

广东三水盆地油气田与金属矿床的成因关系

真允庆^{1,2,3)}, 郝红蕾²⁾, 付怀林²⁾, 吴金凤²⁾, 曾朝伟²⁾

1) 江苏省有色金属华东地质勘查局, 南京, 210093;

2) 江苏省有色金属华东地质勘查局 814 队, 江苏镇江, 212005;

3) 中国冶金地质勘查工程总局三局, 太原, 030002

内容提要:广东三水盆地是我国东部新生代裂谷型盆地, 不仅赋存油气藏, 而且分布有超大型富湾银矿床、大型长坑金矿床等一系列贵金属、多金属和非金属矿床, 多金属矿(化)点星罗密布, 找矿前景很为可观。三水盆地的油气藏与金属矿产具有“四同”特征, 即同一成矿(藏)时代; 同一构造体系控制; 同一成矿(藏)物质来源; 同一成矿(藏)作用。其成矿机理和环境是与地幔柱活动和深部软流圈(低速高层)上隆密切相关。

关键词:油气田; 多金属矿床; 地幔柱; 三水盆地; 广东

油气田与金属(非金属)矿床常常存在着时、空和成因关系, 这一现象早就被国内、外矿床学家和石油地质学家关注。如在东太平洋海岭 Guaymas 盆地, 就是一个很典型的现代深部热液活动、同时喷出油气和金属矿产的油气田; 日本的黑矿与石油具有同源成因; 中国超大型团结沟斑岩金矿即位于嘉阴含油盆地边缘, 柴达木盆地东北缘分布有锡铁山式大型铅锌矿床和造山型金矿床; 渤海湾盆地胜利油田的东部即为世界级山东焦家式金矿床, 盆地的边缘还有大型金厂峪金矿床, 类似的实例不胜枚举。

我国东部的广东省三水盆地, 虽然油气规模不大, 以天然气为主, 和非金属矿伴生, 盆地内部有西樵山火山机构, 并赋存银-铋矿床, 盆地南部边缘分布有我国最大的超大型富湾银矿床和大型长坑金矿床, 及铅锌多金属矿床等, 矿(化)点星罗密布, 找矿前景很为可观。

本文是在前人工作已取得丰硕科研成果基础上, 从同位素组成地球化学研究入手, 探讨油气藏与金属矿产的内在成因关系, 试图有助于新一轮找矿工作(关于油气藏与非金属的关系将另文讨论)。

1 三水盆地的区域地质背景概况

广东三水盆地位于华南板块的华夏地块东中部, 毗邻太平洋板块西侧的俯冲带。盆地是由 NE 向(恩从断裂带、北江断裂带)和 NW 向(番禺断裂

带、西江断裂带)两组走滑断裂带构成菱形盆地格局, 盆地内的玄武岩含有碱性辉石, 属于裂谷玄武岩的特征, 其 K_2O 含量偏高, 可能是地幔柱活动过程中灼热的地幔吞噬了地壳的原因。盆地中心部有近 EW 向瘦狗岭断裂带通过, 为深部热液提供了良好通道(图 1)。

三水盆地是一个新生代断陷盆地, 早在晚白垩世就形成盆地的雏形, 至古近纪初盆地沉降迅速, 湖水鼎盛, 直到渐新世才结束陆相沉积。在盆地四周主要有下石炭统梓门桥组与上三叠统小坪组的地层出露, 局部出露泥盆系、侏罗系和白垩系, 仅在个别地区(如番禺和高明附近)见有元古宙变质岩, 可能为盆地的结晶基底。盆地的外围燕山期 I 型花岗岩和喜马拉雅期火山岩活动甚为剧烈, 与金属成矿作用息息相关。

盆地内及其边缘矿产蕴藏极其丰富, 经近年调查勘查有石油、天然气、油页岩、石膏、岩盐、膨润土、煤、水泥灰岩等。上世纪末期又发现了一系列金属矿床如超大型富湾银矿床、大型长坑金矿床等(表 1), 其实还有梨边山铋矿点, 大尧山多金属矿点、鸡陵岗金银矿点、鹿州银铅锌矿点、迭平银矿点、松柏坑黄铁矿点、西安农场银铅矿点、铁岗多金属矿点等约 16 处, 尚有待进一步深入研究, 预期将会有新的突破。

