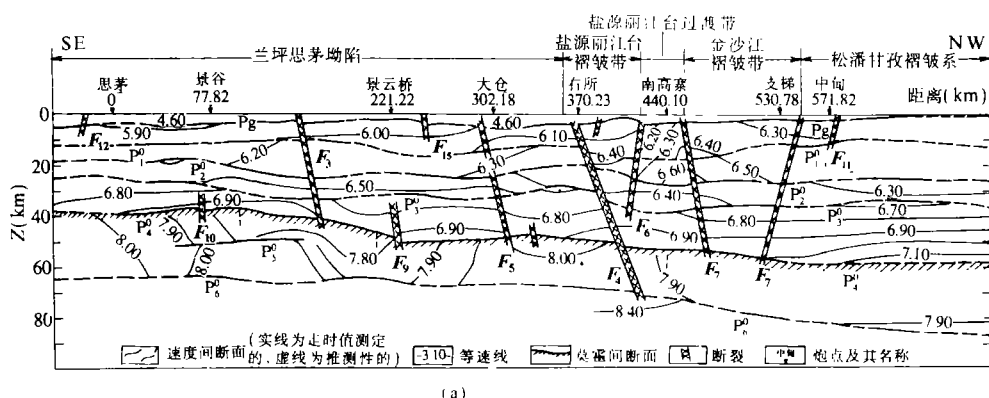
5 地壳与上地幔结构特点

5.1 主测线(P_{s-z})

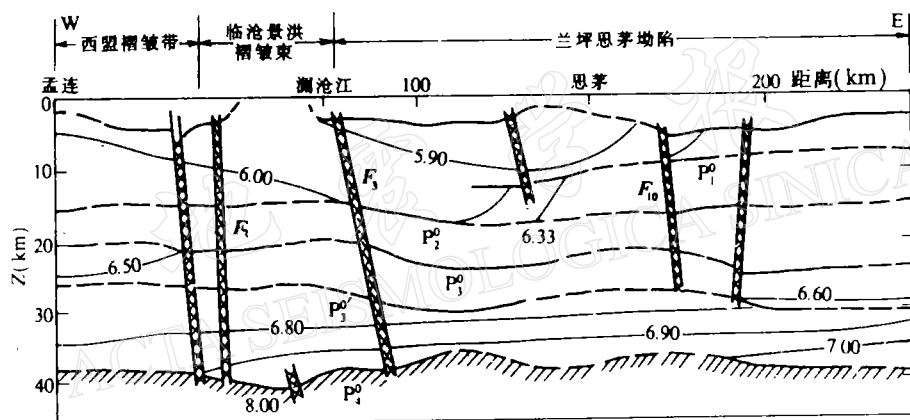
该测线自南向北依次穿过三江褶皱系的兰坪思茅拗陷、扬子准地台的盐源丽江台缘褶皱带和过渡带、三江褶皱系的金沙江褶皱带和松潘甘孜褶皱系.

5.1.1 兰坪思茅拗陷

地壳总厚度由南向北加厚, 由思茅附近的38 km 增厚到大仓附近的48 km. 平均速度为6.17—6.25 km/s. 固结地壳为三层结构, 在上地壳内和下地壳的局部地区还可以划分



(a)



(b)

图6 P_n 和 P_m 剖面的二维速度结构图(a) P_n 剖面; (b) P_m 剖面

F_1 为怒江断裂; F_2 为昌宁双江断裂带; F_3 为澜沧江断裂;
 F_4 为红河断裂; F_5 为羊拉藤条江断裂; F_6 为金河洱海断裂;
 F_7 为金沙江断裂; F_8 为乡城断裂; F_9 为南定河断裂;
 F_{10} 为无量山断裂; F_{11} 为中甸断裂; F_{12} 为普文断裂;
 F_{13} 为腾冲断裂; F_{14} 为陇川江断裂; F_{15} 为把边江断裂

