

文章编号:0253-9985(2006)01-0037-07

柴西地区地温-地压系统特征及其与油气分布的关系

李鹤永¹, 刘震¹, 党玉琪^{1,2}, 李淮莲¹, 梁全胜¹, 张永庶²

(1. 中国石油大学 石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249;

2. 中国石油 青海油田分公司 勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736202)

摘要:柴西地区地温梯度分布范围为每百米2.0~4.5℃, 平均值约为每百米3.1℃。在2 300 m深处开始发育异常高压, 压力系数最高可达2.0。按照地层压力系数及地温异常的分布区间, 柴西地区温压系统在平面上划分为高温高压等9个分区, 在纵向上分为上部常压型温压系统及下部超压型温压系统。上、下两套温压系统流体能量差较大, 油气垂向运聚能力较强, 易于在温压系统分界面附近聚集成藏。平面上, 油气藏基本位于流体能量相对较低的分区内, 高流体能量区也有油气藏分布, 但大多为封闭保存条件好的岩性及构造-岩性等原生油气藏。现今温压系统特征表明, 深层高压型温压系统油气封闭条件好, 赋存有大部分油气资源, 是今后油气勘探的重要领域。

关键词:地层温度; 地层压力; 地温-地压系统; 油气运聚; 柴达木盆地

中图分类号:TE112.2

文献标识码:A

Characteristics of geotemperature-geopressure system in western Qaidam basin and their relationship with oil and gas distribution

Li Heyong¹, Liu Zhen¹, Dang Yuqi^{1,2}, Li Weilian¹, Liang Quansheng¹, Zhang Yongshu²

(1. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism of Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 100083, China; 2. Exploration and Development Research Institute, Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Dunhuang, Gansu 736202, China)

Abstract: Geothermal gradients range between 2.0℃ and 4.5℃ per hundred meters in western Qaidam basin, with an average value of 3.1℃ per hundred meters. Abnormally high pressure can occur at a depth of 2 300 m and over, and the pressure coefficient can be as high as 2.0. Laterally, the temperature-pressure systems in western Qaidam basin can be divided into 9 subareas such as HPHT, according to the formation pressure coefficients and the distribution intervals of the abnormal geotemperatures. Vertically, they can be divided into the upper static pressure type and the lower overpressure type. The upper and lower temperature-pressure systems have quite different fluid energies, thus hydrocarbons are highly capable of migrating vertically and are prone to accumulate around the boundaries of temperature-pressure systems. Laterally, oil and gas pools are basically distributed in the subareas with relatively low fluid energy; there are also oil and gas pools occurring in the subareas with high fluid energy, but most of them are primary oil and gas reservoirs with good sealing and preservation conditions, such as lithologic and structural-lithologic reservoirs. Characteristics of present temperature-pressure systems show that the deep temperature-pressure systems of high pressure type have good sealing conditions and contain most of the oil and gas reserves, thus they would be the main targets of future petroleum exploration.

Key words: formation temperature; formation pressure; geotemperature-geopressure system; hydrocarbon migration and accumulation; Qaidam basin

收稿日期: 2005-08-11

第一作者简介: 李鹤永(1974—), 男, 博士生, 油气形成与分布

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司“十五”重点科技攻关项目(2003-K08)

地层温度和压力是控制油气生成、运移、聚集的重要地质因素。Lewis 等^[1]早在 1970 年就分析过高压和低压带的地温场特征,指出隔热层具有高温、高压特征,导热层则具有低温、低压特征。Hunt^[2]依据地层压力分布特征将地下地层单元划分为不同流体运聚单元,即流体压力封存箱。邱楠生等^[3]通过实验验证在温度差作用下油流体可以发生运移。Magoon^[4]认为包括压力和温度在内的物理作用对运移圈闭子系统起主要的控制作用。盆地温、压系统与油气分布存在着密切的关系^[6~12]。但是,上述的研究大多侧重于对地温场和地压场进行单独分析,而没有将地下地温场和地压场作为一个整体来考虑。刘震等^[8,9]认为沉积盆地的地温与地压是一对彼此联系密切的物理量,将地温、地压作为统一的能量系统进行研究,并结合准噶尔盆地和济阳拗陷实例,系统地分析了这两个物理量之间的关系及其对油气成藏的作用。

