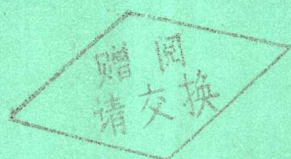


中国地质科学院

562 综合大队集刊

第 11—12 号



地质出版社

中 国 地 质 科 学 院

562 综 合 大 队 集 刊

第 11—12 号

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

(京)新登字 085 号

图书在版编目 (CIP) 数据

中国地质科学院 562 综合大队集刊/崔作舟主编. —北京:
地质出版社, 1994. 12

ISBN 7-116-01689-9

I. 中… II. 崔… III. 地质-研究-中国-丛刊 N. P5-55

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 06833 号

地质出版社出版发行

(100013, 北京和平里七区十楼)

责任编辑: 周瑞良

*

中国地质科学院 562 印刷厂印刷·新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092 1/16 印张: 17.75 字数: 421000

1994 年 12 月北京第一版·1994 年 12 月北京第一次印刷

印数: 1—500 册 国内定价: 14.20 元

ISBN 7-116-01689-9

P·1363

中国地质科学院

562 综合大队集刊编委会

主 编：叶定衡

副主编：周瑞良

编委会：（以姓氏笔画为序）

王承颜	叶定衡	闫全人	孙哲庆	朱松年	邵云惠	吴朝东
李 寅	张以熔	张业成	张金青	周翌元	周瑞良	唐昌韩
高维钺	梅燕雄	崔作舟	黄路桥	曹毅然	谭 琦	

责任编辑：周瑞良 王承颜

目 录

龙门山及川西高原地区的地壳结构与深部构造	崔作舟、陈纪平 (1)
北淮阳深部构造	刘德良、李秀新、王华俊、沈修志、薛爱民 (23)
西昌附近的横波特征与地壳、上地幔弹性结构	李英康、崔作舟 (35)
广西北部湾沿岸地区地质环境及地质灾害现状	唐昌韩、周瑞良 (55)
中国沿海海岸侵蚀灾害分析	胡景江 (73)
中国矿井突水灾害及其形成条件与规律	张春山 (87)
对渤海地区第四纪若干问题的讨论	张业成 (101)
青藏高原地区的“特提斯”性质、演化及区域构造发育特征	蒋志惕 (115)
根据断层泥中石英颗粒的形貌特征研究宁波地区断层最新的活动时期	马君 (129)
长江三峡工程库首区地应力场分析	谭成轩 (139)
宁波地区晚近构造活动、地震活动特征及地壳稳定性	刘剑平 (147)
东准噶尔地区金矿分布特征、控矿条件及成因类型	张以熔 (159)
中国主要煤系煤的变质规律及变质分区的煤级分布特征 ...	雷振民、费淑英 (171)
鄂尔多斯盆地延安地区延安组沉积构成分析	吴朝东 (191)
中国固体燃料矿产	曹毅然、雷振民 (205)
昆明盆地晚新生代泥炭、褐煤的沉积环境与类型	宋煥霞、张金青 (213)
鄂尔多斯盆地东胜煤田煤中矿物低温灰化研究	曹毅然、李河名 (225)
成矿模式研究与矿床分类问题	梅燕雄、叶锦华 (237)
青藏高原构造体系控制下的地热水分布及找热方向	姜鸿才、周瑞良 (243)
鄂尔多斯盆地侏罗纪沉积中心探讨及其找油气前景	麦昌荣 (261)
地质矿产部 562 综合大队	赵晓青 (275)

Contents

Crustal and Deep-Seated Structures Longmen Mountains and West Sichuan Plateau	Cui Zuozhou and Chen Jiping (20)
Deep Structure in North Huaiyang Region	
... Liu Deliang, Li xiuxin, Wang Huajun, Shen Xiuzhi and Xue Aimin (33)	
Characteristics of Shear Waves and Elastic Structures of Crust and Upper Mantle in the Nearby Region of Xichang	
..... Li Yingkang and Cui Zuozhou (52)	
Present Situation of Geologic Environment and geologic Hazard in Coastal Area of Beibu Bay, Guangxi	Tang Changhan and Zhou Ruiliang (69)
Analysis on the Hazards of Coastal Erosion in China	Hu Jinjiang (84)
The Hazards of Erupting-water Well and Their Origins and Laws in China	Zhang Chunshan (100)
On Some Questions of Quaternary in the Bohai Sea Region	
..... Zhang Yecheng (113)	
Nature, Evolution and Tectonical Characteristics of the Tethys in the Qinghai-Xizang Plateau Area	Jiang Zhongti (127)
Dating Fault Activity by Research of Surface Texture of Quartz Grains from Fault Gouges, Ningbo District	Ma Jun (137)
Analysis of Ground Stress Field in the Front Region of Yangtze Gorges Project	Tan Chengxuan (146)
The Characteristics of Neostucture and Earthquake Activities and Crustal Stability in Ningbo Area, East China	Liu Jianping (157)
Distribution, Ore-Control Conditions and Genetic Types of Gold Deposits in East Junggar, China	Zhang Yirong (169)
Metamorphism of Coal and Coal Rank Distribution Characteristics of Coal Metamorphic Classify of Major Coal-Series in China	
..... Lei Zhenming and Fei shuying (189)	
Architectural-Element Analysis of the Yanan Formation, Yanan District, Ordos Basin, China	Wu Chaodong (204)
Solid Combustible Mineral Resources in China	
..... Cao Yiran and Lei Zhenmin (212)	
Sedimentary Environments and Types of Peat and Brown Coal of Late Cenozoic in Kunming Basin	Song Huanxia and Zhang Jinqing (223)
Study of Low-Temperature Ashing of Minerals in Coal from Dongsheng	

