

中国地质科学院
562 综合大队集刊

第 6 号

地质出版社

30442

P5

中国地质科学院

562 综合大队集刊

S435/Q3

第 6 号



00271790



200379740



地质出版社

目 录

柴达木盆地现今地温特征的初步分析.....	张业成 胡景江 刘春风 (1)
华北平原北部深层地下水活动及其对地温场的影响.....	周瑞良 (17)
贺兰山北部石炭井石炭二叠纪煤田同沉积构造作用与含煤建造的 形成规律.....	田树华 (37)
青南藏北地区的主要含油气盆地与区内构造体系的成生关系	杨锡彬 蒋志惕 (49)
塔里木盆地北部油气地质的若干问题.....	蒋志惕 (61)
浙江建德铜矿的构造特征及其控岩控矿作用.....	周济元 黄继钧 (73)
地球自转与全球断裂体系.....	高庆华 (89)
关于构造体系的时间概念问题.....	杜思清 (97)
苏南地区北西向压性构造的确立.....	孙 岩 沈修志 (105)
亚洲地区山字型构造体系的纵横系列及其意义.....	刘 波 (117)
郯庐断裂带构造应力场初步探讨.....	李开善 (127)
湘西中、晚奥陶世地层及其牙形石动物群.....	陈英华 姬再良 (139)
世界煤炭资源综述.....	王休中 (155)

中国地质科学院
562 综合大队集刊
第 6 号

责任编辑: 吴万新

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张: $10 \frac{1}{2}$ · 字数: 243,200

1987年2月北京第一版·1987年2月北京第一次印刷

印数: 1—2,825 册 国内定价: 2.60

统一书号: 13038新368

BULLETIN OF THE 562 COMPREHENSIVE GEOLOGICAL
BRIGADE CHINESE ACADEMY OF
GEOLOGICAL SCIENCES

No. 6

CONTENTS

Preliminary Analysis of Present Geothermal Characteristics of Chaidamu Basin.....	<i>Zhang Yecheng Hu Jingjiang Liu Chunfeng</i> (16)
The Activity of Deep Underground Water in the Northern Part of the North China Plain and Its Effect on the Geothermal Field	<i>Zhou Ruiliang</i> (34)
The Pattern of the Occurrence of the Permo-Carboniferous Coal-bear- ing Formation under the Control of Consedimentary Structure in Shitanjing Coal Basin of the North Helanshan.....	<i>Tian Shuhua</i> (48)
The Main Oil-gas-bearing Basins and Their Genetic Relation to the Structural Systems in Southern Qinghai-Nothern Xizang Area	<i>Yang Xibin Jiang Zhongti</i> (59)
Geological Problems of Oil and Gas in the Northern Talimu Basin	<i>Jiang Zhongti</i> (71)
Structural Characteristics and Its Control of Rocks and Minerals Jian-de Copper Mine Zhejiang.....	<i>Zhou Jiyuan Huang Jijun</i> (87)
The Earth's Rotation and the Global Fault Systems.....	<i>Gao Qinghua</i> (95)
On Problems of Time Concept in Structural System.....	<i>Du Siqing</i> (103)
The Determination of NW Compressive Structures in South Jiangsu	<i>Sun Yan Shen Suzhi</i> (111)
The Longitudinal and Latitudinal Sets of Epsilon-type Structural Systems in Asia Regions and Its Significance.....	<i>Liu Bo</i> (125)
A Preliminary Exploration on the Tectonic Stress Field of Tanlu Fault Zone.....	<i>Li Kaishan</i> (137)
Middle and Upper Ordovician Strata and Conodont Faunal in Western Hunan... ..	<i>Chen Yinghua Ji Zailiang</i> (148)
The Comprehensive Exposition of Coal Resources.....	<i>Wang Xiuzong</i> (166)

Geological Publishing House

Address: Xisi, Beijing

562 CGB.

Address: Yanjiao, Sanhe County(Hebei)
Beijing

柴达木盆地现今地温特征的初步分析

PRELIMINARY ANALYSIS OF PRESENT GEOTHERMAL CHARACTERISTICS OF CHAIDAMU BASIN

张业成 胡景江 刘春风

地温研究是地学领域中一项新的内容,它对石油地质、构造地质、地震地质等都具有一定意义。在柴达木盆地的石油勘探中,积累了比较丰富的地温资料,可是有关的研究工作基本上还属空白。基于这种情况,笔者在柴达木盆地石油地质考察工作中,对盆地地温条件与油气资源的关系进行了专题研究:调查了盆地地温现状,探讨了生油岩的热演化状况和相应的生油条件,取得了一些认识。本文作为这项工作成果的一部分,着重对柴达木盆地现今地温基本特征和油气地温显示及其形成条件进行初步分析,偏颇和错误之处,敬请指正。

此项研究工作的基础资料,主要来自青海石油管理局、地质矿产局等单位;工作中得到孙殿卿先生的支持和邵云惠、高庆华、朱松年等同志指导。对于这些,笔者深表感谢。

一、区域构造和石油地质概况

柴达木盆地是我国西北地区的一个大型内陆盆地。它位于青藏高原北部,面积约 $12 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

从区域构造看,青藏高原的主体是藏滇歹字型构造体系的头部展布区,柴达木盆地处于该头部的边缘或外围。由于歹字型构造在这一地区的发育程度已大大削弱,所以,盆地除受该体系影响外,还受西域系、纬向带、阿尔金构造带等多种构造体系的控制和影响。从盆地周缘构造发育情况看,北部和东北部为祁连褶皱带,它由一系列规模巨大的复式褶皱和高角度冲断裂组成,主要属于西域系,以断阶形式与盆地过渡衔接;盆地西部和西北部为阿尔金构造带,它由一系列具有左旋扭动性质的断裂所组成,以斜坡形式与盆地过渡衔接;盆地南部为昆仑褶皱带,它由一系列大型褶皱和走向断裂所组成,属于秦昆纬向构造带,以断阶形式与盆地过渡衔接。

在盆地内部,除边缘地区外,断裂构造不发育,只有一些小型断裂。主要的有南八仙断裂、碱山断裂、大风山断裂、油泉子断裂、油砂山断裂等,它们多为北西向延伸的压扭性断层。盆地内褶皱构造比较多,但规模不大。除部分为断褶构造外,多为宽缓的箱状或半箱状的短轴背斜。相邻的背斜构造常常首尾相接,断续相连,构成延续上百公里的背斜带。自北而南主要有:冷湖—南八仙构造带、鄂博梁和鸭湖—涩北构造带、尖顶山和大风山—红三旱四号构造带、油砂山构造带等。它们在平面上多呈 S 或反 S 形,基本走向为北