出一个速度差距不大的分界面。结晶基底深2—6 km, 最深处位于景谷和大仓附近。在澜沧江大拐弯处的景云桥炮点附近最浅, 形成基底的局部隆起, 将基底分成南北两部分。基底被普文断裂、无量山断裂、把边江断裂、澜沧江断裂、羊拉藤条江断裂切割。除普文断裂外, 其它断裂均为北盘下降, 南盘上升, 使基底形成叠瓦状构造。上地壳的厚度较大, 两个分层的总厚度为15—20 km, 速度范围为5.90—6.30 km/s, 并且自南向北逐渐增大。中地壳厚度较小为6—8 km, 速度为6.40—6.50 km/s, 几乎是一个均匀层。下地壳是一个弱速度梯度层, 速度为6.80—6.90 km/s。厚度变化较大, 澜沧江断裂以南6—15 km 以北突然加厚到20 km 左右。在景谷炮点下面, 上地幔局部隆起, 幅度达3.0 km 左右, 隆起顶

表 2 各地点的一维速度模型参数

炮点名	参数	P ₀		P ₁		P ₂		P ₃		P ₄ (P _m)		P ₅		P ₆	
		0	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂
思茅(北)	深度(km)	0.0	3.20	13.0	13.0	19.0	19.0	27.0	27.0	37.5	37.5	53.0	53.0	64.0	90.0
	速度(km/s)	4.6	4.60	5.98	6.15	6.20	6.40	6.50	6.70	6.90	7.70	7.85	8.00	8.10	8.50
泉谷(南)	深度(km)	0.0	4.50	12.0	12.0	17.0	17.0	28.5	28.5	38.5	38.5			64.0	
	速度(km/s)	4.6	4.60	5.98	6.15	6.20	6.40	6.45	6.65	6.80	8.00			8.10	
泉谷(北)	深度(km)	0.0	3.50	12.0	12.0	22.0	22.0	31.0	31.0	38.5	38.5	47.0	47.0	71.0	90.0
	速度(km/s)	4.6	4.60	5.98	6.15	6.20	6.40	6.50	6.70	6.90	7.70	7.80	8.00	8.10	8.50
景云桥(南)	深度(km)	0.0	2.70	14.0	14.0	25.0	25.0	32.0	32.0	39.5	39.5			64.0	
	速度(km/s)	4.6	4.60	5.96	6.07	6.23	6.27	6.40	6.50	6.90	7.70			8.10	
景云桥(北)	深度(km)	0.0	2.70	14.0	14.0	26.0	26.0	32.5	32.5	44.5	44.5			64.0	
	速度(km/s)	4.6	4.60	5.98	6.05	6.20	6.25	6.45	6.55	6.95	8.00			8.25	
大仓(南)	深度(km)	0.0	4.0	14.0	14.0	22.0	22.0	29.5	29.5	44.5	44.5	55.0		60.0	90.0
	速度(km/s)	4.6	4.60	5.95	6.02	6.15	6.20	6.35	6.40	6.55	6.80	7.90		8.10	8.50
大仓(北)	深度(km)	0.0	3.5	12.1	12.1	19.0	19.0	28.0	28.0	48.5	48.5			68.0	90.0
	速度(km/s)	4.6	4.60	6.04	6.15	6.25	6.42	6.30	6.40	6.65	6.90			8.20	8.50
右所(南)	深度(km)	0.0	3.50	12.6	12.6	22.0	22.0			49.0	49.0			65.0	90.0
	速度(km/s)	4.6	4.60	6.04	6.12	6.28	6.38	6.50		6.85	8.00			8.20	8.50
右所(北)	深度(km)	0.0	3.00	14.0	14.0	20.0	20.0	32.0	32.0	51.5	51.5			68.0	90.0
	速度(km/s)	4.6	4.60	6.00	6.15	6.35	6.40	6.30	6.40	7.00	7.80			8.15	8.50
南高寨(南)	深度(km)	0.0	3.00	13.00	13.0	18.0	18.0	29.5	29.50	5.00	5.00			65.0	90.0
	速度(km/s)	4.6	4.60	6.00	6.10	6.28	6.33	6.25	6.40	7.00	8.00			8.20	8.50
南高寨(北)	深度(km)	0.0	2.10	11.5	11.5	25.0	25.0	39.0	39.0	58.0	58.0			73.0	90.0
	速度(km/s)	4.6	4.60	6.35	6.42	6.56	6.60	6.35	6.40	7.00	7.80			8.15	8.50
支梯(南)	深度(km)	0.0	0.70	16.0	16.0	26.0	26.0	42.0	42.0	54.0	54.0			74.0	90.0
	速度(km/s)	4.6	4.60	6.25	6.32	6.45	6.48	6.30	6.35	7.15	7.80			8.15	8.50
支梯(北)	深度(km)	0.0	1.0	11.0	11.0	25.5	25.5	36.0	36.0	58.0	58.0			86.0	90.0
	速度(km/s)	4.6	4.60	6.25	6.28	6.42	6.45	6.30	6.40	7.10	7.80			8.25	8.50
中甸(南)	深度(km)	0.0	1.0	11.0	11.0	25.0	25.0	35.5	35.5	56.0	56.0			74.0	90.0
	速度(km/s)	4.6	4.60	6.28	6.28	6.42	6.45	6.30	6.40	7.10	7.80			8.15	8.50

