

# 鄂尔多斯及其周缘地热分布的某些特征

李清林 栗文山 张晓普 庄建仓

(国家地震局地球物理勘探中心, 郑州 450003)

**摘要** 利用鄂尔多斯及其周缘的大地热流、地温梯度和地温分布等资料研究了其展布特征和差异性变化,并讨论了地热分布与地壳深浅构造的关系。认为,鄂尔多斯块体内大地热流、地温梯度值整体偏低,而其周缘地区则呈现出环状高位异常带。该区地震活动主要集中分布在鄂尔多斯周缘地区,即鄂尔多斯周缘存在着高热流、高地温梯度和地震丛集分布相统一的现象。这一现象说明,地热和地震活动之间存在着某种必然的联系。

**关键词:** 鄂尔多斯地块 地热流 地温梯度 地震活动性

## 1 前言

鄂尔多斯块体位于北纬 $34^{\circ}\sim 41^{\circ}$ 和东经 $106^{\circ}\sim 114^{\circ}$ 之间,横跨甘肃、宁夏、内蒙古及陕西4个省区。块体南北长约800 km,东西宽约500 km,面积约40万 $\text{km}^2$ ,为一不等边五边形。为研究鄂尔多斯块体及其周缘地热分布的基本特征及其内外的差异,取研究范围:北纬 $34^{\circ}\sim 42^{\circ}$ ,东经 $104^{\circ}\sim 116^{\circ}$ 。

## 2 地质构造基本特征

鄂尔多斯块体是中朝断块的一部分,位于其西部,与华北盆地同属于一个构造单元。块体的基底由太古界和下元古界的变质岩层组成,是一个稳定的古地块。块体内部断裂构造不发育,构造活动也很微弱。

鄂尔多斯周缘地区,除西南侧为挤压构造带以外,四周均被线状分布的断陷盆地带所围限,它们分别为西北侧的银川—吉兰泰断陷盆地带,南侧的渭河断陷盆地带,北侧的河套断陷盆地带以及东侧的山西断陷盆地带,详见图1<sup>[1]</sup>。周缘地区与块体内部形成鲜明的对比,其断裂发育,地震常有发生,构造活动强烈。

## 3 大地热流分布的基本特征

### 3.1 资料及其来源

大地热流是地球内热在地表最为直接的标志,系指单位时间内以热传导方式通过单位面积流向地表的热量。通常以微卡/厘米·秒表示,称为热流单位(即HFU),也有用毫瓦/米<sup>2</sup>(即 $\text{mWm}^{-2}$ )表示,1HFU=41.86 $\text{mWm}^{-2}$ ,本文用后一单位。对不同来源的资料,按上式统一进行了换算。

本文所用大地热流值和地温梯度值主要有汪集旻、黄少鹏1990年公布的大地热流数据<sup>[2]</sup>和张必教等1987年在研究南北地震带北段地温场时所筛选的大地热流数据<sup>[3]</sup>,同时还选用了

