

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2014.03.013

渭河盆地地热水溶气资源分布规律

张 雪¹, 刘建朝¹, 李荣西¹, 王行运², 翁 凯¹

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054;

2. 中国石化集团华北石油局三普石油工程公司, 陕西 咸阳 712000)

摘要: 渭河盆地地热水溶气资源丰富, 但成分、成因、分布特征复杂。通过选择位于不同构造单元, 不同完井深度的地热水井进行地热水及天然气样品的采集并送样分析, 研究地热水特征, 天然气的组分、成因及水气关系, 结合天然气聚集成藏因素分析, 对气体赋存的有利区域进行预测。研究表明, 渭河盆地地热水化学类型相对复杂, 地层温度及压力对天然气在水中的溶解度影响较大; 盆地中最具有工业价值的天然气组分为壳源氦气及生物成因可燃气; 根据气体源岩的分布, 储盖组合特征, 结合影响水溶气富集的因素, 对氦气富集有利区和可燃气有利区进行了预测。

关键词: 富氦水溶气; 可燃水溶气; 资源分布有利区; 渭河盆地

中图分类号: P612; P618.13 **文献标识码:** A

0 引言

渭河盆地是位于鄂尔多斯盆地与秦岭造山带之间的一个 EW 向展布的新生代断陷盆地^[1]。通过历年来的调查研究已经证实渭河盆地具有丰富的地热资源及水资源^[2-4], 此外通过地震、钻探以及取样分析研究发现, 渭河盆地地热水中还富含多种成分、多种成因的天然气资源。

渭河盆地地热水溶气成分十分复杂, 主要包括烃类气体、非烃类气体以及惰性气体; 成因类型具有“异岩多源”的特点, 即地壳深部幔源气与壳源气的混合, 深部无机气与沉积层中有机气的混合, 不同地区不同源岩、不同母质类型气体的混合(煤型气、油型气), 不同成熟度气体的混合(未成熟、高成熟、过成熟), 不同运移机制的混合^[5]。渭河盆地蕴含着巨大的资源潜力, 研究该地区的地热水特征, 对盆地的构造及多源气体的成因进行分析, 讨论相关气体的分布规律, 预测气体资源富集的有利区域, 可以为下一步的研究及勘探工作提供重要的地质资料。

1 区域地质概况

渭河盆地位于陕西省中部, 西起宝鸡陇县, 东至韩城—潼关, 北部以淳化—耀县—白水一线为界, 南以秦岭北缘断裂为界。东西长约 360 km, 东部宽 70 km, 西部宽 20 km, 总面积为 22 000 km²。

1.1 构造体系对盆地的影响

渭河盆地是叠加在燕山期隆起之上的喜马拉雅期断陷盆地。影响渭河盆地形成的构造体系有秦岭纬向构造体系、祁吕贺兰山字形构造体系(祁吕系)^[6]、新华夏构造体系(新华夏系)以及陇西旋卷体系(陇西系)^[7], 该盆地处于这 4 个巨型构造体系的复合交汇地区。

祁吕系东翼与新华夏系的复合使祁吕弧过早地偏向 NNE 方向, 使这一地区重接部位的构造活动得到加强。祁吕系和秦岭纬向构造体系的复合, 基本控制了区内近 EW 向和 NE 向断裂的分布。在陇西系与祁吕系的复合处, 由于陇西系形成稍晚, 所以盆地西部地区基本纳入陇西系的控制之下, 祁吕弧

收稿日期: 2014-03-17; 改回日期: 2013-06-13; 责任编辑: 余和勇

基金项目: 中国地质调查局项目(编号: 12120113040200)资助。

作者简介: 张雪(1986-), 女, 博士研究生, 主要从事渭河盆地天然气地质的研究。通信地址: 陕西省西安市雁塔路南段 126 号, 长安大学(雁塔校区); 邮政编码: 710054; E-mail: 36549092@qq.com

的形迹并不明显。秦岭纬向构造体系与新华夏系的复合,使它们各自在对方薄弱地段出现,互相穿插,表现出不甚明显的截接关系。这些构造体系在渭河盆地周边交汇在一起,互相穿插、干扰和利用,发生复合和联合,使得渭河盆地在它们的影响下形成一个非常复杂的构造图象^[8](图 1)。由于受到多种构造体系的联合控制,盆地内断裂构造十分发育,并影响着盆地中构造单元、沉积相的划分以及水溶气的运移和保存。

1.2 盆地中的断裂构造

渭河盆地中的断裂构造十分发育,走向多为近 EW 向、NE 向和 NW 向,断裂性质多为高角度正断层。EW 向者延伸长、断距大、形成早,经历过多次活动,不同活动期的力学性质有所不同,根据渭河盆地的演化过程,结合断裂构造的表现形式,一般认为此类断裂多具有先压后张性质;NE 向和 NW 向断层为同期的剪切断裂,在北山地区表现最为明显,在老地层中常以 X 型节理出现^[9]。渭河盆地断裂构

