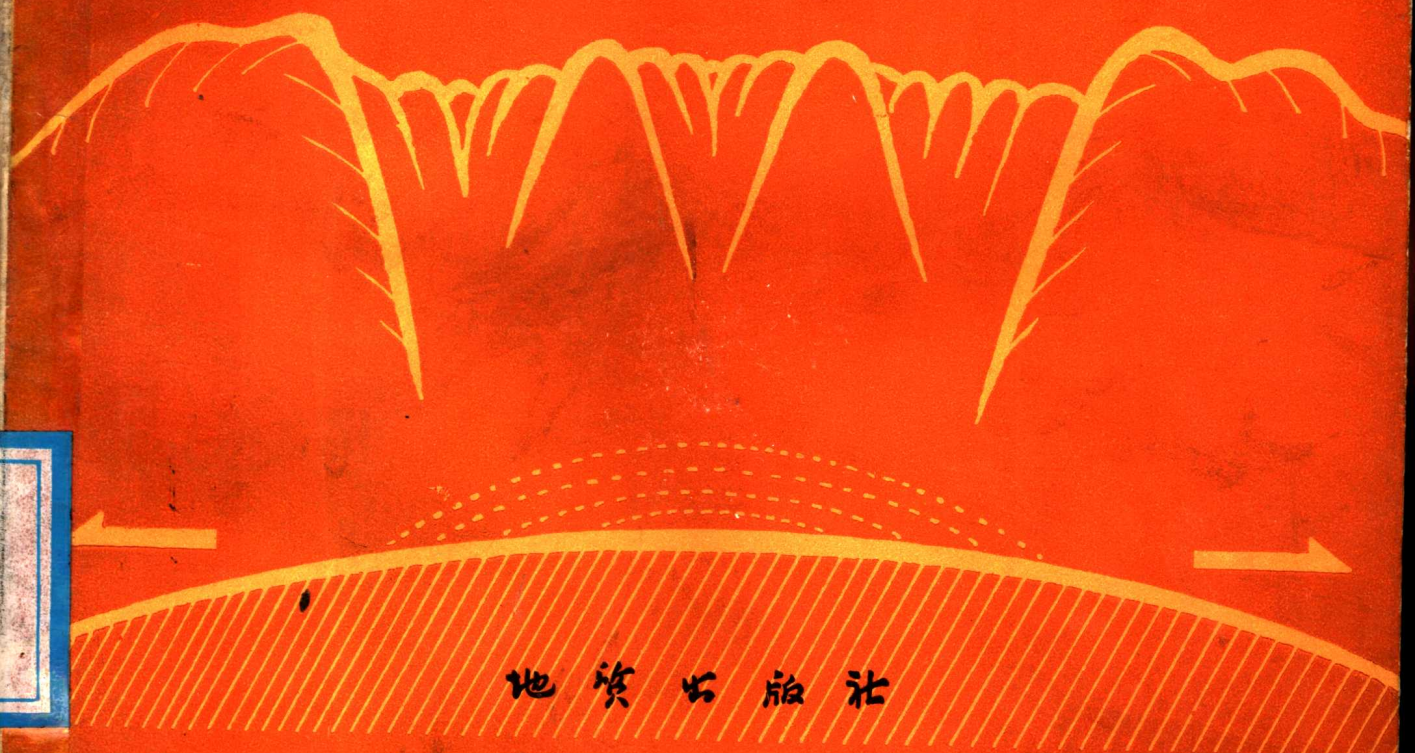


中国攀西裂谷文集

3

张云湘 袁学诚 主编



地质出版社

中国攀西裂谷文集

3

张云湘 袁学诚 主编

地质出版社

中国攀西裂谷文集

3

张云湘 袁学诚 主编

*

责任编辑 官毓兰

地质出版社出版发行

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: $17^{5/8}$ 字数: 420,000

1988年4月北京第一版·1988年4月北京第一次印刷

印数: 1—1200册 国内定价: 4.20 元

ISBN 7-116-00120-4/P·105

前 言

“攀西裂谷带”是指位于我国四川西南的一个南北构造杂岩带，是我国具有独特地质构造特点又很有找矿远景的重要成矿带。在该区，前人作过许多地质工作和地球物理探测工作，近年来从事地质研究者又吸收板块、裂谷的新理论，提出这个南北构造杂岩带实际上是一个后期被改造了的“古裂谷构造带”的设想和认识。为了建立攀西古裂谷的演化模式，进行矿产预测和扩大该区矿产资源远景，加速经济建设和综合开发，1981年国家科委、财政部下达了“攀西裂谷带主要地质构造特征及其对矿产的控制”研究任务，列为国家“六五”重点科技攻关项目。1983年国家科委、地质矿产部又批准下达了“攀西裂谷带深部地球物理场研究”，作为上述国家攻关项目的一个课题。开展深部地球物理工作的主要任务为：研究攀西裂谷带地壳、上地幔结构构造特征及其发展演化；研究攀西裂谷带上地幔结构组分与矿产控制关系；为区域综合开发提供深部地球物理资料。

为完成上述调查任务，国家科委和地质矿产部指定四川省地质矿产局为总项目负责单位，参加地球物理研究工作的有中国科学院、中国地质科学院、地质学院等生产、科研、院校。经过论证和多次协调，各有关单位的分工为：

中国科学院地球物理所负责丽江—永胜—渡口—会理—巧家东西向剖面，全长350km，进行爆炸地震、大地电磁测深、重力、磁法等工作。地质矿产部所属物化探研究所、五六二综合地质大队、四川省地质矿产局物探队等单位负责完成两条东西向剖面及一条南北向剖面。其中丽江—宁蒗—盐源—西昌—昭觉—新市镇东西向剖面全长470km，方法有爆炸地震（五六二综合地质大队完成）、大地电磁测深（物化探研究所完成）、重力、磁法；拉祜—会理—西昌—石棉—长河坝南北剖面，全长约480km，进行爆炸地震；阿坝—理县—灌县—简阳—内江—隆昌北西向剖面，全长570km，进行大地电磁测深、重力、地磁等测量。上述由地质矿产部负责的剖面中，前两条在裂谷区内，后一条则在裂谷带的北端外围。

中国科学院地质所负责，地质矿产部四川地质矿产局攀西大队物探队参加完成裂谷区内大地热流值数据的采集和综合研究。中国科学院地球物理所也开展了此项工作研究。

中国科学院与地质矿产部有关单位分别开展了古生代与中生代古地磁的研究、区域性天然地震资料综合研究及现代应力场的研究。

长春地质学院参加了四川省地质矿产局物探队的重力、磁力以及天然地震等项研究工作。

四川省地质矿产局物探队编制了面积约28万km²大区域重力、磁力图，开展了磁性、密度为主的区域物性研究工作。

通过上述各种手段的综合研究，分别完成了十八个课题的研究内容。

承担这次“攀西裂谷”地球物理研究工作的各单位发挥了各自的优点，采用了新的技术、新的参数和新的理论，加强了各方法之间的联合推断解释，全面论证了裂谷区的地球物理场特征和岩石圈结构构造。对深部地质构造，特别是地壳、上地幔结构构造的性质以

