太行山前断陷带南部天然气勘探前景

梁生正　李春燕　王 奇　付 蔷　刘 静
(中国石油华北油田分公司)

梁生正等. 太行山前断陷带南部天然气勘探前景. 天然气工业,2003;23(2):1～5

摘　要　在太行山前断陷带汤阴断陷鹤壁市重力高上钻探的鹤热 2 井发现了含甲烷的二氧化碳气藏和高产的地热矿泉水资源,从而使我们对该区的地质结构和矿产资源有了新认识。本文预测了鹤壁市潜山天然气藏的性质和结构;从地温梯度高有利于石炭 —二叠系煤系烃源岩的转化、太行山东深大断裂提供幔源气和勘探领域广等方面论证了太行山前断陷带南部有着良好的多源天然气勘探前景。

主题词　太行山前断陷带　甲烷　二氧化碳　幔源气　天然气勘探

太行山前断陷带南部由汤阴、邯郸和巨鹿等三个断陷组成,南北长 210 km,东西宽 15～50 km,总面积 5 350 km^2。2001 年 7 月份,位于汤阴断陷新鹤壁市区的鹤热 2 井喜喷 1 847 m^3/d 的热水和 27 705 m^3/d 的含甲烷的二氧化碳气流。笔者曾应鹤壁市政府的邀请参与了鹤壁市奥陶系灰岩潜山圈闭的早期预测、地热井位标定和地热水及二氧化碳气资源的初步评估工作。鹤热 2 井的新发现不仅对太行山山前断陷带南部地热水资源的开发开拓了新领域,而且对天然气勘探有重要的指导意义。因此有必要对汤阴断陷鹤壁市潜山含甲烷的二氧化碳气藏特征及太行山山前断陷带南部的石油天然气勘探前景做早期预测。特此撰文与地质同行商榷。

汤阴断陷鹤壁市潜山带的发现及其结构

汤阴断陷位于太行山前断陷带的南端,西靠云梦山隆起,东临内黄隆起,被汤西和汤东大断裂夹持,南北分别以焦作 —兰考和回龙镇东西向大断裂为界,呈典型的狭长地堑结构,南北长 100 km,东西宽 15 km,面积 1 500 km^2(图 1)。过去仅做过 1∶20 万重磁力普查和个别地震测线。在北部安阳城西南钻过的两口探井(汤参 1、汤参 2 井)证实新生界和中生界为红色粗碎屑岩地层,不利于油气的生成。

二十世纪末,鹤壁市地矿局为促进市区经济发展,寻找地热水资源,请天津市地热开发公司和华北石油管理局第二综合服务处水井队合作,设计钻探以奥陶系灰岩为目的层的地热井,邀请笔者参与了此项工作。在完成了 1∶5 万 285 km^2 高精度重力探测后,采纳笔者建议,进行了剩余重力异常和二次微商资料处理,发现了鹤壁市重力正异常(图 2)。

由图可明显看出汤阴断陷的地质结构。汤西东倾重力密集梯度带和汤东西倾重力密集梯度带,分别是汤西太行山东深大断裂和汤东内黄隆起西断裂的响应。东西两个重力负异常带夹持的鹤壁市重力正异常带,反映了汤阴断陷主要密度界面奥陶系灰岩顶面的地质结构是:汤西和汤东两个断槽带夹持着凹中隆型断垒状潜山带。笔者指出鹤壁市地处奥陶系灰岩潜山地质体之上,具备了勘探奥陶系灰岩地热水的地质条件,依据地面工程和地下地质条件标定了鹤热 2 井,该井于 2000 年 12 月 4 日至 2001 年 4 月中旬钻探成功,完钻井深 3 280 m。

笔者通过与内参 1 井地层对比,鹤热 2 井分层如下:第四系 —上第三系底(Q + N)深 694 m;下第三系(E)为杂色砂泥岩夹灰色泥岩,底深为 1 629 m;中生界(Mz)为大套红色砂岩夹泥岩段,底深为2 620.5 m;石炭 —二叠系煤系断缺中上部大套地层,仅存石炭系下部黑色泥岩夹薄煤层段 135.5 m;奥陶系顶界埋深 2 756 m,钻开奥陶系碳酸盐岩厚 524 m。经与宫 2 井地层对比,该井于井深 2 915 m 过断层,断缺峰峰组下部和上马家沟中上部地层 234 m,井底层位为亮甲山组。

