

四川龙门山冲断带中北段 岩石圈结构研究

刘树根 罗志立 宋鸿彪

曹树恒

(成都地质学院石油系)

(四川省地质矿产局)

根据龙门山及其两侧的航磁和重力场特征,可将龙门山区的区域磁场分为四个区域;区域重力场分为三个区带。在此基础上,利用大地电磁测深和深部地震测深资料,结合地质分析,在平面上把龙门山区的地壳构造分为四个区,上地幔构造分为三个区;剖面上把岩石圈结构分为特征不同的五层。上述成果为龙门山冲断带成因机制的研究奠定了基础。

关键词 龙门山 逆掩断层带 重力勘探 航磁勘探 岩石圈

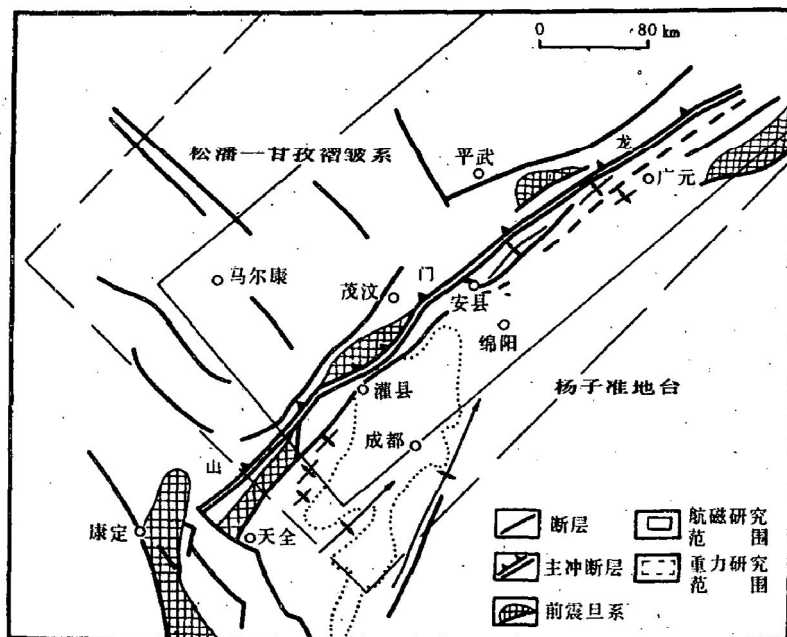


图1 龙门山冲断带构造位置图

位于四川盆地西北缘的龙门山冲断带,北起广元朝天,南达天全,全长约 500 km,宽 20—30 km (图 1)。习惯上把它分为南段(灌县以南)、中段和北段(安县以北)。本文重点研究中北段。龙门山冲断带既是青藏高原的东界,又位于中国中部南北向地震带上。构造活动强烈,地史演化多变,地壳深部结构独特,历来为中外地质和地球物理学家所注目。但由于过去的工作条件和资料的缺乏,有关研究多限于地表工作,对岩石圈的结构研究较为薄弱,因此,在成因机制上众说纷纭,给有关矿产的勘探带来

困难。本文在前人研究的基础上,采用综合物探的方法,对龙门山冲断带及邻区四川盆地和松潘-甘孜地槽的深部结构进行了详细的研究。这无论对龙门山冲断带的成因机制,还是对地史演化研究,均具有重要的意义。

本文 1989 年 1 月 3 日收到,同年 4 月 18 日改回。

• 本文为刘树根硕士论文的一部分,罗志立、曹树恒为指导教师。

一、龙门山冲断带的地球物理场特征

(一) 磁场特征

我们在四川省地矿局最新编制的 1:50 万四川省航磁 ΔT 异常平面图的基础上,对航磁资料进行了化极、向上延拓等处理。结果表明:全区磁场可划分为特征不同的四个区(带)(图 2, 3)。