柴达木盆地西部地区(简称柴西地区)是柴达木盆地最主要的油气产区。主要为第三系沉积,地层自上而下分别为:七个泉组(Q)、上油砂山组(N_2^2)、下油砂山组(N_1^1)、上干柴沟组(N_1)、下干柴沟组上段(E_3^2)、下干柴沟组下段(E_3^1)、路乐河组(E_{1+2})。该区油源主要为下干柴沟组上段及上干柴沟组的暗色泥质岩。下干柴沟组下段、上干柴沟组上段、下油砂山组和上油砂山组的碎屑岩和泥质白云岩为该区主要的储集层。柴西地区是柴达木盆地勘探程度最高的地区,有大量的测温、测压数据,一些学者^[5,6]对该区的地层温度、地层压

力已做过分析和研究。在温压场研究方面,邱楠生等^[6]分析了柴西第三系各层温度、压力的特征及其与油气藏分布的关系。本文在前人工作的基础上,收集、整理了柴西地区 120 余口探井静温静压数据,利用地温-地压系统的原理^[7,8],分析了该区地温-地压系统的基本特征,并结合现今油气发现情况讨论了地温-地压系统与油气分布的关系。

1 地温-地压系统特征

刘震等^[7,8]指出,如果把地下地温与地层压力作为一个系统,那么,含油气盆地的温压系统基本上属于一种封闭系统。在这个系统内,地温与孔隙流体的压力具有独特的关系,与相邻系统之间的地温与地压关系应有明显的差异。地温地压系统(简称温压系统,下同)分析需要在对地温场、地压场单独分析的基础上,将两场有机的耦合起来系统地分析研究区平面和剖面上的流体动力特征,研究其对油气成藏的控制作用。

1.1 地温场

为了描述地温场的相对变化,采用“地温异常”值描述各层地温场的平面变化。地温异常指的是某层测温点实测井温与全区相同深度段平均地温梯度折算的地温之差值^[8]。因此地温异常消除了深度的影响因素,更好地反映了地层单元地温场的变化。

柴西地区地温梯度分布范围为每百米 2.0 ~ 4.5℃,平均值约为每百米 3.1℃(图 1a,b)。该区下

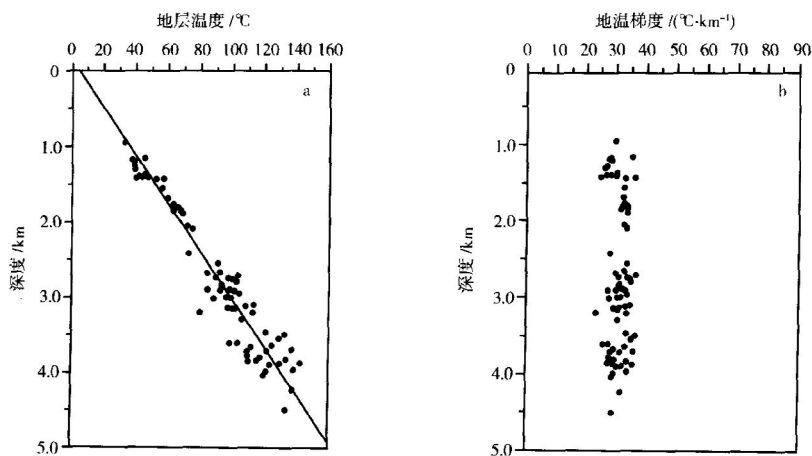
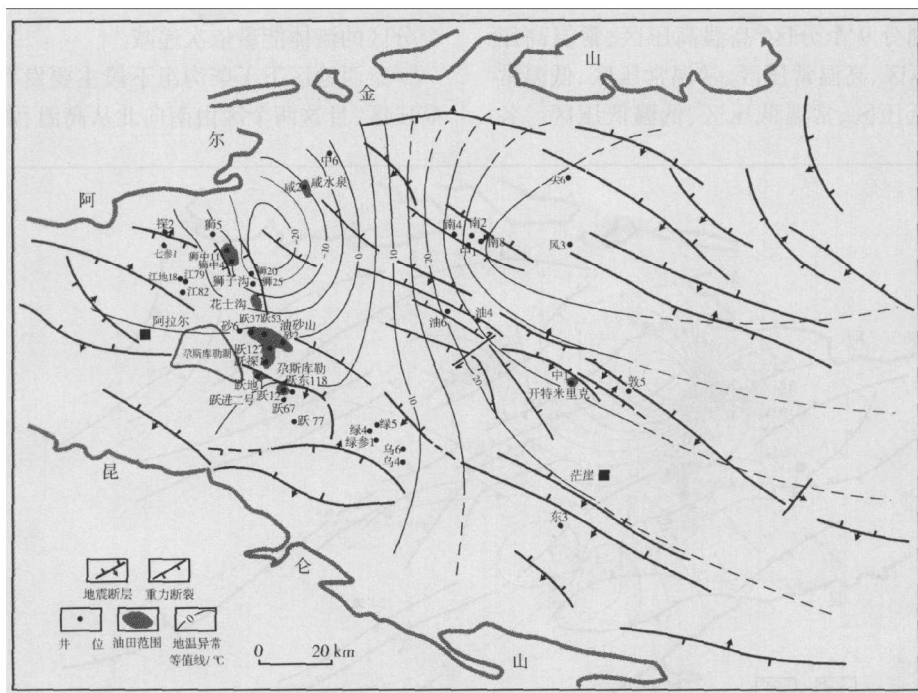