西或北西西向。在这些弧形构造带之间,为规模不等的凹陷,二者交错排列,使盆地呈现出凹凸相间分布的构造格局。

从柴达木盆地这一局部看,盆地内所发育的一系列弧形构造,在构造型式和形成条件方面,具有和周边构造体系不尽相同的相对独立性,但从中国西部广大区域的构造条件看,这些弧形构造虽然受到秦昆纬向构造和阿尔金构造带等的影响,但表现较突出的是和藏滇歹字型构造的关系比较密切。

依照盆地内不同地区构造条件的具体特点,将盆地划为六个构造区(带)(图1、表1)。

柴达木盆地是印支运动以后形成的。侏罗纪—第三纪始新世,为断陷发育期,此时,在祁连山和阿尔金山的南缘和东缘,形成一系列互相分割的小型断陷;第三纪渐新世—上新世,为拗陷发展期,自西向东发生大面积沉降,形成了茫崖、一里坪、台吉乃尔等凹陷;第四纪为褶皱上升期,盆地逐渐收缩。

盆地前中生界基底岩石主要为古生界和元古界变质岩,部分地区为花岗岩和灰岩。中、新生界沉积盖层特别发育,厚度大于4000m,主要凹陷内超过6000m,盆地中心的一里坪—三湖地区,达 $12-15 \times 10^3 \text{m}$ 。

盆地主要生油层为第三系渐新统下干柴沟组和中新统上干柴沟组,其次为中新统下油砂山组和侏罗系中统大煤沟组(表2)。盆地内有四个油气区:西缘阿尔金山前油气区,已发现有七个泉、咸水泉等油田;北部冷湖—南八仙油气区,已发现有冷湖等油田;中部三湖天然气区,已发现有涩北一号、二号和盐湖等气田;西南部油砂山—茫崖油气区,已发现有跃进一号、油砂山、油泉子等油田。各油气区油气田的规模都不大,油气层埋深在

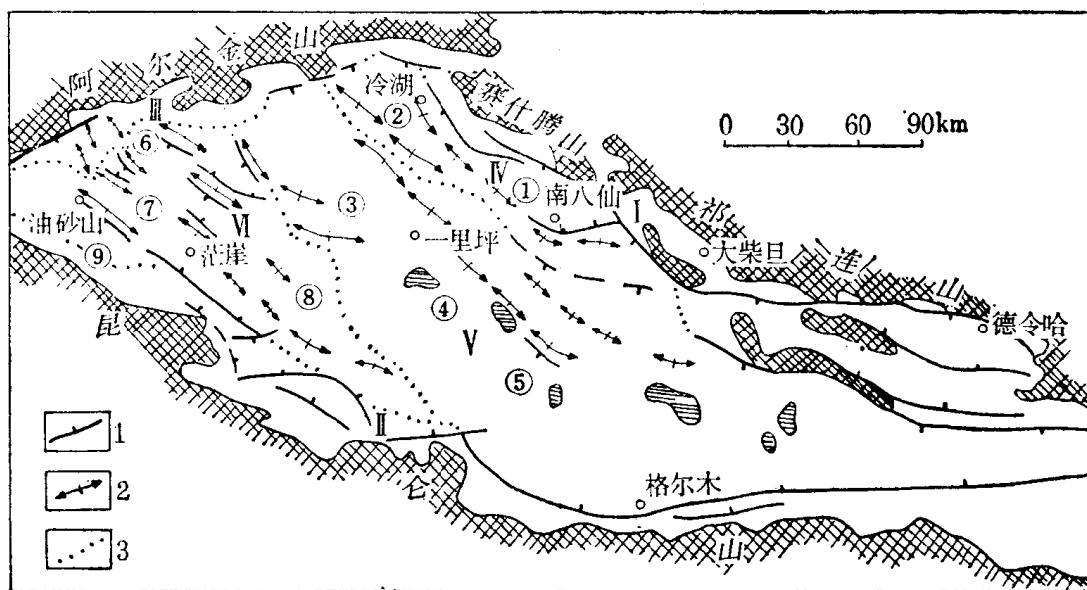


图1 柴达木盆地构造分布图

Fig. 1 map showing structural distribution in Chaidamu basin

- I—北缘断阶构造带; II—南缘断阶构造带; III—西缘阿尔金斜坡构造带; IV—北部构造区;
V—中部构造区; VI—西南构造区
①—赛什腾山凹陷; ②—昆特依凹陷; ③—一里坪凹陷; ④—台吉乃尔凹陷; ⑤—涩北湖凹陷;
⑥—小梁山凹陷; ⑦—油泉子凹陷; ⑧—茫崖凹陷; ⑨—朵斯斯凹陷

表 1 柴达木盆地各构造区带特征简表

Table 1 Characteristics of each structural zone in Chaidamu basin

构造区(带)	构造简要特征
北缘断阶构造带	位于盆地北缘和南缘,宽约20—50km。断裂发育,基岩以阶梯状向盆地方向加深。北缘主要有赛什腾南、绿梁山、埃姆尼克南断裂;南缘主要有戈壁梁、塔尔丁、格尔木、诺北等断裂
南缘断阶构造带	
西缘阿尔金斜坡构造带	位于盆地西缘,宽约20—50km。基岩以斜坡形式向盆地加深。斜坡上发育有鼻状凸起,主要有七个泉、狮子沟、干柴沟、咸水泉等构造,它们主要形成于Mz—E ₁₊₂ 时期
北部构造区	位于盆地北部冷湖—南八仙一带。基本构造为两凹、两凸:赛什腾和昆特依凹陷,冷湖—南八仙和鄂博梁一号—葫芦山背斜带。主要构造形成于Mz—E ₁₊₂ 时期
中部构造区	位于盆地中部一里坪—三湖斜带。构造形态比较完整单一,主要为一系列深凹陷:自西北向东南依次为一里坪凹陷、台吉乃尔凹陷、涩聂湖凹陷,凹陷带北缘为鄂博梁二号、三号和鸭湖—涩北背斜带。局部构造主要形成于N—Q时期
西南构造区	位于盆地西南部油砂山—茫崖一带。褶皱构造十分发育,规模不等的断褶、背斜等构造遍布全区;其间为小型凹陷,主要有油狮、茫崖、小梁山凹陷和尕斯断陷等。局部构造主要形成于E ₃ —N时期

3000m以内,储层为第三系和侏罗系砂岩、含砾砂岩等。构造圈闭的基本形态是背斜构造,可划分为三种基本类型:复合性断褶构造,主要分布在西南部的南翼山、尕斯库勒湖一带,后成性表褶构造,主要分布在老茫崖、一里坪以东地区;继承性鼻状构造,主要分布在阿尔金山前地带。

二、现今地温特征及油气地温显示

盆地地温基础资料主要来自石油和水文勘探工作。油井测温主要在盆地西南部的油砂山、北部的冷湖、东部的涩北等油气田区,共约有300个井点。一般测温深度1000—3500m,最深达6018m。其中少数井为专门进行的连续测温井,得出的结果准确可靠,是校正和分析地温资料的基础数据;其余是完井后的电测井温和试油井温,除少数质量差,仅能供作参考外,绝大多数基本可靠。水文测温井主要在盆地南部和北部边缘以及冷湖、茫崖附近,共有井点200余个。其测温深度10—300m。对于认识浅层地温状况和确定恒温带的温度、深度具有重要作用。