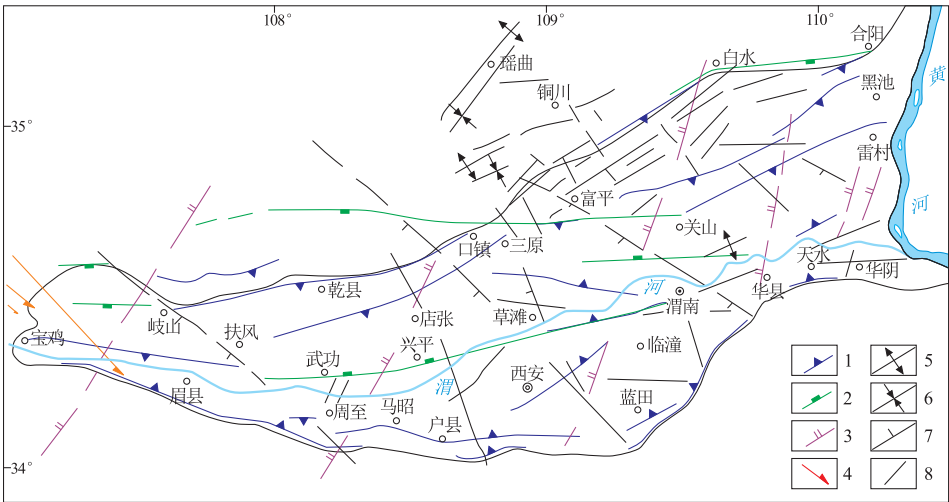


图 1 渭河盆地构造形迹略图^[8]

Fig. 1 Sketch map of structural features in Weihe

1. 祁吕贺山字型构造; 2. 秦岭纬向构造; 3. 新华夏构造; 4. 陇西旋卷构造;
5. 背斜; 6. 向斜; 7. 北西向构造; 8. 南北向构造

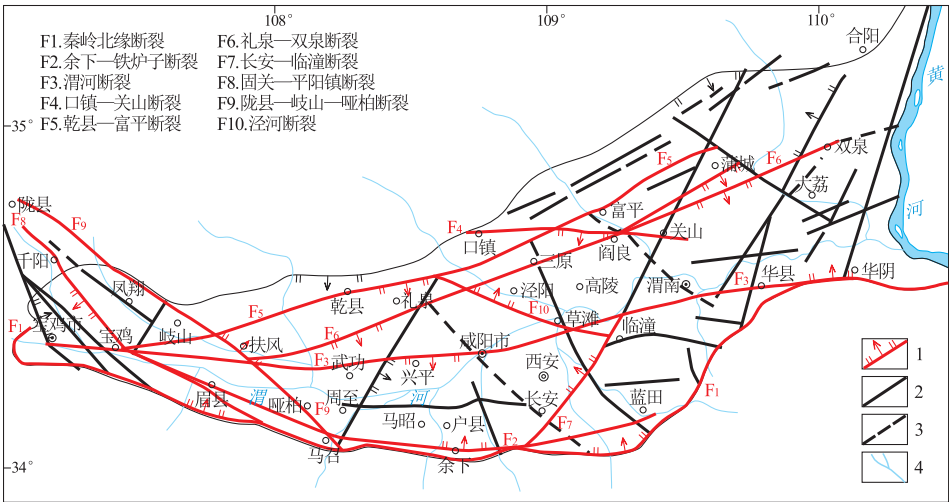


图 2 渭河盆地主要断裂构造图分布图^[5]