及裂谷演化发展特点都作了不同程度甚至较为充分的分析研究,达到了预期的目的,取得了较好的成果。1986年2月在总项目评审时得到评委们的好评,认为“作为一项古裂谷的综合地球物理研究成果在国内尚属首次,在国际上也是少见的”。“在综合地球物理研究古裂谷方面达到八十年代国际水平”。

深部地球物理工作在攀西裂谷研究中所取得的成果是多方面的,十八个课题研究报告及本文集基本上反映了这些成果。这里就有关“裂谷”的几点认识简述于下:

1. 根据地震、大地电磁测深、重力等资料对地壳进行了分层,其中地表下20—30km处的中地壳层内有一低速、低电阻的软弱地带,其厚度在10km左右变化,深度大致与磁法推断的居里面深度及天然地震测定的震源深度相当,这一软弱地带可以认为是一滑脱构造。

2. 爆炸地震认为地壳下部存在一个速度比地壳高,比上地幔低的壳幔混合体,即异常地幔,其速度约为7.6—7.8km/s。异常地幔在裂谷带轴部(如渡口到西昌一线)略为上隆。

3. 大地电磁测深在上地幔中发现有两个低阻层,下部低阻层在两条东西向剖面上可追踪的范围较大,并比上部低电阻层反映明显,推断为软流层。这一软流层的埋深在西段达123km,东段为83km。过渡区位于华坪、盐源一线,为扬子地台和松潘-甘孜地槽的分界线。攀西裂谷位于扬子地台西缘。

4. 根据12个大地热流值的计算,攀西裂谷区热流值平均为62.8mW/m²,而轴部平均值达67.4mW/m²,相对偏高,可能是古裂谷地热流的残留记录。

5. 纵观区域地球物理场的特征,裂谷区的轴部具有高速度、高密度、高电阻、高地热流、高磁性以及地幔上隆的特点,攀西裂谷可能是一个主动式的古裂谷。

总之,通过三条总长为1181km的爆炸地震剖面,三条总长为1400km,有24个测深点的大地电磁测深剖面的观测研究,大量的区域重力、磁力资料的综合编图和计算分析,以及地热、居里点深度、现代应力场、天然地震活动性、地壳品质因素(Q值)的计算和古地磁的测定,建立了攀西裂谷带岩石圈结构模型。

“攀西裂谷带主要地质构造特征及其对矿产控制”研究项目已全面完成,为了反映这一系列研究成果,项目协调领导小组组织编写了三辑《中国攀西裂谷文集》。1985年出版的第1辑和即将出版的第二辑是关于地质矿产方面的文集,这里出版的第三辑是地球物理方面的成果。参加文集编写的单位领导及有关同志在组稿和编写过程中给予了大力支持,地质出版社刘迺隆同志对文集中大部分图名、图注、表名及英文摘要进行了校对和补译,在此一并表示衷心的感谢。

目 录

1. 攀西裂谷带的地球动力学与构造演化.....	陈宗基 (1)
2. 川滇南北构造带北段丽江—西昌—新市镇地区的地壳深部结构	卢德源等 (22)
3. 川滇南北构造带轴部渡口—康定地区爆炸地震研究.....	卢德源等 (36)
4. 攀西构造带红格、鱼鲊地区结晶基底的断裂构造特征	滕吉文 (46)
5. 攀西地区岩石圈的电性结构.....	李 立等 (66)
6. 从重磁场特征探讨攀西裂谷构造.....	蒋 航等 (76)
7. 攀西地区的重力异常特征及裂谷问题研究.....	刘元龙等 (90)
8. 攀西地区重力均衡异常的研究.....	孟令顺、曾庆益等 (99)
9. 根据磁测资料研究攀西裂谷带的构造及演化.....	曹树恒等 (110)
10. 攀西及邻近地区地磁区域场特征与地壳结构的关系.....	任国泰等 (120)
11. 攀枝花—西昌裂谷带构造对内生矿产的控制作用.....	张洪荣等 (128)
12. 攀西构造带渡口地区地壳构造的综合研究.....	王谦身 (140)
13. 攀西古裂谷地壳、上地幔热结构.....	汪集旸、周友松等 (147)
14. 攀西地区的地热活动特征与构造运动.....	魏斯禹等 (160)
15. 攀西裂谷带的地震活动和应力场的某些特征.....	郑建中等 (172)
16. 攀西裂谷带及其邻区的现代构造应力场特征.....	傅维洲、吴玉宝 (185)
17. 利用地震体波计算的攀西构造带的 Q 值及其分布特征.....	姚 虹 (195)
18. 攀西地区中生代地层古地磁及其大地构造意义.....	朱志文等 (199)
19. 攀枝花—西昌地区古地磁的初步研究	周姚秀等 (212)
20. 攀西地区古地磁结果的地质涵义.....	鲁连仲等 (231)
21. 攀西裂谷带岩石磁性及密度研究.....	刘蓓莉 (240)
22. 川滇地区地壳—上地幔结构、地球物理场特征与攀西构造带的基本性质	滕吉文 (249)

攀西裂谷带的地球动力学与构造演化

陈 宗 基

(中国科学院地球物理研究所)

引 言

从印度支那向北一直延伸到蒙古(图1)的这条漫长的南北地震带,是中国境内最活跃的地震带之一。该带主要是由许多走向近南北、宽约20—50km的深部活动断层系构成。这一地带处在东部的华北板块、华南板块,西部的西北板块和青藏板块的交汇地带。它位于强布格重力梯度带中,这种强梯度揭示了不是莫霍界面深度就是地幔密度或二者横穿该带的突然变化(图2)。这种地壳和上地幔结构会在该区产生应力集中,因而该区的地震频繁。最有兴趣的是康定到昆明的部分(图2中的矩形内),这里近期断层活动强烈,地震频频发生,构造格局错综复杂,富含经济价值的金属矿藏。同时,它也是西部松潘-甘孜地槽褶皱系和东部扬子准地台的边界区域。