笔者综合分析剩余重力异常图与钻井地质资料,编制了汤阴断陷重力、钻井地质综合解释构造横

作者简介:梁生正,1936 年生,教授级高级工程师;简介见本刊 2001 年 1 期。地址:(062552)河北省任丘市华北油田公司。电话:(0317)2723769。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

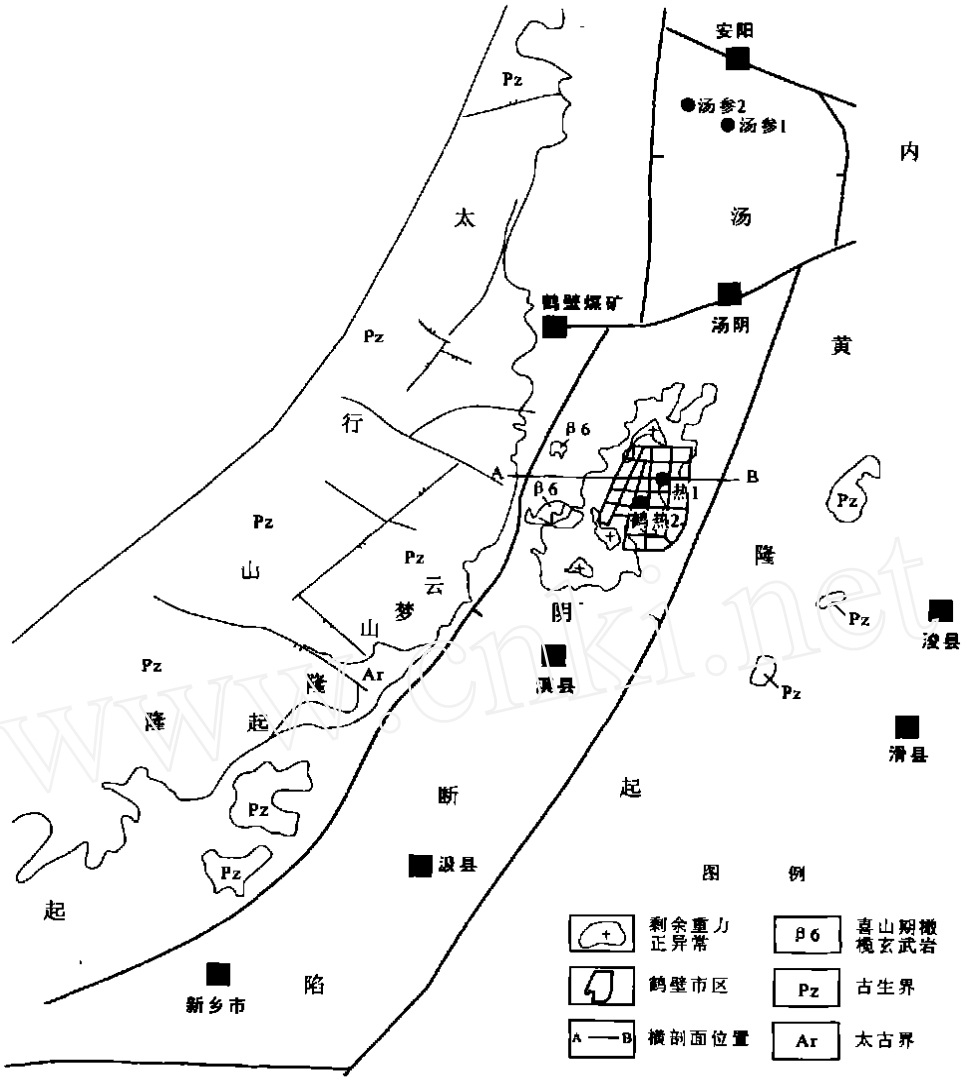


图1　汤阴断陷地质结构图

剖面图(图3)。从图上看出鹤热2井钻到了鹤壁市断垒状潜山带南潜山的断阶上。鹤壁市潜山带是一个典型的凹中隆型潜山带,东西两侧均为深断槽,潜山带由南北两座潜山、四个山头组成,南潜山面积约为30 km^2,北潜山面积约为20 km^2。南潜山北山头高点(奥陶系灰岩顶界)埋深约为2 500 m。