注: 本文为中国石油青海公司“柴达木盆地综合物化探勘探成果评价”项目资助成果。

收稿日期: 2007-11-09; 改回日期: 2008-03-24; 责任编辑: 周健。

作者简介: 真允庆, 男, 1932 年生。教授级高级工程师, 矿床学专业。Email: zhenyunqing.1932@yahoo.com.cn。

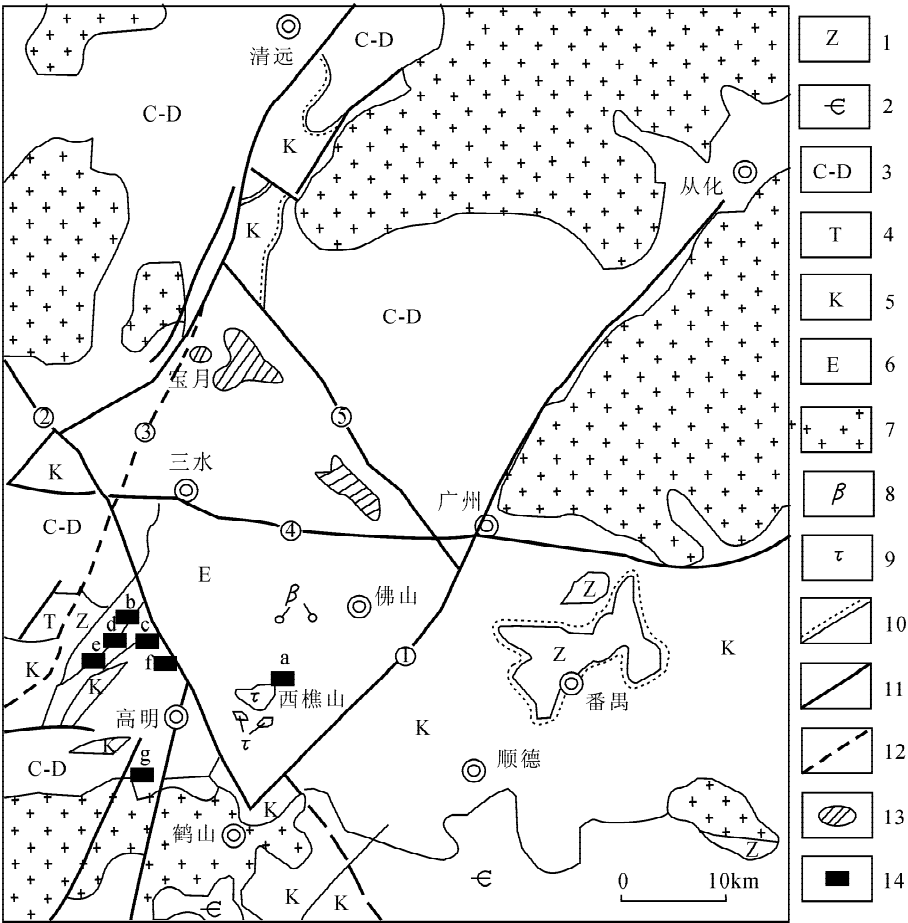


图 1 广东三水盆地及邻区地质矿产略图(据伍广宇等,2001 修改)

Fig. 1 Geological sketch map of the Sanshui basin and Guangdong Province

and its neighbouring areas showing distribution of oredeposits (modified from Wu et al. , 2001)

- 1—震旦系;2—寒武系;3—石炭系—泥盆系;4—三叠系;5—白垩系;6—古近系;7—燕山期花岗岩;8—玄武岩;9—粗面岩;10—不整合带;
11—断裂;12—推断断裂;13—气田;14—矿床;a—西樵山银矿床;b—长坑金矿床;c—富湾银矿床;d—鹿洲银矿床;e—迭平银矿床;f—横江
铅锌矿床;g—茶山铅锌矿床;①—恩从断裂带;②—西江断裂带;③—北江断裂带;④—瘦狗岭断裂带;⑤—番禺断裂带
- 1—Sinian; 2—Cambrian; 3—Carboniferous—Devonian; 4—Triassic; 5—Cretaceous; 6—Eogene; 7—Yanshanian granites; 8—basalts; 9—
trachytes; 10—unconformity belt; 11—fracture; 12—inferring fracture; 13—gas field; 14—deposits; a—Xijiaoshan Ag deposit; b—
Changkeng Au deposit; c—Fuwan Ag deposit; d—Luzhou Ag deposit; e—Dieping Ag deposit; f—Hengjiang Pb-Zn deposit; g—Chashan
Pb-Zn deposit; ①—Encong fault zone; ②—Xijiang fault zone; ③—Beijiang fault zone; ④—Shougouling fault zone; ⑤—Panyu fault zone