表征地温状况和特征的基本指标是大地热流、地温梯度和不同深度的地温数值。这些指标是对原始地温数据整理以后计算得出的。它们的计算方法如下:

$$T_i = G (H_i - h_i) + t$$

$$q = -R \frac{dT}{dZ}$$

表 2 柴达木盆地中、新生界地层及生油状况简表

Table 2 Cenozoic stratigraphy and its oil-forming condition in Chaidamu basin

系	统	组	代号	岩 相 岩 性	发 育 情 况	生 油 状 况
第 四 系	全新统、上更新统		Q ₃₊₄	湖相、河流相粘土、砂、盐类	主要在三湖地区，厚<500m	有机质含量低，不具备生油能力。
	中、下更新统	七个泉组	Q ₁₊₂	湖相、部分河流相泥岩、砂质泥岩、岩盐和砂岩、砾岩等	主要在一里坪以东地区，厚200—2200m，最厚3350m	三湖地区暗色泥岩发育，其有机质含量较高，具生气能力，形成了涩北等气田
第 三 系	上 新 统	狮子沟组	N ₃	湖相、河流相泥岩、砂岩等	分布广泛，厚300—1300m，最厚2000m	暗色泥岩发育，但有机质含量低，演化程度低，生油能力差
		上油砂山组	N ₂	湖相泥岩、砂岩等	分布广泛，茫崖—一里沟地区最发育，厚150—1400m，最厚2200m	暗色泥岩分布广，厚度大，但所含有机质为腐殖型，丰度较低，生油能力较差
		下油砂山组	N ₁	湖相泥岩、砂质泥岩、粉砂岩等	分布广泛，油泉子—红三旱四号一带最发育，厚300—1800m	暗色泥岩发育，分布面积约5000km ² ，最大厚度近1000m，含混合型有机质，丰度不高，具一定生油能力
	中 新 统	上干柴沟组	N _{1g}	湖相泥岩，砂质泥岩、砂岩	分布广泛，油泉子—红三旱四号一带最发育，厚400—1100m	暗色泥岩发育，分布面积4000km ² 多，最大厚度超过500m，含混合型有机质，丰度指标接近较好生油岩标准，具较强生油能力，是重要生油层
		下干柴沟组	E _{3g}	湖相、部分河流相泥岩、砂质泥岩、砂岩	分布广泛，茫崖和一里坪地区最发育，厚400—2200m	暗色泥岩发育，主要分布在茫崖地区，面积3000km ² 多，最大厚度1000m，含混合型有机质，丰度比较高，属较好生油岩，生油能力强，是盆地主要生油层
	渐 新 统	路乐河组	E _{1-n}	河流相、湖相砂岩、泥岩、砾岩	主要分布在西部边缘，厚300—1000m	不具备生油能力
白 垩 系	始新统一古新统	犬牙沟组	K ₁	河流相砾岩、砂岩	主要分布在西部、北部边缘	不具备生油能力
侏 罗 系			J	河流相、沼泽相、湖相砂岩、砾岩、泥岩	主要分布在北部、西部，厚400—1000m，最厚1500m左右	中统大煤沟组中段为暗色泥岩，有机质丰度较高，有一定生油能力，是冷湖地区的重要生油层

这些式中: $G = \frac{dT}{dZ}$ ——地温梯度 ($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, dT 、 dZ 为温度、深度增量);

H, T_i ——深度 (m) 和相应地温值 ($^{\circ}\text{C}$);

h, t ——恒温带深度 (m) 和温度 ($^{\circ}\text{C}$);

q ——大地热流

R ——岩石热导率 ($4.1868 \times 10^{-3} \text{J}/\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}$)

盆地内没有进行过恒温带的专门观测, 根据气象观测和浅层测温资料, 确定恒温带的温度为 8°C , 深度为 35m 。

盆地没进行过大地热流测量工作: 井孔进行测温时, 没测试相应井段岩石的热导率, 因此, 不能准确得出盆地的热流值。但是, 国内外有关工作, 已经取得了不同时代的各类岩石处于多种情况下热导率的经验数值。由此, 我们在掌握测温井段岩石条件的基础上, 通过类比, 可以大致确定它的热导率; 进而根据大地热流的计算方法, 大致得出热流值。其结果虽然不完全准确, 但不致有大的偏差。

依照上述方法, 对盆地地温指标进行了计算。经初步分析, 得出柴达木盆地地温基本状况和主要特征有如下几方面:

1. 柴达木盆地是我国西北地区地温最高的盆地

把所有可利用的测温数据点绘在温度-深度关系图上, 这些点的分布状况表明, 温度与深度大体呈直线关系 (图 2)。因此, 可以利用最小二乘法进行一元线性回归分析, 所得出的方程式是:

$$T = 3.201H + 9.960$$

$$\gamma = 0.997$$

式中: T ——温度 ($^{\circ}\text{C}$, 3.201 为平均地温梯度值, 9.960 为修正的恒温带温度);

H ——深度 (10^2m);

γ ——相关系数。

γ 非常接近 1, 表明拟配的回归线是精确可靠的。

跃进一号油田的跃 22 井、跃东 30 井, 取得了准确的连续测温数据和地层岩性资料, 按前述推算热流值的方法, 在这两个井采用分层和全井两种方法同时计算热流值, 所得 4 个数据变化不大, 为 $1.4-1.5\text{HFU}$ 之间。

根据上述结果, 得出柴达木盆地代表性地温数值: 推算大地热流值 1.45HFU 左右, 地温梯度 $3.20^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。不同深度代表性地温是: 500m , 26°C ; 1000m , 42°C ; 2000m , 74°C ; 3000m , 106°C ; 4000m , 138°C 。此外, 目前盆地内最深测温资料是: 盆地中部红三早四号构造早 2 井, 6018m , 198°C 。

柴达木盆地的地温值, 与全球大陆的平均值 (热流 $1.46 \pm 0.46\text{HFU}$, 地温梯度 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 左右) 大体相当。与我国主要油气盆地的地温相比, 柴达木盆地低于东部沿海的渤海湾、苏北和松辽等盆地; 高于我国中部和西部盆地, 特别是较明显地高于准噶尔、塔里木盆地 (图 3), 表明它是我国西北地区地温最高的大型内陆盆地。

● HFU: 大地热流单位。 $1\text{HFU} = 4.1868 \times 10^{-6} \text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}$