少量在各种期刊上发表的有关数据资料。研究工作中,以文献[2]和[3]的数据为主体,在局部地段参考选用了其它一些资料。所用数据详见表1。

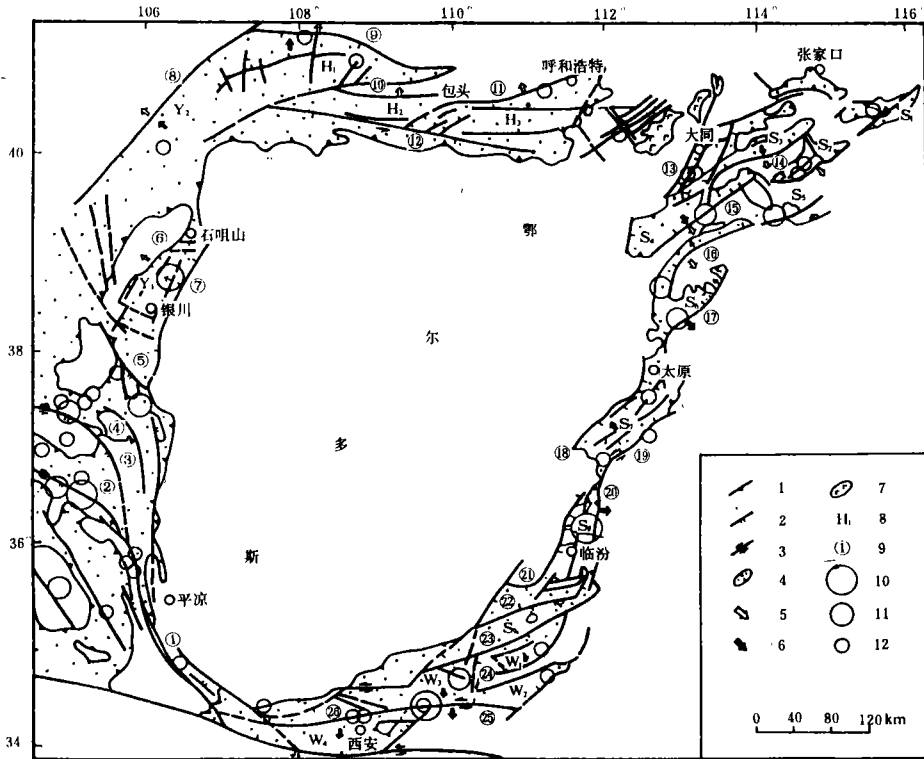


图1 鄂尔多斯周缘断陷盆地带地质构造

1 正断层; 2 逆断层; 3 走滑断层; 4 盆地及其边界; 5 盆地倾斜方向; 6 山地倾斜方向; 7 新生代火山岩; 8 盆地编号; 9 主要断裂编号; 10  $M \geq 8$ ; 11  $7 \leq M \leq 7.9$ ; 12  $6 \leq M \leq 6.9$ ; Y<sub>1</sub> 银川盆地; Y<sub>2</sub> 吉兰泰盆地; H<sub>1</sub> 临河盆地; H<sub>2</sub> 白彦花盆地; H<sub>3</sub> 呼包盆地; S<sub>1</sub> 延庆怀来盆地; S<sub>2</sub> 尉县盆地; S<sub>3</sub> 阳原盆地; S<sub>4</sub> 大同盆地; S<sub>5</sub> 灵丘盆地; S<sub>6</sub> 忻定盆地; S<sub>7</sub> 太原盆地; S<sub>8</sub> 临汾盆地; S<sub>9</sub> 河津盆地; W<sub>1</sub> 运城盆地; W<sub>2</sub> 灵宝盆地; W<sub>3</sub> 固市拗陷; W<sub>4</sub> 西安拗陷; ① 六盘山东麓断裂; ② 南、西华山北麓断裂; ③ 天景山北麓断裂; ④ 烟筒山东麓断裂; ⑤ 牛首山北麓断裂; ⑥ 贺兰山东麓断裂; ⑦ 黄河断裂; ⑧ 狼山—巴音乌拉山东麓断裂; ⑨ 色尔腾山山前断裂; ⑩ 乌拉山山前断裂; ⑪ 大青山山前断裂; ⑫ 鄂尔多斯北缘断裂; ⑬ 口泉断裂; ⑭ 桑干河断裂; ⑮ 恒山北麓断裂; ⑯ 五台山北麓断裂; ⑰ 系舟山山前断裂; ⑱ 交城断裂; ⑲ 太谷断裂; ⑳ 霍山断裂; ㉑ 罗云山断裂; ㉒ 峨眉台地北缘断裂; ㉓ 临猗断裂; ㉔ 中条山北麓断裂; ㉕ 秦岭北麓断裂; ㉖ 渭河断裂

Fig. 1 Geological structures of fault basins around the Ordos block.

从数据分布情况看,鄂尔多斯盆地北缘缺乏大地热流数据,而南缘的数据相对较多。

### 3.2 大地热流分布的基本特征

依据表1中的大地热流数据,绘制了鄂尔多斯及其周缘大地热流分布图(见图2)。由图可明显看出,鄂尔多斯块体内部大地热流值偏低,如鄂托克旗—盐池地区为  $35 \text{ mWm}^{-2}$ ,环县—固原—平凉地区为  $43 \sim 48 \text{ mWm}^{-2}$ 。中南部的华池—庆阳一带大地热流值相对较高,与周缘的大地热流值接近,其值为  $51 \sim 72 \text{ mWm}^{-2}$ 。鄂尔多斯周缘地区,除北缘缺少资料外,东、西和南缘均有较丰富的大地热流数据,且其值多在  $70 \text{ mWm}^{-2}$  左右,呈环状高值异常带。在该高值异常环带中,有3个明显的极大值点群,它们分别是:东缘的山西新绛  $222 \text{ mWm}^{-2}$ ,陕西韩城  $84$