2 主要金属矿床和天然气同位素组成特征

2.1 三水盆地天然气地质和同位素组成

三水盆地宝月油气田的储层中,火山岩频繁出现,自下而上有:下白垩统白鹤洞组见有流纹岩夹层;上白垩统见有玄武岩夹层;古近系大士朗山组见有流纹岩;布心组、西布组均见有玄武岩夹层;古近纪华涌组亦有流纹岩、粗面岩及玄武岩夹层,储油层为沉积岩和火山岩兼而有之,郭占谦(2003)称其为二元结构盆地。火山岩浆活动很明显受 NE 和 NW 两组交叉断裂控制,可分两个旋回,13 个喷发期,油

气均储存于第三系之中,地层总厚度超过 2000 m,具有成藏的生、储、盖最佳配置。徐永昌等(1996a, 1996b)在三水盆地共采集天然气 14 样品,测试结果列于表 2。

不难看出,三水盆地的天然气可分两类,一类为富含 CO₂、N₂、甲烷和 He,测定氦浓度的 8 口井中,有 5 口井氦浓度大于 0.1%,另一口井为 0.085%,即共有 6 口井的氦浓度达到了工业品位;另一类为含 CO₂天然气。

2.2 主要金属矿床的同位素地球化学

图 1 已揭示,西樵山银-铋矿床位于三水盆地内的东南部,为一典型的火山机构,中心为粗面集块

表 1 三水盆地及其边缘油气田、金属矿床和非金属矿床概况

Table 1 The brief description of hydrocarbon fields and metal and non-metal deposits in the Sanshui basin and its neighbouring area

盆地部位	矿床	产出位置	成矿(藏)时代	规模
三水盆地内部	宝月油气田	古近纪—白垩纪地层为储油层	古近纪	小型
	镉坑钠盐矿床	新近纪三水组—古近纪布心组	新近纪	小型
	朝阳—四会石膏矿床	古新世莘庄村组内含石膏层 18 个矿体	古近纪	大型
	大朗山石膏矿床	新古近三水组	新近纪	中型
	面心油页岩	古近纪布心组	古近纪	小型
	南海罗膨润土	古近纪华涌组下部	古近纪	中型
	西樵山银—铋钽矿床	古近纪华涌组粗面岩中	40~50 Ma	小型
三水盆地外围	富湾银矿床	石炭系与三叠系之间剥离断层破碎带内灰岩层	古新世 66.34~65.25 Ma	超大型
	长坑金矿床	相同层位,位于富湾银矿床上部	燕山期 147.8±83.3 Ma	大型
	南蓬山锰矿床	石炭系及泥盆系中	58.02~36.26 Ma	中型
	横江铅金矿床	泥盆系帽子峰组和石炭系大赛坝组中		小型
	河村铅锌矿床	三叠系小坪组中		小型
	茶山铅锌矿床	侵入岩外接触带不整合面的桂田断裂	189±6 Ma	中小型

表 2 三水盆地天然气组分浓度与同位素组成(据徐永昌等,1996a,1996b)

Table 2 Chemical analyses and isotopic compositions of natural gas in the Sanshui basin (after Xu et al. , 1996a, 1996b)

井号	层位	深度 (m)	C ₁ (%)	C ₂ (%)	CO ₂ (%)	N ₂ (%)	He (×10 ⁻⁶)	δ ¹³ C ₁ (‰,PDB)	δ ¹³ Cco ₂ (‰)	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	³ He/ ⁴ He (×10 ⁻⁶)	R/Ra
水深 3	E ₁₋₂ b ₃	1106.6	65.23	5.47	15.59	13.42	2590	-45.50	-16.90	793	5.72	4.09
水深 9	E ₁₋₂ b ₃	1432.0	0.29	0.01	99.60	0.01	80		-2.80	814	6.02	4.3
水深 17	E ₁₋₂ b ₃	1178.8	58.90	38.11	0.79	2.18	140	-44.60		450	1.72	1.22
水深 24	E ₁₋₂ b ₃	1733.0	0.25		99.48	0.25	2500	-32.70	-5.70	1360	6.39	4.56
水深 44	E ₁₋₂ b ₃	1163.0	12.29	1.93	83.99	1.79	1100	-48.20	-8.98	2240	6.36	4.54
水深 11	E ₁₋₂ b ₃	1413.0	69.13	13.84	5.95	11.04	850	-45.10				
水深 12	E ₁₋₂ b ₃	1131.3	72.99	18.05	1.45	15.04	2450	-46.10				
南宝 18	E ₁₋₂ b ₃	1140.0	57.34	24.09	15.61	2.94		-46.40				
南宝 20	E ₁₋₂ b ₃	1062.0	80.42	11.59		7.80		-45.90		701		
南宝 20	E ₁₋₂ b ₃	1062.0	67.32	25.29	1.85	5.54		-46.40				
南宝 35	E ₁₋₂ b ₃	1138.0	76.81	10.58		9.76	1918	-46.80		1124	4.29	3.06
南宝 1	E ₁₋₂ b ₃	776.0	93.58	1.45	1.81	3.16		-59.50	-19.50			
南宝 7	E ₁₋₂ b ₃	853.0	87.87	6.78		5.35		-61.00				
基 1	E ₁₋₂ b ₃	1524.0	74.86	20.22	0.55	4.21		-47.80		880	2.9	2.07

