

民和盆地天然气地球化学特征^{*}

张虎权^{1,2} 卫平生² 王廷栋¹ 林卫东² 张景廉²

(1.西南石油学院 2.中国石油勘探开发研究院西北分院)

张虎权等.民和盆地天然气地球化学特征.天然气工业,2005;25(11):10~13

摘要 对民和盆地天然气地球化学特征进行研究,发现其天然气主要为煤层甲烷气和二氧化碳气,分析气源岩地球化学与天然气碳、氢、氧同位素,认为气源岩主要为中侏罗统窑街组的暗色泥岩、油页岩、藻煤、腐殖煤和炭质泥岩,其中暗色泥岩、油页岩、藻煤为I—II型干酪根,有机质丰度高;盆地煤层甲烷气为有机成因气,具有油型与煤型混合气特征,以油型气为主;煤层高浓度二氧化碳气不是有机成因气,也不是岩石化学热解无机成因气,而可能是与F19断裂带有关的深部无机成因气。甲烷气形成时间早,埋藏浅,大多逸散丢失而未形成气藏。CO₂气形成时间晚,来自深部,可以在合适的断层圈闭中聚集藏。

关键词 民和盆地 天然气 地球化学 有机成因 无机成因

民和盆地位于甘、青两省交界地带,面积11300 km²,自1935年以来已有近70年的勘探历程,总计钻石油探井64口,其中有43口井见油气显示;钻煤孔63口,有43口见油气显示,发现虎头崖油田和海石湾井田区油藏,同时发现地面油苗70余处,盆地石油资源量超过3×10⁸t,炭山岭、大滩、大有、窑街、海石湾等地煤炭地质储量达10.39×10⁸t,窑街煤矿的煤层甲烷气储量达14.71×10⁸m³,窑街—海石湾井田区CO₂地质储量达18.39×10⁸m³,民参1井、巴参1井钻遇多层气显示,展现了盆地良好的油气勘探前景。

一、气源岩地球化学特征

民和盆地地层层序自下而上划分为下侏罗统大西沟组、中侏罗统窑街组、上侏罗统享堂组,下白垩统大通河组、河口组、上白垩统民和组,下第三系西宁群、上第三系贵德群和第四系^[1]。气源岩主要为中侏罗统窑街组的暗色泥岩、油页岩、藻煤、腐殖煤和炭质泥岩。其中暗色泥岩、油页岩、藻煤为I—II型干酪根,有机质丰度高,泥岩和油页岩的有机碳含量平均值分别达1.489%和10.25%,氯仿沥青“A”含量平均值分别达0.304%和0.278%^[2];腐殖煤,炭质泥岩为III型干酪根。据地震、钻井资料分析,窑

街组气源岩主要分布在永巴坳陷及盆地周边窑街、海石湾、大滩、大有及炭山岭等地。

除大滩地区的煤为褐煤($R_o=0.4\%$)外,其它地区的气源岩均为低熟—成熟。窑街煤矿的镜煤反射率 R_o 为0.6%~0.8%,海石湾井田区的 R_o 较高,为0.8%~1.07%,除与该区的煤层埋藏较深有关,还与该区深部有地热异常有关。巴州地区深部的窑街组地层缺乏 R_o 资料,但其气源岩的OEP为1.03,表明已成熟,民参1井的高压气井喷亦显示了这点。

二、天然气地球化学特征

根据油源对比地球化学资料,表明民和盆地原油主要来自干酪根类型较好的暗色泥岩和油页岩。而盆地天然气(尤其是煤层甲烷和二氧化碳气)的源岩是煤还是其它源岩,这种气是煤型气还是油型气,是有机成因还是无机成因气,尚无人作过深入研究,下面根据目前的地球化学资料对此作一讨论。

1. 煤田煤层气地球化学特征

(1) 气体组分特征

民和盆地是一个产煤的盆地,煤矿生产过程中常见从煤层或相邻岩层和采空区释放的各种气体,这些气体通常叫瓦斯,又称为煤层气。就气体组分而言,煤层气含有烃类组分(甲烷同系物)和非烃类