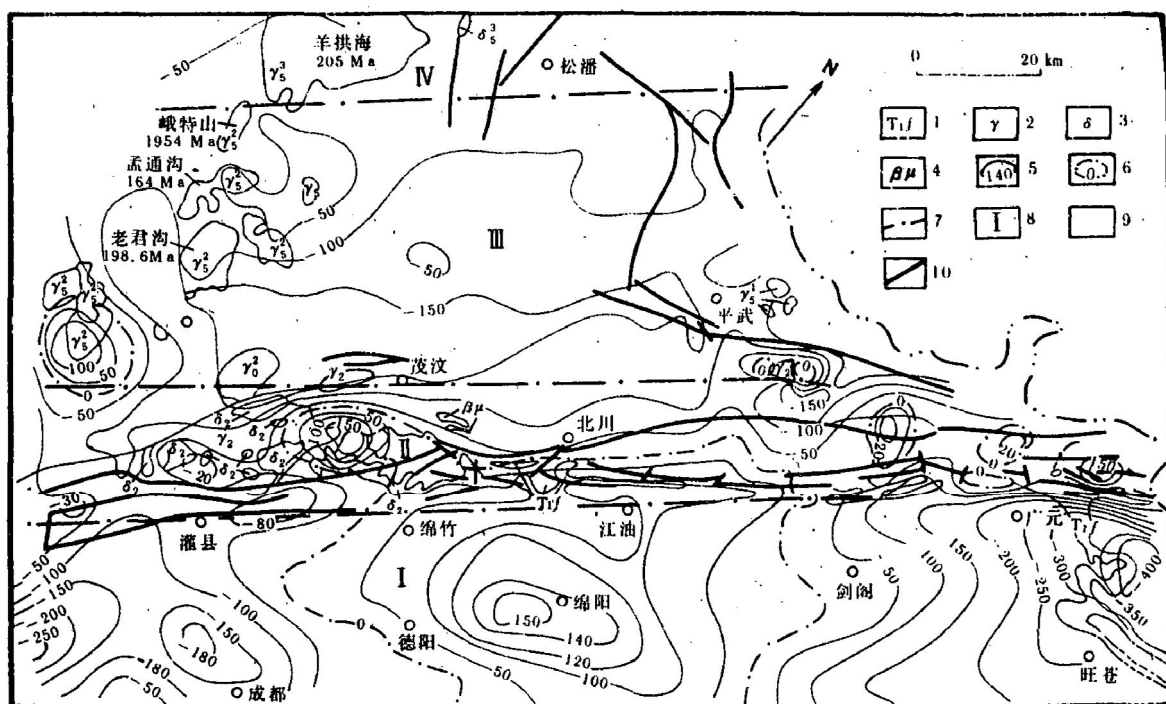


图 2 龙门山中北段航磁 ΔT 化极异常平面图和航磁异常分区图

1—下三叠统飞仙关组, 2—花岗岩, 3—闪长岩, 4—辉绿岩, 5—航磁等值线 (nT), 6—零值线 (nT),

7—航磁异常分区界线, 8—分区编号, 9—岩体绝对年龄 (Ma), 10—断层

注 1. 仅表示有磁性的岩浆岩和地层, 2. 岩体的绝对年龄据张志兰等 (1988)

1. 四川盆地高值磁异常区 (I)

为广元(北)-江油-安县-灌县-大邑长河坝一线以东的区域。该区以高强磁异常成块出现为主体, 以高值正或负磁异常呈北东向连续规则排列和正、负异常变化剧烈为特征, 反映磁性结晶基底的存在, 并说明基底岩性存在着较大的分异。该区主要由旺苍磁异常低、绵阳磁异常高和邛崃磁异常低组成。在本区北东还有不规则的磁异常存在, 但上延 21 km 后已不复见。

2. 龙门山磁异常陡变带 (II)

为 I 区以西, 青川-茂汶-汶川一线以东的带状区域。它是一北东向的正、负磁异常急剧变化的线性异常带。带内异常值一般变化较为均匀, 变化梯度为 6.7 nT/km。但在汶川-灌县地区和桥楼附近分别存在高达 200 nT 和 100 nT 的孤立正异常, 其变化梯度达 22 nT/km。但在上延 21 km 的异常图上, 这两个异常均不复存在。

3. 平武-理县负磁异常极值区 (III)