含甲烷的二氧化碳气藏

1. 气藏的发现

鹤热2井7寸套管下至井深2 782 m奥陶系灰岩顶,于2001年5月17日用清水钻至井深3 280 m,酸化后于2001年7月在井口封井器未关严、漏气严重的情况下用4、15、20、25、38、50.8 mm孔板系统测试,求得气水比11.5～15.7,其中50.8 mm孔板测试14.5小时,日产水1 160 m^3,天然气16 500 m^3,井口压力1.5 MPa,8月28日交井验收;101 mm井口放喷简易测试,日产水1 847 m^3,井口水温74 ℃,日产天然气27 705 m^3,天然气分析甲烷占17.56 %,CO_2占82.4 %,从而首次在汤阴地堑发现了地热水和含甲烷的二氧化碳气资源。据河南省环境水文地质总站水质分析资料,其地下水水化学类型为HCO_3—K.Na型,矿化度:3.74 g/L,总硬度:894 mg/L,pH:7.05,F:2.1 mg/L,CO_2:313.76 mg/L,Li:0.68 mg/L,Sr:1.53 mg/L,H_2SiO_3:67 mg/L,专家定为高级医疗矿泉水。

2. 气藏预测

作为石油地质工作者应研究的是:鹤壁市潜山是否存在天然气藏?其性质如何?现就此做以下初步探讨。

(1)存在天然气藏

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

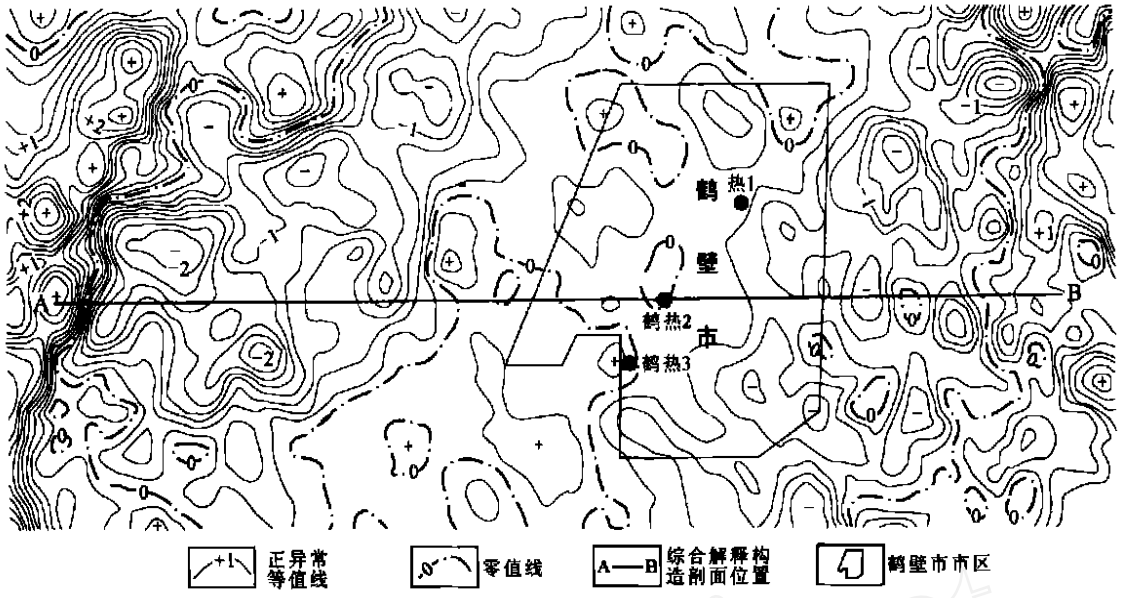


图 2　鹤壁市新区剩余重力异常平面图

1) 地下存在游离天然气

2001 年 8 月 27 日鹤热 2 井经较长时间关井后交井验收,开井放喷初期 1 分多钟只产天然气不产水,轰鸣声如雷震耳,说明地下存在游离天然气。

2) 鹤热 2 井二次加深、三次测试,说明天然气产自奥陶系灰岩上部地层

一次加深测试,水量少,天然气甲烷含量较高,2001 年 4 月 6 日～4 月 15 日该井清水钻进至 3 168 m,中途测试,间歇气水同喷,估算日产水 300 m^3 左右;4 月 15 日泥浆槽面取样,CO_2:39.17 %,CH_4:16.01 %,N_2:44.82 %。