图 1 柴西地区地温场特征

Fig. 1 Characteristics of the geotemperature field in western Qaidam basin

a—地温与埋深关系; b—地温梯度与埋深关系

图2 上干柴沟组(N_1)地温异常分布Fig. 2 Diagram showing the distribution of abnormal geotemperatures in the Upper Ganchaigou Fm (N_1) in western Qaidam basin

干柴沟组下段地温异常呈现北低南高的特征。上干柴沟组地温异常在平面上则呈现东西分带现象:东部即小梁山—油泉子—跃东及其以东为相对高温区;西部即红沟子—花土沟—七个泉及其以西地区为相对低温区;两个带之间为常温区(图2)。下油砂山组地温异常也表现为东高西低的特征。

1.2 地压场

柴西地区在2300m深处开始发育异常高压(图3a),压力系数最高可达2.0(图3b)。该区下干柴沟组下段压力系数在平面上呈现出以狮子沟

油藏为高压中心,向四周压力系数呈环状逐渐降低的特征。七个泉、红柳泉、砂西、尕斯库勒、跃进二号等主要油田压力系数较高,为明显的超压油气藏。上干柴沟组压力系数在平面上呈现北部高南部(尤其是西南部和东南部)低的特征。在狮子沟和咸水泉及油泉子之间压力系数最高并向四周降低;南部整体压力系数较低,但在绿草滩地区发育一局部次高压区(图4)。下油砂山组总体上压力系数不高,大部分为接近静水压力的常压区。

1.3 温压系统

温压系统可用地温-地压交汇图(剖面图)和地温地压平面分区图(平面图)来表达。

表1列出柴西地区部分井实测温、压数据。图5所示,柴西地区发育典型的超压型复式温压系统,上下两套温压系统区分明显,温度、压力呈较明显的直线斜率关系。下部高压型温压系统斜率较陡,具有较强的垂向运移特性。

为研究温压平面特征,将地层压力系数大于1.20的地区称为高压区,小于0.95的地区称为低压区,压力系数为0.95~1.20称为常压区。地温异常大于4℃的地区称为高温区,小于-4℃的地区称为低温区,地温异常介于-4~4℃称为常温