表 1 鄂尔多斯及其周缘地区大地热流、地温梯度数据

位置	经度(E)	纬度(N)	地温梯度	热流值
			℃/100m	mWm <sup>-2</sup>
陕西陇西	107°01'	35°47'		78
陕西泉台	107°06'	35°04'		66
陕西定边	107°37'	37°35'	2.25	51
甘肃马岭	107°41'	36°13'	1.88	63
甘肃庆阳	107°52'	36°06'	2.66	72
陕西周至	108°12'	34°10'		61
陕西水寿	108°13'	34°55'		65
陕西户县	108°30'	34°09'	2.78	67
陕西咸阳	108°42'	34°21'		73
陕西耀县	108°48'	35°06'		65
陕西长安	108°54'	34°07'		68
陕西西安	108°57'	34°13'		68
陕西西安	108°56'	34°18'	5.82	64
陕西临潼	109°14'	34°22'		96
陕西渭南	109°29'	34°27'		67
陕西韩城	110°22'	35°29'	2.04	63
陕西韩城	110°23'	35°30'	1.72	84
山西新绛	110°07'	35°32'	14.9	222
山西襄汾	111°28'	36°02'	2.94	46
山西安泽	112°14'	36°02'	2.32	65
山西清徐	112°17'	37°42'	1.83	79
山西安泽	112°18'	36°02'	2.17	69
山西原平	112°48'	38°57'	5.10	49
河北邢台	114°13'	36°57'	1.88	47
山东东明	114°53'	35°04'	3.31	64
山东菏泽	115°18'	35°24'	3.58	85
河北易县	115°26'	39°13'	1.35	26
河北矾山	115°26'	40°10'	1.08	26
河北矾山	115°26'	40°12'	1.38	34
河南范县	115°29'	35°47'	2.00	74
河南范县	115°30'	35°47'	1.96	92
河北赤城	115°30'	40°41'	1.43	39
冀中拗陷	115°52'	39°01'	2.10	90
北京延庆	115°56'	40°27'	3.80	77
北京房山	115°57'	39°44'	1.27	31
冀中拗陷	116°06'	38°43'	1.30	55
冀中拗陷	116°06'	38°58'	1.86	80
冀中拗陷	116°07'	38°15'	2.79	71
河北河间	116°13'	38°34'	2.18	67
北京延庆	116°15'	40°25'	1.99	56
冀中拗陷	116°16'	39°10'	1.85	79
北京延庆	116°16'	40°24'	1.64	51
冀中拗陷	116°26'	39°55'	1.95	78
北京密云	116°59'	40°33'	1.53	42
北京密云	116°59'	40°33'	1.48	38
天水地震台			4.16	87
礼县石桥			3.21	60
成县			3.24	67
定西地震台			4.13	77
石咀山			5.75	84
海原盐池			3.08	51
固原			2.57	43
西吉			3.20	74
崇信赤城			2.03	43
靖远			2.56	60
鄂托克旗			1.40	35
灵武			2.84	71
定边东红庄			1.43	42
环县			2.76	48
华池			3.62	72
庆阳			2.70	63
合水固城			3.25	61
灵台县龙门			2.01	51
兰州兰石厂			4.20	79

$mWm^{-2}$ ;西缘的宁夏平罗  $276 mWm^{-2}$ ,石嘴山  $84 mWm^{-2}$ ;南缘的陕西临潼  $96 mWm^{-2}$ ,甘肃天水  $87 mWm^{-2}$ 。在其外围地区,还存在两个高值异常条带,一是冀中拗陷近南北向高值异常条带,其大地热流值多在  $77\sim 90 mWm^{-2}$ 之间;二是河南范县—山东菏泽北东向高值异常带,其大地热流值为  $85\sim 92 mWm^{-2}$ 。而在太行山区一带,其值偏低,在  $30\sim 54mWm^{-2}$ 之间变化。