2-2

炮 点 名	参 数	0	P_g		P_1^0		$P_1^{0'}$		P_2^0	
孟连(东)	深度(km)	0.0	3.30	3.30					14.3	14.3
	速度(km/s)	4.6	4.60	6.03					6.19	6.33
思茅(西)	深度(km)	0.0	3.30	3.30	12.7	12.7			19.0	19.0
	速度(km/s)	4.6	4.60	5.97	5.97	6.17			6.19	6.33
思茅(东)	深度(km)	0.0	3.40	3.40	9.97	9.97			17.5	17.6
	速度(km/s)	4.6	4.60	6.03	6.07	6.17			6.20	6.33
景谷(西)	深度(km)	0.0	4.30	4.30					13.5	13.5
	速度(km/s)	4.6	4.60	5.98					6.05	6.21
永保桥(西)	深度(km)	0.0	0.30	0.30	8.4	8.4	14.5	14.5	19.2	19.2
	速度(km/s)	4.6	4.60	5.96	6.0	6.23	6.25	6.10	6.15	6.40
永保桥(东)	深度(km)	0.0	1.4	1.40	9.23	9.23	13.4	13.4	20.2	20.2
	速度 km/s	4.6	4.60	5.90	5.97	6.23	6.25	6.10	6.18	6.45
炮 点 名	参 数	0	P_3^0		P_4^0		$P_4^{0'}$		P_5^0	
孟连(东)	深度(km)	0.0	20.8	20.8	27.4	27.4	39.1	39.1		
	速度(km/s)	4.6	6.37	6.50	6.54	6.75	6.80	8.00		
思茅(西)	深度(km)	0.0	23.8	23.8	30.0	30.0	37.1	37.1	47.0	47.0
	速度(km/s)	4.6	6.35	6.57	6.60	6.75	6.90	7.80	7.90	8.10
思茅(东)	深度(km)	0.0	23.8	23.8	29.0	29.0	38.1	38.1		
	速度(km/s)	4.6	6.36	6.55	6.60	6.80	7.00	8.00		
景谷(西)	深度(km)	0.0	18.0	18.0	24.8	24.8	38.1	38.1	50.0	50.0
	速度(km/s)	4.6	6.24	6.37	6.40	6.70	7.10	7.70	7.85	8.00
永保桥(西)	深度(km)	0.0	33.2	33.2			44.7	44.7		
	速度 km/s	4.6	6.57	6.80			7.05	8.00		
永保桥(东)	深度(km)	0.0	31.2	31.2			40.7	40.7		
	速度 km/s	4.6	6.60	6.80			7.10	7.80		

部的速度值偏低,仅7.70—7.80 km/s,而其两侧的速度值逐渐增大至8.00 km/s. 在上地幔顶部的低速区下还追踪到 P_5^0 界面,界面速度为8.00 km/s,埋藏深度50 km.