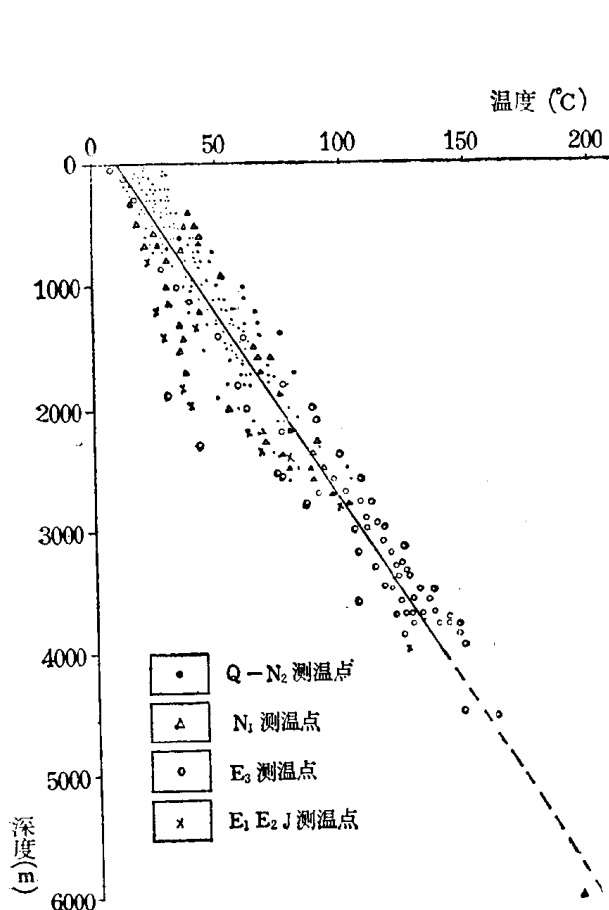


图2 柴达木盆地温度-深度关系图

Fig. 2 correlogram of temperature and depth of Chaidamu basin

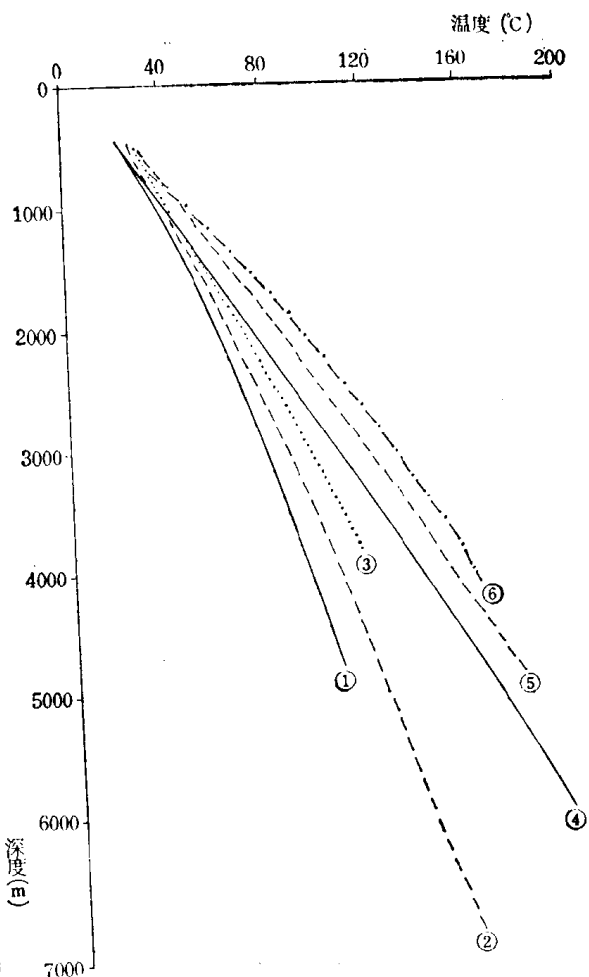


图3 中国主要含油气盆地温度-深度关系对比图

Fig. 3 correlogram of temperature and depth of main oil-gas-bearing basins in China

①—准噶尔盆地；②—塔里木盆地；③—甘肃西、陕甘宁盆地；
④—柴达木盆地；⑤—渤海湾、苏北、南襄盆地；⑥—松辽盆地

2. 盆地地温自边缘向中心增高，总体分布比较均匀

从柴达木盆地地温梯度分布图（图4）上看出，环绕盆地边缘宽约20—50km的狭长地带，具有显著的低温特点，其地温梯度 $<2.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，向盆地内部急剧升高到 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以上，到盆地的中心地区，地温梯度超过 $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ；表现了从边缘向中心不断升高的特点。

虽然存在这种变化，而且盆地内部不同地区地温状况也不尽相同。但总的看来，柴达木盆地的地温分布比较均匀，与渤海湾等盆地相比较，地温高低变化不大，热异常数量少，异常值低；地温梯度频数正态分布曲线的标准离差小，分散程度低（表3、图5）。

3. 地温梯度的垂向变化不大，总趋势是随深度加大和地层时代变老而降低

从地温梯度的垂向分布看，500m深平均值 $4.08^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，明显高于回归值，表明地表浅层的地温梯度比较高；500—4000m的地温梯度变化在回归值的附近；4000m以下，测温数据很少，据旱2井实测结果，地温梯度明显降低，在4000—6000m段，大约为 $2.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

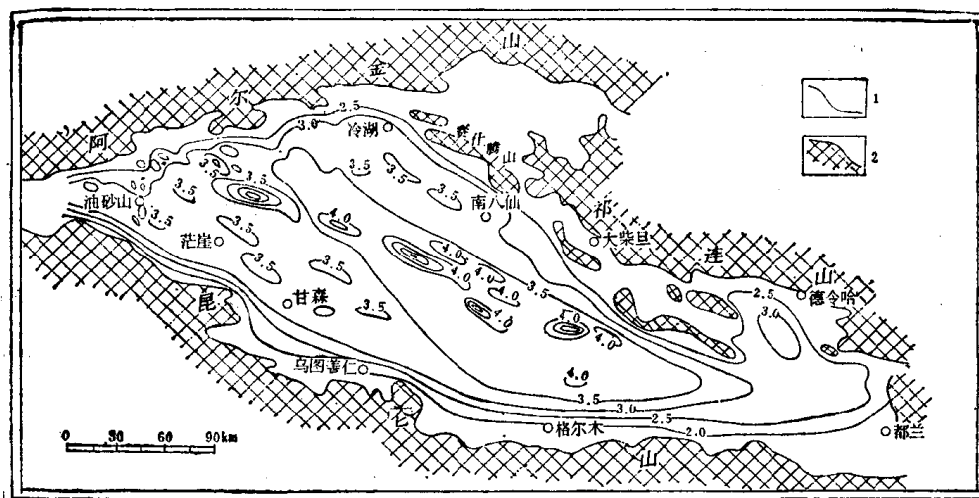


图4 青海柴达木盆地地温梯度等值线图

Fig. 4 isogram showing geothermal gradient of Chaidamu

1—地温梯度等值线 ($^{\circ}\text{C}/100$); 2—盆地周围山地

表3 柴达木盆地与冀中坳陷油井井温变幅统计表

Table 3 Statistics of temperature ranges in oil-wells in Chaidamu and Jizhong depression