Coalfield, North-Eastern Margin of Ordos Basin	
.....	Cao Yiran and Li Heming (235)
Study of Metallogenic Models and Classification of Mineral Deposits	
.....	Mei Yanxong and Ye Jinhua (241)
Distribution of Geothermal Water in Structure System of Qinghai-Xizang	
(Tibet) Plateau and Its Prospecting ...	Jiang Hongcai and Zhou Ruiliang (259)
Research of Jurassic Depositional Centre and Its Perspective of Oil and Gas	
in Ordos Basin	Mai Changrong (273)
NO. 562 Comprehensive Geological Brigade (562 CGB) ...	Zhao Xiaoqing (277)

龙门山及川西高原地区的 地壳结构与深部构造^①

CRUSTAL AND DEEP-SEATED STRUCTURES OF LONGMEN MOUNTAINS AND WEST SICHUAN PLATEAU

崔作舟 陈纪平

(中国地质科学院 562 综合大队)

内容提要 花石峡-简阳及唐克-金川两条 DSS 剖面的解释结果, 提供了川西高原的地壳结构: 地壳厚度为 59—68 km; 速度结构多变, 层面发育、可分 7—9 层; 地壳平均速度为 6.39—6.41 km/s; 上地壳速度为 5.77—6.04 km/s, 层厚 17—22 km, 底部常见 5.8—6.1 km/s 的低速层; 中地壳速度 6.26—6.33 km/s, 层厚 17—23 km, 其中部存在厚 2—6 km, 速度为 5.8 km/s 的低速层; 下地壳速度 6.96—7.04 km/s, 厚 21—28 km; 下地壳为梯度过渡层, 壳、幔速度差很小, Pn 不发育。四川盆地的地壳结构特点是: 地壳厚度较小, 41—45 km, 结构较稳定, 界面少, 可分 5—6 层; 平均速度较低, 6.1—6.2 km/s; 上地壳速度 4.3—6.2 km/s, 厚 22 km; 中地壳速度为 6.5 km/s, 厚约 13 km, 无低速层; 下地壳速度为 7.0 km/s, 厚 8—10 km/s; 壳、幔界面近似一级间断面, Pn 发育, 速度为 8.0 km/s。由此可见, 龙门山断裂带两侧地壳结构差异明显。龙门山断裂带的地壳结构极为反常: 界面极少且不连续; 与西部低速层相当的深度中地壳出现速度为 6.60—6.70 km/s 的高速体, 低速层消失; M 面被断开, 东浅西深, 断距达 12 km。断裂带下部的 Pn 速度为 7.8 km/s, 其两侧均为 8.0 km/s。川西高原有山根。深部为东倾的俯冲断裂带, 而地表及浅层为西倾的仰冲断裂带, 他们都终止于西侧的中地壳或上地壳低速层。坚硬的四川地块呈一楔形插入西侧的松潘-甘孜褶皱系的造山带较软弱地壳之中。他们实际上是在特殊条件下发育的一对共轭剪切破裂在剖面上的一种组合形式。

1987 年我队参加了由地质矿产部勘察技术院主持的花石峡-简阳深地震测深剖面的观测。此项任务属地矿部“七五”重点科技攻关项目, 由勘察院所属的第二物探大队协同地科院 562 综合大队及成都地质学院共同完成。资料由第二物探大队统一处理后委托 562 综合大队统一解释并编写成果报告。解释及成果报告编写工作是在 1989 年 9 月—1990 年 11 月期间内完成的。该成果主要给出了龙门山及其以西松潘-花石峡一带的地壳结构特征; 反

① 本文系“阿尔泰-台湾剖面、花石峡-简阳爆炸地震测深成果报告”的缩写。

映了龙门山断裂带的特征及其形成的力学模型和机制；证明了龙门山及其以西的高原有山根；表现了龙门山构造带的分界性质和意义。

一、测线的分布与观测系统

此剖面是黑水-邵阳剖面向西的延续和补充。主测线东起四川盆地南部的简阳，向西经成都、灌县、汶川、理县、壤口及阿坝，而后进入青海省的久治、达日至花石峡。主测线在壤口附近与支测线近正交。支测线南起丹巴，经金川、壤口、唐克至若尔盖。主测线长约 770 km，支测线长约 265 km。剖面的布置受到当地交通条件的限制，故东段与构造线近于直交，而西段则与构造线斜交甚至顺沿构造线方向，很不理想，同时也给构造解释带来了很大的困难（图 1）。