^{*} 本文为中国石油吐哈油田分公司科研项目“民和盆地资源潜力及远景评价”的部分成果。

作者简介:张虎权,1963生,高级工程师;1988年毕业于西南石油学院勘探系,主要从事石油地质研究工作,现为西南石油学院博士研究生。地址:(730020)甘肃省兰州市雁儿湾路277号。电话:(0931)8686130,13038796982。E-mail:zhang_hq@petrochina.com.cn

组分(主要有氮、二氧化碳、汞蒸气和稀有气体组分等)。民和盆地各煤矿煤层气普遍含氮、二氧化碳等非烃类气体,其含量相对占优势,变化较大,主要取决于风化带的影响。烃类气体以甲烷为主,变化于0.48%~68.79%,多在20%以上,重烃含量较高,在1.25%~17.03%,一般在4.1%以上, $C_1/C_1 \sim C_5$ 比值在0.80~0.87,具有煤化作用中期(油气兼生期)煤层气的特点。

(2) 甲烷同位素组成特征

① 甲烷碳同位素组成特征。煤层气的 $\delta^{13}C_1$ 值的变化与煤的演化阶段有关,我国煤成气的 $\delta^{13}C_1$ 值范围为 $-66.4\text{‰} \sim -24\text{‰}$,而处于煤化作用中期(油气兼生期)至后期的煤层气 $\delta^{13}C_1$ 值范围为 $-41.77\text{‰} \sim -24.9\text{‰}$ (1985,戴金星)。窑街煤层气甲烷碳同位素 $\delta^{13}C_1$ 值变化有随着煤的变质程度(成熟度)增加而增大的特征, $\delta^{13}C_1$ 值的变化范围较广,为 $-69.92\text{‰} \sim -31.30\text{‰}$ (表1),表明煤层气既有煤

化作用期的生物气($\delta^{13}C_1 < -55\text{‰}$),又有煤化作用中期(油气兼生期)的热降解气($\delta^{13}C_1$ 为 $-50\text{‰} \sim -35\text{‰}$),也有煤化作用后期过成熟阶段的热裂解气($\delta^{13}C_1 > -32\text{‰}$)(图1)。

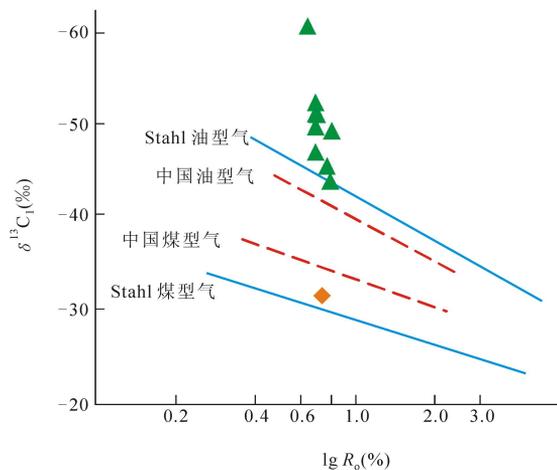


图1 煤层甲烷气的 $\delta^{13}C_1$ 与气源岩 $\lg R_o$ 关系图

表1 窑街煤田煤层气(中侏罗统)甲烷碳、氢同位素分布

采样位置	R_o (%)	$\delta^{13}C_1$	δD_{CH_4}	地区
煤2层	0.70~0.76 (长烟煤)	-46.27~-50.32 -49.16(4)	-130.80~-199.00 -163.05(4)	皮带南井
煤2层	0.70~0.75 (不粘煤)	-31.30~-69.92 -54.27(11)	-186.40~-272.50 -227.8(11)	一号井南区
煤2层	0.78~1.03 (弱粘煤)	-32.76~-44.08 -36.88(6)	-184.20~-277.50 -222.65(6)	海石湾井田区

征。甲烷的氢同位素组成受沉积环境、母质特征和热演化程度的影响。 δD_{CH_4} 变化范围很大,同一环境形成的母质,随演化程度增加所形成的天然气的 δD_{CH_4} 具增大的趋势。窑街煤田煤层气甲烷 δD_{CH_4} 值变化范围广,在 $-130.80\text{‰} \sim -277.50\text{‰}$ 之间(表1、图2),根据 Schoell(1980)提出的天然气甲烷 δD_{CH_4} 与 R_o 的关系式: $\delta D_{CH_4} = 35.5 \lg R_o - 152$,利用徐永昌、沈平等所确定的判识油型气、煤型气的参数^[4,5],结合前述气体组分特征可知,这些煤层气具有油型(腐泥质)和煤型(腐殖质)混合气的特征,为山间凹陷型湖泊、沼泽相沉积环境气源岩在成熟热演化阶段的产物。