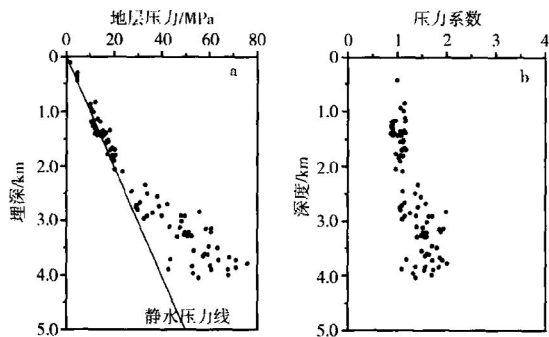


图3 柴西地区压力场特征

Fig. 3 Characteristics of pressure field in western Qaidam basin

a—地压与埋深关系; b—压力系数与埋深关系

区。依此,划分9个分区:高温高压区、常温高压区、低温高压区、高温常压区、常温常压区、低温常压区、高温低压区、常温低压区、低温低压区。各

个分区的流体能量依次递减。

柴西地区下干柴沟组下段主要发育常压区和高压区,且这两个区由南向北从高温、常温到低温

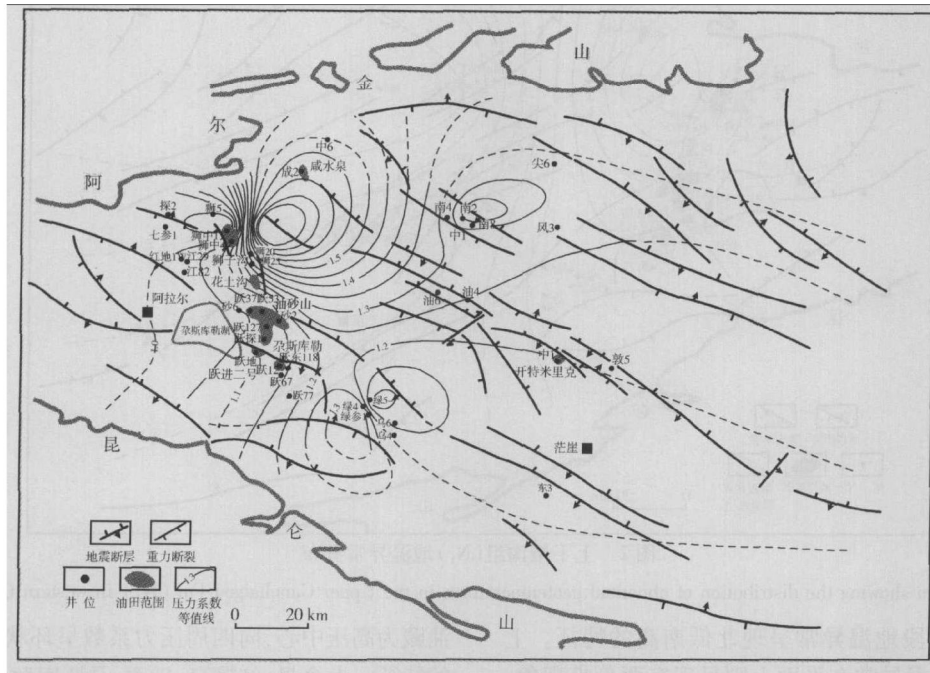


图4 上干柴沟组(N_1)压力系数分布图

Fig. 4 Diagram showing the distribution of pressure coefficients in the upper Ganchaigou Fm (N_1) in western Qaidam basin

表1 柴西地区部分井测温、测压数据表

Table 1 Measured geotemperature and geopressure data in some wells in western Qaidam basin