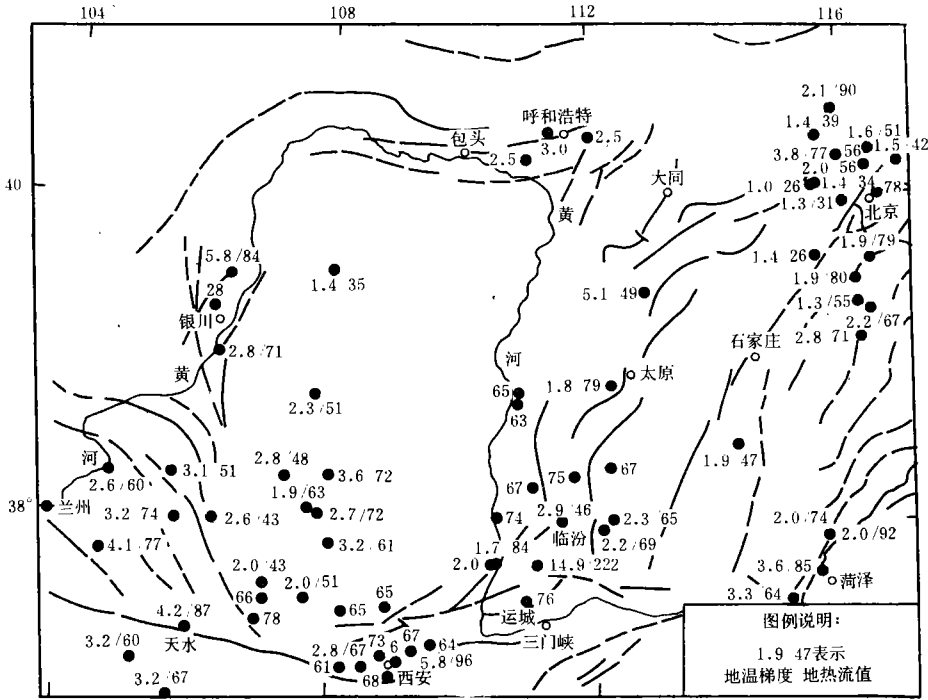


图 2 鄂尔多斯及其周缘地区地地热流和地温梯度分布

Fig. 2 Distribution of geotemperature gradients and geothermal flows in Ordos and its vicinity.

大地热流值的上述分布图象,展示了该区大地热流分布的基本特征:

- (1)鄂尔多斯块体内大地热流值整体偏低,平均值为  $52 mWm^{-2}$ ,且其北部低于南部。究其原因,可能与其构造活动弱以及断裂构造不发育有一定关系。
- (2)鄂尔多斯周缘呈现出环状大地热流高值异常带。
- (3)山西断陷盆地以及银川、黄河谷地、渭河谷地等断陷盆地地区均为高热流区,其大地热流分布各具特点,且与鄂尔多斯块体内部有着明显不同的分布规律。这些断陷盆地内高热流的存在对鄂尔多斯块体地温分布有明显的影晌。

## 4 地温梯度分布的基本特征

### 4.1 地温梯度的分布

鄂尔多斯块体及其周缘的地温梯度(图 2)表明,块体的地温梯度多在  $2.0^{\circ}C\sim 3.0^{\circ}C/100 m$ ,平均值为  $2.32^{\circ}C/100 m$ ,最低值在盆地中北部( $1.3^{\circ}C/100 m$ ),最高值在甘肃华池( $3.6^{\circ}C/100 m$ )。块体周缘地区呈现串珠状高梯度异常现象,平均值为  $4.29^{\circ}C/100 m$ ,最高值区位于山西新绛,高达  $14.9^{\circ}C/100 m$ 。另外,在宁夏石嘴山、陕西西安、山西原平还有 3 个次一级的高值

区,其值分别为  $5.8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 、 $5.8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  和  $5.1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。

该区地温梯度的分布具有下述特征:

- (1)块体内的地温梯度相对周缘地区为低值区。
- (2)块体周缘地区为串珠状高地温梯度异常带,研究区内的地温梯度高值区均分布在该带上。
- (3)块体内部地温梯度差异较小,其最大值与最小值相差仅  $1.3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ,而块体周缘地区差异较大,其最大值与最小值相差  $13.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。

### 4.2 地温梯度随深度的变化

鄂尔多斯块体内的地温梯度的变化直接受控于地层的岩性结构。它表现在上部中生代河湖相沉积的颗粒较粗的砂岩、含砾砂岩及泥岩地层中,地温梯度由浅部向深部逐渐变小。而在上部古生代石炭——二叠系的含煤地层中地温梯度则明显增大,在穿过含煤地层之后,地温梯度则又有变小的趋势。块体周缘的地温梯度随深度增加而变化的总趋势十分明显(详见图 3),而块体内的情形则不然。