二次加深测试,水量增大,天然气甲烷含量降低,CO_2 含量增大。4 月 15 日～5 月 17 日加深钻至 3 280 m 后测试仍间歇同喷,但水量增加至 900 m^3/d 左右。4 月 20 日和 5 月 3 日二次取气样分析,CO_2 含量增加 96.55 %～98.896 2 %,CH_4 含量下降 2.95 %～0 %,N_2 含量为 0.51 %～1.103 8 %。

完井大段酸化后测试,水量气量都增加,CH_4 含量增加至 17.56 %,CO_2 含量下降至 82.44 %。

上述资料说明,含 CO_2 的高产地热水主要产自 3 168 m 以下,含有甲烷的二氧化碳气主要产自 3 168 m 以上的奥陶系灰岩,全井酸化后上部含甲烷的二氧化碳气产量增加。

(2) 天然气藏特征初探

1) 底水块状气藏

井温曲线表明 2 920 m 左右有明显的降温响应,说明是主要出气缝洞段。鹤壁市断垒状潜山断层多缝洞发育,奥陶系灰岩可能形成统一的缝缝洞洞储集体。故预测以 2 950 m 左右为统一气水界面,组成块状天然气藏,气藏高度约 400 m。

2) 气藏结构与性质

综合分析上述各项资料,对天然气藏的性质和结构可预测 3 种模型供选择。

模型 1:含二氧化碳溶解气的地热田,此模型与鹤热 2 井二次加深三次测试资料相悖。

模型 2:二层结构高浓度二氧化碳气藏,即 2 950 m 为气水界面,上部是高浓度二氧化碳气藏(CO_2 含量 60 %～90 %),下部为地热水。

模型 3:三层结构二氧化碳—甲烷气藏,即 2 750 m 以上可能为甲烷气藏,2 750～2 950 m 为高浓度二氧化碳气藏,2 900 m 以下为地热水。

笔者认为模型 2 和模型 3 都有存在的可能性,但倾向于模型 3。

3) 气藏能量足,储层渗透性好

测试资料表明,地层压力 28.69 MPa,压力系数 1.1 以上,渗透率 134 $\times 10^{-3}$ μm^2,地层温度 101.56 ℃,地层能量充足,关井压力恢复快。