Fig. 2 Distribution map of major faults in Weihe

1. 正断层; 2. 断层; 3. 推测断层; 4. 河流

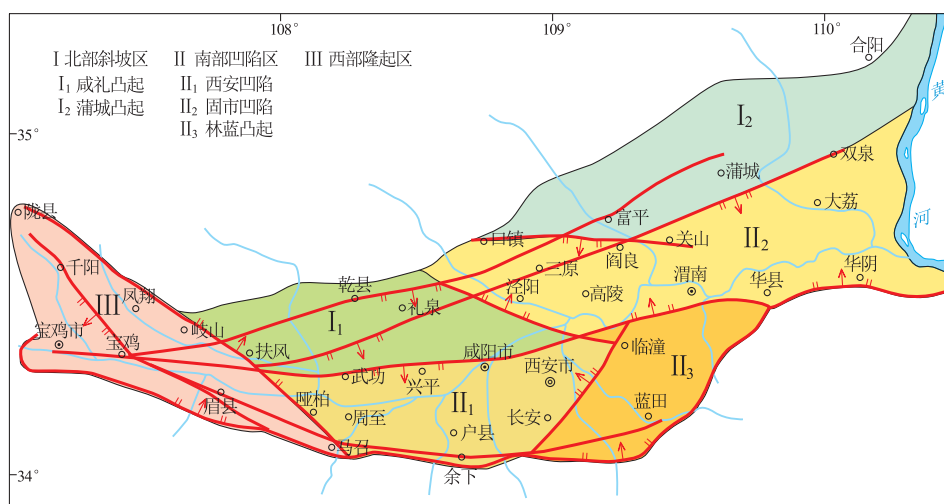


图3 渭河盆地构造单元划分图

Fig. 3 Map showing tectonic unit division in Weihe

造皆为高角度正断层,断裂倾角多为 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$,断距较大,通常 >1 km,且近 EW 向断裂的断距一般大于 NE 向和 NW 向断裂,渭河盆地南缘断裂的断距远大于盆地北缘断裂。主要断裂包括秦岭北缘断裂、余下—铁炉子断裂、渭河断裂、口镇—关山断裂、乾县—富平断裂、礼泉—双泉断裂、长安—临潼断裂、固关—平阳断裂、陇县—岐山—哑柏断裂、泾河断裂(图 2),这些断裂对构造单元的划分、地层的展布以及地热水溶气的运聚、分布都起着重要作用。

1.3 盆地构造单元的划分

分析盆地内地震、测井等地球物理资料,结合盆地基底、盖层、沉降以及构造特征等,可以将渭河盆地划分为 3 个大区和 5 个次级构造单元(图 3)。

①北部斜坡区(I):位于盆地的北部,大致以渭河断裂(F_3)和礼泉—双泉断裂(F_6)一线为界,基底地层以古生界碳酸盐岩为主,埋深较浅,新生界盖层厚度中等,包括咸礼凸起(I_1)和蒲城凸起(I_2)2 个次级构造单元,其中蒲城凸起具有由北部斜坡区向南部拗陷区过渡的性质;②南部拗陷区(II):位于渭河断裂(F_3)和礼泉—双泉断裂(F_6)一线以南,基底以太古宇和元古宇为主,新生界盖层发育,分为西安凹陷(II_1)、固市凹陷(II_2)和临潼凸起(II_3)3 个次级构造单元组成,其中固市凹陷具有由南部拗陷区向北部斜坡区过渡的性质;③西部隆起区(III):位于渭河盆地最西端,即陇县—岐山—哑柏断裂以西,基底为白垩系碎屑岩,盖层厚度不大。

2 渭河盆地地质特征

渭河盆地具有典型的双层结构,前新生界统称为基底,新生界则为盖层。

2.1 基底特征

渭河盆地为“南断北超”的箕状凹陷,根据地球物理资料、钻井资料和地质调查资料综合分析表明,渭河盆地的基底结构大致以渭河断裂和礼泉—双泉断裂为界,划分为 2 个大区(图 4):断裂北部为斜坡带,地层主要为古生界和中生界的沉积岩;南部为拗陷区,基底主要由太古宇、元古宇变质岩系以及中生代花岗岩体构成,以长安—临潼断裂和泾阳断裂为界,南区又可以进一步分为东部的太古宇变质岩区和西部的元古宇变质岩区。

2.2 盖层特征

渭河盆地的新生界自下而上为:古近系始新统红河组、渐新统白鹿原组;新近系中新统高陵群、上新统蓝田—灞河组、张家坡组;第四系下更新统三门组、中上更新统秦川群。盆地中的沉积相主要为河流相、湖泊相交替出现,不同时期、不同构造单元的沉积相不同。新近纪以来,南部拗陷区中西安凹陷和固市凹陷的沉积相差异愈见明显,尤其在张家坡组沉积时,西安凹陷表现为河湖相沉积的氧化-弱氧化环境;固市凹陷则为湖相沉积为主的弱还原-还原环境,这对盆地中富氮水溶气的保存和可燃水溶气的生成都有重要的影响(表 1)。

