

郯庐断裂带及邻区地热场特征、 温泉形成因素及气体组成 *

陶士振 * *

(中国石油天然气集团公司石油勘探开发科学研究院)

刘德良

(中国科学技术大学)

陶士振等. 郯庐断裂带及邻区地热场特征、温泉形成因素及气体组成. 天然气工业, 2000; 20(6): 42~47

摘 要 本文运用构造动力学、地热学和地球化学的原理和方法分析了中国东部地热场特征、温泉形成的控制因素及气体组成特征。中国东部地热场具有地域性或分带性的特点, 其中郯庐断裂带是一高地热活动带, 这与其所处的大地构造部位和印支运动以来的构造事件密切相关。郯庐断裂带及邻区温泉的发育取决于地质热源体的存在、区域构造、断裂和地下水循环状况、基底和盖层岩石热导率等。温泉中气体成分以 N_2 为主(多数在 90 % 以上), CO_2 含量变化较大, 多数在 1.00 % 以下, CH_4 和 He 的含量均小于 1.00 %, Ar 多数为 1.00 % ~ 1.50 %, H_2 含量较低 ($<0.1\%$)。C、O 同位素组成变化较大, $^{13}C = -21.33\text{‰} \sim -6.02\text{‰}$ (PDB), $^{18}O = 8.85\text{‰} \sim 38.95\text{‰}$ (SMOW), 但两者具有较好的相关性。结果表明温泉气具有多组分、多来源的特征, 其成因和组成特征决定于现今中国东部的构造应力场及郯庐断裂的活动性质。

主题词 东 地热能 断裂带 天然气 郯庐

中生代以来中国东部大地构造格局发生了根本性的变化, 扬子陆块和华北陆块持续会聚及后期库拉—太平洋板块对中国东部大陆的俯冲作用, 因而在中国东部造成特提斯构造—热体制逐步减弱而滨太平洋构造—热体制逐步增强。在此过程中, 郯庐断裂应运而生, 并经历了复杂的演化过程, 成为印支运动以来主宰中国东部地质发展脉络的巨型构造。在断裂带及其影响范围内构造运动、岩浆作用和水热活动强烈, 温泉及天然气较发育(见图 1)。

郯庐断裂的活动及其对地热场的影响

中生代以来, 我国东部濒临太平洋地区广泛发育着一个规模巨大、活动强烈的北东—北北东向构造体系。郯庐断裂带属于西太平洋活动大陆边缘内侧上的一条主干断裂, 也是中国东部一条巨型断裂。它北起佳木斯以北, 经过郯城、庐江, 南至宿松, 向南减弱, 断续出现。它初始于扬子板块与华北板块相互作用, 后来的发展主要受欧亚板块与库拉—太平洋板块相互作用制约, 之后印度板块与欧亚板块的碰撞也对其产生影响。同时, 壳幔相互作用及

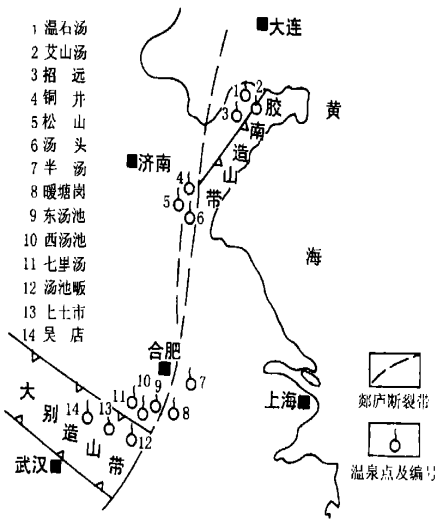


图 1 郯庐断裂带及邻区温泉分布图

热机制的演化、地幔流体的涡旋运动和斜向蠕动流变、上地幔的隆拗及地幔热的扩张和散失等深部地质作用与郯庐断裂成生和演化相辅相成。

古生代末—中侏罗世, 经过古生代板块构造旋回解体的中国大陆再度聚敛在一起, 形成一个完整

* 国家计委“九五”攻关项目(96-110-01-06-07)部分成果。

* 陶士振, 博士后, 1966 年生; 1999 年毕业于中国科学技术大学, 获博士学位; 现从事天然气地质与地球化学研究工作。
地址: (100083) 北京市 910 信箱地质所。电话: (010) 62097380。