盆地或地区	统计井数 (口)	地温梯度 ($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)			1000m 深地温值 ($^{\circ}\text{C}$)		
		最高	最低	差值	最高	最低	差值
柴达木盆地	295	5.5	1.8	3.7	60	26	34
冀中坳陷	162	6.9	1.8	5.1	83	32	51

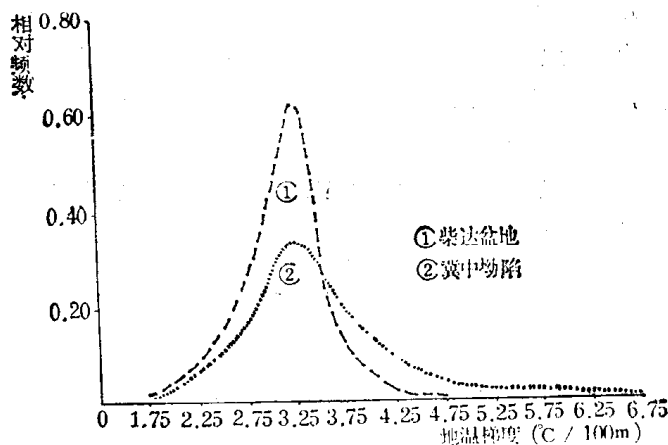


图5 柴达木盆地与冀中坳陷油井地温梯度频数分布曲线图

Fig. 5 Diagram showing geothermal gradient frequency in oil-wells in Chaidamu and Jizhong depression

地温梯度的垂向变化, 从一个侧面反映了不同地层和岩石的地温特征。统计结果表明, 地层时代越老, 地温梯度越低: 第四系和第三系上新统一般 $3.5-4.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$; 第三系中新统和渐新统一般 $3-3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$; 第三系古新统、始新统和中生界一般 $2.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 左右。从不同岩石的地温特征看, 比较显著的是厚层泥岩段的地温梯度较高 (图6)。

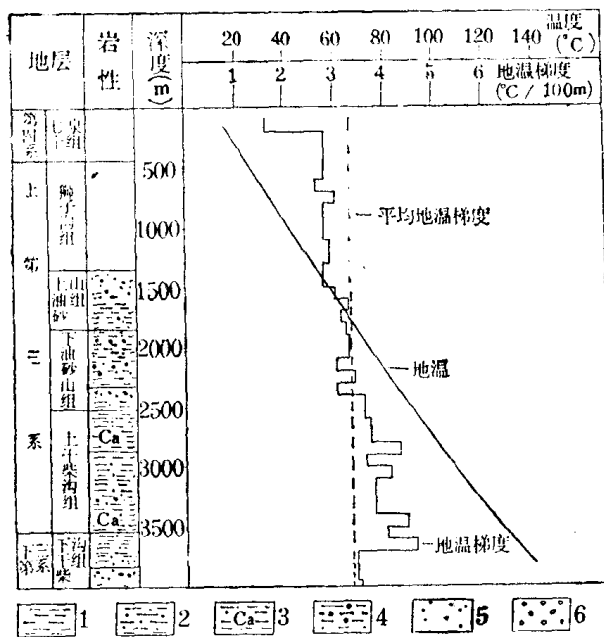


图 6 柴达木盆地跃22井地温—地质柱状剖面图

Fig. 6 geological and geothermal columnar section of the well No Yue-22 in Chaidamu basin

1—泥岩；2—砂质泥岩；3—钙质泥岩；
4—含砾泥岩；5—砂岩；6—砾岩

藏或圈闭构造，常常表现为局部地温异常（表 5）；这些异常的幅度都比较低，范围比较小。热异常的平面分布，受油田和圈闭构造的严格限制（图 7）。热异常的垂向分布，随圈闭构造在不同深度的发育情况发生同步变化：复合性断褶构造，深浅异常基本一致；后成性表褶构造，浅层异常比较明显，深部异常减弱或消逝；继承性断鼻构造，热异常存在的深度更小，一般仅在 2000m 以上（图 8）。

表 4 柴达木盆地不同油气区地温状况简表

Table 4 Brief table of geothermal temperature conditions in different oil-gas fields of Chaidamu basin

油 气 区	构 造 区	地 温 简 况
西缘阿尔金山前油气区	西缘阿尔金斜坡构造带	地温梯度一般 2.5—3°C/100m，1000m 深地温 32—37°C。一些鼻状构造部位，有小型地热异常，其 1000m 深地温 40°C 左右
北部冷湖—南八仙油气区	北部构造区	地温梯度 3—3.2°C/100m，局部 3.5°C/100m 左右，1000m 深地温 35—40°C 左右。西北低，向东南增高
中部三湖天然气区	中部构造区	地温梯度 3.5—4°C/100m，1000m 深地温 40—50°C，是地温最高的地区。在涩北、鸭湖等构造，地温梯度 4—5°C/100m，最高 5.5°C/100m，1000m 地温达到 60°C，形成较明显的局部异常
西南部油砂山—茫崖油气区	西南构造区	地温梯度 3—3.5°C/100m，1000m 深地温 40°C 左右。局部异常比较多，其地温梯度 3.5—5°C/100m，1000m 深地温 40—55°C，多出现在油田和不同形式的背斜构造部位。北部大风山等构造异常最显著

尽管地温梯度在垂直方向随各方面条件发生复杂的变化，但总的变化幅度不大。因此，地温的垂向分布同其平面变化一样，具有比较均一的特点。与我国东部沿海盆地相比，这也是一个明显差别。

4. 油气地温显示——油气区的时代越新，地温越高；油气藏多为幅度不大的高温异常

盆地内的油气区、油气田（油气藏）常表现出比较独特的地温特征。对此，称为油气的地温显示。

柴达木盆地南、北边缘断阶带，油气生储条件差，属非油气区，这里表现为显著的低温特征。盆地内四大油气区，地温状况不同（表 4），所表现出的基本规律是：随盆地的形成和演化，从边缘向中心，从西部向东部，油气区逐渐变新，地温越来越高。

从局部地温分布看，盆地内的油气

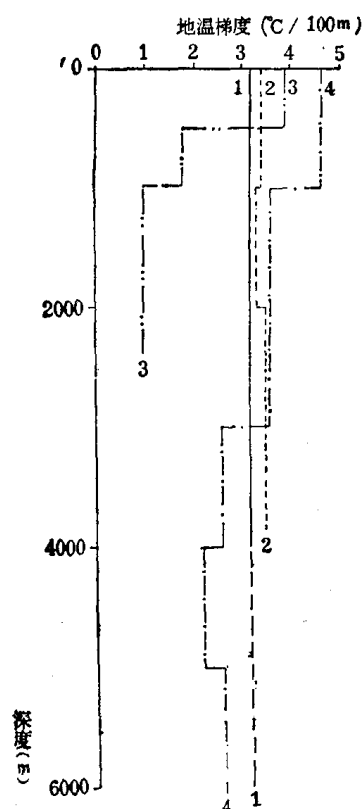


图7 不同类型构造地温梯度随深度变化图

Fig. 7 map showing geothermal gradient changes at depths with different structures