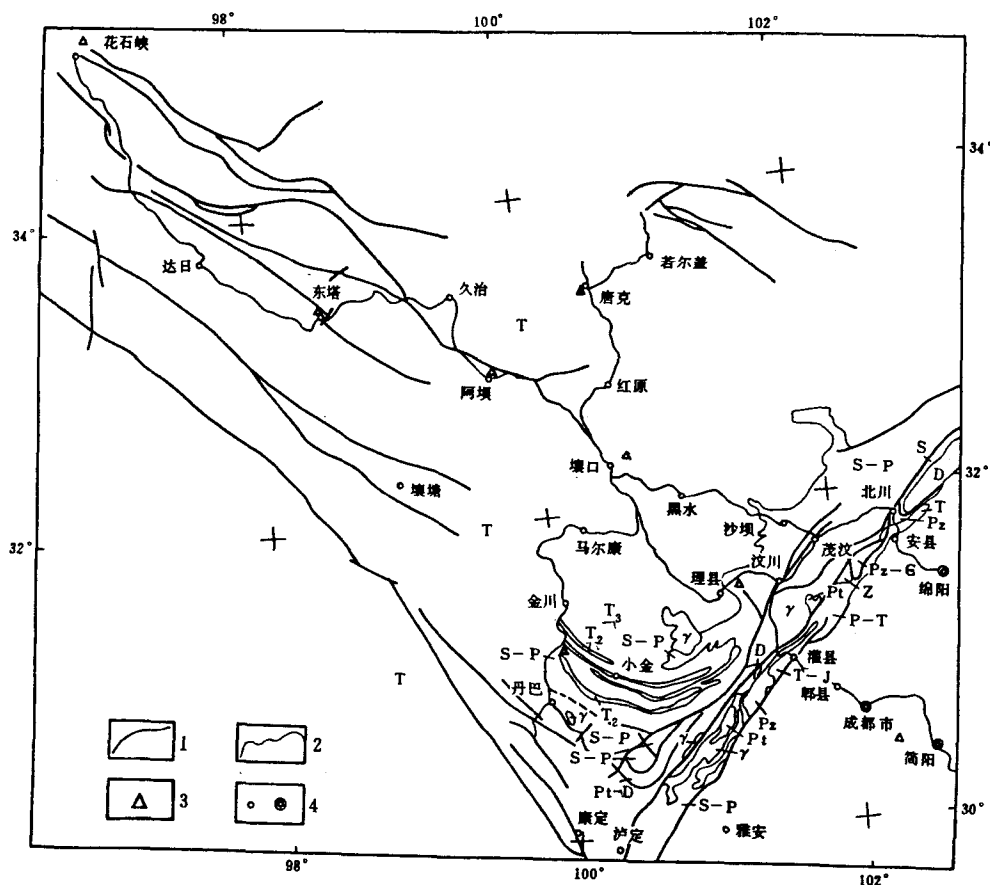


图 1 花石峡-简阳及金川-唐克剖面位置及构造示意图

Fig. 1 Sketch of tectonic and profiles position of Janyang-Huashixia and Jinchan - Tangke profiles

按工程设计要求，沿主测线设如下六个炮点：花石峡（3t）、东塔（2t）、阿坝（3t）、壤口（2t，此炮点与支测线共用）、汶川（3t）和简阳（3t）。另外在支测线两端的金川（3t）和

唐克 (2.6t) 分别设两炮点。各炮间的距离除花石峡与东塔炮之间为 260 km 外, 其余各炮间的平均距离约为 150 km。3t 炮的有效炮检距定为 300 km; 2t 炮定为 250 km。

此次施工所用仪器以 DZSM-2A 型为主, 共 150 台; 其次有 MJD-A 型 50 台, 总计 200 台。记录合格率大于 82.5% (见表 1)。测点间隔平均为 4 km, 各炮的观测剖面组成的观测系统如图 2 所示。主测线均为纵剖面, 多构成相遇观测系统。支测线除进行纵剖面观测外, 还在主测线上布置了扇形观测剖面。

表 1 钻爆参数及质量统计表

Table 1 Statistical of drill - exploding data and Quality

炮点 名称	钻 爆 参 数						质 量 情 况			
	药量 (kg)	激发方式	药深 (m)	药包 个数	药间 距 (m)	冲顶 个数	起爆情况	记录合格率 (%)		评 价
								有效段	总的	
花石峡	3000	水 炮	14	18	≥ 20	/	全起爆	90.6	50.3	效果相当好, 合格
东 塔	2830	浅井组合	15	26 孔	≥ 8	4		56.9	40.5	能量弱, 未达设计要求, 不合格
阿 坝	2920	深井组合	50	5 孔	≥ 10	1	1 孔 500kg 未爆	84.7	80.7	基本上全线能接收到信号, 合格
唐 克	2667	水 炮	15	16	≥ 8	/	2 包冲起	82.7	60.3	效果一般, 合格
金 川	3012	水 炮	15	17	≥ 10	/	全部起爆	88.4	86.8	效果较好, 合格
壤 口	2156	水 炮	30	13	≥ 12	/	全部起爆	90.7	90.4	效果较好, 合格
汶 川	3056	水 炮	25	18	≥ 15	/	全部起爆	87.0	87.1	效果较好, 合格
简 阳	3160	深井组合	50	4 孔	20	/	全部起爆	75.6	49.7	效果一般, 合格