的古陆。海西—印支运动俯冲碰撞期是郯庐断裂的萌生和形成初期,形成郯庐转换断层,这时的郯庐断裂是华北板块与扬子板块对接和碰撞的结果。在华北和扬子板块东部的苏北、胶南地段向北俯冲,而西部的北淮阳地段向南俯冲,两板块的俯冲运动形成了郯庐转换断层,断层面产状较陡、断面较平直,切割深度达岩石圈,但长度有限,仅局限于郯城和庐江之间,即在断裂的延伸方向终止于大别—胶南造山带北边界,南部终止大别—胶南造山带南边界。断层具有左行平移的性质,为左行转换断层,属特提斯构造—热体制。这一时期断裂仅发生左行平移,规模和强度有限,深部热流对浅部—热入侵程度较弱,因此对壳幔热结构影响不大。

晚侏罗世—早白垩世,印度洋—澳大利亚板块、菲律宾海板块、太平洋板块乃至西北利亚板块都迅速向中国大陆板块俯冲聚敛,这种作用力和深部物质活动结合在一起,产生强烈的板块活动、岩浆活动和火山岛弧,并使大陆增生。在华北和扬子两板块碰撞之后的内陆会聚过程中,沿郯庐转换断层发生左行撕裂平移,特别是在侏罗世中期以后,受到库拉板块的北移作用,郯庐断裂发生规模巨大的左行走向滑动,郯庐断裂全面转入西太平洋构造—热体制。由于库拉板块以北北西方向向中国东部大陆边缘俯冲,使岩石圈遭受挤压,板块俯冲消减引发熔融物质上升并聚集于岩石圈底部。随着熔融物质的不断增加,在密度(温度)作用下发生对流,对流作用使岩石圈产生热减薄,上地幔局部上拱,热膨胀上拱作用导致岩石圈发生侧向分离。在地壳薄弱地带或早期断裂处,上地壳伸展,熔融物质上升,地表发生多次岩浆喷发,成为这一时期郯庐断裂带地热异常的主要因素。

晚白垩世—早第三纪,为郯庐断裂的张性断陷发育期,因太平洋板块与中国大陆的B型俯冲作用造成东部大陆前缘挤压加厚,但后缘大陆岩石圈减薄,地幔呈北东向上隆,地球内部热能大量向浅层传递被其上地壳吸收。地壳内部产生张性破裂,壳幔熔融物质沿张性深断裂侵位,形成早第三纪多期次大规模裂隙型玄武岩浆喷溢。这使得中国东部地区出现壳幔热异常。上地幔的局部熔融产生玄武岩岩浆沿深断裂侵入地壳、喷出地表。新生代有玄武岩喷出,局部地段发育有金伯利岩。主干构造属正断层,沿郯庐断裂形成裂谷系,这期间郯庐断裂带处于高温低压的物化环境。张性裂谷对地幔热流上涌有利,特别两组断裂的交汇部位是幔源岩浆及深部热

流释放的有利窗口,因此,这一时期是郯庐断裂带地热异常发育的主要时期。

晚第三纪—第四纪时期,随着中国东部大陆边缘地区边缘海(日本海)的逐渐形成,太平洋板块俯冲带向东迁移,这个时期的中国东部构造运动比前3个阶段相对减弱,岩石圈的热松弛及重力均衡调整使得前期的伸展构造活动已显著减弱,郯庐断裂构造也由前期的伸展变为压性兼右旋剪切的性质。软流圈物质在北西西带上挤压隆起并沿着已有的北西向断裂岩浆喷发。这个时期由于剪切形变作用,前期厚薄相间的地壳结构没有受到明显改造。一些未完全达到地壳均衡的地区如渤海、华北平原等地,由于地壳继续进行均衡调整,可能还存在大面积的缓慢下沉,但前期强烈的地壳变形已基本结束。这一时期在郯庐断裂带及邻区沉积了巨厚的沉积岩系,其中碳酸盐岩分布广泛。我国低温($<60^{\circ}\text{C}$)温泉分布大多与碳酸盐岩分布相联系,这种情况系由这些地区喀斯特发育特点和区域水文地质特点所决定。本区最突出的喀斯特水文地质特点是出现许多大流量($>1\text{ m}^3/\text{s}$)的喀斯特泉。由于地下水的浅循环活跃,一般来说,泉水的温度较低,但区内泉水温度较高,多数在 $70\sim 90^{\circ}\text{C}$,原因是郯庐断裂带为地热异常区,沿断裂带玄武岩及花岗岩等岩浆较发育。

郯庐断裂带温泉形成因素及气体组成

郯庐断裂带构造—岩浆活动表明,断裂带及邻区为一地热异常带,地下热水及温泉较发育。

1. 郯庐断裂带地下热水及温泉的形成因素

一般认为温泉的形成是岩浆(火山)活动的结果,但温泉地下热水的形成原因是一个复杂的、目前尚未完全解决的问题。就郯庐断裂带而言,伴随着断裂带的形成和演化,构造—热活动能量的释放是温泉形成的直接因素。笔者认为郯庐断裂带温泉的发育与地质热源体系的存在、区域构造、断裂和地下水循环状况及岩石热导率等多种因素有关。现对此作初步探讨如下。