## 5 区域地温分布的基本特征

王均、黄尚瑶等根据区内大量钻孔资料的研究结果<sup>[4]</sup>,认为鄂尔多斯块体及其外围断陷盆地具有独特的地质发育历史和区域地质构造特征,它们控制并形成了今天的区域地温分布格局。

### 5.1 不同深度的地温分布

由该区 1 000 m、2 000m 和 3 000 m 深处的地温分布图可以发现,其地温分布与中国其它大型盆地有着很大的差异,这种差异是由其区域地质构造所决定的。

#### 5.1.1 1 000 m 深处的地温分布

由图 4 可见(缺少东部山西断陷带资料),鄂尔多斯块体 1 000 m 深处的地温一般在  $35^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$  之间,大于  $40^{\circ}\text{C}$  的地温分布区呈岛状散布于块体之北部和南部,其形状、大小和延展方向具有一定规律性。该区南部的渭河谷地地温较高,多在  $40^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$  之间,最高可达  $50^{\circ}\text{C}$  以上。块体内 1 000 m 深处的地温变化幅度多在  $5^{\circ}\text{C}$  左右,表明块体地温分布较均一,除渭河谷地等地区外,与国内其它大型盆地相比,其地温并不具有从边缘的低温区向盆地内部逐渐增高的规律。

#### 5.1.2 2 000 m 深处的地温分布

块体内 2 000 m 深处的地温分布特点为:北部地温偏低,多在  $50^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$  之间;南部地温偏高,多在  $60^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$  之间(图 5)。在个别地区,虽然也有相对高值和相对低值区,但从整个块

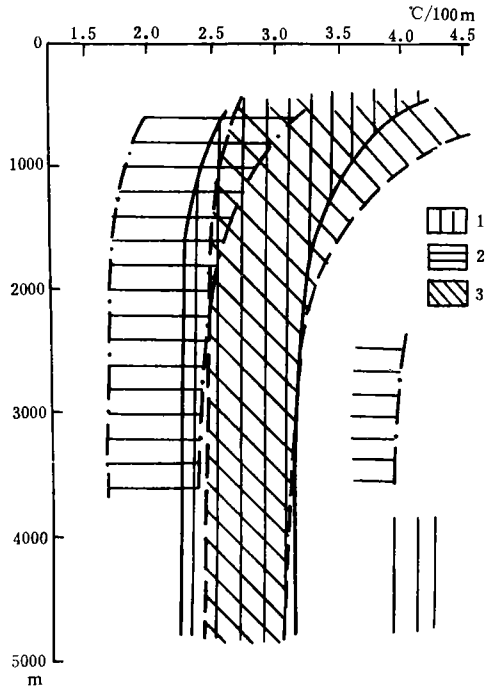


图 3 盆地不同部位地温梯度与深度的关系(据王均)

1 盆地南部; 2 盆地北部; 3 渭河谷地

Fig. 3 Relationship between geotemperature gradient and depth in the regions around the Ordos block.

体分析,其地温变化幅度多在 20℃ 之内,没有较高地温分布区出现,体现了与其它大型盆地地温分布的差异性。而渭河谷地及有关文献披露的山西断陷带内的 2 000 m 深处地温,一般较块体为高,并多在 70℃~80℃ 之间,局部地区可高达 90℃ 以上。这反映了鄂尔多斯周缘断陷盆地的地温分布与块体内是有明显差异的。

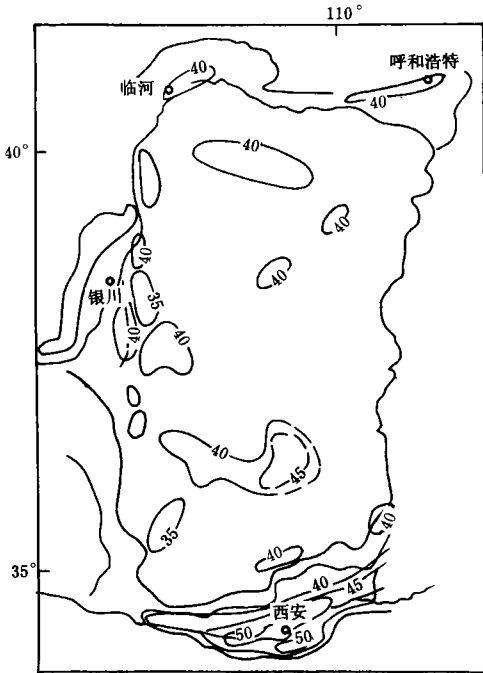


图 4 鄂尔多斯盆地 1 000 m 深处地温分布 (据王均)