1—代表性梯度；2—跃进一号油田(复合性断褶构造)；
3—咸水泉、干柴沟构造(继承性断鼻构造)；4—红三
早四号构造早2井(后成性表褶构造)

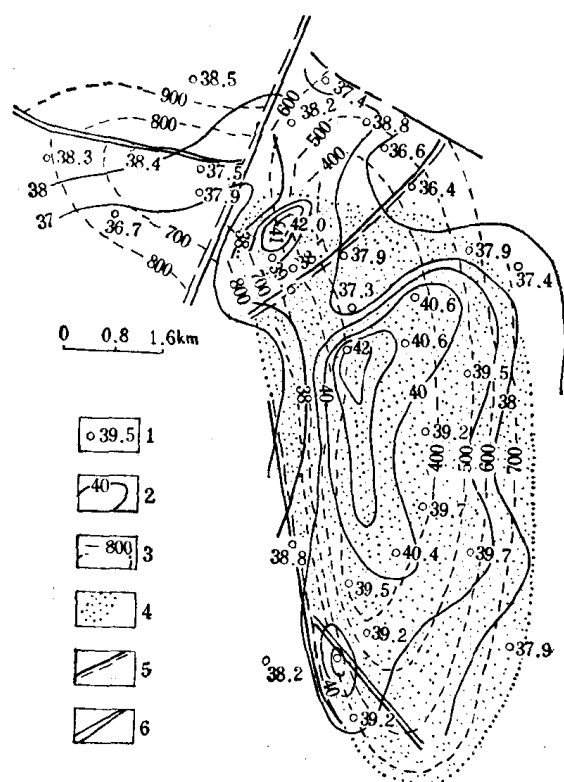


图8 跃进一号油田地温与石油构造分布图

Fig. 8 map showing the distribution of geothermal temperature and petroleum structure in the oilfield No. Yue-1

1—钻井及1000m深温度；2—1000m深地温等值线；
3—E₁顶面等深线；4—油田范围；5—逆断层；
6—正断层

表5 柴达木盆地部分油气田和圈闭构造地温异常表

Table 5 Geothermal anomalies of partial oil-gas fields and trap structures in Chaidamu basin

油气区	区域地温梯度 (°C/100m)	油田或构造	构造类型	地温梯度 (°C/100m)	异常值 (°C/100m)	异常基本特征
西缘阿尔金山前油气区	2.5—3	狮子沟油田 咸水泉油田 红沟子构造	继承性 断鼻构造	2.66—3.03 3.09—3.59 3.45	0.2—0.6	异常微弱。一般只存在于几百或100m以内，最深不超过2000m即消逝
北部冷湖—南八仙油气区	3—3.2	冷湖四号、五号油田 南八仙构造	复合性 断褶构造	3.07—3.45 3.55	0.2—0.4	浅部和深部异常均很微弱
中部三湖天然气区	3.5—4	涩北一号、二号气田 驼峰山气田 鸭湖构造 台吉乃尔构造	后成性 表褶构造	3.88—5.35 4.25 5.53 4.25	0.4—1.4	异常比较明显。随深度加大，异常减弱
西南部油沙山—茫崖油气区	3—3.5	跃进一号油田 七个泉油田 尖顶山油田 大风山构造	复合性 断褶构造	3.20—3.68 3.25—4.26 3.76—4.02 5.02	0.2—1.5	异常较明显。大部分异常随深度变化不大

三、地温场形成条件

柴达木盆地地温场同其它地球物理现象一样,是在多种因素共同作用下形成的。依照对地温的作用方式和影响程度,可归纳为两个方面。

1. 区域地质构造和地壳深部结构

根据区域地热-地质条件,我国分为三大地热-地质区(西北相对低温区、西南相对高温区、东部相对高温区)和若干地热-地质带。本文需要着重讨论的是柴达木盆地在我国区域地温场中的地位和相应的背景条件。在涉及这一问题的论著和报告中,大都认为柴达木盆地的地温条件与准噶尔、塔里木等盆地大致相同,因此,把它们同划归一个区域单元。对此,笔者持有不同看法。因为柴达木盆地,虽然构造发育和地温分布的某些特征,与准噶尔、塔里木等盆地有相似之处,但全面对比地热-地质条件,更突出的是存在着多方面差异。从地热状况看,除了柴达木盆地的地温明显高于北部诸盆地外,盆地周围地区的地温状况也与北部地区有明显差异:在新疆、甘肃地区,温泉少,水温低。据目前资料,两省区内仅发现温泉60余处,水温一般25—40℃,少数40—50℃,最高53℃。柴达木盆地周围,热泉多,水温高。仅在盆地北部的南祁连山地带和东部的都兰、兴海、贵德地区,目前已发现温泉30余处,其中不少是高于60℃的热泉。例如,大柴旦温泉和茶卡巴硬格利沟温泉都是82℃;贵德热水沟温泉93.5℃。从温泉水化学成分看,柴达木盆地周围地带的温泉中,富含F、Li、R_a、B、Sr等与岩浆活动有关系的微量组份^①,热水类型多属富硼、锂的弱碱性中等矿化钠质水;而北部甘、新地区热水化学成分与此不同,据新疆水磨沟等温泉化学全分析资料,重金属微量元素含量很少或检不出,热水类型多属于碱性的矿化钠质水。从地质构造和石油地质条件看,北部甘、新区主要受控于两大纬向构造带和西域系,准噶尔、塔里木等盆地主要是在长期挤压作用下形成的拗陷盆地,拗陷中心在盆地边缘。盆地形成早,发育时间长,生油层系多,时代老。而柴达木盆地的有关条件均与此不同。此外,中、新生代以来,甘、新地区岩浆活动微弱。在柴达木盆地的周缘,特别是东部地区,有不少燕山期花岗岩分布,表明此期岩浆活动比较强烈。与上述变化相对应的是,自柴达木盆地向南和西藏高原区的对比,它们的地热-地质条件虽然不尽相同,但总的来看,没有显著的突变;在地质构造、岩浆活动和盆地发育等方面,大体呈现过渡延续的关系。特别是在地温强度方面,柴达木盆地周缘同南部的可可西里山—巴颜喀拉山以及藏北高原、唐古拉山地区相差不大,其温泉密度和水温大体相当,而且水化学特征相近。根据以上南、北对比,笔者认为,柴达木盆地的地热-地质条件,从局部看,具有相对完整的独立性;从区域看,明显不同于北部甘、新地区,而接近西藏高原区的特点。因此,在中国区域地温场中,柴达木盆地属于西南相对高温区;盆地北缘的阿尔金山—祁连山一带,不仅是显著的重力梯度带,而且也是我国西部地热-地质区域的分界。