2. 巴参1井、民参1井天然气地球化学特征

巴参1井、民参1井位于巴州地区同一构造上,相隔不到100m,两井均证实不仅有多层含油层,而且还有含气层。民参1井至少有3层气显示(表2),于3879.27m钻遇高压气层,因事故未试气。巴参1

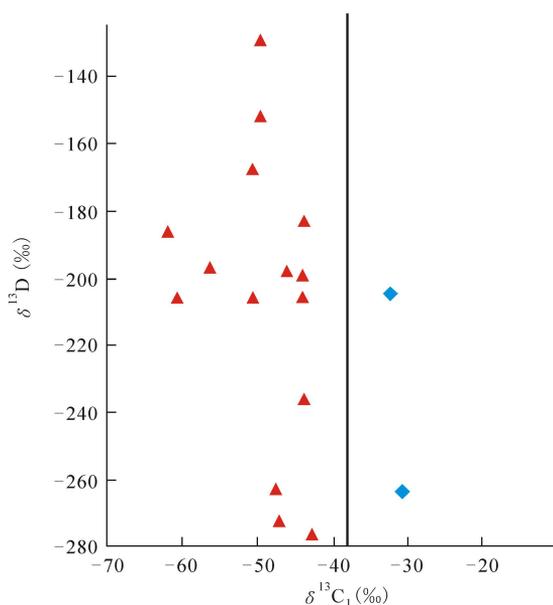


图2 煤层甲烷气的 $\delta^{13}C_1$ 与 δD_{CH_4} 关系图

表2 民参1井气显示及气体组分分析

地层	井深(m)	全烃(%)	重烃(%)	对比系数	全烃/重烃	气体组分			
						甲烷	乙烷	丙烷	氦
西宁群	890~1096	0.45~0.819	0.38~0.79	9~20.4	1.09				
窑街组	3800~3841	0.16~0.476		4.2	1.56	98.5	1.35	0.13	
窑街组	3872.7~3876.5	37.6	1.97	300	19.09	92.19	7.06	0.63	0.142

井气层位于 3535.1~3539.5 m 井段,气层厚 4.4 m。根据地层压力测试资料,该井段的压力梯度达到 2.15 MPa/100 m,估计是一个高压气层,有望获得产能。

巴参1井经高峰期测试,全烃达 99.99%,其中甲烷 70%,乙烷 8.14%,丙烷 3.56%,异丁烷 1.03%,正丁烷 1.795%,异戊烷 0.302%,重烃含量高。烃类气体组分的碳同位素测定结果为: C_1 -39.5($\delta^{13}C_{PDB}$ ‰), C_2 -28.5‰, C_3 -22.7‰, iC_4 -23.8‰, C_4 -19.4‰, iC_5 -21.8‰, C_5 -17.9‰,甲烷相对富集 ^{12}C ,甲烷与乙烷、丙烷之间的差值较大,分别为 $\Delta^{13}C_{2-1}$ 为 11‰, $\Delta^{13}C_{3-1}$ 为 16.8‰,巴参1井天然气的气体组分表明气源岩的成熟度不是很高,且应为油型气。

3. 二氧化碳气体的地球化学特征

CO_2 也是一种重要的天然气资源,民和盆地窑街煤矿于 1977、1978 年发生过两次 CO_2 突出事件,虽然造成了重大经济损失和人员伤亡;但为我们研究 CO_2 的地球化学特征提供了重要资料。