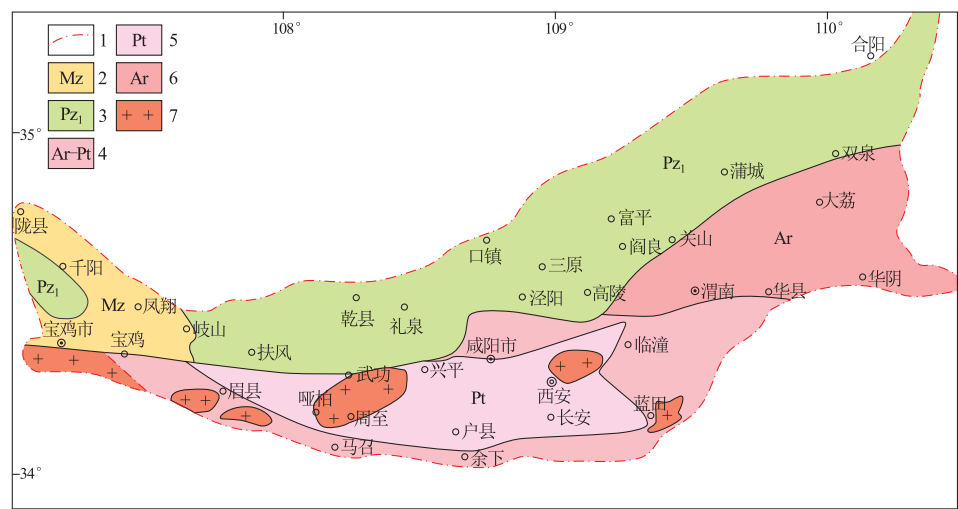


图 4 渭河盆地基底岩性分布略图^[10]

Fig. 4 Map showing lithology distribution in basement in Weihe

1. 盆地边界;2. 中生界碎屑岩;3. 下古生界碳酸盐岩;4. 太古宇—元古宇;
5. 元古宇;6. 太古宇变质火山岩;7. 侵入岩

表 1 渭河盆地盖层岩性及沉积相简表

Table 1 Lithology and sedimentary facies of cover layer in Weihe

地层				厚度/m	岩性简述	沉积相		
界	系	统	群					
新 生 界	第四系	中上更新统	秦川群	Q ₂₋₄ qc	700	浅黄-灰黄黏土、松散细砂岩、砂砾互层	洪积相、河湖相	
		下更新统	三门组	Q ₁ s	500	浅黄-浅棕黄黏土层、砂质黏土层与浅灰色粉、细砂岩不等厚互层	河湖相为主	
				张家坡组	N ₂ z	800	暗色-灰绿-浅棕-红色泥岩，夹松散灰色粉砂岩	河湖相-湖相
		新近系	上新统	永乐店群	蓝田-瀋河组	N ₁ l+b	500	下部黄棕色、紫褐色泥岩与砂岩、砂砾岩互层；上部深红色黏土及棕红色、灰白色砂岩、砾岩
	中新统				高陵群	N ₁ gl	700	褐色泥岩与浅灰-灰白色细-中砂岩，灰白色砾岩、含砾砂岩不等厚互层
	古近系		渐新统	白鹿原组	E ₃ b	500	灰白色块状粗-中砂岩，夹黄棕色、褐色泥岩	河流相为主
		始新统	红河组	E ₂ h	200	紫红色泥岩，夹灰黄-灰绿色砂岩、粉砂岩	洪积相-河湖相-河流相	

3 地热水特征

3.1 地热水地球化学特征

渭河盆地地热水化学类型很多,其中阳离子以 Na⁺ 为主, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 含量少,阴离子以 Cl⁻, SO₄²⁻ 为主, HCO₃⁻ 型热水较少。水化学类型以双重离子复合的 SO₄ · HCO₃ - Na 型为主, SO₄ · Cl 次之;其次为单一离子型 SO₄ - Na 型和 Cl - Na 型;少部分为 3 种离子的复合型。研究表明,不同构造单元的水化学类型差异较大,南北凸起区的水

化学类型多而复杂,凹陷区的类型相对简单;作为地热水的运移通道,不同构造单元的断裂带选择性地对流体进行吸附及运移,导致在较大的构造单元内尽管水化学类型比较复杂,但靠近断裂带的水化学类型却相对单一;浅部的水化学类型比较复杂,种类较多,而深部则较为简单。

3.2 地热水与天然气的关系

地热水溶气即为溶解于地热水中的天然气,其中天然气相当于溶质,地热水为溶剂。地热水的温度、压力、矿化度对水溶气的成分及溶解度都有重要影响。

温度影响甲烷在水中的溶解度^[11]。当温度低

表 2 渭河盆地主要地热井地热水含气状态表

Table 2 Situation of gas-bearing geothermal water in the main geothermal wells in Weihe

井别	p_r/MPa	p_t/MPa	p_r/p_t	水温($^{\circ}\text{C}$)/水量(m^3)	气体状态
三普 1 号	24.18	23.72	1.019	91/182	气体主要呈溶解状态,在适当的地质条件下,可能有游离气体聚集
三普 2 号	27.54	27.04	1.018	94/183	
202 所	21.90	21.44	1.021	91/149.7	
秦都 2 号	14.56	14.20	1.025	68/71.0	
华兴金浪	15.83	15.65	1.011	80/55.0	
武功 5702 厂	24.86	24.46	1.016	104/150.0	
天运	23.58	23.28	1.012	96/136.6	
帝都	17.17	16.75	1.023	80/82.48	
505 大学	23.84	23.17	1.028	92/155.25	
陕汽花园	20.86	20.34	1.025	80/194.47	
电业职大	35.30	34.00	1.038	108/230.0	
四军大	29.30	28.3	1.035	98/96.85	
省委八号院	29.92	28.59	1.0468	112/212.0	
西京公司	33.09	31.82	1.0399	110/121.01	
051 基地	23.87	23.20	1.029	105/242.0	
西部渔港	21.25	21.15	1.0047	80/80.0	
185 队	17.37	17.27	1.0058	74/98	