该区最重要的部分是攀西裂谷,它位于攀枝花与西昌之间,延伸三百余公里。地质研究表明,最古老的喷出岩可回溯到元古代和中生代时期,这些岩石沿裂谷轴部展布(图3)。据信,该区曾经历了一系列隆起、沉降、成穹和火成作用,而且断裂发育,一些数百公里长的南北向深断层可能深切入到岩石圈。据分析,最后一次峨眉山玄武岩的大量喷发发生在晚二叠纪,随之是长期的平静。因此这个地区经历了一系列的张性和压性构造作用,邻近地区晚古生代的地堑提供了该区经受过张性构造作用的微妙证据。有趣的是,涌出地表的深成岩石和金属矿床沿南北走向的裂谷方向展布。

自晚二叠纪裂谷形成之后,估计沿第二缝合带作用力较活跃,将西北板块向北推挤,扬子地台向东推移。在此期间青藏板块和扬子地台之间的过渡区域经受了相当大的剪切压性应力作用,并通过区域破裂和蠕变使壳-幔物质向南挤压,随之又是一个时期的平静。造山运动揭示了50Ma前印度板块和中国板块的碰撞也有着极为类似的效应。近期的断层活动仍然受这个过程控制:断层面解表明,左旋断层以1.5cm/a的位错速率运动。地球物理资料与区域地质、地球化学资料相结合详细地表明了该区的变形历史与岩石圈结构。为了更深刻地认识攀西裂谷的地球动力学和演化过程,在作者指导下中国科学院地球物理所对该区南部进行了全面的综合研究。我们研究的重点是攀枝花-西昌裂谷段,因为这里富有经济价值高的金属矿床,如铁、铅、锌、钒、钛和铜等。1983年在该区进行了三条长度各为300—500km的东西向剖面探测。本文仅详细讨论通过渡口(北纬26°)的I号剖面(图3),并叙述了其上的重力测量、深部地震探测、大地电磁测深、地磁测量、地热流值测定的结果。另外,震源空间分布和由航磁资料得到的等温居里深度的研究,对于更全面地了解该区地质构造和深部过程之间的联系提供了极为重要的资料。

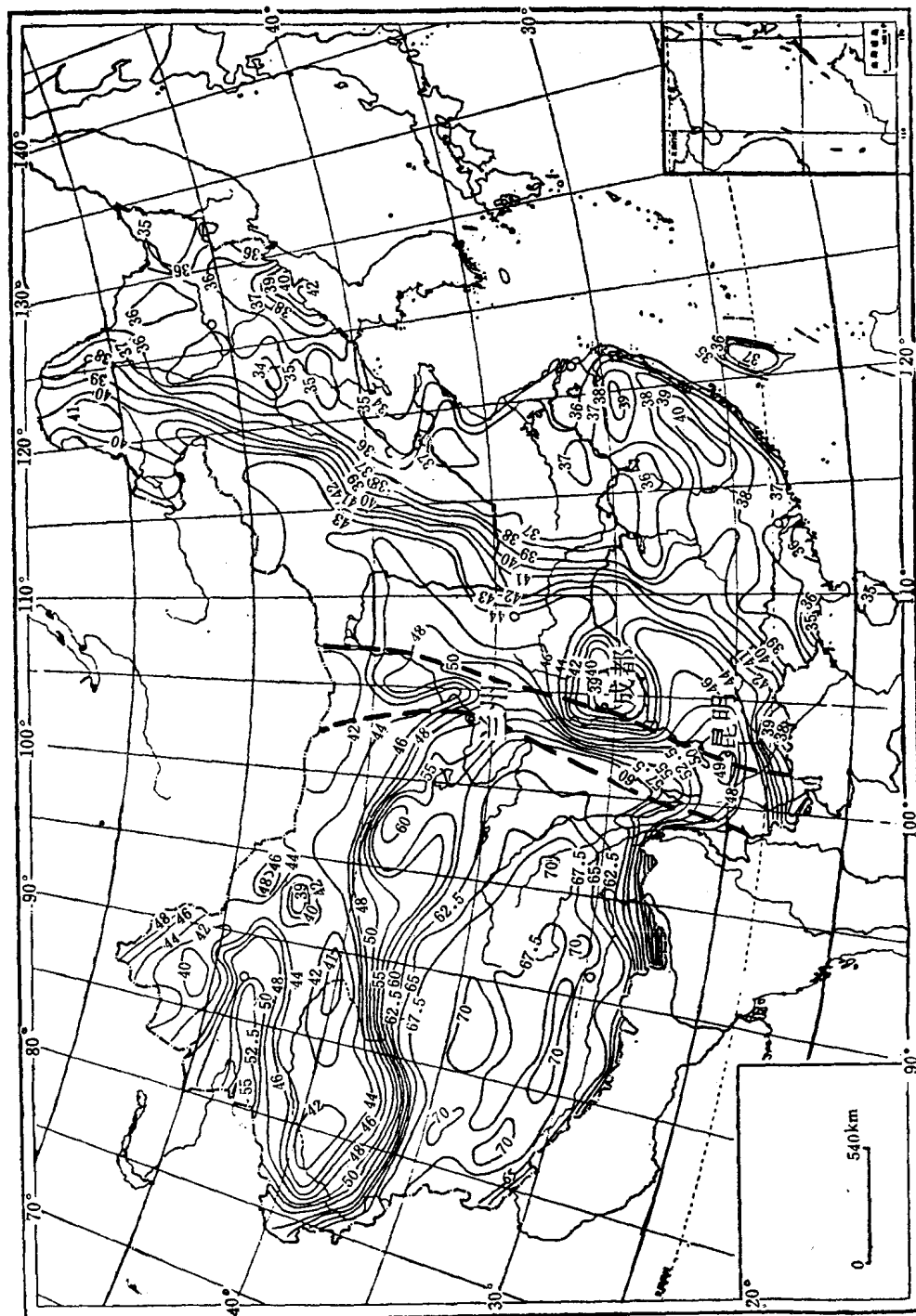


图 1 莫霍界面深度等值线图
(单位: km)

Fig. 1 Moho isocotours
(in km)