井号	深度/m	压力/MPa	温度/℃	井号	深度/m	压力/MPa	温度/℃
浅18	110.0	1.49	16.6	跃77	2 749.1	27.40	97.0
生201	360.0	4.43	24.8	绿5	2 796.4	29.81	102.2
心63	440.0	4.36	26.0	红29	2 855.1	36.00	93.0
南4	837.5	12.00	43.0	七东2	2 901.2	39.90	84.0
跃12	866.6	9.98	37.0	七东1	2 906.6	49.50	92.0
狮中4	950.0	10.10	33.0	跃814	2 911.9	33.70	101.0
乌9	1 156.4	13.38	45.5	花79	3 002.1	29.30	96.0
跃12	1 172.1	14.00	49.0	红30	3 002.9	32.20	99.0
狮深10	1 196.7	10.86	39.0	七东3	3 018.8	48.30	88.0
狮深8	1 297.2	11.84	39.0	绿4	3 108.4	43.05	113.0
南9	1 342.9	18.20	62.8	狮31	3 150.4	60.56	102.0
跃67	1 352.8	15.40	56.7	跃2-5	3 297.1	46.50	106.0
狮深10	1 372.2	12.57	46.0	跃146	3 474.8	59.60	120.0
乌12	1 435.6	15.50	56.7	砂6	3 504.3	63.43	132.0
跃68	1 554.6	17.30	63.0	跃东118	3 544.6	53.22	129.0
跃57	1 772.6	17.14	63.0	狮30	3 610.7	59.12	98.0
跃中6-5	1 809.2	19.30	65.6	狮23	3 714.0	70.86	121.1
跃53	2 058.3	20.08	71.5	狮25	3 788.2	75.96	109.4
跃41	2 099.8	23.54	74.8	砂西1	3 835.5	60.30	133.0
南6	2 345.9	32.92	120.6	狮27	3 839.9	52.71	115.0
南3	2 454.6	27.35	116.1	狮29	3 853.6	71.26	110.0
南6	2 493.0	33.82	121.1	狮32	3 891.7	67.70	128.9
跃4-7	2 559.0	38.15	91.0	狮28	3 995.2	67.99	121.0
跃77	2 666.6	30.70	92.0	狮15	4 035.4	55.50	119.4

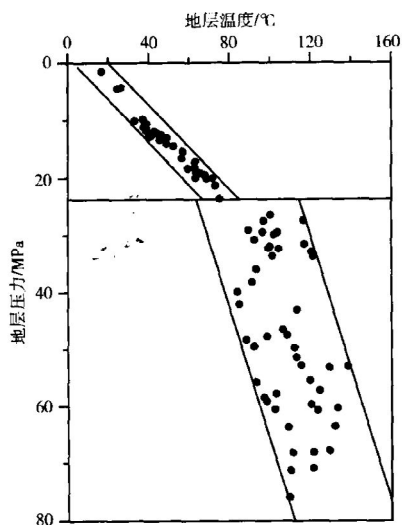


图5 柴西地区温压系统纵向特征

Fig. 5 Vertical characteristics of the geotemperature-geopressure systems in western Qaidam basin

呈明显的三分性。该组油气藏主要发育在低温高压区(如七个泉、狮子沟油藏)和常温高压区(如红柳泉、砂西、尕斯库勒、跃进2号油藏);低温常压区也有油藏出现,如南翼山油藏。

上干柴沟组高压型分区覆盖面积相对较大,占据了狮子沟、油砂山、跃东以东和乌南开特米里克西、北的广大地区,且由东向西由高温高压型过

渡到常温高压和低温高压型。其余地区为常压型分区。上干柴沟组油气藏主要发育在低温常压区(如狮子沟、花土沟油藏),常压常温区(如油砂山、尕斯库勒油藏)以及高温常压区(如跃进2号油藏和开特米里克油藏)。另外,低温高压区也有油藏发育(如咸水泉油藏)(图6)。

下油砂山组总体上呈现低流体能量特征。只划分出相对高温区、相对常温区和相对低温区,压力整体上为常压特征。油气主要分布在常压高温区(如尖顶山、油泉子、开特米里克、绿草滩和乌南油藏)和常压常温区(如咸水泉、花土沟、跃进1号、油砂山和跃进2号西高点油藏)。常压低温区未发现油气藏。

2 温压系统与油气分布的关系

温压系统研究的目的在于搞清地温场、压力场的联合作用对于油气运聚成藏的影响。温压系统的内部结构决定了系统内部流体的运动样式,但油气藏的形成是生、储、盖、运、圈、保多因素共同作用的结果。因此,油气藏在温压系统内部的分布规律应结合油气藏类型等因素的分析,才能达到较好的效果。