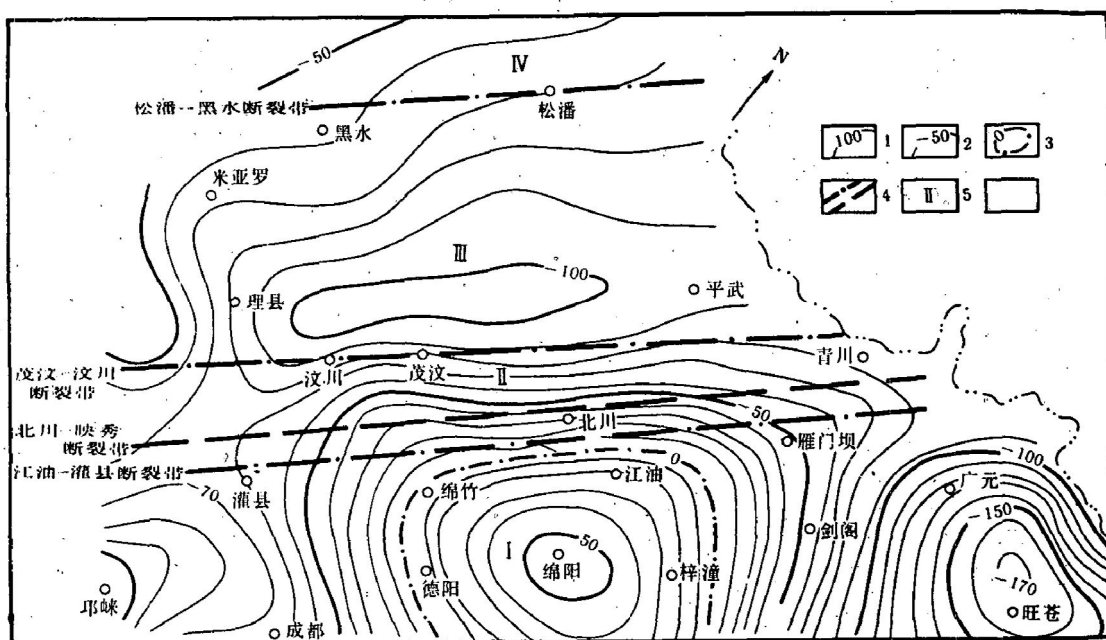


图3 龙门山中北段航磁 ΔT 化极上延21km异常平面图和航磁异常分区图

1—正等值线 (nT), 2—负等值线 (nT), 3—零值线 (nT), 4—断裂带和航磁异常分区界线断裂带, 5—分区编号

为Ⅱ带以西, 牧羊场—松潘—黑水一线以东的区域。该区区域异常走向北东, 局部走向北西或近南北。除理县之南有一正异常外, 均为负异常, 且是研究区磁异常最低的地区。

4. 红原—马尔康磁异常低缓区 (Ⅳ)

为Ⅲ区以西地区。该区由东往西负磁异常逐渐减小、磁场强度缓缓增加, 至若尔盖、红原、阿坝一带磁异常极为平缓。

(二) 重力场特征

作者在四川省地矿局最新编制的1:50万四川省布格重力异常图的基础上, 对龙门山及其两侧地区的重力资料进行了若干窗口的滑动平均计算, 剩余异常的求取和结合深部地震测深资料反演了研究区的莫霍面深度。结果表明龙门山冲断带重力异常特征与两侧地区存在着显著的差异。

1. 区域重力场特征

龙门山构造带位于我国南北向巨型重力梯级带内, 重力场变化较大。据重力异常等值线的展布方向, 异常值变化幅度和梯度以及异常等值线的扭曲等特征, 研究区可分为三个区域 (图4):

(1) 平武—茂汶—灌县—雅安一线以东区域 (Ⅰ), 属四川盆地。重力异常等值线以北东向为主, 只在南充和宁强两地呈东西向, 和旺苍以北呈南北向。重力异常值东高西低, 在-95mGal至-200mGal之间, 梯度较小, 平均变化率为0.35mGal/km。

(2) 南坪—松潘—黑水—康定一线和平武—茂汶—灌县—雅安一线之间的区域 (Ⅱ), 为龙门山构造带所在部位。异常等值线在康定—宝兴一线以南和松潘—平武一线以北地区为南北向, 二者之间的区段呈北东向。异常值东高西低, 梯度较大, 在60—80km的距离内从-200mGal至-325mGal, 变化率为1.5—2mGal/km。值得注意的是龙门山构造带与龙门山梯度带之间存在一定

