

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

沉积盆地地温与地层压力关系研究

刘震 曾宪斌 张万选

(石油大学, 北京)



地下地温和地层压力是控制油气生成和演化以及赋存相态的两个最基本的物理参数。地温与地层压力之间相互影响。理论推导和实际资料均证实,地温与地层压力保持直线关系;在地下不同的温-压体系中,地温与地层压力的直线斜率不同;通常地下地层中存在两类地温-地压直线,即浅层地温-地压直线关系和深层地温-地压直线关系。浅层与深层地温-地压直线关系的改变表明浅层与深层两种地温-地压环境中流体能量不同,进而反映浅层与深层在宏观连通性上存在差别。

关键词 沉积盆地 地温 地层压力

地温和地层压力长期以来受到石油地质界普遍的关注,只因它们是有机质热演化、烃类运移和聚集以及油气赋存相态的基本控制变量。Baybakov 用 220 个油气藏的烃类状态与地温和地层压力的关系^[1],说明温度是控制烃类性质的主要因素。Pusey 利用地温指标建立了“液态窗”概念^[2],他认为世界上绝大多数的石油出现在 65.5—147℃ 温度范围之内。

大量的实际资料证明,地温与埋深之间的关系相当复杂,它们之间的关系绝不是简单的函数关系^[3-5]。

Lewis 和 Rose 分析了高压(高孔隙带)和低压(低孔隙带)的地温特征^[6],指出隔热层具有高温高压特性,而导热层具有低温低压特征。Barber 提出“水热增压效应”概念^[7],即当地温梯度高于 15℃/km 时,随着温度升高,分隔岩体内压力增大速度比围岩流体压力的增长要快,因而产生异常高压。Hunt 推出“异常压力流体封存箱”理论^[8],该理论将地下地层单元按地层压力划分为不同的水动力系统,不同的水动力系统之间靠密封层隔开,彼此间的流体压力不能相互传递。

地下孔隙性岩石中流体的压力应该与温度有一定内在联系。不象气体那样具有明确的温度-压力-体积关系,流体的情况要复杂得多,而且地下地层的岩石条件也在千变万化。实际上,地下地温与地层压力的关系很少有人去深入分析。

1 地温与地层压力关系的地质模型

由于沉积物压实程度总体上随埋深加大而增高,而且不同岩性的地层压实程度可以相差甚远。同时地层受断裂切割、岩石成岩作用等因素的作用,沉积盆地层状地质体在流体连通性方面具有显著的宏观非均质性。

如果将沉积盆地的地层视为少数几个宏观地层单元,那么地下的地温和地层压力组成的体系基本上属于“封闭体系”:相邻体系间只有能量传递,而无物质的交换;体系内的热能(地温控制)和机械能(地层压力控制)的变化将影响地层孔隙中的气体的温度-压力特性。

1.1 地层中普遍含吸附气体的假设

沉积物中有机质从浅层到深层均可生气决定了沉积物孔隙中容易获得气体。图1表明天然气能够由浅层生物降解气、热催化生油伴生气、热裂解凝析气和深部高温气四个阶段生成。因此,岩石孔隙中一般含有吸附的天然气。

另外,从地面录井记录的井眼气测曲线看,含气量一般不为零值,说明地层中总是含有一定量的气体。

1.2 孔隙中吸附气的质量和体积恒定的假设

孔隙中颗粒表面的吸附气一般比较稳定,不象游离气那样易于流动。从大尺度上看,若忽略气体扩散作用的影响,地下温度-压力体系内孔隙吸附气泡的浓度基本保持不变,因此,某一宏观体系内孔隙气泡的质量可视为恒定。

另一方面,吸附气泡在埋深增加时,温度和压力均要增高,其体积趋于增大;但由于孔隙水和颗粒的围限作用,抑制了气泡体积的扩大,所以可以假定地下孔隙中吸附气泡的体积无明显改变。