太行山前断陷带南部油气勘探前景

汤阴断陷地热水和含甲烷二氧化碳气藏的发现,展示了太行山前断陷带南部良好的油气勘探前景。

太行山断陷带南部是冀南地区石炭—二叠系残留含煤盆地的一个重要组成部分。太行山东部大断

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

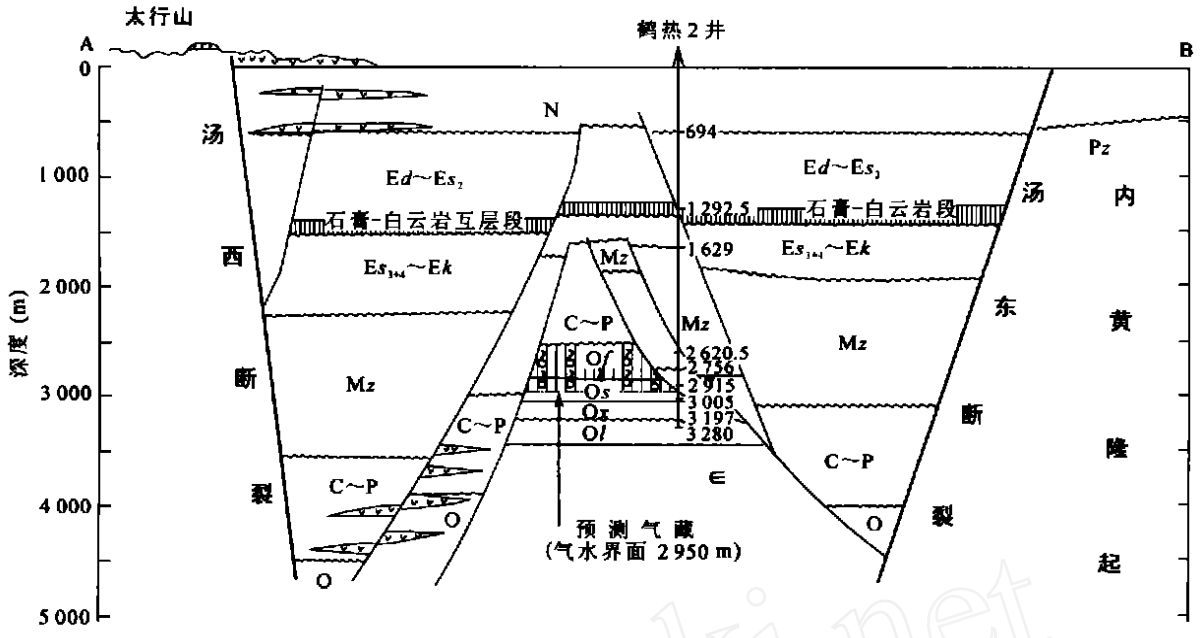


图3　汤阴断陷重力站井地质综合解释构造横剖面图

裂上升盘分布着邢台、峰峰、鹤壁三大煤矿及众多的乡镇小煤窑,这些石炭—二叠系煤矿煤层甲烷含量高,峰峰煤矿已工业性抽排利用。但长期以来对太东断陷带煤成气的勘探前景却评价不高,因为巨鹿凹陷东部少量钻井资料表明成熟度较低(R_o为0.55%～0.70%)。

鹤热2井含甲烷二氧化碳气藏的发现及其所提供的多项资料,说明太行山前断陷带具备了煤成气的成藏条件。

1. **地温梯度高有利于有机质转化**

太行山东大断裂有较高的封堵性,造就了太行山前断陷带压力较高的地热水和较高的地温梯度。

鹤热2井实测地温资料表明:下第三系900～1 610 m地层温度39.5～55.5 ℃,地温梯度2.3 ℃/100 m;中生界2 140～2 620 m地层温度78～97 ℃,地温梯度3.96 ℃/100 m;奥陶系3 765～3 059.5 m,地层温度104～114 ℃,地温梯度3.4 ℃/100 m。从年平均温度14.2 ℃的地面至奥陶系顶2 765 m地层温度升高到104 ℃,计算总地温梯度高达3.25 ℃,说明太行山前断陷带地温梯度并非象原来认为的很低,而是较高的,特别是古生界地温梯度很高,这有利于上古生界煤系烃源岩的转化。

2. **石炭—二叠系煤系烃源岩是煤成气形成的物质基础**

本区上古生界太原组和山西组有平均厚20 m的煤层和143.73 m厚的暗色泥岩,其中煤岩有机碳含量平均分别为69.15%和62.25%,沥青"A"高达2.785%和2.378 8%,总烃平均为5 330 ×10^{-6}和5 308 ×10^{-6},生烃潜量S_1+S_2平均151.26～120.87 mg/g。上古生界煤系烃源岩有机质丰度在整个渤海湾盆地中是最高的。特别是巨鹿地区煤岩,生烃潜量高达162.47 mg/g,沥青"A"高达2.97%,总烃含量高达6 192 ×10^{-6},暗色泥岩有机碳含量平均为5.0%和4.39%。

本区石炭—二叠煤系高丰度烃源岩在较高的地温场中和火成岩的烘烤下有利于煤成气的形成(表1)。

表1　冀南地区石炭—二叠系烃源岩有机质丰度统计表

层位	岩性	有机碳(%)	沥青"A"(%)	总烃(10^{-6})	生烃潜量(mg/g)	综合评价
C_2b	灰岩	0.82(1)	0.0487(1)	167(1)	0.72(1)	煤系好烃源岩
C_3t	煤岩	69.15(3)	2.7850(3)	5330(3)	151.26(3)	
	泥岩	5.0(9)	0.1526(5)	521(5)	7.64(9)	
	灰岩	0.27(3)	0.0203(1)	73(1)	0.12(3)	
P_1s	煤岩	65.25(3)	2.3788(1)	5308(1)	120.87(3)	
	泥岩	4.39(3)	0.1193(2)	380(2)	5.41(3)	
P_1x	泥岩	0.72(14)	0.0159(4)	101(2)	0.47(14)	差—非烃源岩
P_2s	泥岩	0.42(15)	0.0199(3)	170(1)	0.21(15)	
P_2sh	泥岩	0.7(1)			0.03(1)	