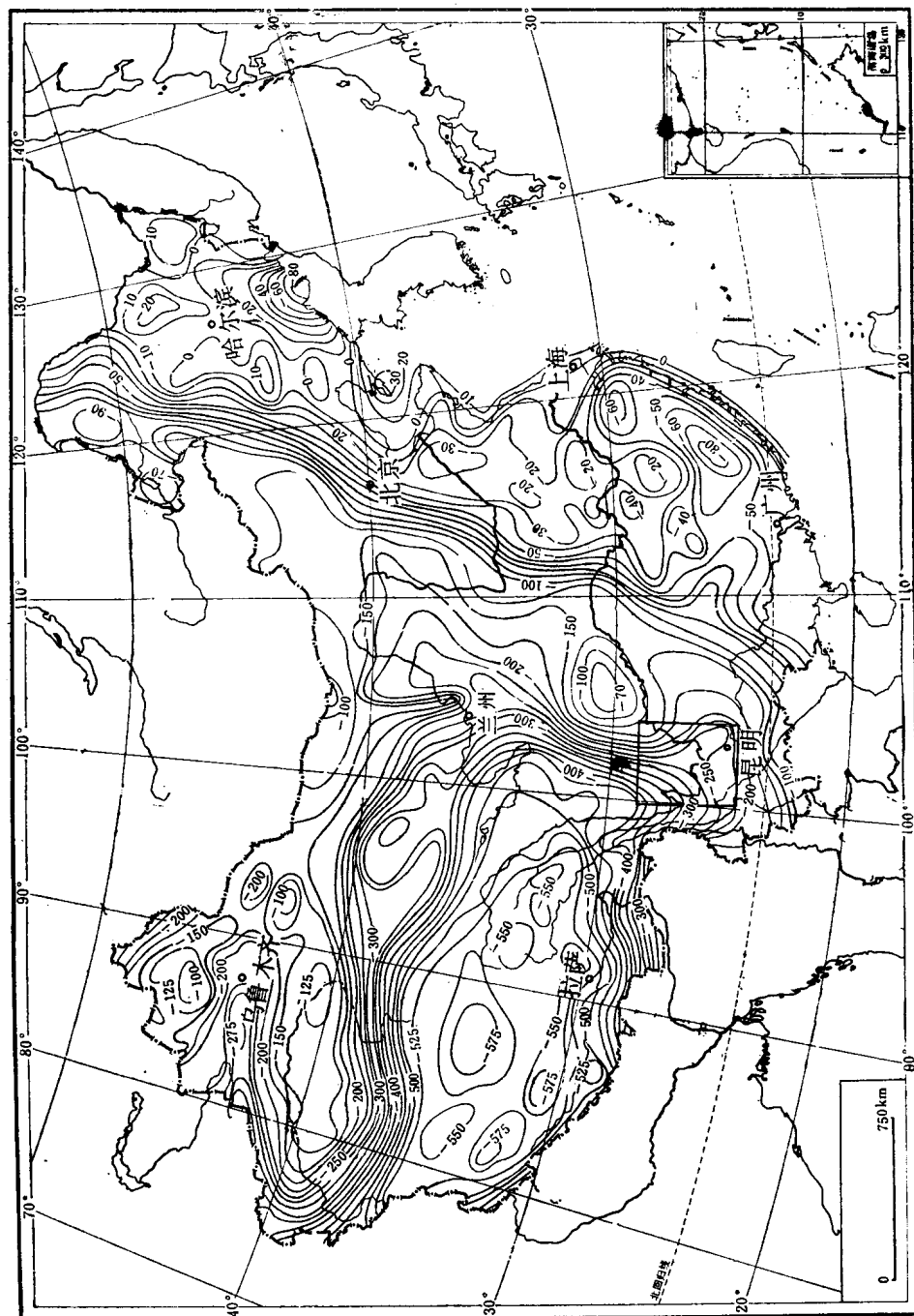


图 2 中国平均布格重力异常图

(单位: mGal)

Fig. 2 The mean Bouguer anomaly map of China
(in mGal)

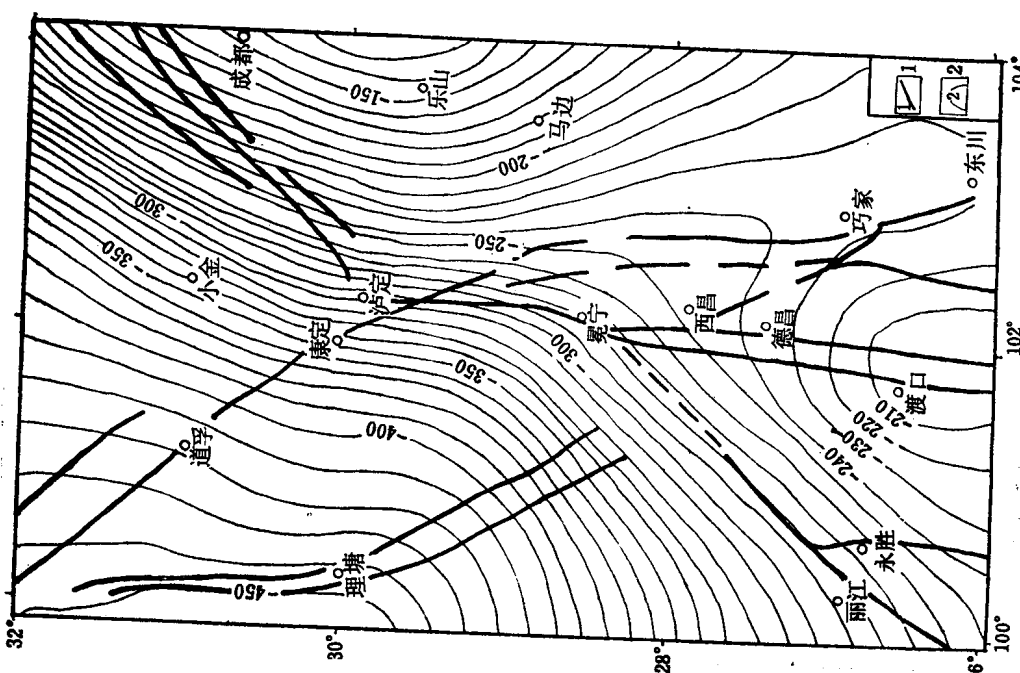


图 4 攀西地区布格异常图
1—断裂; 2—布格异常等值线 (mGal)
Fig. 4 Bouguer anomaly contour map of Panxi region
1—fault; 2—Bouguer anomaly (mGal)