(1) 二氧化碳气体的分布特征。①民和盆地有 3 个高 CO_2 气藏:獐儿沟、马家岭、海石湾井田区,其 CO_2 气储量分别为 $3.39 \times 10^8 m^3$ 、 $1.17 \times 10^8 m^3$ 和 $13.83 \times 10^8 m^3$,总储量为 $18.39 \times 10^8 m^3$;其中海石湾井田区的 CO_2 气储量占了总储量的 75%。②同一钻孔中 CO_2 组分含量随深度而增加(如窑街煤矿 589 孔,从 175~230 m, CO_2 含量从 78.22%~97.85%;576 孔,从 286~391 m, CO_2 含量从 25.34%~78.68%;569 孔,从 357~438 m, CO_2 含量从 31.07%~87.93%),由于 CO_2 组分增加, CH_4 、 N_2 则相应降低。③突出区 CO_2 含量自 1977 年至今一直保持稳定,均在 85% 以上,表明了突出区下部有一个相当稳定而丰富的补给区,且来源也比较单一。④窑街煤田两次 CO_2 气体突出点和 3 个高 CO_2 气藏均分布在靠近 F19 断裂带的西侧, CO_2 含量的变化规律是:远离 F19 断裂带向西, CO_2 含量渐次降低。

(2) 二氧化碳气体的碳、氧同位素组成特征。根据窑街煤田突出区及高 CO_2 气体区的气样分析结果

表明(图 3), CO_2 气的碳、氧同位素组成具有如下特征^[6]:①突出区 CO_2 的 $\delta^{13}C$ 值主要为 -3.44‰~-6.15‰,远离突出点, $\delta^{13}C$ 值降低,这与 CO_2 含量的变化一致。②上述变化趋势与 F19 断裂带有关,即向西远离 F19 断裂带, $\delta^{13}C$ 值逐渐降低。③海石湾井田区的 $\delta^{13}C$ 值也是如此,远离 F19 断裂带, $\delta^{13}C$ 值降低。④突出区 CO_2 的 $\delta^{13}C$ 值一直比较稳定,1978 年 CO_2 突出后取样分析, $\delta^{13}C$ 介于 -0.55‰~-4.64‰,平均为 -3.34‰;90 年代初期,对突出点再次进行采样, $\delta^{13}C$ 值分别为 -4.89‰、-4.24‰、-4.01‰。

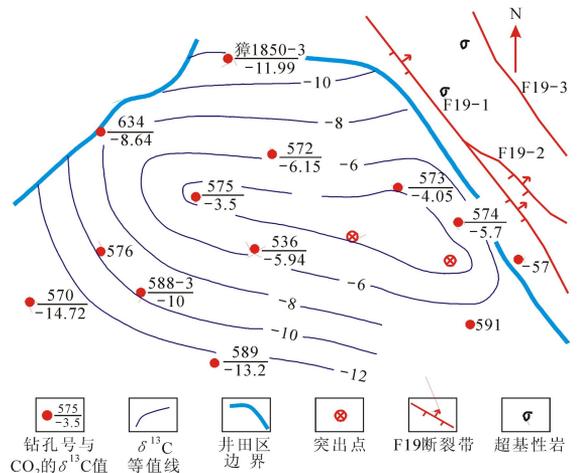


图3 突出区 CO_2 的 $\delta^{13}C$ 值平面分布等值线图

(据陶明信改编)

1. 钻孔号与 CO_2 的 $\delta^{13}C$ 值; 2. $\delta^{13}C$ 等值线;
3. 井田区边界; 4. 突出点; 5. F19 断裂带; 6. 超基性岩

经与大气 CO_2 及其它成因 CO_2 的 $\delta^{18}O$ 值、 $\delta^{13}C$ 值,突出区邻区 CO_2 的 $\delta^{13}C$ 值等的比较,突出区 CO_2 既与有机岩石(油页岩、煤、炭质泥岩)无关,也与烧变岩等不同,与其它不同存在形式的 CO_2 的 $\delta^{13}C$ 也不一致。

三、讨论

多年来,窑街地区高浓度 CO_2 气的来源及成因一直众说纷纭,在此,笔者打算从 CO_2 气的分布特

征、产出的地质背景,结合同位素地球化学资料谈谈自己的一点见解。

(1)目前地质勘探已查明,獐儿沟、马家岭、海石湾井田区3个高CO₂气藏中,仅獐儿沟地区分布有烧变岩,其它两个地区均没有钻遇烧变岩,因此,烧变岩与CO₂的成因关系便可排除,CO₂碳同位素证据也表明烧变岩不是CO₂的气源岩。