3. **陡峭的太行山东深大断裂带提供了幔源天然气源**

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

鹤热 2 井 CO_2 气碳同位素分析为 - 5.7 ‰(据王涛[1],戴金星专著[2])。我国无机成因的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 的区间值一般在 + 7 ‰～ - 10 ‰,主频率段 - 3 ‰～ - 6 ‰之内,说明二氧化碳气藏主要来自地幔,其通道为太行山东深大断裂带。

如前所述,汤西重力密集梯度带反映了太行山东大断裂断距大而陡峭,汤阴断陷地面分布的橄榄玄武岩体,说明太行东大断裂带是深穿上地幔的。

在新鹤壁市区西郊地面分布着橄榄玄武岩体 10 余个,其中浮山最大约 3 km^2,其次是黑山岩体和下庞岩体,分别为 0.5 km^2 和 0.25 km^2,其余不足 0.1 km^2。橄榄玄武岩呈层状、管状、岩墙状,组成黑山浮山及北北东向排列的小岩带,覆盖或侵入于上第三系鹤壁组和疙村组之中,它们受断裂控制,并直接侵入到北北东向断裂之中,而且又覆盖在第四系下更新统砾岩之下,从而证明其时代为晚第三纪上新世晚期。

太行山东深大断裂为火成岩的侵入提供了通道,火成岩体烘烤石炭 —二叠系煤系烃源岩,有利于煤层气的形成,同时太行东大断裂带又为太行山前断陷带天然气藏的形成提供了幔源天然气源。

4. 勘探领域广

太行山前断陷带石炭 —二叠系烃源岩分布面积大,近 4 000 km^2,勘探领域广。

(1)三套生储盖组合

上生下储组合:上古生界太原组煤系生和盖,下古生界奥陶系储。该套组合已在鹤热 2 井获工业气流,并在巨 1 井取心见 0.25 m 油斑灰岩显示。

自生自储组合:上古生界山西 —太原组煤系生,下二叠统石英砂岩储,上石盒子组泥岩盖。巨 1 井对本套组合试油,未经压裂日产水 31.72 m^3 及少量天然气,说明下石盒子砂岩物性颇佳。

下生上储型组合:上古生界煤系生,中新生界砂岩储,泥岩盖。该套组合已在邻区丘 1 井中生界砂岩中见有后效反映的气测异常显示。

(2)潜山构造圈闭多。

本区总体上勘探程度很低,除在本区南部汤阴断陷仅做了少量重力探测就发现了鹤壁市含气潜山带外,仅在北部的巨鹿凹陷完成了 1 ×2 km 二维地震勘探,并钻探井 5 口,就已发现被内丘断槽和巨鹿东断槽夹持的具中央隆起带性质的鸡泽断裂潜山构造带,面积达 1 100 km^2;在其南高点钻探的巨 1 井已在奥陶系和下二叠统砂岩中见油斑灰岩和少量天然气流,并在内丘断槽发现了张家庄和任县等古生界潜山。

综上所述,太行山前断陷带石炭 —二叠系煤成气的勘探应引起足够的重视,建议尽早开展综合物探和前期综合研究,开拓渤海湾盆地油气勘探新领域!

参 考 文 献

1 王涛. 中国天然气地质讨论基础与实践. 北京:石油出版社,1997;7

2 戴金星. 天然气地质和地球化学论文集(卷 1). 北京:石油出版社,1998

3 梁生正. 华北石炭 —二叠系残留盆地天然气勘探方向. 天然气工业,1998;18(6)

4 李明潮,梁生正,赵克镜. 煤层气及勘探开发. 北京:地质出版社,1996

5 梁生正等. 渤海湾叠合盆地大中型天然气田的勘探方向. 石油学报,2001;122(6)

(收稿日期　2002 - 09 - 29　编辑　黄君权)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

ABSTRACTS AND AUTHORS

PROSPECTS FOR EXPLORING FOR NATURAL GAS IN THE SOUTH PART OF TAIHANG PIEDMONT FAULT DEPRESSION BELT

Liang Shengzheng, Li Chunyan, Wang Qi, Fu Qiang and Liu Jing (North China Oil Field Branch, PCL). *NATUR. GAS IND.* v. 23, no. 2, pp. 1～5, 3/25/2003. (ISSN1000-0976; **In Chinese)**