(1) 断裂带热源的存在

地下热水温泉的形成和出露是地下热能传输和释放的一种形式。地球内部所蕴藏的各种热能(地球凝结热、重力压缩热、潮汐摩擦热、放射性元素蜕变热、化学反应热及构造运动产生的摩擦热等)为温泉的产生提供了环境和背景条件。温泉的出露是局部热异常的产物。因此,温泉及其地下热水的形成尚需有局部热源的存在。局部热源体系指分布局

限,热能较高,对某一热田形成起决定性作用的地质热源体。一些热源体如现代火山活动区的干热岩、火山熔岩、放射性物质丰富的岩浆岩体等。郯庐断裂带广泛发育一系列新生代玄武岩和花岗岩,形成了局部热源体。断裂带中段的沂沭带北、中段的沂水至昌乐及其以西的临朐盆地,是山东省新生代火山活动强裂的一个地带,有数十个火山口。这里的地热异常表明:壳—幔深部断裂仍在活动,深部热质的上涌也在进行。郯庐断裂本身是一构造—岩浆活动带,与邻区相比,还有突出的构造运动生热及化学反应热。

郯庐断裂带是一个地热流的异常带。从地温梯度来看,沐阳第三纪断陷盆地为 $4.2 / 100 \text{ m}$,郯城附近断裂带内 300 米深处的温度比带外同样深度处要高 $2 \sim 4$ ^[1],裂谷带中及其附近广布温泉,如山东临沂汤头、辽宁汤岗子、安徽巢县半汤和庐江东、西汤地等。在庐江测得热流值竟高达 1.84 HFU ^[1]。造成这种高地温梯度和热流值的原因主要为来自深部的较强烈的附加热源所造成的。在裂谷带上除受到地壳中产生均匀热流外,还有一股来自上地幔的强烈热流的作用。几乎全球主要裂谷系的早期演化阶段均不例外地经历过岩浆活动与地壳热膨胀的隆起阶段,引起深部热流的上升。

(2) 断裂带区域构造及局部构造条件

地下热水的形成和分布受区域构造条件控制。世界上一些高温地热田大多分布于板块边缘、大洋中脊、大陆裂谷等地带,这与全球火山活动及全球地震活动带的分布是相吻合的。郯庐断裂虽处于板内,但它是在华北、扬子两板块碰撞造山过程中蕴生的转换断层的基础上发展起来的,后经历走滑、伸展等强烈活动阶段,沿带出现明显的区域热异常,具备温泉形成的区域构造条件。

地热水的形成和局部隆起、凸起的关系也十分明显,局部构造条件如基底隆起和背斜等一般较负向构造如拗陷、向斜、局部走滑断裂的剪切增温效应等具有较高的地温和热流。尤其下部基岩的隆起,具有直接的热效应,引起区域地热异常。

(3) 断裂及地下水的循环

郯庐断裂带在形成和演化过程中经历了强烈的大型走滑、裂陷伸展活动。断裂活动导致岩层间的摩擦、错动产生热能,而且断层的存在为地下水的深循环、深部热液的上涌创造了条件。因而,在一些断裂附近往往形成地热田。郯庐断裂因具有复杂的断裂—热活动历史,为岩浆活动、地下水的深循环和热

流上涌创造了条件。

(4) 断裂带内地盖层岩石热导率

郯庐断裂带及邻区古生界及中上元古界白云岩、新生界尤其第三系白云岩、石膏层及盐岩等热导率高的岩石广泛发育,有利于浅部热异常的形成。地下热流在传导过程中总是向着热导率高(热阻小)的部位偏移而形成热异常。O. 卡普迈耶和 R. 海涅尔也指出:“在大地构造相同的地区,地热梯度的差异主要来源于岩石热导率的差异”。由此可知,在其他条件相同的情况下,较高的岩石热导率是本区地热异常形成的一个重要因素。

综上所述,郯庐断裂带地下热水、温泉的形成与区域构造、断裂活动和地下水的深循环等密切相关。

2. 地下热水、温泉的气体组成

郯庐断裂带及邻区温泉气体组成见表 1。

在各种水热活动和温泉中均不同程度地伴有气体的生成、析出和排放。温泉对天然气资源的贡献在于,或作为地球脱气的载体和介质,或作为地下水—岩石反应生成天然气的源区之一。晚期郯庐断裂的活动减弱,断裂发育的压性性质决定了幔源无机成因气不发育,主要为壳源气体。