在兰坪思茅拗陷内追踪到4条规模较大的大断裂,它们是无量山断裂、澜沧江断裂、南定河断裂、羊拉藤条江断裂. 其中以南定河断裂的规模最大,莫霍面上的断距达5 km. 该断裂以南莫霍面深35—40 km,断裂以北突然增至45 km,它不仅是上地幔低速区的分界线,也是地壳厚度陡变的分界线. 从测线的方向看,它不应该是把边江断裂,如果是把边江断裂,其走向应该是南东方向. 这时,东西两侧的地壳厚度相差5 km 是难以理解的,因为实际上滇西南地区的地壳厚度分布自把边江断裂以东增加缓慢,至普宁只有40 km,而自澜沧江大拐弯处向北增加较快,至大理市附近已达44 km(马杏垣,1987). 因此,我们认为该断裂是南定河断裂向北东方向的延伸.

5.1.2 扬子准地台

测线沿扬子准地台西缘展布,基本上与构造走向平行. 这里是三江褶皱系、扬子准地台和松潘甘孜褶皱系三大构造单元的交汇地带,是北北西和北北东走向构造线的交汇区,构造格局十分复杂.

红河断裂与金沙江断裂之间是盐源丽江台缘褶皱带和过渡带,地壳结构与三江褶皱系的兰坪思茅拗陷有很大差别. 这里地壳总厚度自南向北加厚(由48 km 加厚到54 km),

平均速度增大至6.45 km/s. 基底在这里处于挤压状态,在剑川附近接近地表,形成隆起,幅度达3.0 km. 基底上的界面速度在台缘过渡带上达6.20—6.30 km/s. 固结地壳结构复杂,上地壳厚度显著增厚,下地壳有所变薄,各层的厚度比变化剧烈. 上地壳的速度比兰坪思茅拗陷高,为6.10—6.60 km/s,并由南向北逐渐增大. 而中地壳速度保持不变,与兰坪思茅拗陷相同,也为6.40 km/s. 因此,自红河断裂以北中地壳相对变为低速层. 下地壳为一弱梯度层. 台缘褶皱带与过渡带的边界断裂是金河洱海断裂,金河洱海断裂可能与红河断裂汇合成一条断裂(陈炳蔚等,1987). 它们在剖面上表现为两条断裂,当断裂的走向为北东时(金河断裂),断面向南西方向倾斜;走向为北北西时(洱海断裂),断面向南东方向倾斜. 红河断裂规模最大,莫霍面上的断距可达5 km,并可能下延至上地幔中的 P_0^* 界面, P_0^* 界面在这里深达70 km.

5.1.3 金沙江褶皱带

沿测线金沙江褶皱带位于金沙江断裂之间. 该断裂在剖面上出现两个断点,一个对应北北东走向部分,断面向北西方向倾斜. 另一个断点对应北北西走向部分,断面向南西方向倾斜. 显然,盐源丽江台缘过渡带和松潘甘孜褶皱系向三江褶皱系下俯冲. 金沙江褶皱带的地壳结构与盐源丽江台缘褶皱带和过渡带的地壳结构也有差别,主要差别是前者上地壳的速度自南向北增大,而后者却相反,自南向北减小.

5.1.4 松潘甘孜褶皱系

金沙江断裂以北测线进入松潘甘孜褶皱系,测线所及部分地壳结构相对比较简单,界面产状较平缓. 上地壳厚25 km左右,速度可能比金沙江褶皱带低. 中地壳厚10 km左右,可能也是一个低速层,速度为6.30 km/s. 下地壳厚度增大至22 km左右,为一强梯度层,速度值为6.70—7.10 km/s. 由于上、下地壳的增厚,使这里地壳的总厚度增大到58 km. 上地幔顶部的速度也偏低,为7.80 km/s,与熊绍柏等(1986)的结果一致. 这里 P_0^* 界面深达85 km. 三大构造单元地壳结构的显著差异说明它们各自具有自己独特的演化历史.