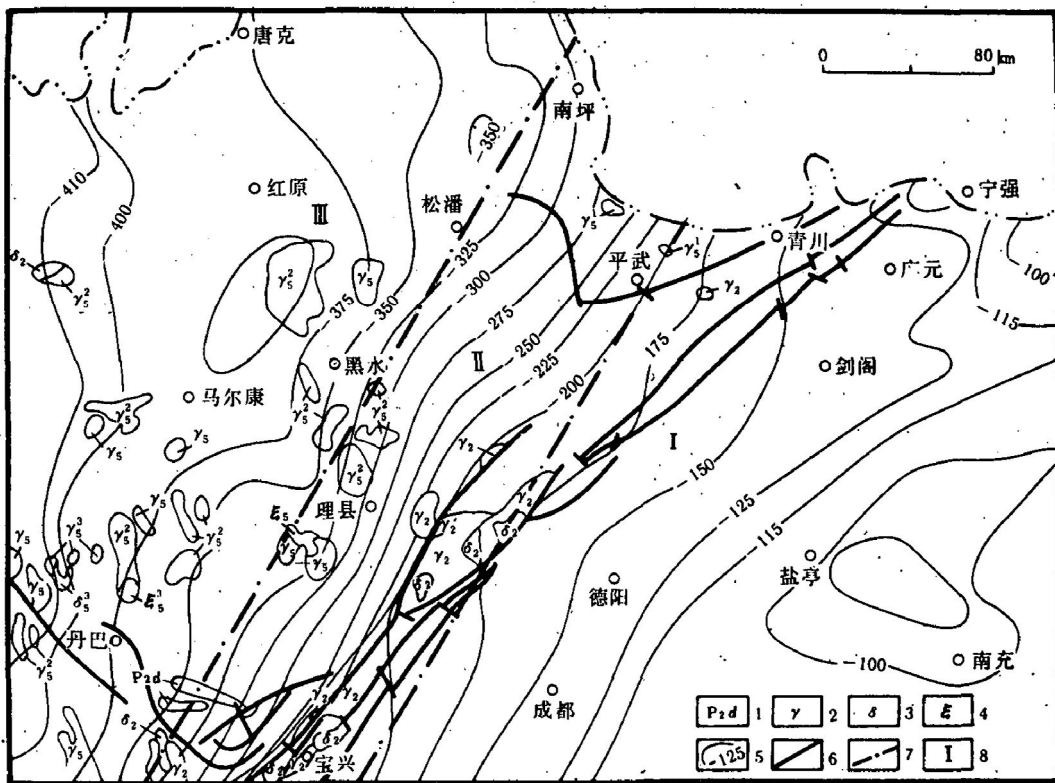


图4 龙门山中北段布格重力异常平面图和区域重力场分区图

1—上二叠统大石包组枕状玄武岩, 2—花岗岩, 3—闪长岩, 4—正长岩, 5—重力等值线 (mGal), 6—断层, 7—区域重力场分区界线, 8—区域重力场分区编号

的偏差, 梯度带在地表构造带的西北侧, 其偏差由南向北增大。

(3) 南坪-松潘-黑水-康定一线以西区域 (Ⅲ), 为松潘-甘孜地槽区。异常值东高西低, 在 -325mGal 至 -430mGal 之间, 梯度不大, 平均变化率为 0.45mGal/km 。

2. 均衡重力异常特征

龙门山地区为正的均衡异常区。这正的均衡异常呈北东走向, 长 300 余公里, 宽 130 km, 极大值为 $+21\text{mGal}$, 异常两侧的等值线密集, 梯度较大^[2] (图 5)。

正均衡异常表明壳内存在质量过剩。上述正异常位置恰与正剩余异常区和大地球磁测深发现的高阻异常相对应 (见后), 因此我们认为该正均衡异常是由深源物质上侵而引起的。按艾礼 (Airy) 地壳均衡理论, 如果龙门山区地壳处于均衡的话, 则①龙门山一带的地壳应较东西两侧都厚, ②深部布格重力异常应呈负异常带。可是实际上该区布格重力异常为明显的梯度带, 处于地壳由东向西加厚的陡倾带上 (见

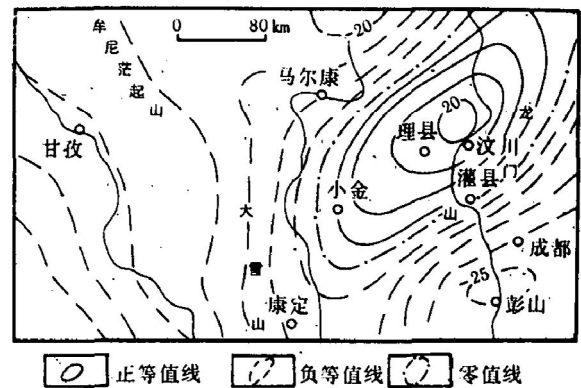


图5 龙门山 $120\text{km} \times 120\text{km}$ 平均均衡异常 (艾礼均衡模式)^[2]

(注: 异常以 $10\text{g} \cdot \mu$ 为单位)