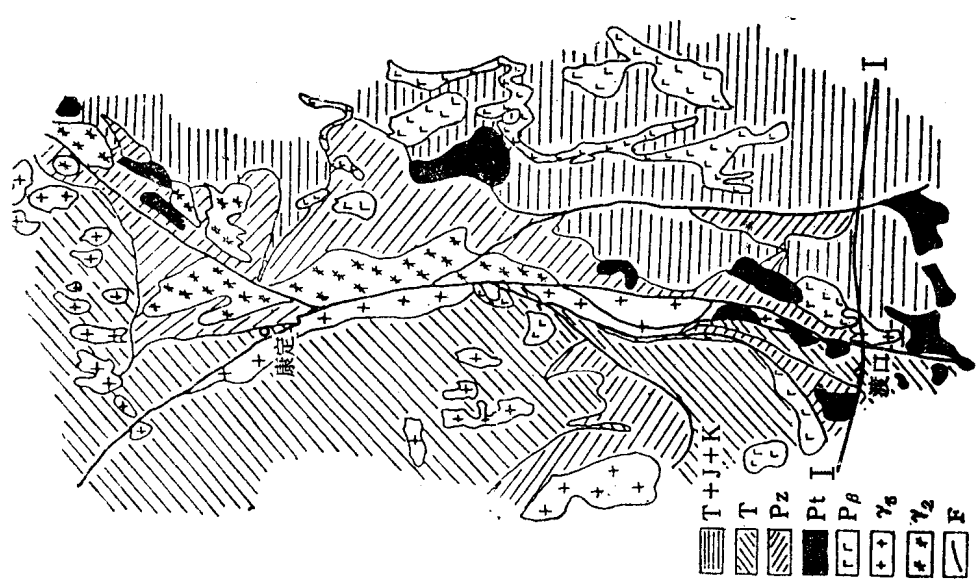


图 3 攀西裂谷轴部侵入体略图
Fig. 3 Sketch of intrusions along the Panxi rift axis

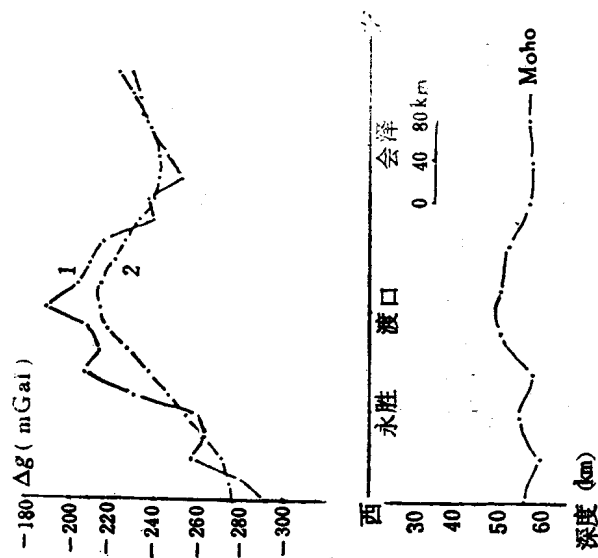


图 5 通过渡口的东—西向地质横剖面 I 的重力异常

1—布格异常; 2—深部异常

Fig. 5 Gravity anomaly along E—W profile via Dukou

1—Bouguer anomaly; 2—anomaly caused by deeper sources

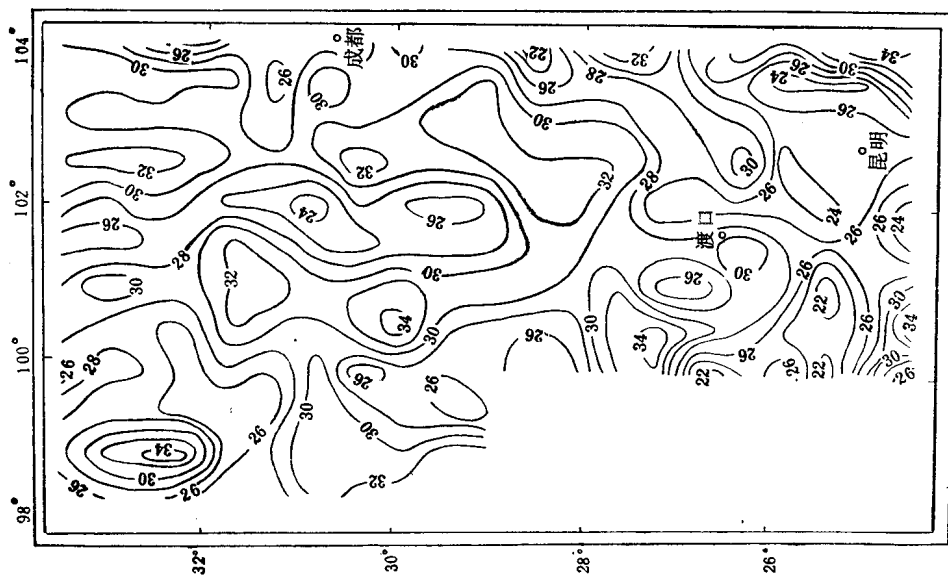


图 6 攀西古裂谷带居里深度等值线图

(单位: km)

Fig. 6 Curie depth contour map over Panxi paleosol zone

(unit: km)

图2中的矩形区域给出了负布格重力异常背景的特征(图4),该区在北纬 26° — 32° 、东经 100° — 104° 之间,重力场的主要特征是北东向的S形等值线的陡梯度场。短波重力异常在图4的比例尺上是不可分辨的,因而需要一个更为精确的剖面,如通过渡口的重力剖面^①(图5)。该图表明,在高重力区域周围是低重力区,叠加上去的大约40mGal、宽150km的短波异常可能是由莫霍面隆起和上地壳中高密度岩石与金属矿的存在引起。利用重力异常和密度差计算了莫霍间断面的深度,它具有高频叠加在低频上的凸形图象,其形式可以清楚地从图5和渡口—西昌地区的地壳结构图(见本文集第94页)中看出:在渡口附近的布格重力异常所显示的图象呈斜对称拱形,在渡口周围宽约250km,然后以近于南北方向向西昌延伸。然而下面的证据将表明,上地壳有着异常高的地震波速度和较强的磁性,它表明重力高应归因于上地壳内的高密度结构。

航空磁测

在北纬 24° — 34° 和东经 98° — 104° 之间的地区进行了航空磁测。由于高密度岩石和金属矿一般磁性较强,如果它们埋深较浅,其结果一定和正重力异常类似。航空磁测的结果确实表明了南北走向的磁异常特征,因而支持了我们从重力研究得到的结论。

航磁资料对估计居里等温深度很有用(申宁华等,1986),如图6所示,在所论区域内,中心区域的深度是23km,向两侧则加深到36km。这些结果与由深钻孔测量的地热梯度估计的 600°C 等温面的深度一致。所得梯度数据为 $15\text{--}25^{\circ}\text{C}/\text{km}$,与估计的居里等温面的深度值相似。这些等温线沿南北轴向延伸。

地磁测量

地磁测量^②给出了一个正异常带,从渡口到西昌,其走向为北北西,中心区域最大值为150nT。在北纬 26° 通过渡口时异常带最宽(60km),向北渐窄,到西昌附近的宽度仅有20km(图7)。该中心带周围则是负异常区,这个结果与深部地震探测和大地电磁测深的结果一致。正异常是由于磁性基岩、超基性岩和金属矿床的侵入所致(图8区域ABCD),而负异常则是由于弱磁性的低电阻率的碎屑沉积所产生。

深部地震测深

沿剖面I进行了深部地震测深,该剖面自丽江到者海沿东西方向延伸约500km,并垂直于南北构造带。对该剖面上获得的资料研究了地震波初至和续至区的反射震相,以及莫霍界面的反射震相等,结果认为该区可分为四个主要层次(图8)(熊绍柏等,1986):