5.2 支测线

(1) P_{m-1} 和 P_{m-2} 两条支测线位于测线南端,横穿三江褶皱系的兰坪思茅拗陷和临沧景洪褶皱束及左贡耿马褶皱系的西盟褶皱带. 昌宁双江断裂带是两大一级构造单元的分界线,而澜沧江断裂是兰坪思茅拗陷和临沧景洪褶皱束的边界断裂. 沿 P_{m-1} 测线地壳的总厚度为36—42 km,平均速度为6.25 km/s. 在固结地壳内追踪到 P_0^* , P_2^* , P_3^* 和 P_3^{**} 反射界面,但是在大片花岗岩出露地表的临沧景洪褶皱束内,上地壳中未追踪到 P_0^* 界面,说明上地壳横向变化显著. 沿测线壳内界面的埋藏深度变化较大,在思茅炮点下方分别是: P_0^* 界面深3.0 km, P_2^* 深10.0 km, P_3^* 深16.0 km, P_3^{**} 深22.0 km, P_3^{**} 深28 km 和莫霍界面深38 km,与主剖面的结果基本一致. 昌宁双江断裂带由两条断裂组成,基底面上的断距达2—3 km,带宽10 km左右,带内断裂的错动方向复杂,多为西盘下沉,东盘上升,断裂呈陡倾角向东倾斜. 陈炳蔚等(1987)认为,昌宁双江断裂带是一条华力西晚期开始并延续到印支末期的重要俯冲带,即左贡耿马褶皱系向三江褶皱系下俯冲. 两断裂错动方向复杂是该断裂带多次活动的结果. 1988年在该断裂带上曾发生过7.5级和7.0级两次大地震,显然是该断裂带的又一次活动的结果. 沿 P_{m-2} 剖面除未追踪到 P_0^* 波面外,其地壳结构与 P_{m-1} 剖面

基本一致. 这里在莫霍界面下方也追踪到 P_0^0 界面, 埋深45 km 左右. 上地幔顶部的速度也偏低, 为7.85 km/s, 这是主测线上景谷炮点下方上地幔低速区向西的延伸. 从低速区等速线的形态判断(图6), 这里的上地幔物质可能处于部分融熔状态, 使地壳局部不稳, 造成普洱地震带的地震活动. 在这两条剖面上都追踪到澜沧江断裂, 该断裂断面向东倾, 与主测线上追踪的澜沧江断裂一致, 说明临沧景洪褶皱束向兰坪思茅拗陷下方俯冲.

(2) P_y 测线横跨4个一级大地构造单元, 尽管只观测了一个炮点(永保桥), 但除扬子准地台外, 其它3个大地构造单元都不同程度地获得了地壳结构信息(图7). 澜沧江断裂(因炮点布设在澜沧江上, 该剖面上没有追踪到澜沧江断裂)与红河断裂之间是兰坪思茅拗陷. 这里的地壳结构与拗陷南部不同, 基底面深度变化较大, 永平盆地深6 km 左右, 并被3条断裂切割. 地壳的总厚度45 km 左右. 固结地壳也为三层结构, 上地壳底部存在一个厚5—6 km, 速度为6.10 km/s 的低速层, 这一结果与大地电磁测深的结果基本一致(孙洁等, 1989)(图8). 中、下地壳的厚度比和速度值也与南部差别较大, 这里中地壳比南部厚, 而下地壳比南部薄, 速度也比南部高(中地壳 6.45—6.55 km/s, 下地壳为 7.0—7.10 km/s). 兰坪思茅拗陷南北两部分地壳结构的差异证明两者的演化历史不同. 在漾濞附近追踪到一条切割莫霍面的深断裂, 推断可能是羊拉藤条江断裂.