西南相对高温区大体上是青藏高原的范围。区内地热活动的中心在南部的雅鲁藏布江—念青唐古拉山一带,它是地中海—喜马拉雅山—印尼强地热异常带的一部分。这里有大

① 青海第一水文队,1974,青海热矿水分布规律与勘探前景预测(未刊)

量沸泉、间歇泉和水热爆炸等现象，地温强度非常高。此带向北，越过班公湖—东巧和金沙江断裂，进入藏北高原和巴颜喀拉山区，地热异常大大减弱。再向北，到昆仑山以至更北的柴达木盆地，地温强度变化不大或稍有降低。依此变化，大致划为三个地热-地质带（图9）。柴达木盆地属于远离热异常中心的最北地带，其地温基本状况乃是这一区域地位的反映。

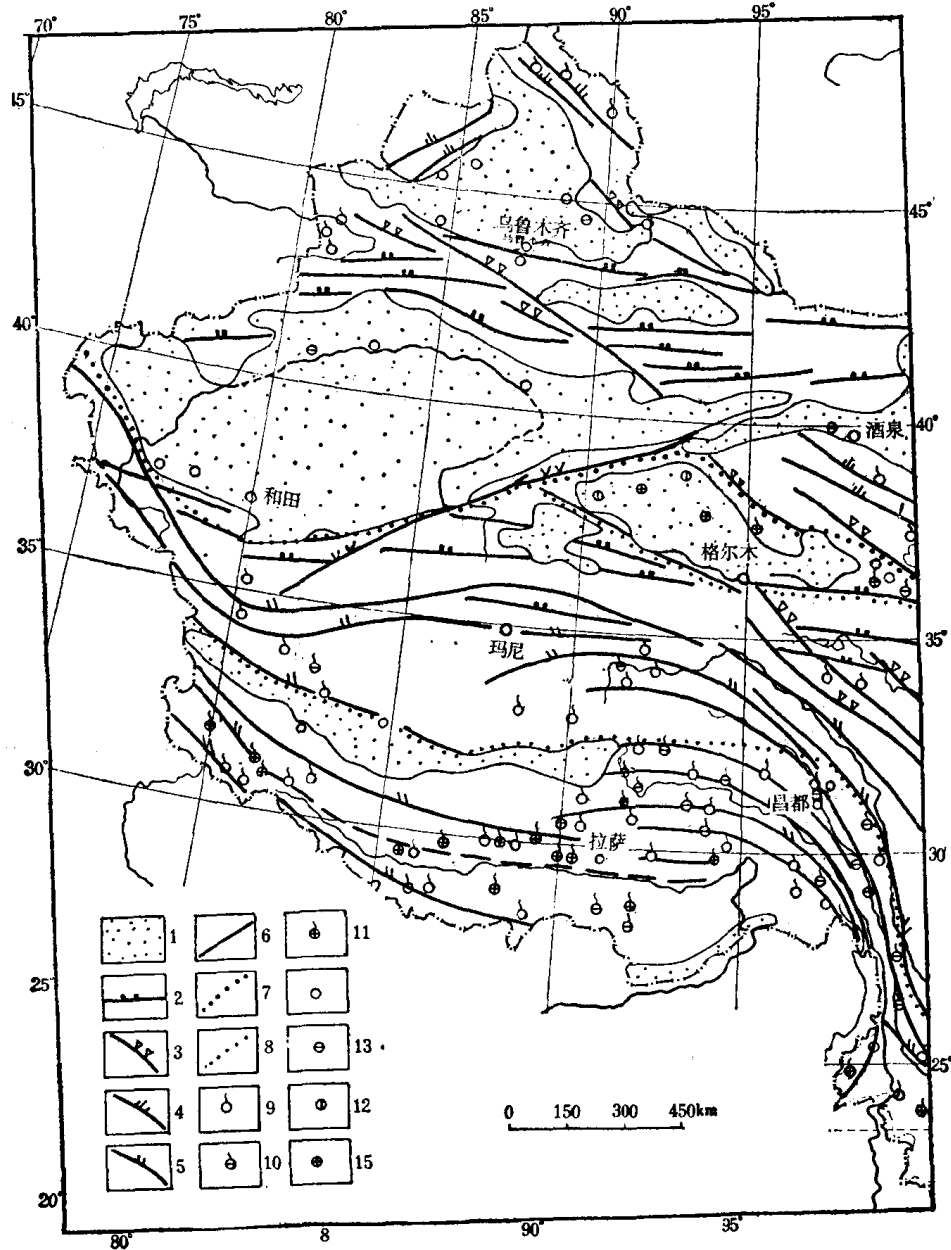


图9 中国西部地区构造体系与地温分布图

Fig. 9 map showing the structural systems and geothermal distribution in western China

- 1—盆地；2—纬向构造体系；3—西域系；4—山字型；5—歹字型；6—阿尔金构造；7—地热-地质分区界线；
8—地热-地质分带界线；9— $<60^{\circ}\text{C}$ 温泉；10— $60-80^{\circ}\text{C}$ 温泉；11— $>80^{\circ}\text{C}$ 温泉；12— $<2.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 钻孔；
13— $2.5-3.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 钻孔；14— $3.0-3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 钻孔；15— $>3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 钻孔

追根溯源,不同地热区、带的地温场强度是由地球深部的热状况决定的。根据对地壳、上地幔热结构的研究,地壳浅层的地热热源,一部分来自地壳上部放射性元素的蜕变,一部分来自其下的地壳深部及上地幔。在不同地区,通常前部分变化不大,后部分却常有很大差异。所以,区域地温变化主要是由地壳深部和上地幔的结构、性状决定的。

据西藏高原的重力和地震测深资料,该区地壳厚度60km以上,最大75—85km。地壳呈多层状结构,垂向和侧向变化大。壳、幔之间,普遍存在厚度不等的过渡带,在20km左右的上地壳底部存在低速层^①。据航磁资料分析,雅鲁藏布江地带居里面浅,其埋深仅18—30km左右。这些资料表明,西藏高原可能有大量地幔物质上涌,在地壳浅部还可能普遍存在熔融现象,它们使地壳处于高温状态,这就为地表和地壳表层提供了强大热源,形成了西藏地区的高温异常。

目前,对柴达木盆地地壳深部条件还了解甚少。根据区域地质条件的变化规律,推测盆地地壳深部构造的可能情况是:盆地是一个上地幔隆起区,隆起中心在中部的一里坪—三湖一带;上地幔和地壳的温度比较高,虽然赶不上西藏地区,但与塔里木等盆地会有显著不同;某些地区地壳浅部亦有高温物质存在的可能。这些推测是否符合实际,有待今后证实。