1. 地壳表层是一个由元古代、中生代的基性、超基性岩、变质岩和沉积岩地层所组成的不均匀层,厚度约5km。

2. 与两侧较低的速度 $V_p=5.7\text{--}6.0\text{km/s}$ 相比,中心区的上地壳具有正常的平均速度值 $V_p=6.1\text{km/s}$,这可能是因上地幔的基性和超基性岩侵入所致。在20km深处有一个反射面,但值得注意的是,它在ABCD中间部分消失。这可能是由于岩墙和在元古代的火成作用与晚二叠纪的断裂作用期侵入的其它不均匀体,如基性、超基性岩、玄武岩和金属矿造成的。

3. 中层是一个26—40km深处的地壳内的低速层,其速度为 $5.6\text{--}6.0\text{km/s}$ 。请注意,在新生代贝加尔裂谷和莱茵地堑下面也分别发现了平均速度为 6.1km/s 和 5.5km/s ,深度

① 刘元龙等:渡口—西昌地区重力异常特征及裂谷问题研究。“大陆裂谷及深部过程”国际会议专题论文集,1985。

② 任国泰等:攀西地区地磁异常研究。“大陆裂谷及深部过程”国际会议专题论文集,1985。

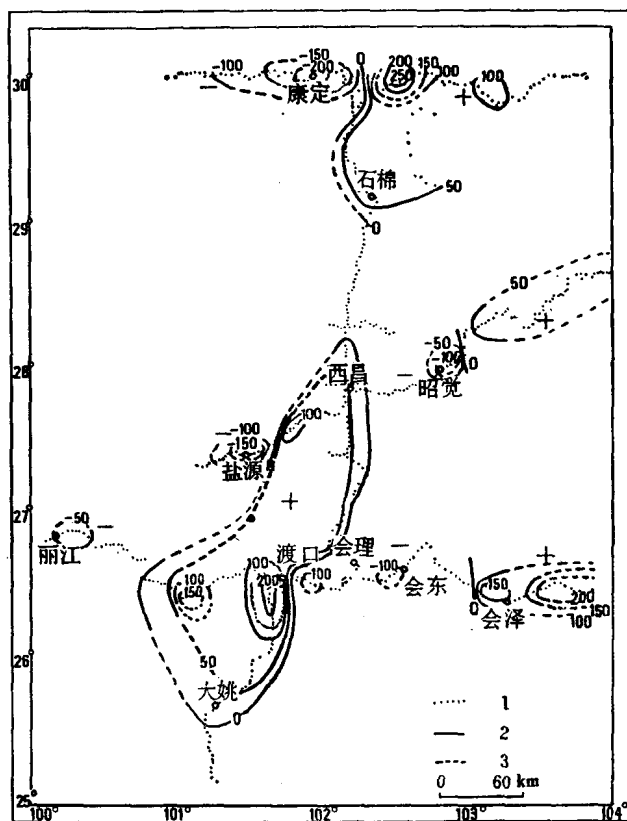


图 7 攀西地区地磁异常略图 (单位:nT)

1—测线; 2—实测异常; 3—推断异常

Fig. 7 Sketch of magnetic anomaly in Panxi region

1—mesurement line; 2—measured anomaly; 3—infered anomaly(in nT)

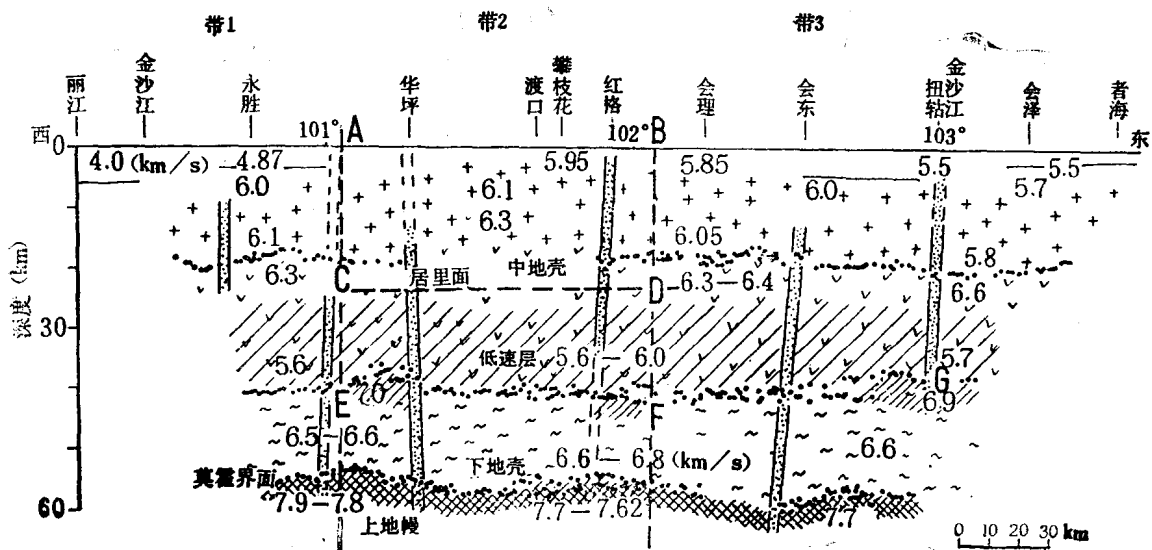


图 8 攀西地区东—西方向地壳剖面

Fig. 8 Crustal section along E-W direction in Panxi

为35km和10km的壳内低速层 (Puzirev等, 1978) (Mueller等, 1974)。

4. 第三层,即下地壳,在40—55km左右深处,速度为6.6—6.8km/s。在华坪、红格和金沙江(E、F和G)下面41—42km深处的一些小区域内发现速度上升到6.9—7.0km/s,这可能是由于包括了一些刚性更强,来源于地幔的物质。在平均深度55km以下的地幔顶部,速度为7.62—7.9km/s,比正常大陆地区要低。在上地幔和地壳边界的中间部分速度最低。界面起伏变化的幅度为 ± 3 km。

这些速度显然都比邻区的P波速度要低,如青藏高原地区的 $V_P=8.15$ km/s,而在中国东部则为 $V_P=8.0$ km/s。将攀西的地壳结构与主要大陆裂谷加以比较表明,新生代贝加尔裂谷(Krylov等,1974, Puzirev等,1978)和莱茵地堑(Reichenback等,1974)也发现了地壳内的低速层和上地幔中存在比正常速度要低的事实,而它们的速度层厚15—25km。但是在东非裂谷、(Griffiths, 1972)冰岛裂谷、美国盆岭区、里奥格朗德裂谷(Toppo-zade,等1976 Olson等1977),低速物质则可延伸到100km多的深度。从表1可以看出,与正常大陆地区的上地幔顶部速度值相比,该区显然与裂谷有关。