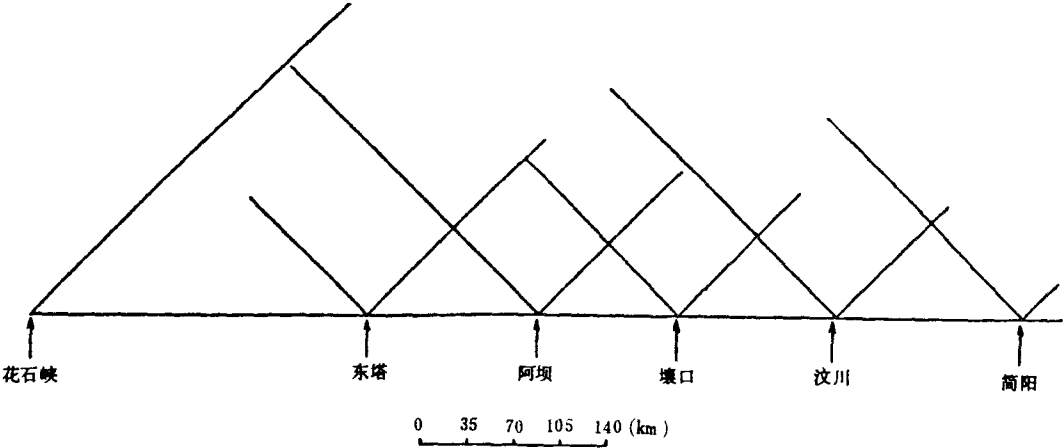


图 2 花石峡-简阳地震观测系统图

Fig. 2 Map of observation sysstem for Janyang - Huashixia seismic profiles

A. Main observation - line; h — J B. Mbranch observation line: J—T

A. 主测线: 简阳 — 花石峡; B. 支测线: 金川 — 唐克

原始记录经数字化处理后,组合成 11 张记录剖面图及 2 张非纵记录剖面图。纵记录剖面用炮点名称的汉语拼音字头和测线延伸的大致方位来表示。非纵记录剖面则以炮点名称的汉语拼音字头,以及测线相对于炮点的位置及测线延伸的大体方位来表示。

纵记录剖面有:HSX-E(即花石峡东)、DT-E&W(东塔东及东塔西)、AB-W(阿坝西)、AB-E(阿坝东)、RK-W(壤口西)、RK-E(壤口东)、WC-E&W(汶川东及汶川西)、JY-W(简阳西)、JC-N(金川北)、TK-S(唐克南)、RK-S&N(壤口南及壤口北)。非纵测线记录剖面有:

JC-N-EW(金川以北的东西向非纵剖面)。

TK-S-EW(唐克以南的东西向非纵剖面)。

二、解释方法

对上述记录剖面首先进行预处理,处理后仍不理想。经过试验确定,再进行 1—6Hz 的带通数字滤波,结果抑制了高频干扰,突出了深层有效波组。震相分析采用波组对比的方法。反演计算是在波组对比的基础上进行的。首先采用“H-W”法对 Pg 震相作反演,求出地壳表层的分层参数,再用“ T^2-X^2 ”法、“恒差法”或“PLUCH”剥反法求得深部地壳参数,并据此构制地壳初始速度结构模型。正演拟合以反演建立的初始模型为基础,我们首先采用 DANTZ 射线追踪程序,以试错法对每炮记录和走时进行反复拟合,直到拟合程度最佳为止。在此基础上,再用 SEIS 81 程序进行走时和能量分布的正演拟合。

DANTZ 与 SEIS 81 两程序虽然都属二维射线追踪法,但它们也各有特点。

DANTZ 程序是法国提供的“深地震测深 GPS 程序包”的组成部分。它适用于震源在地表及地下各种情况的二维纵横向变化介质,层界面可以是倾斜的平界面,可以处理较为复杂的速度分布问题。它规定速度变化可以是间断的,也可以是连续的;速度界面可以是不连续面或梯度层。它使用“列处理”方法。其特点是节省内存,模型简单,计算迅速,调整方便。

SEIS 81 程序包除基本程序外含三个辅助程序:SYNTPL、SEISPLOT 和 RAYPLOT。它是为含有弯曲界面、块状结构、没影层和孤立体的二维横向不均匀介质中进行两点射线追踪和理论地震图的计算而设计的。要确定地震体波的射线、走时和震幅,必须知道介质的物理参数和几何参数,以及它们在任意点的导数,并将其表示为空间坐标的函数,即二维介质模型必须以网格形式给出。为了获得连续、平滑和正常分布的走时-距离、振幅-距离曲线,还必须保持各节点的一阶、二阶导数连续。为此,该程序对介质参数和界面均采取了三次样条插值,射线理论地震图的主要优点是适用于一般介质,其中包括带有弯曲界面的横向不均匀介质类。其次的优点是计算迅速而经济。

此剖面的解释同时采用了 DANTZ 和 SEIS 81 两种程序。先用前者进行走时曲线的一般正演拟合,而后再用后者作进一步处理。试验证明二者相结合取得了较好的解释结果,可更好地反映实际地壳结构的特点。

三、震相分析及波场特征

根据测区的观测记录,可辨认出 5—9 个震相,即 P_s 、 P_1^0 — P_7^0 、 P_m 和 P_n , 现分别叙述如下:

P_s : 地壳表层的回折波。一般情况下,它是由呈正梯度状态分布的沉积岩层所形成。 P_s 的传播距离和视速度随梯度层的厚度和速度而变化。以 JY-W 记录剖面为例(图 3) 龙门山以东的 p_s 波视速度为 5.8—6.0 km/s, 传播距离为 70 km。这是因为龙门山以东有较厚的沉积层,且速度较低。而龙门山以西 DT-E&W 剖面(图 3), P_s 传播距离都大于 100 km, 最大距离达 160 km。这是因为该区地表速度较高,随深度速度增加较快,很快达到了 6.0 km/s, 这表明速度接近 6.0 km/s 的地层以较小的梯度向更大的深度延伸。由于地表岩性变化较大,故 P_s 波的视频率范围也较大,在通频为 1—6 Hz 的记录剖面上,5—6.6 Hz 的能量较强。

P_1^0 : 地壳上部梯度层底面的反射波。它出现在 P_s 之后,在 P_s 走时曲线的尾端与之相切。该震相在龙门山以东较发育;在龙门山以西不甚发育,这表明其梯度层底部与下伏层之间速度差极小。推测为古生界与震旦系地层之间界面的反映,它们都含有碳酸盐岩,速度差值较小;故反应不够清楚。