注: p_r 为地层压力; p_t 为静水压力。

于 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,溶解度随温度升高而逐渐变小;高于 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,溶解度随着温度的升高逐渐增大。对固市凹陷未钻透张家坡组的 4 口地热水井的水溶气进行成分分析,其甲烷平均含量可达 95%,实测地层水温度约为 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$;对另外 4 口井深达到高陵群的地热水井水溶气的分析,其甲烷平均含量为 55.19%,井口水温 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。结果表明,除了烃源岩的影响之外,地层温度对地热水溶气中甲烷的含量具有一定的影响。

压力对溶解度的影响远大于温度,而且当温度超过 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以后,溶解度与压力的关系曲线有随压力增大而散开的特征,说明在高压条件下气体的溶解度受温度的影响较大,在低压下温度的影响相对较小^[12]。在埋深较大的地层水中,特别是在高压异常带的地层水中,常伴生有丰富的高压水溶气资源。

渭河盆地富氮水溶气主要赋存于新近系蓝田-灞河组和高陵群,对应深度大致为 $1\ 500\sim 2\ 500\text{ m}$,根据推算,其地层温度大致为 $70\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$,在莫霍面凸起区以及深大断裂附近温度更高。盆地内已钻凿地热井蓝田-灞河组及高陵群的地层压力系数均 >1 (表 2),属较高地层压力,此时地热水溶气的含量大大增加。这种成藏类型相当于天然气成藏的封存箱,当箱体内外压力系数为 $1.2\sim 1.3$ 时,将导致封存箱封隔带的局部破裂,箱内流体将沿破裂涌出,形成次生运移。渭河盆地内这种箱内流体压力系数均在 1.06 以下(表 2),处于封存箱保存完整期,利于富氮水溶气的富集和保存。

此外,烃类气体的溶解度主要受总矿化度的影响,受无机盐种类的影响不大。研究表明,渭河盆地地热水都具有一定的矿化度,地热水中的矿化度和水化学类型对本区地热水溶气的溶解度影响不明显。

4 水溶气形成条件分析

4.1 氦气来源

水溶气样品在中国科学院兰州地质研究所天然气地球化学国家重点实验室检测,利用 VG 5400 稀有气体静态质谱计分析水溶气的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值(表 3),分析标准为兰州市皋兰山顶的大气,其 $R_a = ^3\text{He}/^4\text{He} = (1.4 \pm 0.03) \times 10^{-6}$ 。根据实测的氦气值 R ,可以通过二元混合模式计算出氦气中幔源氮(R_m)和壳源氮(R_c)的所占比例^[13]。幔源氮(^3He)所占比例的计算公式为:

$$^3\text{He} = [(R - R_c) / (R_m - R_c)] \times 100\%$$

式中, R 为氦气实测值; R_c 为壳源氮, $^3\text{He}/^4\text{He}$ 标准值 2.0×10^{-8} ; R_m 为幔源氮, $^3\text{He}/^4\text{He}$ 标准值 1.1×10^{-5} ; R_a 为大气氮, $^3\text{He}/^4\text{He}$ 标准值 1.4×10^{-6} 。

幔源氮是指主要存在于地幔,地球形成时从宇宙星云中带来的原始氮;壳源氮是指放射性成因的氮,由于岩石类型的不同 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值变化范围较大,通常从 $n \times 10^{-7} \sim n \times 10^{-9}$,其“典型”值为 $n \times 10^{-8}$ ^[9]。渭河盆地水溶气样品的氦同位素测定结果

表 3 渭河盆地水溶气氦同位素数值及不同来源氦气含量表

Table 3 Helium isotope values of gas soluble in water and contents of helium from different sources in Weihe basin

构造单元	成因类型	幔源		壳源		所占比例/%		附注
	标准	$^3\text{He}/^4\text{He}=1.1\times 10^{-5}$	$R/R_a>1$	$^3\text{He}/^4\text{He}=2.0\times 10^{-8}$	$R/R_a<1$	壳源氦	幔源氦	
西安凹陷	三普 1 号			$(9.02\pm 0.39)\times 10^{-8}$	0.06	99.36	0.64	壳源
	三普 2 号			$(9.39\pm 0.42)\times 10^{-8}$	0.07	99.33	0.67	壳源
	帝都			$(3.23\pm 0.74)\times 10^{-8}$	0.02	99.89	0.11	典型壳源
	电子科大			$(5.02\pm 0.31)\times 10^{-8}$	0.036	99.72	0.28	壳源
	御园			$(1.40\pm 0.06)\times 10^{-7}$	0.10	98.91	1.09	混微量幔源
	秦宝			$(4.70\pm 0.24)\times 10^{-8}$	0.033	99.75	0.25	壳源
	灵山寺			$(6.50\pm 0.38)\times 10^{-8}$	0.046	99.59	0.41	壳源
固市凹陷	渭南中医学院			$(1.49\pm 0.07)\times 10^{-7}$	0.106	98.83	1.17	混微量幔源