地下水中的溶解气体来源于大气的溶解、深部构造气流的引入、含水层岩石吸附气体的溶解以及岩石与水发生化学反应产生气体的加入等。地下水中的气体成分主要有 N_2 、 CO_2 、 CH_4 、 O_2 、 H_2 、 He 、 Ar 、 H_2S ,有时还含有 CO 、 SO_2 等。温泉气的种类和含量还取决于断裂及地下水热流体循环涉及到的深度和层位。不同时代含水层中气体成分有很大的差异。地下热水与第四系冷水中气体成分明显不同,具有 N_2 、 O_2 低, CO_2 、 CH_4 、 He 、 H_2 较高的特点(图 2)。这一方面与含水层岩性有关,但也与热水循环深度大、部分气体来源于地壳深部有关。

从郯庐断裂带及邻区温泉气的组成来看(表 1),无论是溶解气还是逸出气, CO_2 含量较低,只有大连皮口冷泉气高含 CO_2 (97.7%),这一高含量的 CO_2 可能是来自附近的一个 CO_2 气藏 ^[3]。大多数温泉气组成以 N_2 为主,有的甚至高达 90% 以上,如东汤池高达 94.50%,西汤池平均为 88.60%。下辽河及山东一带多数在 90% 以上,山东威海洪水岚和沂南新王分别为 88.50% 和 93.21%。

从郯庐断裂带温泉气中 CO_2 的 C、O 同位素组成(表 1、图 3)看,除东汤池 ^{13}C 为 +6.02‰,其余各温泉的逸出气和溶解气中 CO_2 的 ^{13}C 均在 -8.00‰ 以下。其 ^{18}O 除东汤池 (38.9‰) 外,其余均

表 1 郯庐断裂带及邻区温泉气体组成测定结果

| 温泉点 | 气体化学组成 (%) | | | | | | ¹³ C PDB (‰) | ¹⁸ O SMOW (‰) | 气体类型 | 资料来源 |
|---------------------|----------------|-----------------|-----------------|------|------|----------------|----------------------------|-----------------------------|------|-------|
| | N ₂ | CO ₂ | CH ₄ | Ar | He | H ₂ | | | | |
| 辽阳汤河 | 95.24 | 1.75 | + | 0.86 | 0.08 | + | | 8.85 | 逸出气 | 文献[2] |
| 威海洪水岚 | 88.50 | 8.65 | 0.07 | 1.30 | 0.19 | 0.02 | - 8.8 | | 逸出气 | 文献[2] |
| 凤城宝山 | 96.10 | 0.25 | 0.53 | 1.48 | 0.17 | + | | | 逸出气 | 文献[2] |
| 栖霞艾山 A-1 | 95.20 | 2.15 | 0.94 | 1.02 | 0.51 | 0.15 | - 10.97 | 26.73 | 溶解气 | 本文 |
| 栖霞艾山 A-2 | ? | 0.16 | ? | ? | ? | ? | - 3.9 | | 溶解气 | 文献[2] |
| 瓦房店龙门场 | 84.58 | 0.39 | 0.38 | 1.32 | 0.21 | + | - 7.8 | | 逸出气 | 文献[2] |
| 招远市 Z-1 | 91.47 | 5.60 | 1.20 | 1.25 | 0.33 | 0.015 | - 11.02 | 26.47 | 溶解气 | 本文 |
| 招远市 Z-2 | ? | 0.13 | ? | ? | ? | ? | - 3.3 | | 溶解气 | 文献[2] |
| 新金剑 | 77.26 | 23.62 | 0.51 | 1.11 | 0.31 | + | - 5.8 | | 逸出气 | 文献[2] |
| 沂南铜井 | 93.89 | 3.10 | 1.12 | 1.45 | 0.38 | 0.01 | - 11.03 | 26.65 | 溶解气 | 本文 |
| 大连皮口 | 1.19 | 97.70 | + | + | 0.53 | + | - 4.3 | | 逸出气 | 文献[2] |
| 沂南新王 X-1 | 89.60 | 2.45 | 6.37 | 1.25 | 0.43 | 0.026 | - 10.08 | | 溶解气 | 本文 |
| 沂南松山 | 94.31 | 3.89 | 0.26 | 1.30 | 0.28 | 0.041 | - 11.12 | 26.64 | 溶解气 | 本文 |
| 沂南新王 X-2 | 94.33 | 3.16 | 0.67 | 1.27 | 0.56 | 0.010 | - 19.0 | | 逸出气 | 文献[5] |
| 临沂汤头 a | 95.10 | 0.43 | 3.05 | 1.05 | 0.32 | 0.011 | - 11.4 | 26.76 | 溶解气 | 本文 |
| 临沂汤头 b | 93.16 | 2.32 | 2.73 | 1.48 | 0.34 | 0.047 | - 13.0 | | 溶解气 | 文献[5] |
| 巢湖半汤 | 94.42 | 1.56 | 1.23 | 1.20 | 0.41 | + | - 11.76 | 20.79 | 逸出气 | 本文 |
| 庐江暖塘岗 | 91.37 | 5.44 | 1.56 | 1.19 | 0.50 | 0.048 | - 21.33 | 21.01 | 逸出气 | 本文 |
| 庐江东汤池 ¹⁾ | 94.50 | 3.60 | 0.17 | 1.10 | 0.87 | 0.003 6 | 6.02 | 38.95 | 逸出气 | 本文 |
| 舒城西汤池 ¹⁾ | 88.60 | 9.94 | 0.12 | 1.32 | 0.15 | 0.014 | - 10.96 | 25.75 | 溶解气 | 本文 |
| 舒城七里汤 | 93.40 | 3.56 | 1.21 | 1.20 | 0.36 | 0.032 | - 20.09 | 21.83 | 逸出气 | 本文 |
| 岳西汤池畈 | 89.50 | 8.50 | 0.32 | 1.08 | 0.57 | 0.010 | - 11.61 | 22.87 | 逸出气 | 本文 |