包括柴达木盆地在内的整个西南区的地热-地质条件,是伴随着藏滇歹字型构造和青藏高原的出现和演化而形成的。用地质力学观点分析,由于地球自转速度的变化,中、新生代以来,欧亚大陆持续向南推移,在中国西部地区受到印度地块的强力阻挡,因此产生了巨大的挤压和扭动作用,使青藏地区产生一系列弧形构造,同时地壳急剧上升,地幔物质多处上涌,地壳温度不断升高。由于这一运动是自北而南依次推进的,所以,循此方向,挤压扭动作用不但越来越新,而且愈益加强,与此相应的地热活动的强度亦不断加剧,活动的时间也越来越新,由此导致了不同的地热-地质带。基于这种情况,从根本上说,柴达木盆地同整个青藏区的地热-地质条件,都是中、新生代以来这一区域地壳运动的产物。

2. 局部地质条件

所谓局部地质条件,是指柴达木盆地内部的地质构造、地层、岩性、水文地质等条件。它们是在盆地的区域地热背景下,直接控制着热流在浅层的传递和分配,决定了地温在盆地内部的具体分布。

在盆地边缘——特别是南缘地带,基底断裂发育,新生界盖层薄,主要是砾卵石等粗碎屑沉积,缺少连续稳定的隔水岩层。在这种条件下,地下水在水平方向和垂直方向的活动都十分强烈。这种活动控制了边缘地带的地温状况:个别地带深层高温地下水沿断裂上升,形成小型局部异常;其它地区因地下水的串通,使地下相当深度范围内的地温一直停滞在同地表温度不相上下的状况(图10)。

上述状况只存在于边缘很狭窄的范围内。进入盆地内部,地质、水文地质条件发生显著变化——中、新生界盖层

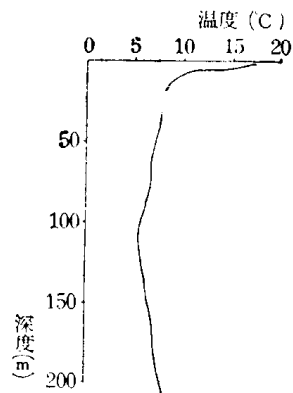


图 10 格尔木市水文地质队供水井温度-深度关系曲线
Fig. 10 correlogram of temperature and depth of the wells for water supply in Geermu city

① 崔作舟, 1986, 青藏高原的深部地质特征及其形成机制(未刊)

由几百米剧增到几千以至上万米, 导水性好的砾卵石变为阻水的泥质岩, 地下水活动因之迅速减弱, 以致濒于停滞。这种情况下, 浅层地温分布不再主要受控于热对流活动, 而是取决于热传导作用。盆地内部, 虽然不同构造-油气区, 地质条件不尽相同, 但总的看来, 在地下相当深度内, 地质结构并没有显著差异, 各区之间不存在明显分界, 这表明整个盆地是一个相对统一的整体(图11)。从盆地的形成、演化看, 虽然表现出一定的阶段性, 但各历程之间是渐进过渡地发展, 说明盆地自始至今, 基本上是一个连续稳定的发育过程。由于这种原因, 使盆地内部以传导为主的地热活动在时间和空间上都具有连续、统一的特点, 这就造成了盆地内部现今地温分布比较均匀的结果。

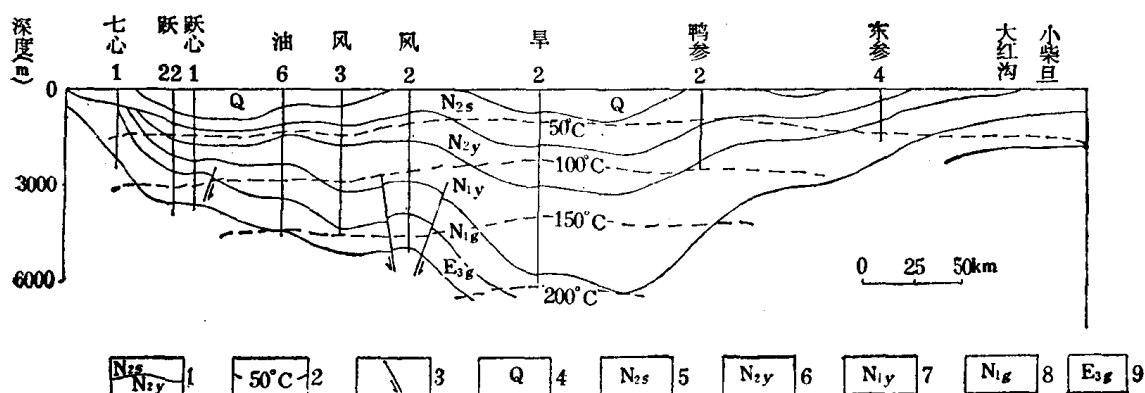


图 11 柴达木盆地七个泉—小柴旦地热地质剖面图

Fig. 11 geothermal and geological cross section from Qigeguan to Xiaochaidan, Chaidamu basin

1—地层界线; 2—地温等值线; 3—断层; 4—第四系; 5—上第三系狮子沟组; 6—上第三系上油砂山组; 7—上第三系下油砂山组; 8—上第三系上干柴沟组; 9—下第三系下干柴沟组

柴达木盆地内部地质结构, 不仅在平面上具有相对均一的特点, 在垂直方向上也是如此。所以, 地温梯度随深度亦无大的起伏。所发生的有限变化, 主要与不同地层或岩石的热物理性质有关。一般说来, 岩石层位老, 密度大, 热导率高, 地温梯度降低; 在同一地层中, 密度小的泥质岩等热导率低, 相应的地温梯度较高。

盆地中时代越新的油气区, 地温梯度越高的原因, 除了可能存在的地壳深部构造因素外, 与其地层时代较新有一定关系。

盆地内油气田和圈闭构造的地温异常, 主要是由于这些部位常常发生几方面致热效应而造成的。这些效应是: 油气演化生成一部分热; 二是在水的携带、推动下, 油气一般从凹陷中心或深部向边缘或浅层运移, 最后在圈闭构造中聚集, 从地热活动看, 这个过程是流体从高温向低温处的对流运动, 它导致热流在圈闭构造内的集中; 三是圈闭构造在一定范围内控制了传导热流的方向, 使之在构造中心附近发生局部集中。这几种致热效应, 常常同时发生, 它们使圈闭构造的温度高于同深度的正常温度; 这种局部高温形成后, 又受到导热性差的封闭盖层的良好保护, 因此形成了局部热异常(图12)。

盆地内圈闭构造的范围都比较小, 构造幅度比较低, 故热异常都比较微弱。不同类型构造的具体条件不同, 热异常特点不一: 继承性断鼻构造和后成性表褶构造, 在浅层褶皱