注:R/Ra=(³He/⁴He)样品/1.4×10⁻⁶。

岩,向外依次出现火山角砾岩、粗面质凝灰岩、沉凝灰岩。在粗面岩中赋存银—铋钽矿床,矿体呈层状和脉状产出,严格受 NNE 向断裂控制。在三水盆地南部邻近外围有富湾银矿与长坑金矿,它们空间上形影相随,但又若即若离的关系。矿带位于粤中坳陷三大断裂交汇处,下构造层为海西期泥质碳酸盐建造,上构造层为印支期含煤碎屑建造,两者呈不整合接触,沿此不整合面发育层间滑脱断裂(有人称剥离断层),为赋矿构造,其中有长坑金矿在上,富湾银矿在下,为两个独立的贵金属矿床,与一般贵金属矿床的“上银下金”规律不同。

相邻还有茶山铅锌矿床,是赋存在寒武纪地层与白垩纪红层的推覆构造界面上,在白垩纪地层中

有多条 NW 向的铅锌矿脉,在局部地区(江根、石仙岗)砾岩中出现铀矿化,主矿体为铅锌矿脉,伴有 Au、Ag,个别地段有单个铜矿体。石英包裹体 Rb-Sr 等时线测得年龄为 189±Ma(伍广宇等,2001),其他多金属矿床的地质特征已列于表 1,这里就不一一赘述。

王登红等(2005)对本区金、银多金属矿床及紫洞玄武岩作了多项同位素测定,统计列于表 3(王登红等,2005,2006),现概述于下。

2.2.1 硫同位素组成

总体上呈塔式分布:黄铁矿、闪锌矿、方铅矿三者是以正值为主,多集中在-10‰~+10‰之间。富湾银矿的黄铁矿 δ³⁴S 变化在-7.21‰~+4.72‰

表 3 三水盆地及其西侧金、银多金属矿床同位素组成(据王登红等,2005,2006)

Table 3 Isotopic compositions of gold and silver polymetallic ore deposits within the Sanshui basin and its neighbouring area in the west (after Wang et al. , 2005,2006)