P_2^0 : 在 P_s 波之后的明显震相,可能是花岗质岩层顶面的反射波。因地壳上部的非均匀性,导致 P_2^0 的能量大小和出现的范围很不稳定。它通常在炮检距为 50—90 km 时出现,可追踪到 130—180 km。震相尾部能量较弱走时曲线平直。 P_2^0 的视频率为 6.67—6.25 Hz。难于识别。但 P_2^0 和 P_3^0 走时曲线尾端近于平行的特点,说明了低速层的存在。

P_3^0 : 地壳中部低速层底面或缺失低速层时,它是 R_2 (相当于 P_2^0 震相的反射界面) 下伏层底界面的反射震相。在炮检距为 65—106 km 时开始出现,可追踪至 166—220 km。该震相能量强而稳定,视频率为 6.25—5.88 Hz。

P_4^0 : 地壳中部的反射震相。它在汶川以西的记录剖面上普遍显著,其能量强而稳定。当炮检距为 100—150 km 时开始出现,可追踪至 180—250 km。视频率为 5.88—5.56 Hz。

P_5^0 或 P_7^0 : 地壳下部的反射震相。 P_5^0 的能量相对较强而且稳定。视频率为 5.56—5.25 Hz。炮检距为 117—155 km 时开始出现,可追踪至 200—270 km。 P_7^0 仅出现在个别记录剖面中,如 RK-E (图 4) 和 TK-S 两剖面。它开始出现于 150—177 km,因能量弱连续性不佳,可追踪距离很短。

P_m : 地壳底部莫霍面的反射震相。除 P_s 之外它是一组能量最强,连续性最好的震相。它开始出现于 120—180 km,180 km 左右振幅最大能量最强,可连续追踪到 260—300 km。其视频率为 5.56—5 Hz。走时曲线的尾部略向上弯曲,这表明地壳底部速度呈梯度状态分布。

P_n : 莫霍面的折射震相。只在 RK-E (图 5) JY-W (图 3), AB-W 和 HSX-E 等剖面上发现。除 RK-E 和 JY-W 之外能量均较弱,且可连续追踪距离甚短。多出现于 220—300 km 之间。视速度为 7.8—8.5 km/s。将 p_n 的走时曲线反向延长大致与 P_m 震相