表 1

地 区	V_P (km/s)	深 度 (km)	地 区	V_P (km/s)	深 度 (km)
东非裂谷 (肯尼亚)	7.3—7.5	20 ⁽⁸⁾	里奥格朗德裂谷	7.6—7.9	35—40 ⁽⁹⁾
莱 因 地 堑	7.65	25 ⁽¹⁾	冰 岛 裂 谷	7.0—7.6	10 ⁽²⁾
贝 加 尔 裂 谷	7.6—7.8	45 ⁽²⁰⁾	攀 西 裂 谷	7.6—7.9	55 ⁽²⁰⁾

地震活动性

该区强烈的地震活动性表明,其积累能量是以地震的形式间断释放。由贝加尔裂谷可知,通常地震主要发生在低速带以上的脆弱地壳介质中 (Puzirev等, 1978)。从流变力学可知,岩石随温度上升而增加其延展性,而延展性越强,则破坏越困难。为了说明问题,我们首先来研究震源的空间分布与居里等温面的关系。图9是公元前116—1982年间震级 $M=4.7—8.0$ 的地震震源的平面分布,显然大多数地震发生在边界区域。在两千年间共发生了6级以上的地震43次。我们作了两条横截面,第一个是北纬28°的东西向剖面,第二个沿裂谷轴南北向延伸。图10是将位于北纬26°—30°的震源投影到北纬28°的垂直断面上的结果,图11是将位于东经100°—104°的震源投影到东经102°垂直断面上的结果^①。所有震源的空间分布是呈以渡口下方为顶峰的凸形图象。从航空磁测的结果计算出的居里等温深度线也示于上两图中。显然,多数地震发生在居里等温面以上的区域内,居里等温面的位置与地震震源极限深度符合得相当好。这是一个纵轴在南北方向的凸形面,中心区域最大深度为26km,在邻区则可达40km。地震频度沿深度的分布也清楚地表明,大多数地震发生在居里等温面以上的脆弱地带。在中心区域地震发生在脆弱带内的百分比是89%,而两侧区域是92% (图12)。因此,这个以裂谷中心轴为顶峰的凸形震源深度面表明,中心区域的热物质较两侧要浅。此外,我们还研究了区域地震活动性与现今应力场的关系,从震源机制解研究了最大主应力的方向 (图13)。这些结果清晰地表明断层为左旋平移。图中主应力方向的

① 郑建中等:攀西裂谷带地震和应力场的特征。“大陆裂谷及深部过程”国际会议专题论文集,1985。

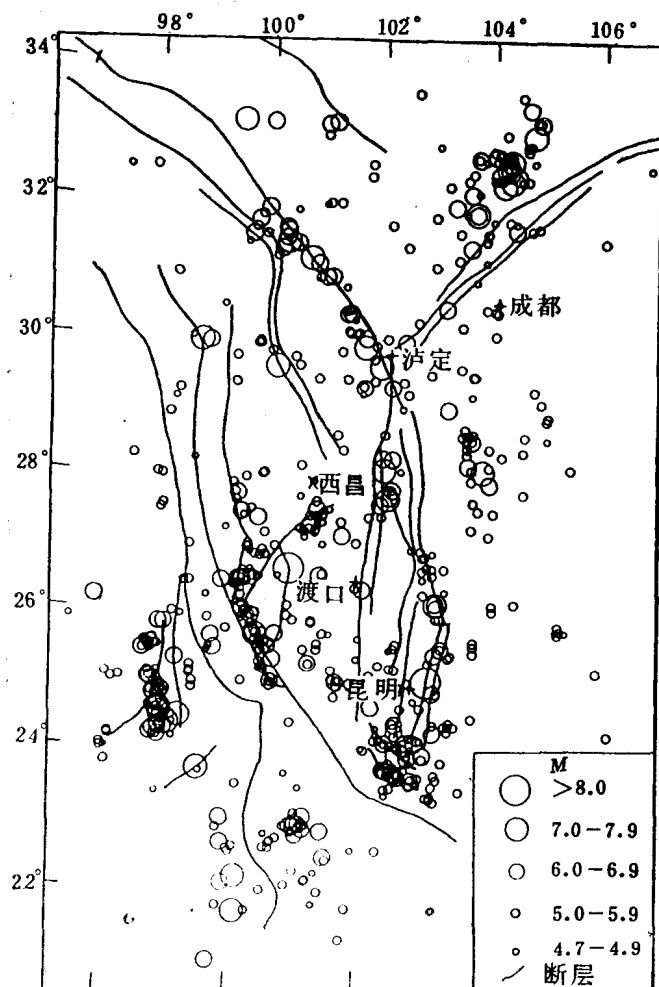


图 9 震中位置平面分布图

Fig. 9 Horizontal distribution of epicenters

分布则表明, 其应力是压性的或剪切压性的。渡口以北应力沿西北—东南方向作用。后面将谈到该区的地震活动性和印度板块的北移具有直接的关系〔见图19 (a)、(b)〕。

大地电磁测深

与其它地球物理与地质资料相结合, 大地电磁研究非常有助于区分有关裂谷构造过程的各种假设, 它提供了为建立满足许多地球物理约束条件模型的可能性, 并且能给出岩石圈与软流圈边界深度和地壳、地幔相互作用过程的信息。

利用10—1000s的周期, 沿通过渡口的东西剖面进行了六个点的大地电磁测深测量。计算结果表明, 该区电性结构大体可以分为五层 (图14) (孔祥儒等, 1987):

1. 表层为3—5km的导电沉积层, 它的导电性取决于浅层沉积岩、火成岩和变质岩的导电性。其浅层电阻率为3—5 $\Omega\cdot m$ 、10—20 $\Omega\cdot m$ 和2—30 $\Omega\cdot m$ 。

2. 由不同厚度和电阻率的三个带组成的地层: 带1平均厚度30km, 电阻率80—130 $\Omega\cdot m$; 带2平均厚度30km, 电阻率1000—3000 $\Omega\cdot m$; 带3平均厚度13km, 电阻率20—100 $\Omega\cdot m$ 。