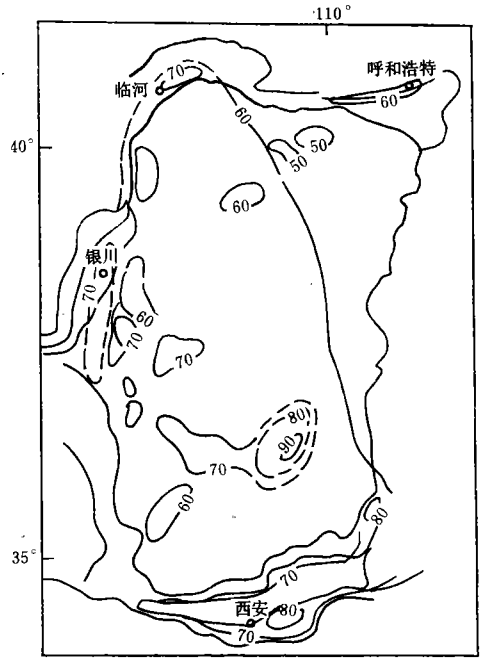


图 5 鄂尔多斯盆地 2 000 m 深处地温分布 (据王均)

Fig. 4 Geotemperature distribution at 1 000 m depth in the Ordos basin.

Fig. 5 Geotemperature distribution at 2 000 m depth in the Ordos basin.

5.1.3 3 000 m 深处的地温分布

该区 3 000 m 深处的地温分布大致与 2 000 m 深处的分布情况类似。由图 6 可见,块体的东北部为 3 000 m 深的地温低值区,一般小于 90℃。块体的中部地区 3 000 m 深处的地温一般在 90℃~100℃ 之间,而南部地区 3 000 m 深处的地温多在 100℃~110℃ 之间,局部地区可在 110℃ 以上(富县地区)。块体南部的渭河谷地的 3 000 m 深处地温较块体内为高,一般在 100℃~110℃ 之间,最高地温分布于谷地中偏南的西安—临潼一带,达 110℃~120℃,局部地段甚至在 120℃ 以上。

综观该区的地温分布,主要有如下特征:

(1) 鄂尔多斯块体地温分布比较均一,变幅小,多在 10℃ 左右,局部可达 20℃ 以上。该块体 1 000 m、2 000 m 和 3 000 m 深处的地温分别为 35℃~40℃、60℃~70℃ 和 80℃~100℃,局部较高地温分布区成片状或岛状散布在块体的西南部以及北部。

(2) 鄂尔多斯周缘地区断陷盆地内的地温分布各具特色,且与块体明显不同。

5.2 地温随深度的变化

图 7 给出了鄂尔多斯块体不同部位及其相邻地区的地温与深度的关系。由图可见,块体地

温随深度的变化较为明显。块体的北部和南部略有不同，其边缘的渭河谷地和河套盆地与鄂尔多斯块体也存在差异。南部地温随深度增长较快，而北部地温随深度的变化幅度较大，总趋势

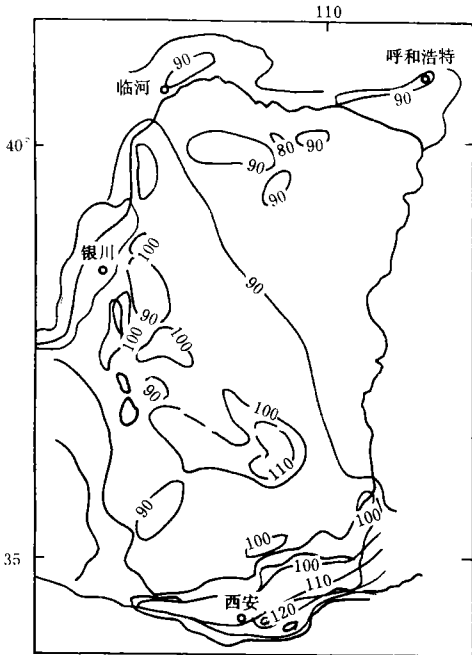


图 6 鄂尔多斯盆地 3 000 m 深处地温分布 (据王均)

Fig. 6 Geotemperature distribution at 3 000 m depth in the Ordos basin.