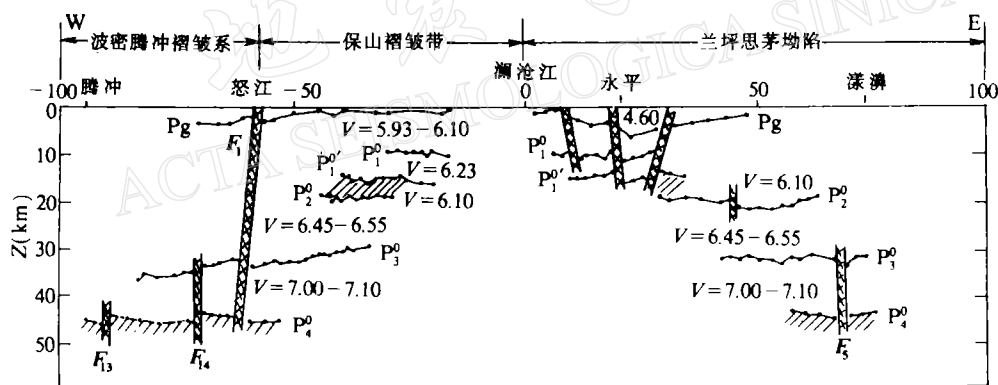


图7 P_y 测线一维地震剖面图

澜沧江与怒江断裂之间是左贡耿马褶皱系的保山褶皱带, 这里的地壳结构与兰坪思茅拗陷的地壳结构基本相同. 怒江断裂以西为波密腾冲褶皱系的腾冲褶皱带, 因资料不足不能判断其地壳结构特点. 在剖面上只追踪到两条切割莫霍面的断裂, 它们可能是腾冲断裂和陇川江断裂. 怒江断裂在剖面上表现明显, 西盘上升, 东盘下降, 断面向西倾斜. 这是一条复杂的板块缝合线, 是波密腾冲褶皱系与左贡耿马褶皱系两大一级构造单元的碰撞带(陈炳蔚等, 1987).