注:1) 气体化学成分由安徽省地震局张朝明提供;“+”表示微量;“?”表示不清。

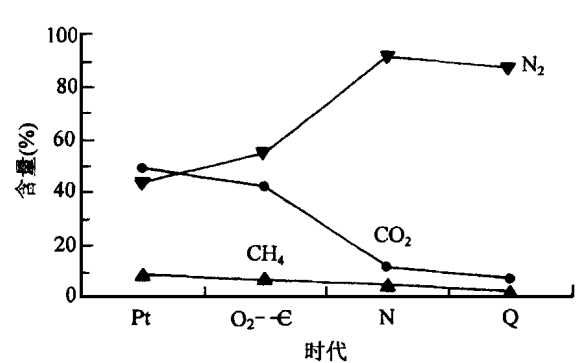


图 2 不同地层温泉水中气体含量的变化
(据蒋凤良等数据绘制)

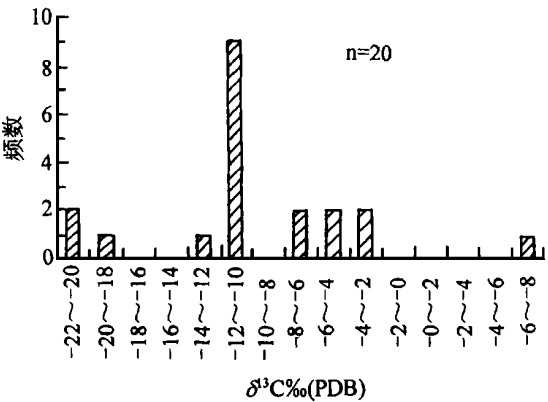


图 3 温泉气中 CO₂ 的 ¹³C 直方图

在 20 ‰—28 ‰的范围,碳、氧同位素组成分布见图 4。氧同位素值与碳酸盐地层中的氧同位素一致,但 ¹⁸O 的一些异常高值可能是受大气来源的影响。

按照有机和无机成因 CO₂ 的鉴别标准^[4],无论安徽境内还是山东境内的温泉溶解气,其中的 CO₂ 均来源于地壳沉积岩,主要为来自壳源沉积层的有机成因气,并溶解有空气或受其污染。而在山东及下辽河一些温泉气中 ¹³C > - 8 ‰者为无机成因的

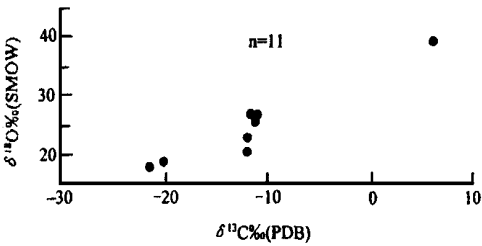
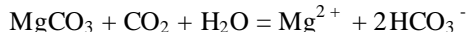
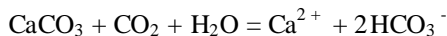