是上部增温缓慢，下部增温迅速。就地温与深度的关系而言，块体边缘的渭河谷地和河套盆地与块体南部大致相同，但渭河谷地 3 000 m 以上深度处的地温偏高，随着深度增加地温有降低的趋势，不同于块体内部。同时由于这些断陷盆地处于块体与巨大山区之间，隔断了周围山区强大的地下水径流对块体的直接影响，从而形成了与其它大型盆地不同的、较为均一的地温分布。

### 6 地震活动分布与地热展布的关系

图 8 为鄂尔多斯块体及其周缘地区  $M_L \geq 5.0$  地震震中分布图。由图可见，本区地震活跃区主要分布在鄂尔多斯块体周缘，而在盆地内

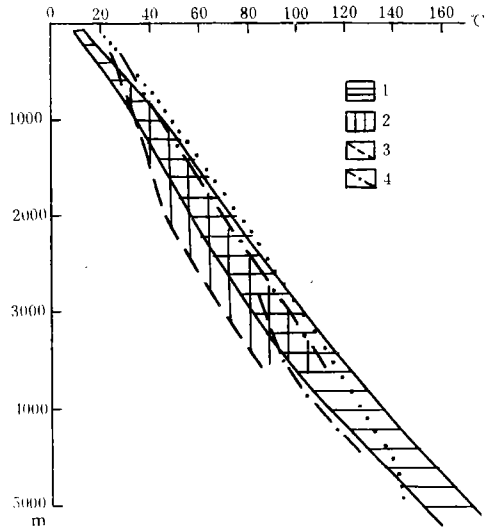


图 7 鄂尔多斯盆地不同部位及其邻区地温与深度的关系

1 盆地南部；2 盆地北部；3 渭河谷地；4 河套盆地

Fig. 7 Relationship between geotemperature and depth in the Ordos basin and its vicinity.

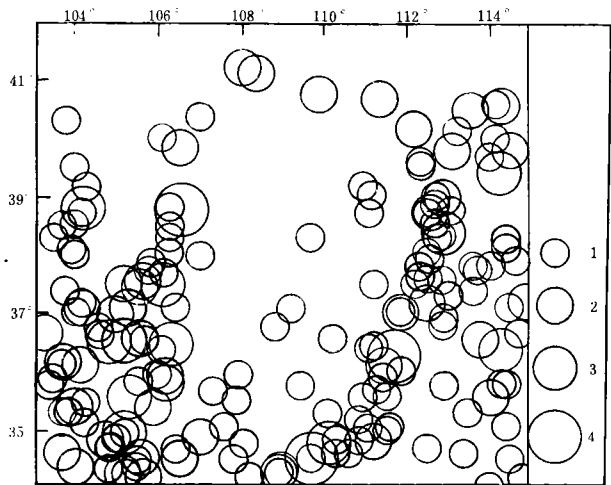


图 8 鄂尔多斯及其周缘地区  $M_L \geq 5.0$  地震震中分布 (公元前 780 年~公元 1994 年)

1  $5.0 \leq M_L \leq 5.9$ ; 2  $6.0 \leq M_L \leq 6.9$ ; 3  $7.0 \leq M_L \leq 7.9$ ; 4  $8.0 \leq M_L \leq 8.9$

Fig. 8 Epicentral distribution of the  $M_L \geq 5.0$  earthquakes in Ordos and its vicinity.

部极少有地震发生。根据地质所王春华等同志的研究结果<sup>(5~6)</sup>,该区应力集中区也位于断块周缘(见图9)。

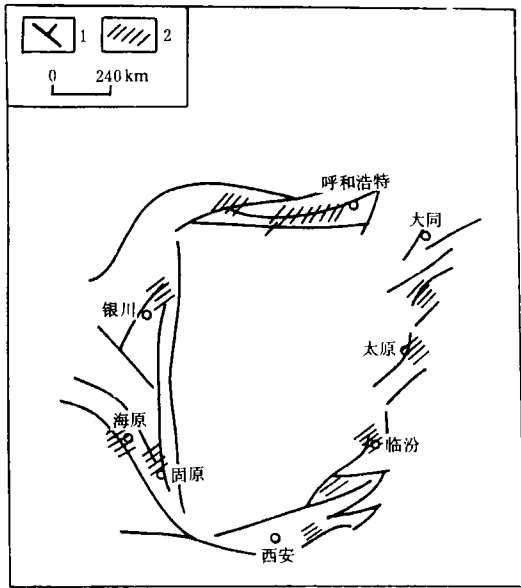


图9 鄂尔多斯块体内应力集中区分布  
1 断层; 2 应力集中区

Fig. 9 Distribution of stress concentration areas in the Ordos block.