表 4 渭河盆地水溶气碳同位素分析结果及成因分类

Table 4 Carbon isotope analysis and genetic classification of gas soluble in water in Weihe

构造单元	井号	碳同位素特征				附注
		$\delta(^{13}\text{C}_1)$	$\delta(^{13}\text{C}_2)$	$\delta(^{13}\text{C}_1); \delta(^{13}\text{C}_2); \delta(^{13}\text{C}_3)$	$\delta(\text{CO}_2)$	
西安凹陷	三普 1 号	-31.2	-21.6	正序	-15.8	热解型煤成气
	三普 2 号	-30.0	-20.1	正序	-14.2	热解型煤成气
	电子科大	-29.3	-25.9	正序	-11.6	裂解型煤成气
	帝都	-36.2	-30.6	正序	-13.7	油型气(凝析气),混有热解型煤成气
	御园	-23.0	-24.1	反序	-21.9	深源无机气,混有裂解性煤成气
	秦宝	-55.5	-30.4	正序	-18.6	腐泥型生物气,混有煤成气
	灵山寺	-62.3	-30.6	正序	-8.9	腐殖型生物气,混有煤成气
固市凹陷	渭南中医学院	-30.8	-20.5	正序	-10.8	热解型煤成气

量的单位: $\delta(^{13}\text{C})/10^{-3}$ 。

显示(表 3),除御园井、渭南中医学院井 $^3\text{He}/^4\text{He}=n\times 10^{-7}$ 外,其余各井均表现为典型的壳源氦特征。

4.2 甲烷气来源

将水溶气样品送中国科学院油气资源研究中心地球化学重点实验室,用 VG 5400 质谱仪分析气体的碳同位素比值(表 4)。

从表 4 可以看出,渭河盆地水溶气中烃类气体的成因多样:有机-无机,油型气-煤成气,未成熟(生物)气-成熟(凝析)气均有出现。其中,有机成因的气甲烷含量相对较高,无机成因的含量较低(0.280%,御园);同一构造单元中热解型煤成气和油型气的甲烷含量较为平均(10.164%~15.917%),生物成因气的甲烷含量(17.964%,灵山寺)高于煤成气和油型气;同为煤成气,固市凹陷的甲烷含量(82.860%,渭南中医学院)远大于西安凹陷(均值10.512%)。

4.3 成藏条件研究

本区氦气的主要源岩为余下一铁炉子断裂两侧富铀的蓝田和护牧关花岗岩体,生物可燃气的源岩为固市凹陷张家坡组湖相深色泥灰岩;富氦水溶气的主要储层为蓝田-灞河组,次为高陵群,可燃水溶气的

储层为张家坡组所夹薄层砂岩或裂缝发育的泥页岩;张家坡组泥页岩为区域性盖层,其他地层中所夹厚层泥岩为局部性盖层;圈闭类型以与断裂相关的构造圈闭为主;断裂构造是水溶气主要的运移通道;由于生、储、盖纵向上配置较好,且断裂没有切穿盖层,所以保存条件较好,有利于该区天然气的聚集。

5 水溶气有利区预测

5.1 氦气有利区

(1)西安—长安氦气有利区:位于西安—长安之间,处于余下一铁炉子断裂、长安—临潼断裂交汇地带,是新生代沉积凹陷边缘向秦岭隆起区过渡的部位。该区发育秦岭山前古近系和新近系冲积扇砂体,砂体厚度大、物性好,盆地基底是由氦气的源岩富铀花岗岩组成,与古近系和新近系砂体中的富铀碎屑颗粒共同奠定了形成放射性氦气的物质基础。所以该区不但具有丰富的氦气源岩,而且古近系和新近系冲积扇砂体本身具有良好的储集条件,与张家坡组的湖相泥质盖层相配合,形成氦气富集的有利区。