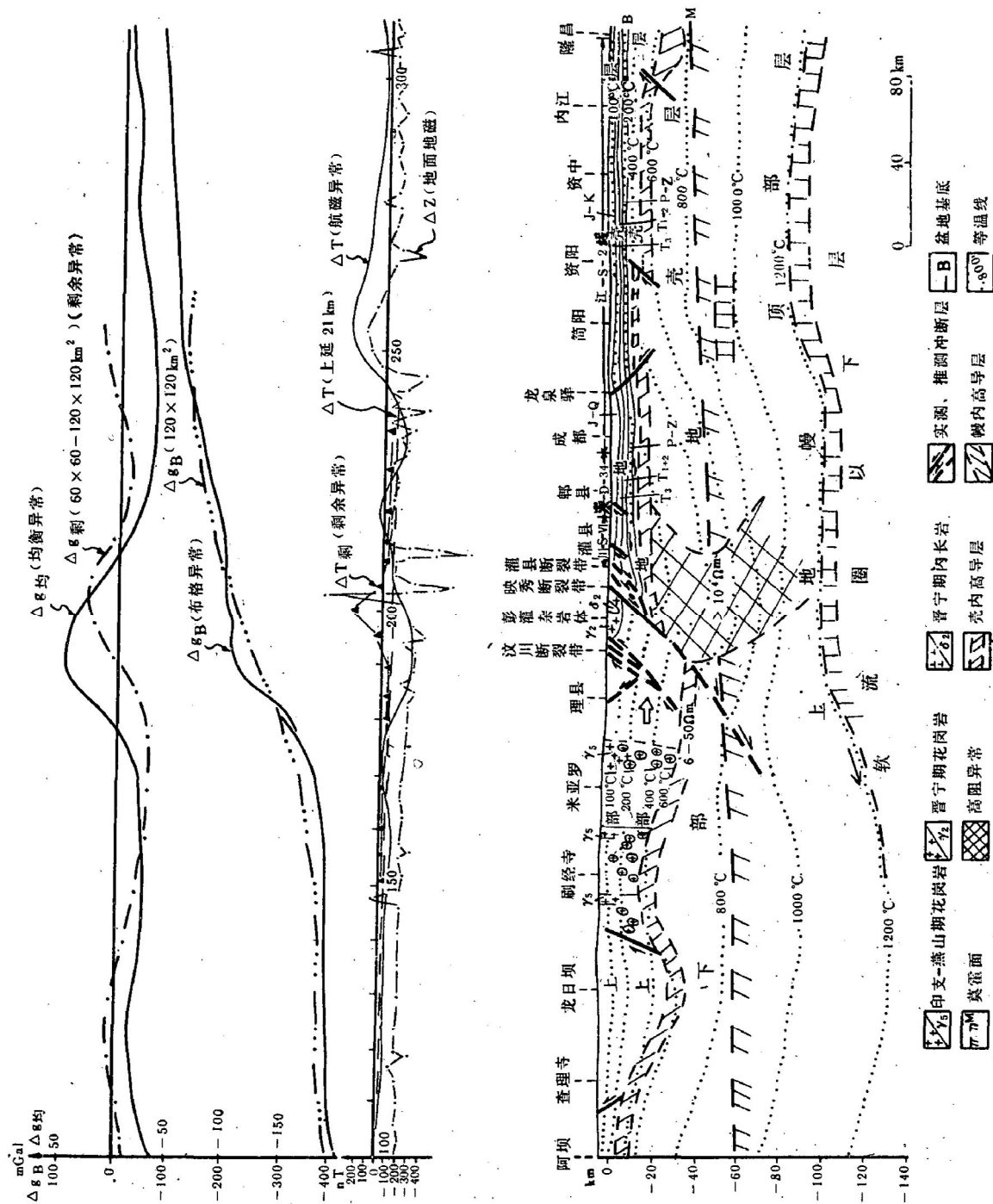


图6 阿坝-隆昌地球物理-地质综合解释剖面图

注: 1. 大地电磁测深原始剖面据李立等^[3], Δg_B 、 Δg_a 、 ΔT 、 ΔZ 据四川地矿局物探队 (1985); 灌县以东地区盆地内盖层资料据西南石油地质局第二物探大队 (1987)。2. 理县以西地表所见花岗岩体为北东方向 7 至 20 km 地表花岗岩在此剖面上的对应位置。

后)。可见, 龙门山一带地壳未得到均衡, 还缺乏山根。在均衡调整力的作用下地壳应下沉。但据近年地形变化资料可知, 以九顶山为代表的龙门山一带在以 $0.3-0.4 \text{ mm/a}$ 的速度缓缓地持续上升。因此, 龙门山一带一定受到一个大于均衡调整力的外加上升力的作用。

(三) 岩石圈的电性结构特征

横穿龙门山断裂带中段的阿坝-隆昌大剖面, 起自阿坝, 经理县、灌县, 止于隆昌, 横跨扬子准地台和松潘-甘孜地槽两大构造单元, 全长约 570 km , 有 11 个测深点。通过该剖面的大地电磁测深工作, 揭示了龙门山断裂带及其两侧地区的岩石圈电性结构^[3] (图 6):

1. 在地壳内存在有低阻层, 其埋深为 $11-37 \text{ km}$, 厚度 $5.5-11 \text{ km}$, 电阻率从几到几十 $\Omega \cdot \text{m}$, 东浅西深, 并在龙门山主构造带上消失。

2. 在龙门山主断裂带附近的灌县一带岩石圈中发现有厚度较大的高阻异常体, 其电阻率大于 $10^4 \Omega \cdot \text{m}$ 。

3. 从四川盆地通过龙门山到松潘-甘孜地槽地壳上地幔内的等温线都具有从平稳分布到突然变深, 然后逐渐变浅的特征。在龙门山主构造带上等温线突然变深。

二、龙门山冲断带的岩石圈结构

(一) 岩石圈结构在平面上的分区特征

1. 上地幔构造分区

作者利用重力资料, 结合深部地震测深资料反演了龙门山及其邻区的莫霍面深度。结果显示区内莫霍面由东南向西北逐渐加深。东部三台、阆中附近最浅, 约 40 km , 西部最深可达 66 km 。东西相差 26 km , 平均坡度为 3.7° 。在这一总趋势的背景上, 据莫霍面等深线的展布方向、形态、幅度和坡度等特征, 将全区上地幔构造分为三个区 (图 7):

(1) 四川盆地西部慢坡缓倾区 (I)

该区莫霍面深度线为北东方向展布, 由东向西加深, 深度为 $40-46 \text{ km}$, 在研究区埋深最浅, 变化平缓, 平均坡度为 2.5° , 显示上地幔顶面向西缓倾的特征。

(2) 龙门山慢坡陡倾带 (II)