晚期喜马拉雅构造运动一直在破坏着业已形

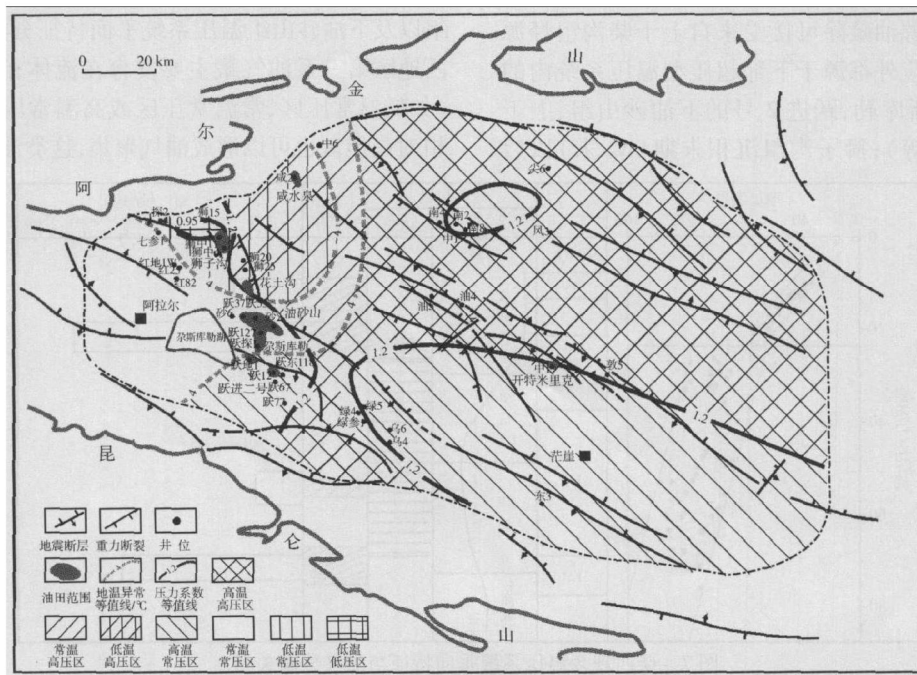


图6 上干柴沟组温压系统平面分区

Fig. 6 Areal distribution of the geotemperature-geopressure systems in the Upper Ganchaigou Fm (N_1) in western Qaidam basin

成的原生油气藏,从而形成了大量的浅层次生气藏,甚至使大量油气溢出地表,油砂出露,使油气藏遭受破坏。同时,由于上干柴沟组、下干柴沟组上段烃源岩继续向临近圈闭的排烃、充注,因此,现今油气藏的分布是原生油气藏的形成和后期构造运动对其改造、破坏,引起油气再分配形成次生气藏共同作用的结果。分析现今油气分布规律既要考虑原生油气藏的形成过程,又要考虑后期构造运动的改造作用,尤其是断层对深层油源和油藏的沟通作用。

从现今垂向上的油气分布状况分析,位于下部超压型温压系统顶部及上、下两套温压系统分界附近的油气藏占有的储量最大,下部超压型温压系统内部的油气储量次之,上部静压型温压系统内部的油气储量最小(图7)。这种分布特点主要由高压型复式温压系统的垂向动力特征决定的。超压型温压系统内部,流体能量较高,上、下两套温压系统流体能量差大,油气垂向运聚活动强烈,一方面可在其内部封闭性较好的圈闭中聚集成藏,另一方面由于构造运动造成在上、下两套温压系统之间形成具有一定输导性能的断层,使油气由下部超压型温压系统内运移至超压型温压系统边缘及上部静压型温压系统内部,这种现象在柴西油气成藏史中很常见:许多下油砂山组、上干柴沟组混源油藏除可接受来自上干柴沟组烃源岩的油气供应外都源于下部超压型温压系统内的贡献(如尕斯库勒、跃进2号的下油砂山组、上干柴沟组油藏等);狮子沟组沉积末期(N_2^3 末)以后

形成的次生油气藏(如狮子沟组上干柴沟组油藏,南翼山上油砂山组油藏、乌南下油砂山组油藏等)也都是在这种作用下形成的。而在上部静压型温压系统内,一般埋藏小于2 300 m,而且内部流体能量较弱,即使可以形成一些未熟或低熟油气,运移的距离也不会很远,只能在附近的圈闭内聚集成藏。因此,柴西温压系统的纵向特征是造成目前油气垂向分布格局的动力学原因。