ABSTRACT: A carbon dioxide gas reservoir containing methane and high-yield geothermal mineral-spring resources were found in well Here-2 located at Hebishi gravity high in Tangying Depression of Taihang piedmont fault depression belt, thus causing people to have a new understanding about the geological structure and mineral resources in this region. In the paper, the property and structure of the natural gas reservoir in Hebishi buried hill are predicted; and it is thought that the south part of Taihang piedmont fault depression belt has good prospects for exploring for polygenic natural gas because of high geothermal gradients beneficial to the transform of the hydrocarbon source rocks in Carboniferous-Permian coal measures, of providing mantle source gas at the eastern foot of Taihangshan Mountains and of a wide-spread exploration area.

SUBJECT HEADINGS: Taihang piedmont fault depression belt, Methane, Carbon dioxide, Mantle source gas, Natural gas exploration

Liang Shengzheng, born in 1936, is a professorial senior engineer. Add: Renqiu, Hebei (062552), China Tel: (0317) 2723769

EVOLUTION OF GROUNDWATER DYNAMIC FIELD AND OIL AND GAS RESERVOIR FORMATION IN FUYANG RESERVOIR IN THE EAST PART OF NORTH SONGLIAO BASIN

Lou Zhanghua, Jin Aimin, Sun Maoming and Zhu Rong (Department of Oceanography and Oceaneering, Zhejiang University). *NATUR. GAS IND.* v. 23, no. 2, pp. 6～9, 3/25/2003. (ISSN1000-0976; **In Chinese)**

ABSTRACT: Current groundwater dynamic field pattern may be accurately set up through investigating migration dynamics and passages, water-supplying mode and recharge area as well as water-draining mode and discharge area. In Songliao Basin, the meteoric water around the basin margin percolates down to form a centripetal flow by the action of gravity, a centrifugal flow of expressed water, however, may be formed in the process of sedimentation and burial within the basin. And an override flow discharge area can be grown up owing to the joining of the centrifugal with the centripetal flow. Formation water at Chaoyanggou bench and Changchunling anticlinal belt has been detained after the centrifugal flow's being weakened and depleted. The centrifugal flow of expressed water was the major force of the hydrocarbon migration and accumulation in Songliao Basin. The distribution of oil, gas and water is dependent upon the formation and evolution of the groundwater dynamic field, i.e. oil is mainly distributed in the areas of the centrifugal flow of expressed water and the override flow discharge area, gas in the override flow discharge areas and water in the meteoric water percolation areas.

SUBJECT HEADINGS: Songliao Basin, Fuyang reservoir, Hydrodynamic force, Oil and gas field, Formation

Lou Zhanghua, born in 1963, is a professor and doctoral supervisor. Add: Hangzhou, Zhejiang (310028), China Tel: (0571) 88273058 E-mail: iwr@zju.edu.cn

EVALUATION OF HYDROCARBON SOURCE ROCKS IN PERMIAN AND TRIASSIC AT GUANGYUAN-WANGCANG REGION IN NORTHWEST SICHUAN BASIN AND A PRIMARY DISCUSSION ON GAS SOURCE

Cai Kaiping, Wang Yingrong, Yang Yueming and Zhang Rongzeng (Northwest Sichuan Gas field, Southwest Oil and Gas Field Branch, PCL). *NATUR. GAS IND.* v. 23, no. 2, pp. 10～14, 3/25/2003. (ISSN1000-0976; **In Chinese)**

ABSTRACT: The Permain and Triassic at Guangyuan-Wangcang region in Northwest Sichuan Basin are mainly composed of carbonate rocks. Through analyzing, contrasting and studying up 260 organic carbon samples collected from the cores of 7 strata belonged to Permian and Triassic in 5 structures and from partial outcrops within this region, it is considered that except T_1f^2 and T_1f^3, the other principal target zones are belonged in effective hydrocarbon source rocks (the organic carbon cutoff is 0.20 % for carbonate rocks and 0.50 % for mudstones and shales), in which the average values of the organic carbons in P_2d, P_2w and P_1m are more than 0.40 %, being 4.60 %, 0.40 % and 0.58 % respectively and the average value in P_2c is 0.35 %. Organic carbon content is closely related to sedimentary

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net