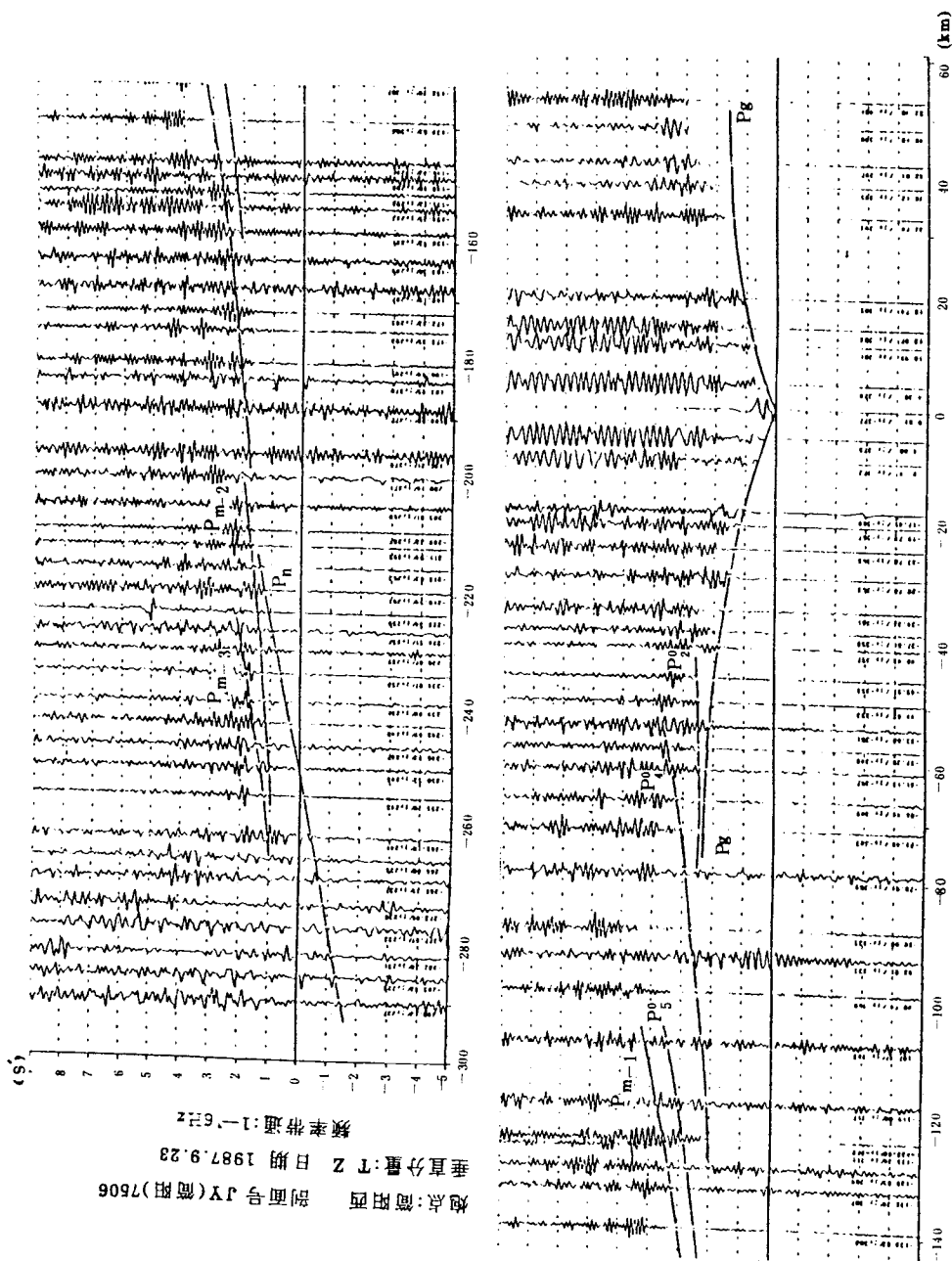
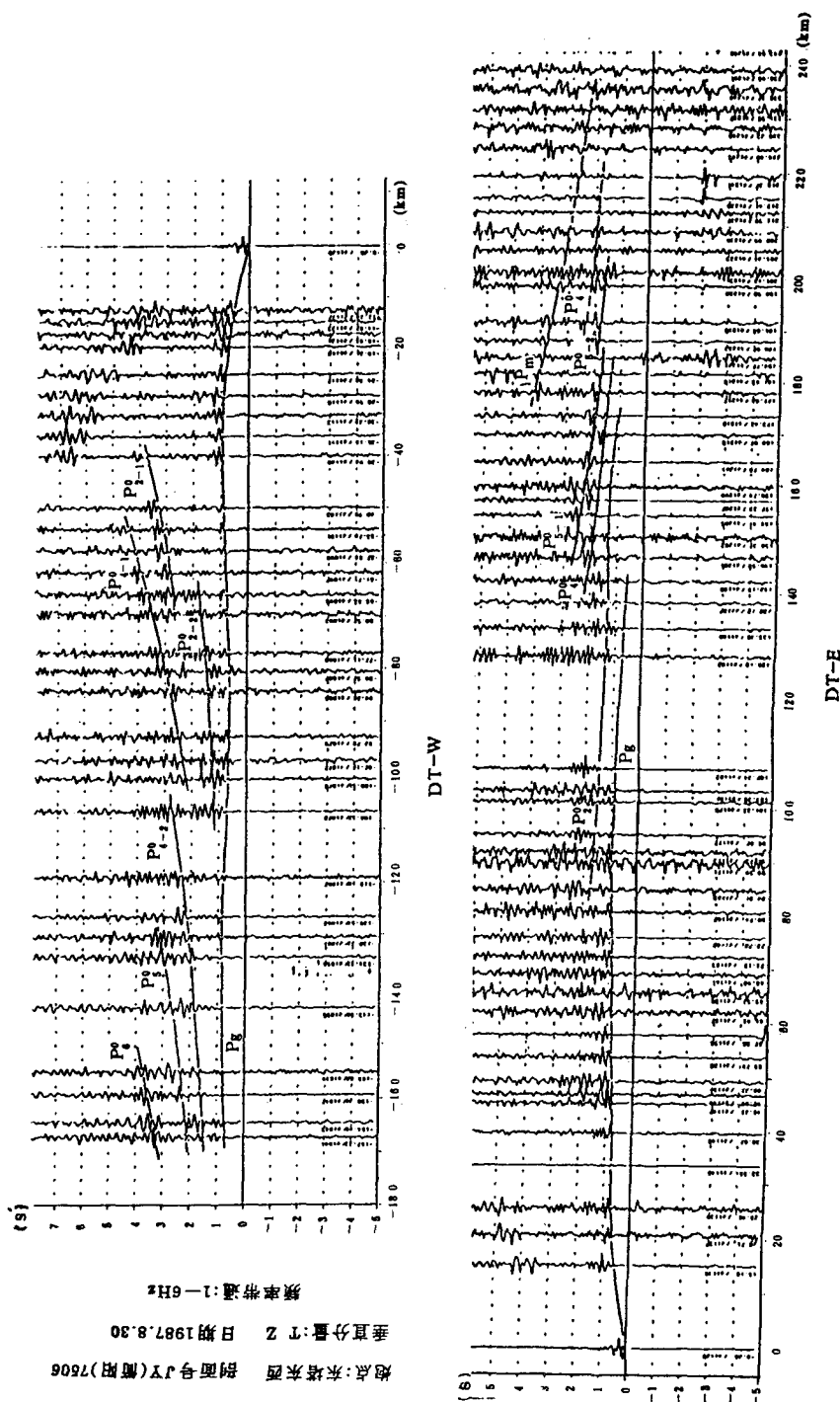