矿床	硫同位素(‰)			铅同位素			
	黄铁矿	闪锌矿	方铅矿	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	φ 值
茶山 铅锌矿	$\frac{-3.5\sim2.3}{-0.005(3)}$	$\frac{-3.5\sim1.5}{-1.08(9)}$	$\frac{-9.1\sim-4.1}{-5.98}$	$\frac{18.622\sim18.689}{18.675(6)}$	$\frac{15.648\sim15.828}{15.082(6)}$	$\frac{38.914\sim39.476}{39.068(6)}$	
长坑 金矿	$\frac{-7.4\sim8.73}{-1.213(12)^{*}}$			$\frac{18.260\sim19.885}{18.650(32)}$	$\frac{15.701\sim16.114}{15.315(32)}$	$\frac{38.323\sim40.374}{39.1184(32)}$	0.5727(20)
富湾 银矿	$\frac{-7.21\sim4.82}{0.192(5)}$	$\frac{-1.73\sim7.39}{3.09(14)}$	$\frac{-0.09\sim5.75}{2.493(10)}$	$\frac{18.702\sim19.539}{18.824(15)}$	$\frac{15.682\sim16.586}{15.864(15)}$	$\frac{38.991\sim41.457}{39.581(15)}$	0.5499(9)
河村 铅锌矿	$\frac{1.5\sim8.4}{6.23(4)^{*}}$	$\frac{4.6\sim7.4}{6.05(6)}$	$\frac{-0.7\sim6.2}{0.62(10)}$				
鹿州银 矿(点)	$\frac{-3.7\sim6.41}{2.65(4)^{*}}$	5.61(1)	3.15(1)	$\frac{17.844\sim18.957}{18.508(3)}$	$\frac{14.927\sim15.908}{15.518(3)}$	$\frac{37.797\sim39.971}{39.188(3)}$	
横江 铅锌矿	$\frac{7.0\sim8.3}{7.54(5)}$	$\frac{3.5\sim8.6}{5.74(5)}$	$\frac{-6.4\sim2.2}{-2(4)}$	$\frac{18.347\sim18.578}{18.462(2)}$	$\frac{15.629\sim15.640}{15.634(2)}$	$\frac{38.657\sim39.108}{38.632(2)}$	
庆云 铅锌矿		-42(1)	$\frac{-5.8\sim-3}{-4.2(2)}$	18.741(1)	15.731(1)	39.179(1)	
西安 铅锌矿	$\frac{-6.6\sim1.5}{-2.05(2)}$	$\frac{0.8\sim6.6}{3.7(3)}$	$\frac{0.6\sim1.8}{1.2(2)}$				
西樵山 银矿	$\frac{7.92\sim8.01}{7.97(2)}$			$\frac{18.509\sim18.584}{18.547(2)}$	$\frac{15.736\sim15.814}{15.775(2)}$	$\frac{39.044\sim39.133}{39.089(2)}$	
紫洞 玄武岩							
矿床	δ ¹⁸ O _{H₂O}	ΔD (‰)	δ ¹³ C (‰)	δ ¹⁸ O (‰)	³ He/ ⁴ He	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	³⁶ Ar/ ³⁸ Ar
茶山 铅锌矿				2.120(2)	424(1)	5.2	
长坑 金矿	-3.18(4)	60.08(7)	-16.8(2)		0.0158(2)		
富湾 银矿	-4.12(1)	-40.6(6)	【-6.68(1)】	【14.428(4)】	0.95(2)		
河村 铅锌矿							
鹿州银 矿(点)		-44.8(1)					
横江 铅锌矿							
庆云 铅锌矿							
西安 铅锌矿							
西樵山 银矿		-44.4(1)			1.406(2)	436(1)	5.0
紫洞 玄武岩					0.0075(2)	407(2)	4.9~5.3

注:①表中分子数为测定最小值至最大值,分母为平均值,括号内为样品数。②硫同位素凡有*平均数是将个别样品异常值如长坑金矿样品-35.4‰、河村铅锌矿样品17.0‰、鹿州银矿样品-20.9‰,因矿层见有重晶石或石膏,故计算时剔除。③δ¹³C、δ¹⁸O有【】的数据为方解石测定值。

之间,平均10.192‰,闪锌矿与方铅矿δ³⁴S在0.3‰~5.2‰比较集中,δ³⁴S_{ΣS}=2‰~5‰。但长坑金矿δ³⁴S变化较大,含量-7.4‰~+8.74‰,平均值为-1.213‰。其他多金属矿床如横山、茶山等地的δ³⁴S值均有黄铁矿>闪锌矿>黄铜矿>方铅矿的变化趋势,表明硫同位素交换达到平衡,硫化物中硫来自岩浆活动。

2.2.2 铅同位素组成特征

由于三水盆地玄武岩富含放射性元素铅同位素多为B型,富湾银矿和西樵山银矿的 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比较接近, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 亦较集中在39.0~40.0,而长坑金矿有所不同, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值在38.0~39.0之间, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值较为分散。将本区多金属矿床铅同位素投在 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$,及 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解上(图略),大多数样品落在地幔线,反映了新生代地幔柱活动的烙印。

2.2.3 氢氧同位素组成

长坑金矿和富湾银矿硫化物矿物的 $\delta^{18}\text{O}$ 多数 $>5.7\%$,与火山岩(安山岩、流纹岩)的 $\delta^{18}\text{O}$ 值较为一致,反映了成矿作用是和火山活动有关。长坑金矿硫化物 $\delta^{18}\text{O}$ 变化在 -4% ~ $+1\%$ 之间;富湾银矿硫化物的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 -8% ~ -4% 。落在 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 图解上(图略)显示了成矿过程中有雨水渗入的痕迹。