壳深部熔融物质有可能上行。地热异常来源于水热活动效应,水热活动则是由地堑之下深源热补给系统驱动的。而深部热补给系统向上运移的通道则是深大断裂带,也就是说,该区的地壳深大断裂带既是地震活动的主要场所,又是热源上升的通道,因此它是联结地震活动和地热分布的重要桥梁。

(5)大地热流值高,地温梯度高、深部热活动强的地区地震活动水平亦高;反之,热流值和地温梯度低的地区,尤其是在山区,深部热活动弱,且地震活动水平亦低。

(6)高热流、高梯度、岩石圈薄的地区,热活动性增强,同时也具有构造活动性强、断块内部差异活动明显和岩浆活动频繁等特征。

本区地震的空间分布和地温分布具有一定的相关性:

(1)本区的地震活动主要分布在鄂尔多斯块体周缘,而块体内部极少有地震发生。

(2)从图10可见,该区的地震主要集中在20 km左右的深度范围内,即上部地壳内,只有少数的深源地震,最深的达64 km。

(3)从断块周缘的地震分布情况看,它们主要密集分布在断块周缘的4个角域区。这可能是由于太平洋板块和印度洋板块联合挤压作用,使本区周边呈现强烈扩张变形,引起强烈差异性升降运动,从而导致周缘地区地震活动增强的现象。

(4)鄂尔多斯块体周缘存在着高热流值、高地温梯度和地震丛集分布相统一的现象。这一现象说明,地热和地震活动之间存在着某种必然的联系。众所周知,由于地堑的形成及其下部压力释放等进程使得地

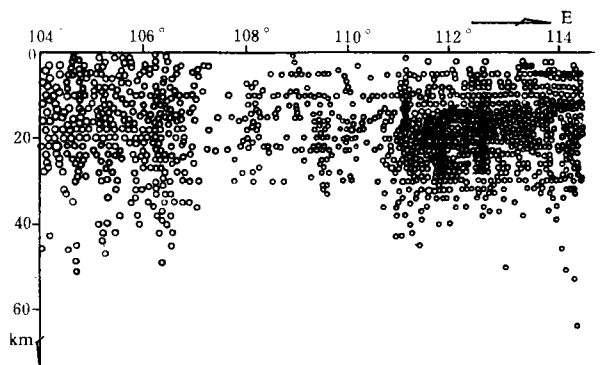


图10 鄂尔多斯及其周缘地区震源深度分布  
Fig. 10 Distribution of focal depths in Ordos and its vicinity.

(本文 1994 年 8 月 10 日收到)



## 参考文献

- 1 邓起东,尤惠川.鄂尔多斯周缘断陷盆地带的构造活动特征及其形成机制.现代地壳运动研究(1).地震出版社,1985.58~78.
- 2 汪集昉,黄少鹏.中国大陆地区大地热流数据汇编(第二版).地震地质,1990,12(4):351~366.
- 3 张必敦,等.南北地震带北段地温场的初步探讨.西北地震学报,1987,9(1):26~32.
- 4 王钧,等.中国地温分布的基本特征.地震出版社,1990.
- 5 王春华,等.鄂尔多斯断块区构造活动的动力学条件与地震关系的模拟研究.现代地壳运动研究(2).地震出版社,1986.
- 6 [苏]莫伊谢迎科,等.地热研究与应用.地震出版社,1990.

## CHARACTERISTICS OF GEOTHERMAL DISTRIBUTION IN ORDOS AND ITS VICINITY

Li Qinglin Li Wenshan Zhang Xiaopu Zhuang Jiancang  
(Centre for Geophysical Exploration of SSB, Zhengzhou 450003)

## Abstract

By using data for geothermal flow, geotemperature gradient and geothermal distribution, the distribution feature and difference are studied and the relationship of geothermal distribution with the shallow and deep structures of the crust is discussed in this paper. It is suggested that the values of geothermal flow and geotemperature gradient in Ordos block are lower, while a ring high anomaly belt appears in the vicinity of the block. The earthquake activities distribute mainly in the periphery of Ordos, that is to say, high heat flow, high geotemperature gradient and distribution of earthquakes in clusters are consistent in the vicinity of Ordos, indicating that a certain relationship exists between the geotherm and the earthquake activity.

**Key words:** Ordos block, Geothermal flow, Geotemperature gradient, Seismic activity