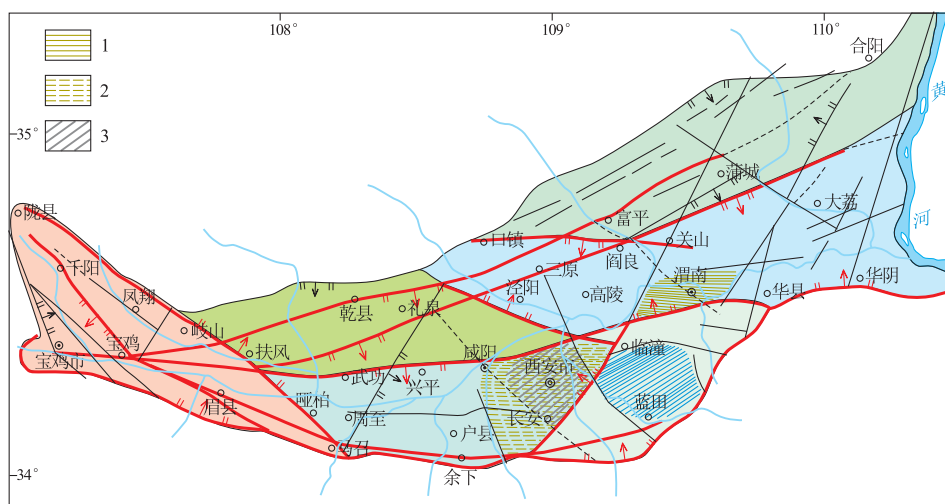


图5 渭河盆地地热水溶气资源有利区分布图

Fig. 5 Distribution map of favorable areas of gas resources soluble in geothermal water

1. 可燃水溶气有利区; 2. 可燃水溶气潜在有利区; 3. 富氨水溶气有利区

(2) 蓝田氦气有利区: 位于蓝田县一带, 秦岭山前古近系和新近系冲积扇的扇根部位, 富铀的蓝田和牧护关花岗岩的西侧, 余下一铁炉子断裂和泾河断裂的交汇处, 储盖配合良好, 水量充足, 是氦气富集的良好区。

氦气虽然在盆地中广泛分布, 但资源潜力最大的可能还是以上 2 个严格受气源岩和断裂控制的区域。由于区域性盖层张家坡组的泥岩本身厚度较大, 密封性较好, 加之其封闭性后期并没有遭到断裂活动的破坏, 富氨水溶气并不能逸散到张家坡组之上, 所以除了平面上的分布还要注意其分布的深度, 气体主要赋存在张家坡组以下的蓝田-灞河组、高陵群等储层中。

5.2 生物气有利区

5.2.1 渭南可燃气有利区

对于可燃气而言气源岩和沉积相为主控因素。固市凹陷的张家坡组为湖相富含有机质的深色泥灰岩, 具有生烃能力, 是生物成因浅层可燃水溶气的源岩。张家坡组的薄层砂岩夹层以及泥质岩中存在的裂缝具有一定的孔隙度和渗透率, 可以作为水溶气的储层。储层上覆岩层和张家坡组上部的地层水对气体可以起到封堵作用。生、储、盖纵向上的合理搭配使固市凹陷成为浅层可燃气的良好区(图 5)。

固市凹陷的沉积中心附近, 湖相深色沉积物发育, 有机质含量相对高, 是可燃气生成有利烃源岩, 气体生成后会向上运移。因此, 在沉积中心附近的高点区, 例如小型鼻状构造、构造凸起处等是可燃气

的潜在富集区。此外, 固市凹陷渭南地区的 4 口浅层地热水井(井深不超过张家坡组)显示, 该区浅层可燃气均为生物成因气, 甲烷含量超过 95%, 经气水分离后, 可以直接点燃, 证明该区可燃气资源丰富, 是浅层可燃水溶气的良好区。

5.2.2 西安—咸阳可燃气潜在有利区

按照本文的分类, 浅层可燃水溶气即指固市凹陷张家坡组的生物成因可燃气, 但是通过分析可知, 盆地中还有其他成因的可燃气, 在此把多种成因混合的可燃气作为潜在有利区进行分析。

西安—咸阳潜在有利区位于余下一铁炉子断裂、长安—临潼断裂、长安—咸阳断裂和渭南南岸断裂之间, 新生代沉积凹陷边缘向秦岭隆起区过渡的部位, 同时处于固市凹陷渭南地区生物成因可燃气运移路线上(图 5)。由于位置上靠近渭南南岸断裂, 北部盆地基底马家沟组碳酸盐岩、烃源岩形成的热解型可燃气可以沿断裂运移过来, 与固市凹陷中的生物可燃气一起, 形成可燃气聚集的良好区。同时, 该区位于秦岭山前古近系和新近系冲积扇砂体前缘部位, 砂体发育, 具有良好的储集条件, 盖层厚度大, 封闭性好, 有利于气体的聚集。

6 结论

影响水溶气分布的因素包括断裂构造、沉积相、地热水和气源岩。其中, 气源岩和断裂是深层富氨水溶气的主控因素, 气源岩和沉积相是浅层可燃水

溶气的主控因素,地热水作为载体对两类水溶气的分布均有影响,但与其他因素相比影响不甚明显。通过综合分析影响地热水溶气分布的要素,最终圈定出 2 个氦气有利区(西安—长安氦气有利区和蓝田氦气有利区),2 个可燃气有利区(渭南可燃气有利区和西安—咸阳可燃气潜在有利区)。