图 4 温泉气中 CO₂ 气体的 ¹⁸O 与 ¹³C 相关图

CO₂由含碳沉积岩分解形成。安徽庐江东汤池温泉气(¹³C=6.02‰)就属于这种成因类型。从构造位置看,东汤池紧邻郯庐断裂带,断裂是造成热水出露的条件,可能是高地热流引起沉积岩中含碳矿物分解而释出的少量CO₂。但有几个泉¹³C值在-10‰左右,不是太低,可能是有机和无机混合型成因。而¹³C较低(-20‰左右)的温泉中的CO₂气为典型的有机成因气。

根据本区地质、气候资料以及温泉气的C、O同位素组成特征,本区温泉气中的CO₂可能来自岩溶水的沉淀。因为郯庐断裂乃至整个华北地区从古生代末至中生代末这一漫长的地质历史时期,地壳运动以隆升为主。古生代及其以前沉积的巨厚的碳酸盐岩长期裸露地表,断裂、裂隙发育,在地貌上群山林立高差较大,气候温暖,雨量充沛,地下水的流动性强、水量丰富,为岩溶异常发育和后期CO₂形成和释放奠定了基础。

地下水之所以对岩石有溶蚀能力,是由于当地下水中含有游离的CO₂时,使水呈酸性,石灰岩和白云岩的方解石和白云石被溶解所致,其反应式如下:



在上述反应式中,一部分CO₂与溶液中的HCO₃⁻维持平衡,叫作平衡CO₂,如有过量的CO₂时反应式才向右进行,显示其对岩石的溶蚀性,即CaCO₃、MgCO₃不断溶解。而地下水中CO₂的含量与温度、压力密切相关,一般随温度的升高而降低,随压力的增大而增大。在深处高压下促进岩石的溶解,而流体循环至浅部、低压下则有大量的CO₂生成和排放,因而在岩溶水沉淀时,反应朝相反的方向进行,释放出CO₂*。此外,硫酸对碳酸盐岩也有溶蚀作用:



由于CaSO₄不断沉淀,溶解CaCO₃的反应继续进行,不断有新的CO₂生成。

在郯庐断裂带及邻区的温泉气中N₂为主要组分。N₂也是大气和固体地球脱出气体中的最主要化学成分。它有四种来源,即大气来源、生物来源、岩浆来源和地幔来源。天然气中大气N₂一般用N₂/Ar空比值为38~84加以判别。N₂/Ar空>84

则表明有其它成因N₂的加入。从本区Ar含量及⁴⁰Ar/³⁶Ar比值*,结合N₂的含量来看,N₂除大气来源外,其余可能主要为生物来源,包括生物活动过程中产生的N₂和生物遗体在成岩过程中分解形成的N₂,亦即沉积来源的N₂。

气体在地下水中的溶解度随着压力(深度)增加迅速增大,尤其高溶解度的CO₂、H₂S、NH₃等表现更为明显。因而,在地球深处,尤其在地幔中聚集着高压气体,成为火山喷气的主要气体源。对地下水中气体含量的研究^[5]表明,在1~4 km深处,地下水中气体的含量平均约500 mL/L。随深度增加,地下水中气体含量会增加至更大数量。可见,温泉及地下热水中溶解气体的数量是相当可观的。

结论和认识

以上表明,地处郯庐大断裂带内地热水的循环中并未见有大量的幔源岩浆脱气,似乎有些反常,可能是特定地史演化阶段的现象,与该构造带所处的构造应力场有关。地球的脱气作用是经常发生的,但要有自下而上的输气通道系统。现今郯庐断裂以压性为主的活动方式一直延续到深部,它阻滞了幔源气向浅表的大量运移。但一些与郯庐断裂带斜交的北西向断裂带内的温泉(宝山、洪水岗温泉和汤河冷泉)逸出气中含有少量的深源CO₂和深源He,这与断裂带的张性或张剪性有关。

根据本区构造—地热活动特征及野外调查和测试分析结果,得出如下几点认识: 郯庐断裂带的构造决定着运动、岩浆作用、地震活动决定着温泉的发育; 郯庐断裂带温泉的发育取决于其局域热源的存在、区域构造、断裂和地下水循环状况及岩石热导率情况; 大部分温泉气为有机成因,或至少存在有机成因气的混入,还有¹³C较低(-20‰左右)的泉点CO₂为典型的有机成因气。少部分温泉的逸出气中CO₂是壳源无机成因的(¹³C>-8‰),为浅层含碳岩石变质分解的产物; 根据气体同位素及水质特征,本区温泉气中CO₂主要来源于岩溶作用。N₂除大气来源外,可能主要为生物来源,即沉积来源的N₂; 温泉处没有形成大量幔源岩浆脱气,与中国东部的地应力场有关,可能是郯庐断裂的压性活动及紧密的挤压构造,难以形成幔气脱排的通道。