图 3 JY - W 地震记录剖面图

Fig. 3 The map of seismogram section JY - W



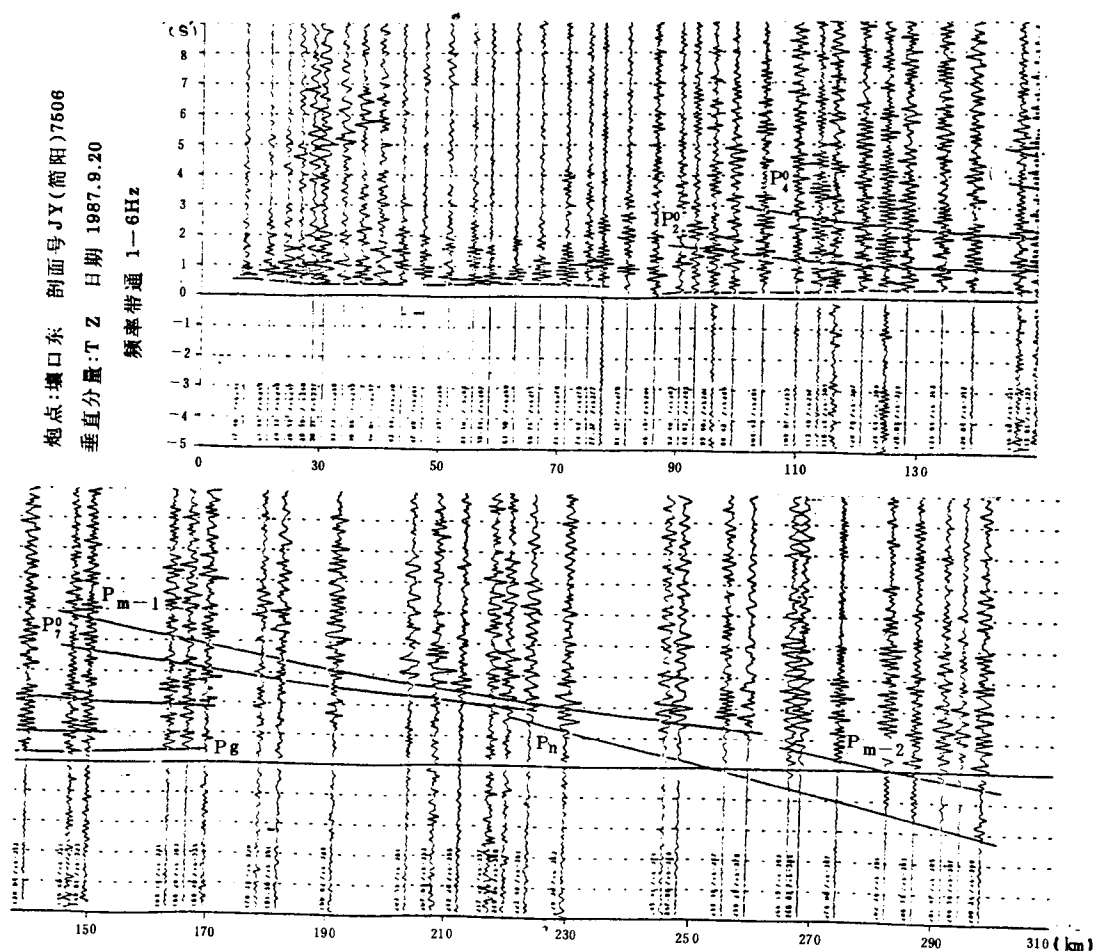


图 5 RK-E 地震记录剖面图

Fig. 5 The map of seismogram section RK-E

相切。P_n 走时曲线与 t 坐标零线的交点至炮点的距离以及视速度等列于表 2。

表 2 P_n 波记录特征表Table 2 Characteristics of P_n waves recording

地震记录图	HSX-E	AB-W	RK-E	JY-W
炮检距 (t ₀ =0) (km)	290.8	286.0	254.5	252.5
视速度 (km/s)	8.1	8.0	8.5	7.8

主测线与支测线的综合走时曲线见图 6。它表明了有效波的走时关系, 而且直观地显示出各震相的有效接收地段, 同相轴间的互换、连接关系, 以及整个剖面的覆盖情况。

此剖面主要分布于龙门山以西的高原地区。故主要反映了高原区的波场特征。龙门山以西与其以东相比较, 高原一侧的地震波场有如下特点:

1. P_n 震相较为突出, 能量强而稳定, 传播距离远, 可达 113—160 km。视频率变化

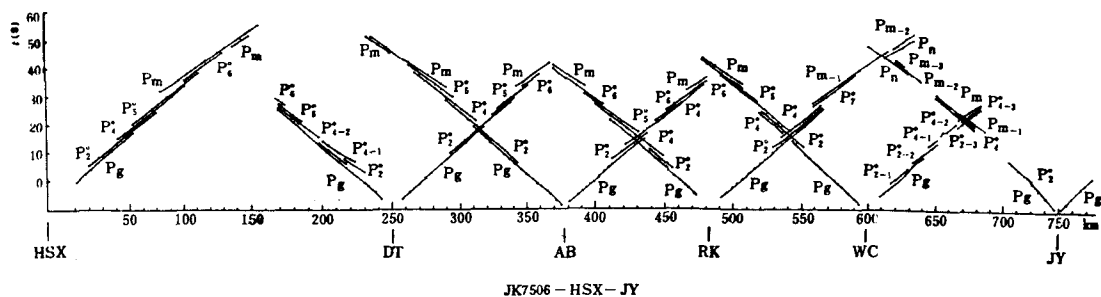


图 6 花石峡-简阳爆破地震综合时距图

Fig. 6 Synthetic time—distance graph of H-J explosive seismic profile

范围较大。

2. 不同层次的有效波排列有序，互不相交，或称为“雁列式排列”。

3. 各震相的大幅度区随反射面深度的增加依次远离炮点，使处于续至区的各组震相得以可靠对比和追踪。

4. P_m 为本区最突出的震相，不仅能量强，而且可连续追踪。其尾端向上弯，具“后行”走时特征。

5. P_n 不甚发育，只在少数剖面上有所显示。

6. 有效波的波形、震幅及频率等动力学特征，具有明显的区域性。它们可能与当地的地壳结构、构造和岩石性质的变化有关。

四、区域地壳结构特征

根据地震波形记录剖面中震相的时距曲线，采用前述反演方法首先建立了一维初始速度结构模型，而后再用射线追踪法进行二维正演拟合，主要建立了龙门山以西地区的二维速度结构模型（图 7），并绘制了等速度曲线剖面图（图 8）。同时也解释了龙门山及其以东部分盆地的地壳结构，并分析了其间的深部构造。