2 地温与地层压力关系的数学模型

地温和地层压力分别是指孔隙流体的温度和压力,它们应该与孔隙中吸附气泡的温度和压力趋于平衡。

对于理想气体,存在如下状态方程:

$$PV = nRT \quad (1)$$

其中: P 为气体压力; V 为气体体积; T 为气体温度; R 为气体常数; n 为摩尔数。

考虑到实际气体与理想气体发生偏差的两个因素,即分子间引力和分子本身的体积,当压力较高时可用于实际气体的状态方程变为:

$$(P + \frac{a}{V^2})(V - b) = nRT \quad (2)$$

该方程称为范德华方程。式中 a 和 b 为比例常数,可由实验确定,亦可由理论推算,一些常见气体的 a, b 值从常数表中也可以直接查出。

虽然地下孔隙中的吸附气泡温度和压力都比较高,但因假定无气泡质量的变化,故可用(2)式来表达。

进一步,由于假定吸附气泡体积恒定,故(2)式中体积 V 为常量。这时可将

$$k = (V - b)/n \quad (3)$$

和

$$l = \frac{a}{V^2} \quad (4)$$

视为常数。从而有:

$$T = k(P + l)/R \quad (5)$$

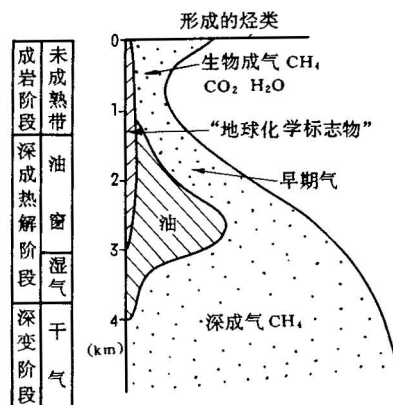


图1 天然气生成随埋深变化图

(据 Hunt, 1977, 经修改)

Fig. 1 Variation of generation of gas with buried depth (after Hunt, 1977, revised)

即

$$T = KP + L \quad (6)$$

$$(K = k/R, L = kl/R)$$

其中 K 和 L 均为常数。显然吸附气泡的温度和压力呈直线关系。

因在任意地质时刻,地下孔隙中的水和吸附气泡的温度应该相同,且因无宏观流动,决定了孔隙水与孔隙吸附气泡的压力相互平衡,故而孔隙吸附气泡的温度和压力可以看成是孔隙水的温度和压力。显然(6)式也适用于孔隙水,故将(6)式称为地温-地层压力理论方程。

3 实际地温-地层压力模式

沉积盆地一般具有两个或两个以上的温-压体系,通常包括一个浅层温-压体系和至少一个深层温-压体系。在每一个温-压体系中,地温与地压保持直线关系,但在不同的温-压体系中,地温-地层压力直线的斜率不同。实际,地下地温-地压关系表现为不同斜率的直线构成的折线形式,故可将实际地温-地层压力模式称作“折线模式”。

据初步统计,沉积盆地一般存在两类地温-地层压力模式。第一类是高压型地温-地层压力模式,其浅层的地层压力为静水压力,深层地层压力为异常高压;第二类是低压型地温-地层压力模式,其浅层的地层压力为静水压力,深层地层压力局部出现异常低压段。

3.1 高压型地温-地层压力模式(以松辽盆地为例)

图2表示松辽盆地西斜坡白垩纪地层压力和地温随埋深变化关系。在地层压力与埋深关系图上(图2A)可以看出,1700m以上为正常静水压力,以下为异常高压;在地温与埋深关系图上(图2B)表明,地温随埋深的增加而增加,交汇点分布在一个带状区域内。