为 I 区以西, 南坪-松潘-黑水一线以东的带状地区, 宽约 $110-130 \text{ km}$, 总体呈北东走向, 等深线密集, 深度在 $47-60 \text{ km}$ 范围内, 平均坡度 5.7° , 形成一莫霍面向西倾斜的陡倾带。该带是松潘-甘孜地槽与扬子地台的过渡地带, 其中心线附近应是龙门山主断裂带的深部位置, 与地表位置相比, 向西偏移了一段距离, 推断龙门山主断裂是向西倾的。

(3) 松潘-甘孜慢坡缓倾区 (III)

为 II 区以西地区。莫霍面由东向西逐渐加深, 深度为 $61-66 \text{ km}$, 是研究区最深的部位, 但变化平缓。又可分为 III_1 和 III_2 两个小区。 III_1 小区莫霍面等深线呈北西走向, 曲线稀疏, 平均坡度为 1.1° ; III_2 小区莫霍面等深线呈北东走向, 曲线较密集, 平均坡度为 2° 。

2. 地壳构造分区

为研究地壳构造, 我们求取了研究区的剩余布格重力异常。剩余重力异常值 ($\Delta \bar{g}_{\text{剩}}$) 按下式计算:

$$\Delta \bar{g}_{\text{剩}} = \Delta \bar{g}_{60 \times 60} - \Delta \bar{g}_{120 \times 120}$$

式中 $\Delta \bar{g}_{60 \times 60}$ 、 $\Delta \bar{g}_{120 \times 120}$ 分别为窗口边长等于 60 km 、 120 km 滑动平均计算的平均布格异常值。

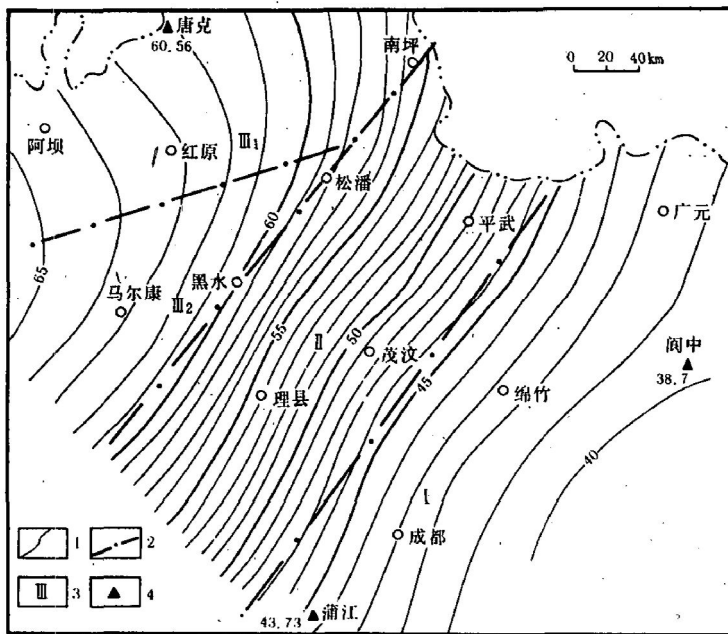


图7 龙门山中北段莫霍面等深图和上地幔构造分区图
1—莫霍面等深线 (km), 2—上地幔构造分区界线, 3—分区编号,
4—地震测深点及莫霍面深度 (km)

前人实践经验表明: 平均异常的窗口边长为其所反映的最佳深度的2—2.5倍。因此, 近似地把 $(\Delta g_{60 \times 60} - \Delta g_{120 \times 120})$ 剩余异常值看作地下约30—60 km深度范围内物质密度变化的反映。它基本消除了莫霍面深度变化造成的区域场的影响, 突出了局部场, 同时又基本消除了浅层密度不均匀的影响。由研究区人工地震测深资料对比得知, 这一层位相当于硅镁层。因此, 剩余重力异常 $(\Delta g_{60 \times 60} - \Delta g_{120 \times 120})$ 主要反映地下硅镁层沿水平方向物质成分和起伏形态的变化。据此, 把研究区地壳构造划分为四个大区 and 六个小区 (图8):

(1) 四川盆地西部硅镁层平缓区 (I)