另一方面,现今油气垂向分布特征与现今温压系统垂向特征有着相背之处。现今温压系统上、下流体能量差较大,说明下部压力系统保存较完好,由于成熟烃源岩处于深部系统内,因此油气大部分应被保存在下部高压型温压系统内,但现今发现的油气却大部分位于浅部系统。这个矛盾为我们揭示了一个重要的勘探领域,即深层油气藏。柴达木盆地西部第三系石油资源量达到 $16 \times 10^8 \text{ t}^{[13]}$,但发现的探明储量为 $2.67 \times 10^8 \text{ t}$,仅占16.66%,未探明储量空间很大。现已发现的油气藏多数位于浅层,规模相对较小;而已发现的深层油气藏为数不多,规模却较大,如尕斯库勒深层下干柴沟组下段油气藏。由此推断,柴西地区第三系深层有着非常乐观的勘探前景,未探明储量应大部分位于深层,深层有望找到较大型的油气藏。

平面上,从前面的下干柴沟组下段、上干柴沟组以及下油砂山组温压系统平面特征分析可知:柴西地区第三系油气藏主要发育在流体相对低能区(如低温常压区、常温常压区或高温常压区);流体相对高能区也可以形成油气聚集,这类油气藏多为

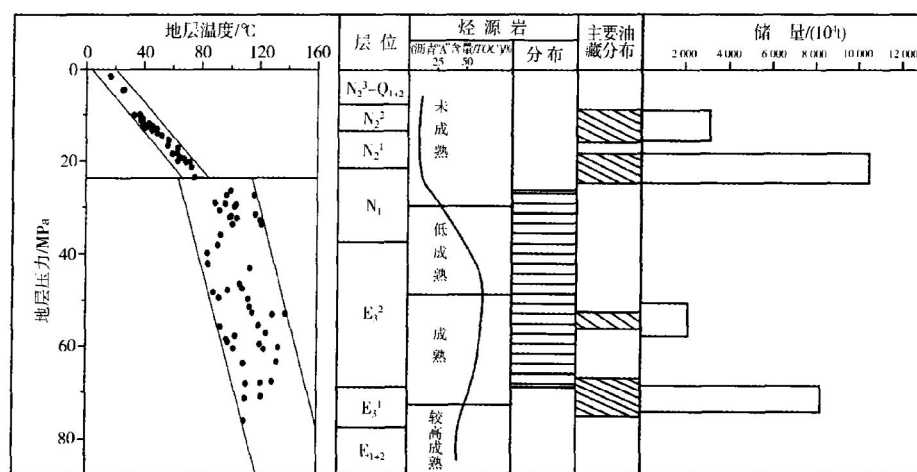


图7 柴西现今温压系统垂向特征与油气分布关系

Fig. 7 Relationship between vertical characteristics of present geotemperature-geopressure systems and oil and gas distributions in western Qaidam basin

封闭条件较好的岩性类油气藏(包括岩性透镜体和灰岩溶孔裂缝型油藏)以及构造-岩性油气藏。

3 结论

柴西地区发育有高压型复式温压系统,垂向上油气成藏具有以下两个特征:①在深层高压系统内部可形成各种原生油气藏;②由于上、下两套温压系统流体能量差异较大,油气垂向运聚能力相对较强,深部油气可沿输导性断层运移至浅部,形成许多混源油气藏和次生油气藏。

现今温压系统垂向特征表明,深层高压型温压系统封闭条件好,油气大部分仍赋存于深层,是今后油气勘探的重要领域。

温压系统的平面分区特征可反映平面上流体能量的相对强弱,决定着平面上油气运聚的能力。在平面上油气藏基本位于温压系统流体能量相对低的低能量区或位于其分区界线附近。在高能量区也有油气藏分布,这些油气藏通常是封闭性保存条件较好的原生油气藏。