*陶士振,郯庐断裂系构造化学和构造物理与天然气成藏条件,中国科学技术大学博士论文,1999。

测井解释发现油气层

谭廷栋^{*}

(中国石油天然气集团公司石油勘探开发科学研究院)

谭廷栋. 测井解释发现油气层. 天然气工业, 2000; 20(6): 47 ~ 50

摘 要 测井解释方法是发现油气层的有效手段。使用单一的电测井解释方法评价油气层, 存在多解性。电测井与核测井、声测井或井壁取心组合解释, 可以从电测井解释的油气层中识别出油层和气层。在我国油气勘探史上, 就曾有过探井录井无气显示, 而测井解释发现了气层的若干案例。文章通过探讨几个有代表性的案例, 论述了测井解释发现油气层的颇有实用价值的方法和经验, 为勘探家在新区、新层系和新领域发现油气层提供了依据, 提高了我国天然气勘探的效益。

主题词 天然气勘探 测井技术 伽马测井 井壁取心 应用

在钻探井过程中, 录井无油气显示而测井解释发现了气层。此外, 测井复查老井漏掉的气层, 也发现了新气藏。

中原油田文 23 井

文 23 井位于中原油田文留构造北部, 1977 年 11 月完钻, 井深 3 050 m。钻井过程中录井无油气显示, 在非目的层段测井解释发现了气层, 储层岩性为下第三系沙河街组砂岩。

文 23 井完井测井时, 作了感应测井、声波测井、2.5 m 及 4.0 m 梯度电极系测井、自然电位测井、自然伽马测井、中子伽马测井、微电极测井、井径测井及井壁取心。该井采用 3 种测井解释方法发现了气层。

1. 饱和度—井壁取心法

井壁取心能从饱和度解释的油气层中识别出气层。在一般情况下, 储层含油气饱和度大于 30 %, 井

壁取心含油, 储层解释为油层; 储层含油气饱和度大于 30 %, 井壁取心不含油, 储层解释为气层。

2. 电阻率—井壁取心法

在储层岩性、孔隙度和地层水电阻率相同条件下, 储层电阻率大于水层电阻率 3 倍, 井壁取心含油, 储层解释为油层; 储层电阻率大于水层电阻率 3 倍, 井壁取心不含油, 储层解释为气层。

3. 电阻率—中子伽马法

中子伽马测井能在套管井中探测到气层。在储层岩性、孔隙度和泥质含量相同条件下, 气层中子伽马读数高于油层中子伽马读数, 而油层中子伽马读数与水层中子伽马读数接近。采用电阻率—中子伽马法, 可以从电阻率解释的油气层中识别出气层。

图 1 是中原油田文 23 井测井解释发现气层的案例^[1]。依据饱和度—井壁取心法、电阻率—井壁取心法和电阻率—中子伽马法以及自然伽马、自然电位、微电极、井径等曲线, 测井解释发现下第三系

参 考 文 献

1 陈墨香, 王集炆等. 中国地热资源. 北京: 科学出版社, 1991
2 上官志冠, 都吉夔, 藏伟等. 郯庐断裂及胶辽断块区现代地热流体地球化学. 中国科学(D 辑), 1998; 28(1)
3 上官志冠等. 长白山天池火山深部流体成份及其稳定同

位素组成. 地质科学, 1996; 31(1): 54 ~ 64
4 戴金星, 宋岩, 戴春森等. 中国东部无机成因气及其气藏形成条件. 北京: 科学出版社, 1995: 38 ~ 61
5 蒋凤良主编. 华北地震水文地球化学研究. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1989: 151 ~ 169

(收稿日期 2000 - 05 - 22 编辑 黄君权)

^{*} 谭廷栋, 作者简介见本刊 1997 年第 17 卷第 1 期。地址: (100083) 北京市学院路 910 信箱。电话: (010) 62097105。

which results mainly from the coal-bed methane desorbed and accumulated in the fractures because of the water drainage and depressurization in the early stage of constructing the coal mine. Wangyingzi area has fair prospects for coal-bed methane because the coal measure strata at this area are of the geological conditions as large thickness ,abundant resources and high permeability.

SUBJECT HEADINGS: Fuxin ,Coal - formed gas ,Geologic feature ,Resources assessment

Ning Zhengwei (senior engineer) , born in 1951 , graduated from the former Jiaozuo College of Mining in 1976. He was engaged in the research on coal field geology and oil & natural gas geology and now is engaged in the research on coal-bed methane exploration and development. He published seven articles in the public periodicals. Add: No. 197 , Funiu Road , Zhengzhou , Henan (450006) , China Tel: (0371) 8611590 —359

.....