参考文献:

- [1] 刘建朝,李荣西,魏刚峰,等. 渭河盆地地热水水溶氦气成因与来源研究[J]. 地质科技情报,2009,28(6):84-88.
- [2] 王兴. 渭河盆地地热资源赋存与开发[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2005:1-93.
- [3] 王佟,王莹. 陕西渭河盆地地热资源赋存特征研究[J]. 西安科技学院学报,2004,24(1):82-85.
- [4] 赵西蓉. 渭河断陷盆地地热资源赋存特征与热储分析[J]. 煤田地质与勘探,2006,34(2):51-54.
- [5] 张福礼,孙启邦,邹彦荣,等. 渭河盆地水溶含氦天然气资源评价及综合利用[R]. 西安:中国石油化工股份有限公司华北分公司,2008.
- [6] 曹景轩,廖华瑞. 宁夏回族自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1990:369-403.
- [7] 李四光. 旋卷构造及其他有关中国西北部大地构造体系复合问题[J]. 地质学报,1954,34(4):371-393.
- [8] 权新昌. 渭河盆地断裂构造研究[J]. 中国煤田地质,2005,17(3):1-8.
- [9] 陈万川,陈家弦. 汾渭盆地石油普查阶段地质成果报告[R]. 西安:第三普查勘探大队,1964-1977.
- [10] 刘方,金海峰. 陕西省关中盆地地热资源调查评价报告[R]. 西安:陕西省地质环境监测总站,2008.
- [11] 陈润,耿庆生. 水溶气的形成与聚集[J]. 河南理工大学学报,2006,25(3):205-208.
- [12] 张占国,卞从胜. 水溶气的类型特征及成藏的主控因素探讨[J]. 天然气地球科学,2008,19(6):876-881.
- [13] Stuart F M, Burnard P G, Taylor R P. Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluids: He-Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W-Mo mineralization, South Korea[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1995,59(22):4663-4673.
- [14] 薛华锋,朱兴国,王润三,等. 西安地热田伴生富氦天然气资源的发现及意义[J]. 西北大学学报(自然科学版),2004,34(6):751-754.
- [15] 卢进才,魏仙样,李玉宏,等. 汾渭盆地富氦天然气成因及成藏条件初探[J]. 西北地质,2005,38(3):82-86.
- [16] 李荣西,刘建朝,魏刚峰,等. 渭河盆地地热水水溶烃类天然气成因与来源研究[J]. 天然气地球化学,2009,20(5):774-780.
- [17] 刘建朝,李荣西,魏刚峰,等. 渭河盆地地热水水溶氦气成因与来源研究[J]. 地质科技情报,2009,28(6):84-88.
- [18] 李玉宏,卢进才,李金超,等. 渭河盆地天然气成因特征及其意义[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2011,26(5):11-16.
- [19] 李玉宏,卢进才,李金超,等. 渭河盆地富氦天然气井分布特征与氦气成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版)2001,41(1):47-53.
- [20] 张福礼,孙启邦,王行运,等. 渭河盆地水溶氦气资源评价[J]. 地质力学学报,2012,18(2):195-201.
- [21] 李玉宏,王行运,韩伟,等. 陕西渭河盆地固市凹陷渭热 2 井组甲烷气成因及其意义[J]. 地质通报,2013,32(11):1790-1797.

The distribution of gas soluble in geothermal water in Weihe basin

ZHANG Xue¹, LIU Jianchao¹, LI Rongxi¹, WANG Xingyun², WENG Kai¹

(1. School of Geosciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Sanpu Petroleum Engineering Company, Sinopec North China Petroleum Bureau, Xianyang 712000, Shaanxi, China)

Abstract: The gas soluble in geothermal water is rich in Weihe basin but complicated in composition, origin and distribution. Samples of geothermal water and natural gas are collected from different tectonic units and wells drilled to varied depth and analyzed to research characteristics of the geothermal water, components and genesis of the natural gas and relation of the water to the gas. Combined with analysis of the gas accumulation and formation of the reservoir favorable areas of the gas reservoir are predicted. The research shows that geothermal water in Weihe basin is complicated in chemical types and that temperature and pressure of the strata in Weihe basin play more roles in solubility of the gas in the water. In Weihe basin helium gas derived from the crust and the combustible biogenic gas are of industrial value. According to the distribution of gas source rock and reservoir-cap assemblages and influence factors of natural gas accumulation the author deduced the favorable areas of helium and the combustible gas.

Key Words: helium-rich gas soluble in water; combustible gas soluble in water; favorable areas distributed with resource; Weihe basin