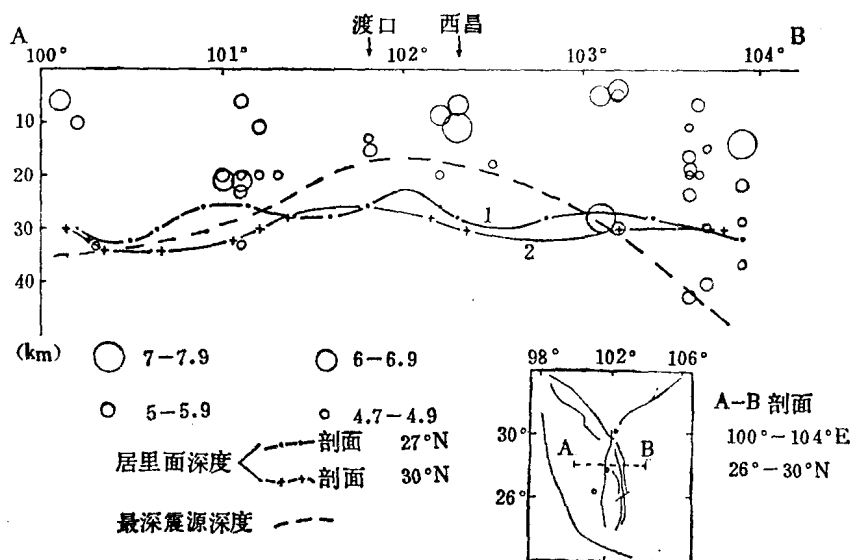


图 10 攀西裂谷带北纬 26° — 30° 震源在北纬 28° 垂直断面上的投影及沿北纬 27° (曲线 1) 和 30° (曲线 2) 的等温居里深度

Fig. 10 Hypocenters of 26° — 30° N projected on 28° N vertical section and Curie isotherm depth along 27° N (curve 1) and 30° N (curve 2)

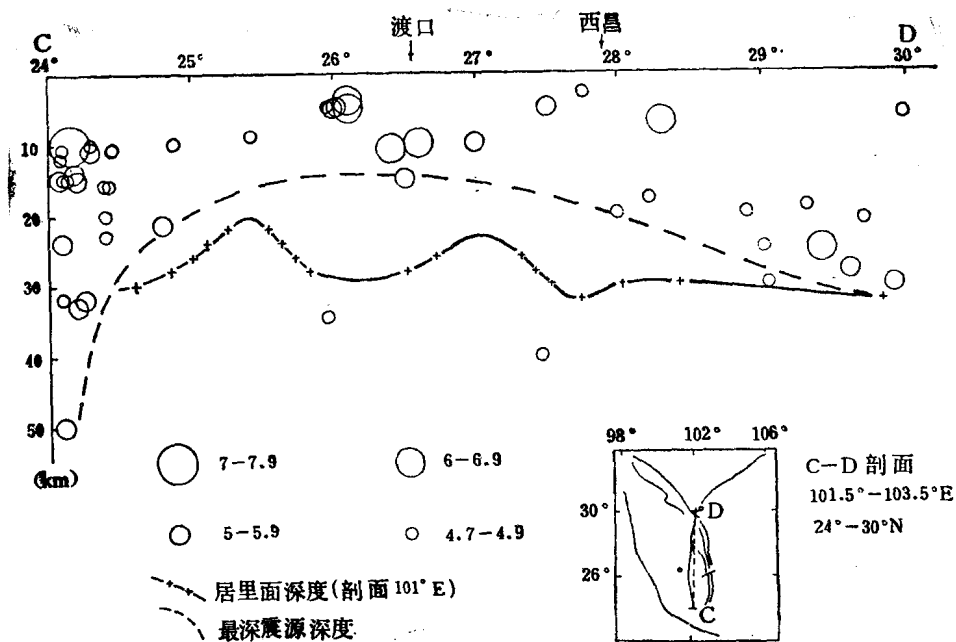


图 11 攀西裂谷带东经 100° — 104° 震源在东经 102° 垂直断面上的投影及等温居里深度

Fig. 11 Hypocenters of 100° — 104° E projected on 102° E vertical section and Curie isotherm depth in Panxi rift zone

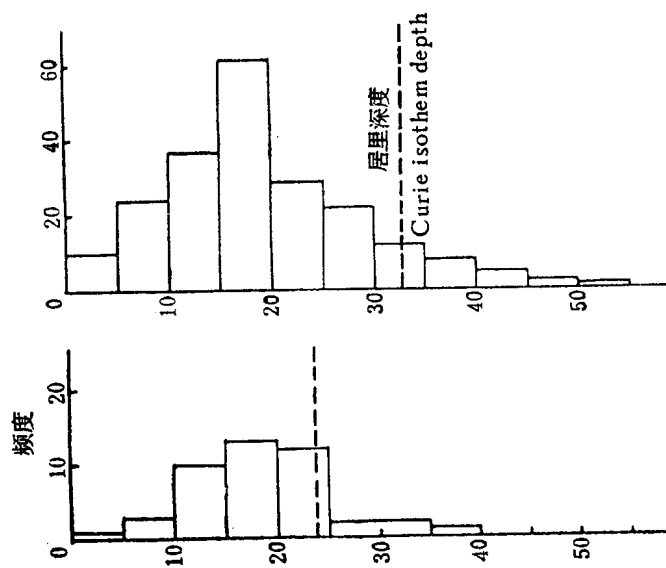


图 12 地震频度随深度的分布
Fig. 12 Frequency of earthquakes versus depth

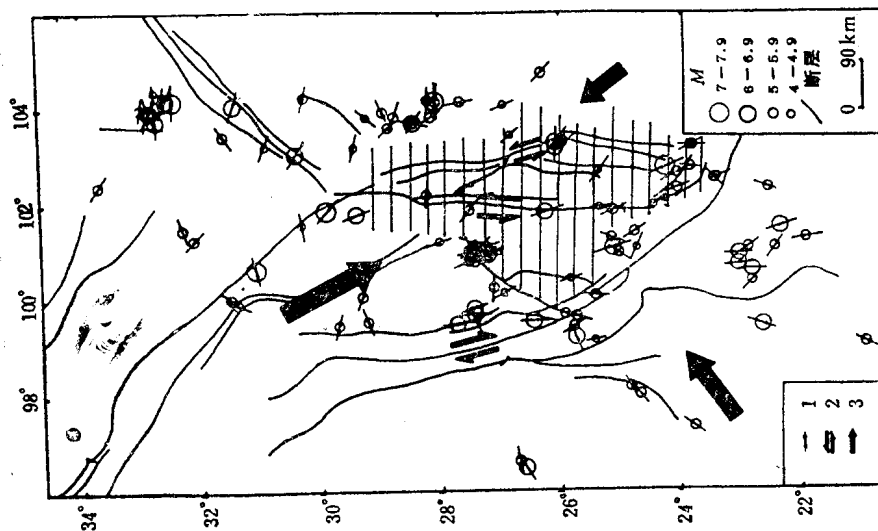


图 13 地震构造图
Fig. 13 Seismo tectonic map
1—最大主压应力轴; 2—断层滑动方向; 3—物质运动方向
1—maximum principal compressive stress axis; 2—slip direction of fault; 3—moving direction of substance