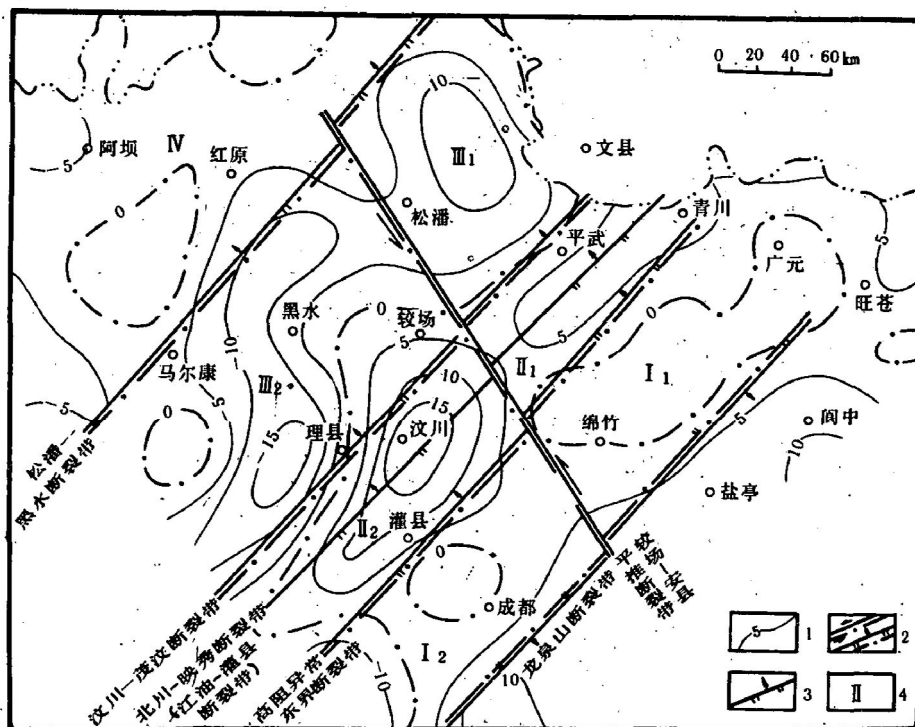


图8 龙门山中北段剩余 $(60 \times 60 \text{ km} - 120 \times 120 \text{ km})$ 布格重力异常和地壳构造分区图
1—剩余布格异常等值线 (mGal), 2—地壳构造分区界线和断裂带, 3—断裂带, 4—地壳构造分区编号

为青川-北川-灌县一线以东的四川盆地区。该区剩余异常值在 0—5 mGal 之间, 异常曲线走向北东, 与构造走向线一致。可进一步分为 I_1 和 I_2 两个小区。

(2) 龙门山硅镁层斜坡区 (II)

为 I 区以西, 文县(东)-较场-理县一线以东地区, 为龙门山主构造带所在位置。剩余异常值在 0—15 mGal 之间; 异常曲线较密, 尤其在茂汶-汶川地区; 曲线走向北东。又可进一步分为 II_1 和 II_2 两个小区。 II_1 小区的剩余异常值在 +5 mGal 左右, 为龙门山北段所在位置。 II_2 小区的剩余异常值在 0—15 mGal 之间, 变化迅速, 为龙门山冲断带中段所在部位。如果只考虑剩余重力异常值, 龙门山主构造带应处在硅镁层隆起带上。但据大地电磁测深结果(在龙门山主构造带上发现有大于 $10^4 \Omega \cdot m$ 的高阻异常, 见图 6) 和均衡重力异常计算的结果(龙门山主构造带处于正均衡异常部位, 见图 5), 龙门山主构造带上应有高密度的物质存在。因此, 我们认为产生龙门山主构造带剩余重力异常高值的原因不是由于硅镁层隆起, 康腊界面变浅, 而是由于其深部存在高密度物质的缘故。鉴于龙门山地区处在莫霍面深度从东向西加深的陡倾带上, 以及根据地质资料的分析, 作者认为龙门山主构造带应位于硅镁层顶面从东向西变深的斜坡上。

由于剩余重力异常值在龙门山中段较高, 范围较大, 而北段相对较低和较小。因此, 高密度体在中段的体积应较大一些, 显示中北段存在着一定的差异。

(3) 松潘-黑水硅镁层拗陷区 (III)

该区属于松潘-甘孜地槽的东部边缘, 剩余异常值从 0—15 mGal, 又可进一步分为两个小区: III_1 小区剩余异常值为 0—10 mGal, 曲线走向北西; III_2 小区剩余异常值为 0—15 mGal, 曲线较密, 走向北东。

(4) 若尔盖-红原-阿坝硅镁层平缓区 (IV)

该区属于松潘-甘孜地槽, 剩余异常值 0—5 mGal, 曲线稀疏, 走向北西为主, 北东为次。

由上可知, 从四川盆地经过龙门山冲断带到松潘-甘孜地槽, 硅镁层顶面具从平缓→斜坡→拗陷→平缓的变化特征, 地壳构造存在明显的从东向西的分带性; 龙门山构造带处在硅镁层向西变深的斜坡上, 斜坡部位叠加了高密度物质, 且该高密度物质在龙门山中、北段有所差异。

(二) 岩石圈结构剖面上的分层特征

根据地球物理资料和地质资料分析, 龙门山及其邻区的岩石圈在垂直方向上由浅部至深部可划分为以下五层(图 6):