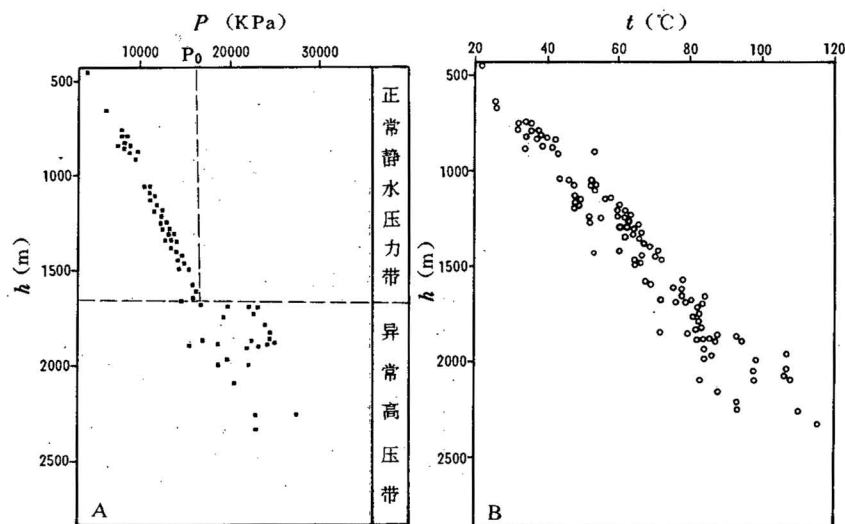


图2 松辽盆地西斜坡地层压力和地温随埋深变化关系

Fig. 2 Relation between pressure and depth and that between temperature and depth in the west slope of Songliao basin

(A)地层压力与深度关系;(B)地温与深度关系

(A)Relation between pressure and depth; (B)relation between temperature and depth

图3为松辽盆地西斜坡地温-地层压力模式。该图明显地分为两个部分,与1700m深度相对应,以上为一条较缓的地温-地层压力直线,以下为一条较陡的地温-地层压力直线。两直线相连,形成高压型的地温-地层压力模式。

高压型地温-地压模式表明深部封闭地层流体具有较高的动能,水热增压作用强,而且反映盆地深浅层连通性较差。松辽盆地西斜坡沉积层中主要是厚层泥岩夹一系列不连续的透镜状砂体,断层不发育,除敖古拉断裂外仅有很少几条小断层。

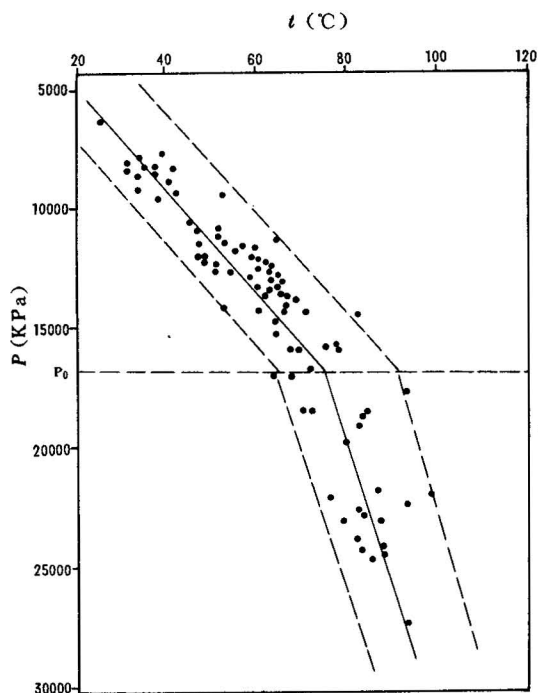


图3 松辽盆地西斜坡高压型
地温-地层压力关系

Fig. 3 Relation between temperature and pressure of the high pressure type in the west slope of Songliao Basin