GEOTHERMAL FIELD CHARACTERISTICS OF TANLU FAULT ZONE AND ITS NEIGHBOURING REGIONS, THERMAL SPRING GENESIS AND ITS COMPOSITION

Tao Shizhen (Research Institute of Petroleum Exploration and Development , CNPC) and Liu Deliang (China University of Science and Technology) . *NATURAL GAS IND.* v. 20 , no. 6 , pp. 42 ~ 47 , 11/ 25/ 2000. (ISSN 1000-0976 ; **In Chinese**)

ABSTRACT: The geothermal field characteristics , thermal spring genesis and its gas composition in East China are analyzed by use of the principles and methods of tectonic dynamics , geothermics and geochemistry in the paper. The geothermal fields in East China are of the areal and zonal properties , in which the Tanlu fault zone is an active zone of high geotherm , being closely related to its tectonic portion and to the tectonic events since Indosinian movement. The formation of the thermal springs developed in Tanlu fault zone and its neighbouring regions is connected with existential heat source bodies , regional tectonics , faults and underground circulation , heat conductivities of the basement and caprocks , etc. The gas composition of the thermal springs is mainly the N_2 , most of them being more than 90 % ; the change in CO_2 content is wide , most of them being less than 1.00 % ; the CH_4 and He are below 1.00 % ; most of Ar are 1.00 % ~ 1.50 % ; and the H_2 are under 0.1 % . The changes in the carbon isotope and oxygen isotope are wide , $^{13}C = -21.33\text{‰} \sim -6.02\text{‰}$ (PDB) and $^{18}O = 8.85\text{‰} \sim 38.95\text{‰}$ (SMOW) , a fairly good correlativity , however , is found between both of them. The research results indicate that the gases in the thermal springs are of the characteristics as polycomponent and multisource , which depend on the tectonic stress fields in East China at present and the active properties of the Tanlu faults.

SUBJECT HEADINGS: East , Geothermal energy , Fault Zone , Natural gas , Tanlu

Tao Shizhen (postdoctoral student) , born in 1966 , graduat-

ed from the China University of Science and Technology and received his Doctor's degree in 1999. Now he is engaged in the research on natural gas geology and geochemistry. Add: Geological Department , POB 910 , Beijing (100083) , China Tel: (010) 62097380

.....

OIL AND GAS RESERVOIRS DISCOVERED BY LOG INTERPRETATION

Tan Tingdong (Research Institute of Petroleum Exploration and Development , CNPC) . *NATURAL GAS IND.* v. 20 , no. 6 , pp. 47 ~ 50 , 11/ 25/ 2000. (ISSN 1000-0976 ; **In Chinese**)

ABSTRACT: Log interpretation methods are the effective means of discovering oil and gas reservoirs. Various conclusions may be obtained , when electric log interpretation method is only used for evaluating oil-gas reservoir. An oil reservoir , however , can be differentiated from a gas reservoir in the electric-log-interpreted oil-gas reservoir by a combination interpretation of the electric logging integrated with the nuclear logging and acoustic logging or sidewell coring. In the oil and gas exploration history of China there were many cases which gas show wasn't being found in exploration well logging , but a gas reservoir was discovered by log interpretation at last. In the paper through analyzing several representative cases , the considerably useful methods and experiences of discovering oil and gas reservoirs by log interpretation are expounded and some bases are provided for the explorers to discover the oil and gas reservoirs in new areas , new strata and new realms , thus raising the beneficial results of natural gas exploration in China.

SUBJECT HEADINGS: Natural gas exploration , Well logging , Technique , Gamma logging , Sidewell coring , Application

Tan Tingdong's introduction: See , v. 17 , no. 1 , 1997. Add: POB 910 , Xueyuan Road , Beijing (100083) , China. Tel: (010) 62097105

.....

GEOLOGICAL MODELLING FOR THE GAS RESERVOIR AT JINGBIAN REGION IN CHANGQING GAS FIELD

Li Yuanjue (Research Institute of Exploration and Development , Changqing Oil Field Company , PCL) and Feng Junxiang and Zhao Hongmin (Down-hole Operation Company of Changqing Petroleum Exploration Bureau) . *NATURAL GAS IND.* v. 20 , no. 6 , pp. 50 ~ 54 , 11/ 25/ 2000. (ISSN 1000-0976 ; **In Chinese**)

ABSTRACT: In accordance with the major problem with the strong heterogeneity of Lower Paleozoic carbonate reservoir at Jingbian region , the geological research and gas reservoir description results at Jingbian region in Changqing gas field were quantitatively transformed by taking random simulation mod-