1. 上部地壳层 I (沉积盖层) 是指位于结晶基底之上的、由沉积岩构成的浅部层。从四川盆地到龙门山前山, 沉积盖层的厚度由 7 km 到 14 km, 结晶基底面由四川盆地向龙门山倾斜。在沉积盖层中还存在有塑性的岩层, 主要有: ①志留系, 为一厚度巨大的泥岩、页岩和粉砂岩层; ②下三叠统飞仙关组和嘉陵江组, 主要为页岩、白云岩和膏盐; ③上三叠统须家河组, 主要为岩屑砂岩、泥质粉砂岩、含煤层。这三层塑性层是沉积盖层中的主要滑脱层。据此, 沉积盖层又可进一步分为四个亚层: ①震旦系—志留系; ②泥盆系—下三叠统飞仙关组和嘉陵江组; ③中三叠统一上三叠统须家河组; ④侏罗系—第四系。沉积盖层中的温度小于 200°C [3]。

2. 上部地壳层 II 以结晶基底顶面和壳内高导层为界。该层厚度在四川盆地内为 3—

11 km。龙门山及其以西地区厚度为15—20 km,在龙门山主构造带上厚度发生突变。上部地壳层Ⅱ的底界面(壳内高导层)从四川盆地到龙门山,其埋深越来越大,在龙门山主构造带上壳内高导层消失。上部地壳层Ⅱ的温度在川西高原和四川盆地内为200—400℃,而在龙门山主构造带上仅约200℃^[3]。

3. 下部地壳层 以壳内高导层和莫霍面为界。在盆地内其厚度为20 km左右,到川西高原其厚度为22—35 km,龙门山构造带上该层厚度发生突变。该层的底界(莫霍面)埋深从盆地内的40 km到川西高原达65 km,从东向西倾斜。龙门山主构造带恰处在莫霍面深度发生突变的部位。下部地壳层的温度在盆地内和川西高原为600—800℃,而在龙门山主构造带仅为200—400℃^[3]。

4. 上地幔顶部层 以莫霍面和幔内高导层(软流圈)为界。其厚度在盆地内为50 km,到龙门山后山地区急剧增至70 km。该层的底界面(幔内高导层)从四川盆地向龙门山倾斜,并在龙门山主构造带部位突然变陡。上地幔顶部层的温度在川西高原和盆地内为800—1200℃,而在龙门山主构造带为400—1200℃^[3]。

5. 幔内高导层(软流圈以下层) 指位于幔内高导层以下的地幔部分,其温度大于1200℃^[3]。

由上可知,龙门山及其两侧地区岩石圈中存在若干塑性层。这些塑性层具较高的电导率和异常低速度。塑性层很难积累应变能,在龙门山冲断带形成和演化中起着非常重要的作用。

综上所述,龙门山构造带处在岩石圈结构发生剧变的部位。龙门山冲断带深部结构的特殊性,使其成因机制也有其特点(作者有另文详述)。

在本文的完成过程中,四川省地矿局物探大队给予了大力支持,蒋航高级工程师给予了指导和帮助,谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 蒋 航、刘福生,1988,中国攀西裂谷文集(3),地质出版社。
- [2] 孟令顺等,1987,长春地质学院学报,第17卷,第1期。
- [3] 李 立等,1987,物探与化探,第11卷,第3期。
- [4] 曹树恒、唐企栋,1988,中国攀西裂谷文集(3),地质出版社。
- [5] 朱介寿等,1984,成都地质学院学报,第3期。

STUDY ON LITHOSPHERE TEXTURE OF LONGMEN MOUNTAINS THRUST BELT (CENTRAL-NORTH SECTION) IN SICHUAN PROVINCE

Liu Shugen Luo Zhili Song Hongbiao

(Chengdu College of Geology)

Cao Shuheng

(Bureau of Geology and Mineral Resources, Sichuan)

Abstract

According to the processing and analysing of aeromagnetic and gravity data of Longmen Mountains thrust belt and its adjacent areas, the magnetic field of this region could be divided into four zones: Sichuan Basin high magnetic anomaly zone, Longmen Mountains magnetic anomaly steep-changing zone, Pingwu-Lixian negative magnetic anomaly maximum zone, Hongyuan-Maerkang low magnetic anomaly zone. Regional gravity fields are divided into three zones. The authors pointed out that the one of Longmen Mountains is a positive harmonious anomaly zone. In application of electromagnetic sounding and deep seismic data associated with geological analysis, the crust structure horizontally could be divided into four regions (the sima gentle region of west Sichuan Basin, the sima slope region of Longmen Mountains, the sima depressed region of Songpan-Heishui and the sima gentle region of Ruerga-Hongyuan-Aba region) and the upper mantle structure into three regions (the mantle gentle slope region of west Sichuan Basin, the mantle steep slope zone of Longmen Mountains and the mantle gentle slope region of Songpan-Ganzi); the lithosphere texture into four layers in vertical (upper crust layer, lower crust layer, upper mantle cover and the layer underlying the asthenosphere).

The paper has revealed the feature of the lithosphere in Longmen Mountains thrust belt and laid a foundation for the studying the mechanism of this thrust belt.