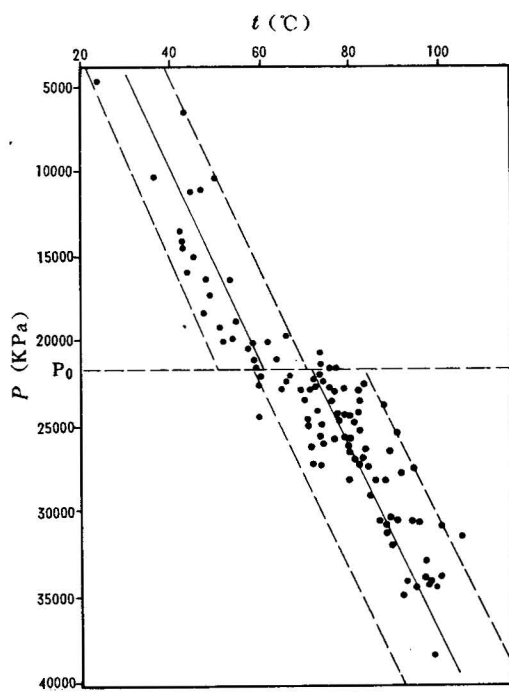


图4 吐哈盆地台北凹陷主力油田低压型
地温-地层压力关系

Fig. 4 Relation between temperature and pressure of the low pressure type in the key fields of Taibei depression of Tuha Basin

3.2 低压型地温-地层压力模式(以吐哈盆地为例)

图4为吐哈盆地台北凹陷主力油田地层压力与地温关系。该图表现出两条直线:与2500m深度相对应的点作为分界点,以上发育一条地温-地层压力直线,其下为另一条地温-地层压力直线,两直线斜率大致相等,但有一明显的错动。它们形成低压型的地温-地层压力模式。

图5表示吐哈盆地台北凹陷主力油田侏罗系地层压力和地温随埋深关系。丘陵—鄯善和温吉桑—丘东油气田的数据表明,在2500m以上呈现正常静水压力,但2500—2800m之间有一异常低压段,再往下地层压力又增加到正常静水压力梯度附近(图5A)。地温随埋深的增加而增加(图5B)。

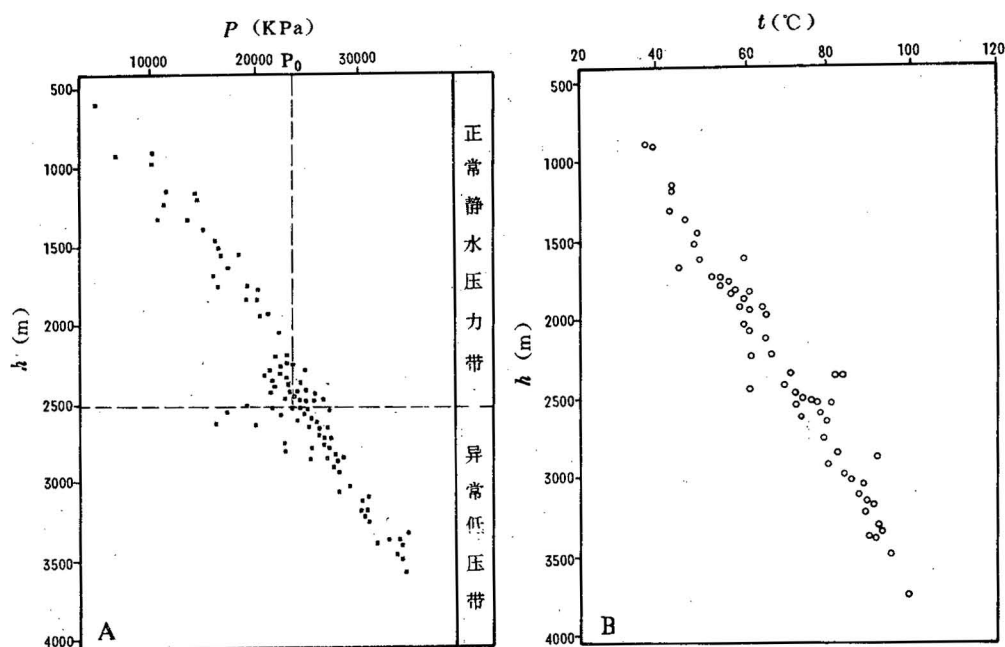


图 5 吐哈盆地台北凹陷主力油田地层压力和地温与埋深关系
 Fig. 5 Relation between pressure and depth and that between temperature and depth
 in the key fields of Taibei depression of Tuha basin
 (A) 地层压力与深度关系; (B) 地温与深度关系
 (A) Relation between pressure and depth; (B) relation between temperature and depth