(2)窑街地区目前所见的岩浆活动主要是加里东末期的超基性岩侵入(同位素年龄为323~366 Ma),另外,亭堂峡花岗岩体的同位素年龄更老些,为403 Ma,这些岩浆活动明显早于中生代的侏罗系煤系地层。由于这些岩体使前寒武纪的大理岩热解,从而使生成的高浓度CO₂气体似乎不大可能储集在侏罗纪窑街组地层中。尽管还有一次后期热液活动(超基性岩蚀变绿泥石的同位素年龄为15.87 Ma),但无论从它的规模、强度,均不足以使碳酸盐岩热解生成如此大量的CO₂气体,尽管从 $\delta^{13}\text{C}$ 值上看,似乎十分一致;另外,在海石湾井田区的60多个钻孔中也始终未钻遇大理岩,看来岩石化学的无机成因说证据不足。

(3)根据野外观测分析及同位素年代学数据,区内F19断裂在加里东期即已形成,历经海西、印支、燕山等构造期,上述提到的蚀变绿泥石的同位素年龄表明第三纪后期还有一次构造热事件,说明了这一断裂带一直在活动,断距达1000 m以上。而海石湾井田区CO₂的分布又与该区地热异常的分布一致。正是这种不断的构造活动,为地壳深部的CO₂气体提供了上升通道,创造了CO₂在煤层中富集的条件。超基性岩沿F19断裂带的侵入分布正是F19断裂带切割深部的佐证。

(4)突出区及F19断裂带附近钻孔中CO₂的 $\delta^{13}\text{C}$ 数据更为上述成因提供了重要的同位素地球化学证据。

(5)煤岩样品的热解可以生成CO₂气体,这是众所周知的。可在中国众多的煤矿中,却仅有3个煤矿发生过CO₂气的突出(吉林营城煤矿,1975;吉林延边和龙煤矿,1984,1986;甘肃窑街煤矿,1977,1978),这个比例远小于千分之一,许多地质事件的叠加作用,也不足以生成如此大量的高浓度CO₂气体,可见煤矿中CO₂突出事件与煤系地层联系起来

是很不确定的。再说,热模拟生成大量CO₂的现象与地质实际的矛盾也早为地球化学家所注意到。同位素的分析也排除了CO₂气与有机岩石有关的可能性。相反,我们在东部非煤系地层中发现了一些高浓度CO₂气体,如吉林万金塔气藏、黄骅坳陷翟庄子气田、济阳坳陷平方王油气田、苏北黄桥、广东三水等,还有一些温泉中的高浓度CO₂,它们大多是无机成因的^[7]。

四、结 论

(1)民和盆地煤层甲烷气具有油型和煤型混合气的特征,以油型气为主。

(2)CO₂气藏的成因不是由于岩浆岩对碳酸盐岩的热解岩石化学作用,与烧变岩也无关,而可能是由于与F19断裂带有关的深部来源所致。

(3)煤层甲烷气与CO₂气的同位素地球化学研究,表明了两者的不同源产物,前者系有机成因,后者为无机成因。

(4)甲烷气形成的时代可能早于CO₂气。由于CO₂气的深部来源,它可以在合适的断层圈闭中储集,从而成为今天采煤掘进过程中的一个“定时炸弹”,造成地质灾害;而甲烷气由于形成时间早,又由于煤层埋藏浅,所以大多逸散丢失而未形成气藏。

参 考 文 献

- 1 张虎权,扬中轩.民和盆地的构造特征.石油实验地质,1996;18(3):283~288
- 2 张虎权.民和盆地油气藏形成地质条件.勘探家,1998;3(7):20~26
- 3 张景廉.民和盆地石油地质学及地球化学若干问题.石油地质,1994;10(1):7~21
- 4 徐永昌等.天然气成因理论及应用.北京:科学出版社,1994:209
- 5 沈平等.气源岩和天然气地球化学及成气机理研究.甘肃兰州:甘肃科技出版社,1991:120~121
- 6 李兆兴等.窑街煤田碳酸盐岩与突出气体的同位素组成特征.沉积学报,1992;10(1):93~100
- 7 宋岩等.中国东部温泉气的组合类型及其成因初探.天然气地球科学,1991;5:199~202

(收稿日期 2005-07-11 编辑 黄君权)