通过温压系统特征研究,分析其对研究区油气藏形成和分布的控制作用,可以为我们认识油气运移方向、聚集和分布规律,为寻找和发现未探明油气藏提供流体动力学依据。

致谢:感谢青海油田分公司勘探开发研究院提供大量相关数据,研究过程中还得到了范连顺、马达德、江波等院领导的大力支持与指导,感谢研究院张延华、王金鹏等同志为我们的工作提出宝贵意见和建议,参加工作的还有党虎强等同志,在此一并致谢。

参 考 文 献

- Lewis C R, Rose S C. A theory relating high temperature and overpressures[J]. JPT, 1970, 22 (1): 11-16
- Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartment[J]. AAPG Bull, 1990, 74(1): 1-12
- 邱楠生, 方家虎. 热作为油运移动力的物理模拟实验[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 210-214
Qiu Nansheng, Fang Jiahu. Physical simulation for petroleum migration in thermodynamic system[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 210-214
- Magoon L B. The petroleum system; a classification scheme for research, exploration, and resource assessment[A]. In: Magoon L B, ed. Petroleum systems of the United States[C]. U. S. Geological Survey Bull (1870). 1988. 2-15
- 沈显杰, 李国桦, 汪缙安, 等. 青海省柴达木盆地大地热流测量与统计热流计算[J]. 地球物理学报, 1994, 37(1): 56-65
Shen Xianjie, Li Guohua, Wang Ji'an, et al. Terrestrial heat flow measurement and calculation of statistical heat flow in Qaidam basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1994, 37(1): 56-65
- 邱楠生, 康永尚, 樊洪海, 等. 柴达木盆地西部地区第三系温度压力和油气分布相互关系探讨[J]. 地球物理学报, 1999, 42(6): 826-833
Qiu Nansheng, Kang Yongshang, Fan Honghai, et al. Temperature, pressure and reservoir distribution in Tertiary, western Qaidam basin[J]. Acta Geophysica Sinica, 1999, 42(6): 826-833
- 刘震, 曾宪斌, 张万选. 沉积盆地地温与地层压力关系分析[J]. 地质学报, 1997, 71(2): 180-185
Liu Zhen, Zeng Xianbin, Zhang Wanxuan. Relation between subsurface temperatures and formation pressures in sedimentary basins[J]. Acta Geologica Sinica, 1997, 71(2): 180-185
- 刘震, 贺维英, 韩军, 等. 准噶尔盆地东部地温地压系统与油气运聚成藏的关系[J]. 石油大学学报, 2000, 24(4): 15-20
Liu Zhen, He Weiying, Han Jun, et al. Relation of geotemperature-pressure systems with migration and accumulation of petroleum in the east of Junggar basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2000, 24(4): 15-20
- 肖焕钦, 刘震, 赵阳, 等. 济阳拗陷地温-地压场特征及其石油地质意义[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 68-70
Xiao Huanqin, Liu Zhen, Zhao Yang, et al. Characteristics of geotemperature and geopressure fields in the Jiyang depression and their significance of petroleum geology[J]. Petroleum Exploration & Development, 2003, 30(3): 68-70
- 叶加仁, 王连进, 邵荣. 油气成藏动力学中的流体动力场[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 183-185
Ye Jiaren, Wang Lianjin, Shao Rong. Fluid dynamic fields in pool-forming dynamics of oil and gas[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 183-185
- 孙冬胜, 金之钧, 吕修祥, 等. 沉积盆地超压体系划分及其与油气运聚关系[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 4-38
Sun Dongsheng, Jin Zhijun, Lü Xiuxiang, et al. Classification of overpressure systems in sedimentary basins and their relationship with hydrocarbon migration and accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 4-38
- 赵桂萍. 准噶尔盆地南缘异常高压及其与油气成藏的关系[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 327-331
Zhao Guiping. Overpressure and its relation to petroleum accumulation in southern edge of Junggar basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(4): 327-331
- 徐凤银, 彭德华, 侯恩科. 柴达木盆地油气聚集规律及勘探前景[J]. 石油学报, 2003, 24(4): 1-6
Xu Fengyin, Peng Dehua, Hou Enke. Hydrocarbon accumulation and exploration potential in Qaidam basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(4): 1-6

(编辑 李树森)