低压型地温-地压模式说明了地下深层流体的动能较小, 水热增压作用较弱, 深浅层宏观连通性较好。如吐哈盆地台北凹陷主力油田(丘陵—鄯善油田、丘东—温吉桑油气田等)受逆断层控制, 地层破碎明显, 而且侏罗系发育易脆裂的三套区域性煤层, 造成深部能量释放后难以再聚集。

4 结论

(1) 在一个地温-地压体系中, 地温与地压的关系是直线关系。在不同的地温-地压体系中, 其地温-地压直线的特征可能不同。沉积盆地一般发育若干个地温-地压体系, 故实际地温-地压关系表现为折线模式。

(2) 沉积盆地的地温-地层压力模式可分为两类, 一是高压型, 二是低压型。高压型地温-地压模式表明深层流体具有较高的动能, 盆地在纵向上连通性较差; 低压型地温-地压模式则反映地下深层流体动能较小, 地层宏观连通性较好。

参考文献

- 1 Baybakov V V. Effect of the thermodynamic conditions on the distribution of hydrocarbon pools. Dokl. Akad. Nauk S. S. S. R., 1969, 187: 889—902.
- 2 Pusey W C. How to evaluate potential gas and oil source. World Oil, 1973, 176(5): 71—75.

- 3 陈墨香等. 冀中牛驼镇凸起地温场的特点及地下热水的开发利用. 地质科学, 1982, (3): 39—251.
- 4 汪维安、汪集扬等. 辽河断陷地热基本特征. 石油与天然气地质, 1984, 6(4): 347—358.
- 5 Chapman D S, et al. Heat flow in the Uinta basin determined from bottom hole temperature (BHT) data. Geophysics, 1984, 49: 453—466.
- 6 Lewis C R, Rose S C. A theory relating high temperature and overpressures. JPT, 1970, 22: 11—16.
- 7 Barker C. Aquathermal pressuring—role of temperature in development of abnormal-pressure zones. AAPG Bull, 1972, 56: 2068—2071.
- 8 Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartment. AAPG Bull, 1990, 74: 1—12.

RELATION BETWEEN SUBSURFACE TEMPERATURES AND FORMATION PRESSURES IN SEDIMENTARY BASINS

Liu Zhen, Zeng Xianbin and Zhang Wanxuan

(University of Petroleum, Beijing)

Abstract

Based upon the fundamental geologic models of sedimentary basins, this paper presents a new theoretical relation between subsurface temperatures and formation pressures by deriving the T - P state equation of adsorbed air bubbles in pore space of sediments. In one temperature-pressure system, the T - P relation maintains a linear equation. Linear equations of different subsurface temperature-pressure systems may be variant. Generally, in sedimentary basins there are two or more temperature-pressure linear relations, that is the shallow T - P linear equation and the deep relation(s). Therefore the relation of subsurface T - P is vertically represented by a broken-line model.

T - P models of different sedimentary basins may be diverse. The common models may fall into two types: one is the high-pressure T - P model (e. g. the west slope of the Songliao basin), and the other is the low-pressure T - P model (e. g. the main oil-gas fields in the Taibei depression of the Tuha basin). High-pressure subsurface T - P models indicate that the fluids in a deep section have higher kinetic energy and the macroscopic connectivity in a longitudinal direction is relatively poor but that low-pressure T - P models indicate lower energy of deep fluids and good macroscopic connectivity of the strata.

Key words: sedimentary basin, subsurface temperature, formation pressure

作者简介

刘震, 生于1963年2月。1990年毕业于石油大学(北京)石油地质专业。现为石油大学(北京)地球科学系副教授, 从事石油地质、地震地层及层序地层学的研究。通讯处: 北京市昌平石油大学地球科学系, 邮政编码: 102200。