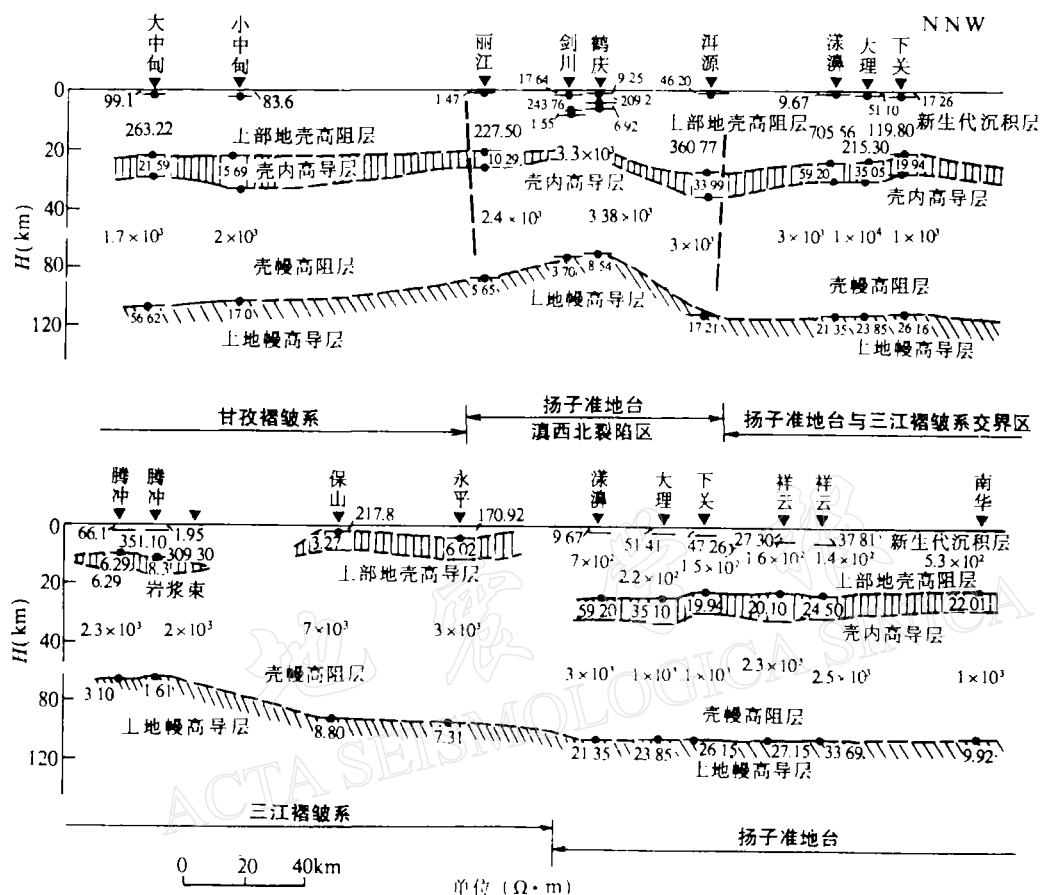


图8 滇西地区大地电磁测深高导层的分布(孙洁等,1989)

6 结 论

(1) 滇西地区地壳厚度东西方向变化较少,南北方向变化较大,从思茅附近的38 km向北加厚到德钦附近的58 km.地壳平均速度变化剧烈,以红河断裂为界,南侧6.17—6.25 km/s,北侧达6.45 km/s.固结地壳为三层结构,但在上地壳内和下地壳内的局部地区还可以分辨出一个弱反射界面,在滇西地区的上地幔顶部还追踪到一个 P_n 界面,南浅北深,为65—85 km.

(2) 红河断裂以北的中地壳为低速层,厚度10 km左右,速度6.30—6.40 km/s;在红河断裂以西的上地壳底部存在一个低速层,厚度5—6 km,速度6.10 km/s.前者深20—30 km,后者深15—20 km,两者与大地电磁测深的高导层结果基本一致.

(3) 在无量山断裂、澜沧江断裂和南定河断裂之间的上地幔顶部存在一个低速区,速度为7.70—7.80 km/s.推断这里的上地幔顶部的物质可能处于部分熔融状态,使地壳局部不稳,形成普洱地震带的地震活动.

(4) 昌宁双江断裂带是左贡耿马褶皱系和三江褶皱系两大构造单元的碰撞带,断裂带的错动方向复杂,表现出多次活动的特点. 1988年发生的7.5和7.0级两次大地震就是该断裂带又一次活动的结果.

(5) 在澜沧江大拐弯处的景云桥炮点附近,莫霍界面上断裂的断距较大(5km),从地壳厚度变化特点推断,该断裂可能是南定河断裂向北东方向的延伸.

参 考 文 献

- 陈炳蔚、王铠元、刘万熹等,1987. 怒江-澜沧江-金沙江地区大地构造,204pp. 地质出版社,北京.
- 阚荣举、林中洋,1986. 云南地壳上地幔的初步研究. 中国地震,2,4,50—61.
- 甘布尔采夫, T. A., 黎兹尼琴柯, K. B., 贝尔宗, H. C., 叶比娜齐耶娃, A. M., 帕谢契尼克, H. H., 柯斯明斯卡娅, H. H., 卡鲁斯, E. B., 1952. 俞寿朋译, 1955. 对比折射法, 248. 地质出版社, 北京.
- 胡鸿翔、陆涵行、王椿镛等, 1986. 滇西地区地壳结构的爆破地震研究. 地球物理学报, 29, 133—144.
- 李继良, 1988. 滇西三江带的大地构造演化. 地质科学, 4: 337—345.
- 马杏垣, 1987. 中国及邻近海域岩石圈动力图. 地质出版社, 北京.
- 孙洁、徐常芳、江剑、史书林、王继军、何明, 1989. 滇西地区地壳上地幔电性结构与地震构造活动的关系. 地震地质, 11, 1, 35—45.
- 熊绍柏、滕吉文、尹周勋、赖明惠、黄一年, 1986. 攀西构造带南部地壳与上地幔结构的爆破地震研究. 地球物理学报, 29, 235—244.
- Giese, P., Prodehl, C. and Stein, A., 1976. *Explosion Seismology in Central Europe — Data and Results*, 429pp. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Yan, Q. Z., Zhang, G. Q., Kan, R. J. and Hu, H. X., 1985. The crust structure of Simao to Malong Profile, Yunnan Province, China. *J. Seism. Res.*, 8, 2, 249—280.