1. 龙门山以西地区的地壳结构特点

(1) 本区地壳厚度较大，最厚处可达 67—68 km。东段近龙门山附近厚度较小，约 59 km。

(2) 分层厚度及速度分布在横向上变化较明显，常有局部高速区或低速区出现。在纵向上速度层界面发育，一般可公为 7—9 层不等（见图 7）。

(3) 地壳平均速度较高，一般为 6.39—6.41 km/s，局部可达 6.5 km/s。地表速度也较高，经常达 5.5—6.0 km/s。

(4) 上地壳厚度约为 17 km—22 km。表层常见速度梯度层，梯度层厚 12—14 km，其下为 4—8 km 的常速层。上地壳底部常有低速层，层速度为 5.8—6.1 km/s。据地层资料，三叠系为浅变质的复理石砂、板岩互层偶夹酸盐岩层，震旦系及古生界地层为浅变质海相碎屑岩、碳酸盐岩层；前震旦系多为浅变质的炭质板岩及千枚岩等。川西高原广为三叠系所覆盖，表层的梯度层可能是它的反映。其下的常速层可能是古生界及震旦系地层的反映。而低速层可能是与前震旦系浅变质岩系有关。是否果真如此，尚须检验。地表高速

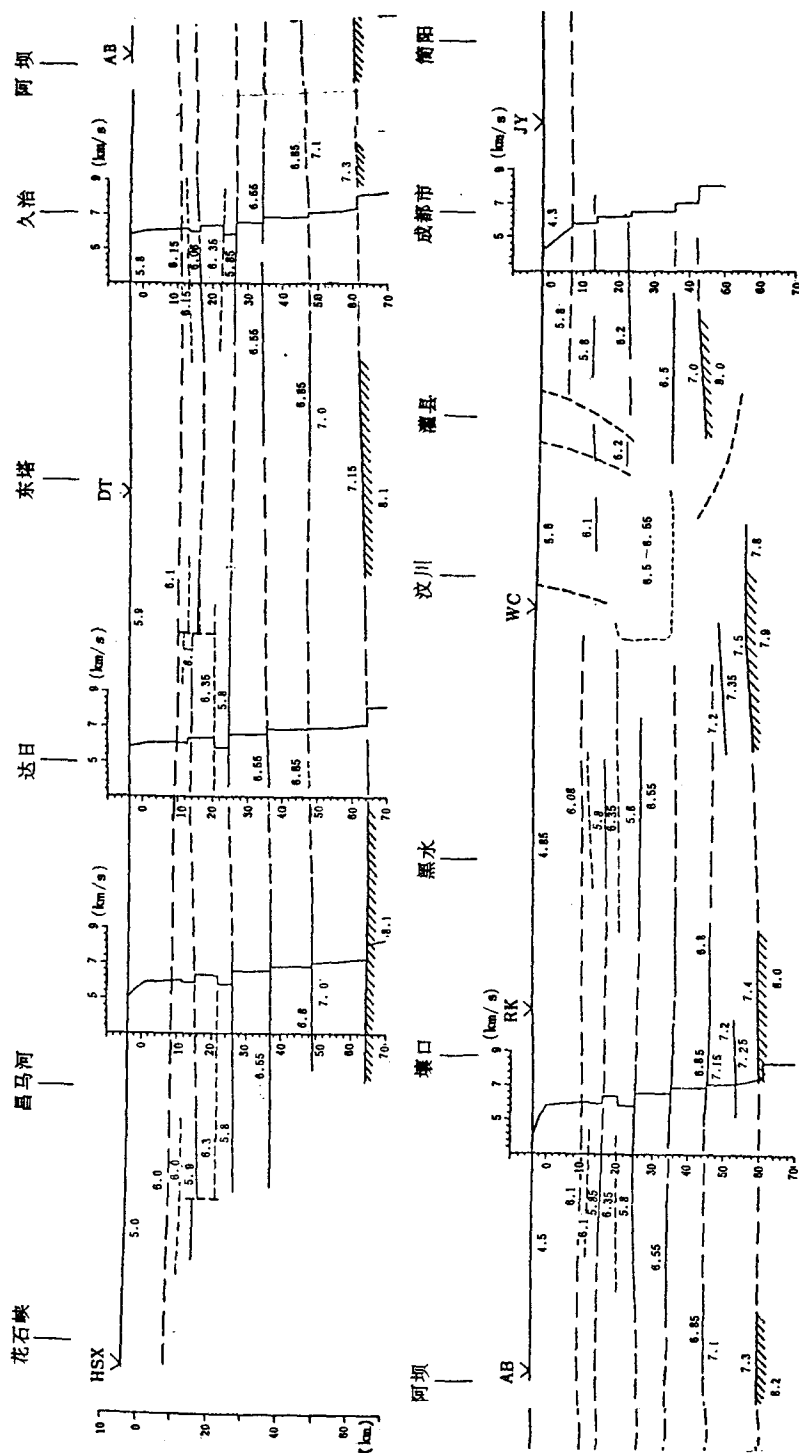


图 7 花石峡-简阳速度结构模型 H-J
Fig. 7 Section of velocity structure model H-J