2.2.4 碳氧同位素组成

由于测定样品很少,尚难说明成矿物质来源。但就长坑金矿黄铁矿包裹体 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化在 -16.98% ~ -16.62% 之间,而富湾银矿的闪锌矿 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -6.68% 而言,两者的矿质来源有所不同。从已知矿层中方解石 $\delta^{13}\text{C}$ 为0.998‰(6)和 $\delta^{18}\text{O}$ 为14.428‰(4),投在 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 图解上(图略)显示了透岩浆流体成矿作用的特征。

2.2.5 惰性气体同位素组成

本区紫洞玄武岩的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值仅为 $0.0076 \times 10^{-6} \sim 0.024 \times 10^{-6}$,与典型的地壳值极为相似,实际上是因为富含放射性元素缘故,而导致 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值大幅降低。由于 ^{36}Ar 和 ^{38}Ar 均为非放射性元素, $^{36}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ 值能够可靠地反映源区。茶山、西樵山及紫洞样品的 $^{36}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ 值均未超过5.3,故显示了幔源特征。然而富湾银矿、茶山铅锌银矿、西樵山银矿的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值颇为相近,分别为 0.95×10^{-6} 、 2.12×10^{-6} 和 1.4×10^{-6} ,与长坑金矿截然不同,相差达两个数量级。因为区域内燕山期花岗岩富含放射性元素,而促使该矿 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值很低。据此可以认为本区银矿床是与第三纪粗面质岩浆活动有关,而长坑金矿床可能与隐伏的燕山期花岗岩更为密切(关康等,1997)。

3 天然气与金属矿床“四同”关系特征

综上所述,三水盆地的天然气及其外围的金属矿床,具有“四同”关系特征,即同一成矿(藏)时代、同一构造体系控制、同一成矿(藏)物质来源、同一成矿(藏)作用。

3.1 同一成矿成藏时代

我国东部油气田的成矿谱系业已阐明,自北向南,如松辽盆地、渤海湾盆地、苏北盆地、直至三水盆地,均是中生代形成盆地雏形,最后新生代成型定位,并伴有成藏作用。如大庆油田,据伊利石测定成油年龄是在65~40 Ma期间(辛仁臣等,2000)。若按我国东部区域地质背景和成藏的惰性气体同位素的一致性,三水盆地油气成藏年代完全可以类比。王登红等(2006)认为本区成藏为新生代古近纪。而长坑金矿成矿年龄为147.8~189 Ma,茶山铅锌银矿为 189 ± 6 Ma,也就是三水盆地雏形时已成矿,然而,在三水盆地内白垩纪地层为一套红色粗粒碎屑岩堆积,是氧化环境下的快速沉积,不利于烃的生成,故不能形成油气。演化至新生代古近纪,三水盆地还原环境是天然气生成先决条件。主要的富湾银矿床,横江铅、金矿床,西樵山成矿时代分别为66.34~65.25 Ma、58.02~36.26 Ma、50~40 Ma,故基本是和油气成藏年代一致。

3.2 同一构造体系控制

如前所述,不论是三水盆地的天然气,还是富湾银矿床、长坑金矿、横江铅金矿床都是严格受三水盆地走滑张性断裂系统控制。如三水盆地宝月气田显然处于张裂性盆地之中,其中心又有瘦狗岭断裂带通过,以及分布有古近纪2000 m厚的“二元结构”地层,显然成为成藏储集的重要前提。富湾银矿和长坑金矿,两者都赋存在下石炭统梓门桥组与上三叠统小坪组的滑脱断裂中,赋存两个不同成矿时代(表1)的富湾银矿床和长坑金矿床,它们是彼此不重叠、不包容、在同一成矿空间定位的矿床组合。再如茶山铅锌银矿是受盆地以南次一级桂田逆冲断裂带控制,它是白垩纪末、新生代初在推覆构造之后产生的张性断裂,并在其中充填铅锌银矿脉,严格受NNE向层间断裂控制。正如邓晋福等(2004)所指出的,巨大的深部流体-成矿系统,常常在盆地内的次一级构造堆积成矿。

3.3 同一成矿(藏)物质来源

三水盆地的天然气和我国东部的油气田一样, $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值相对比我国中部和西部油气田要高1~2个数量级。三水盆地天然气的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值为 $1.72 \times 10^{-6} \sim 6.39 \times 10^{-6}$,平均为 4.77×10^{-6} 。若按壳-幔二元复合计算,有39%~50%的幔源气。本区天然气的储层为第三系,相应 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 应为350,从表2可看出除水深17井为450外,其余各井是在700~2240之间,平均达1130。表明有幔源氩的加入。如

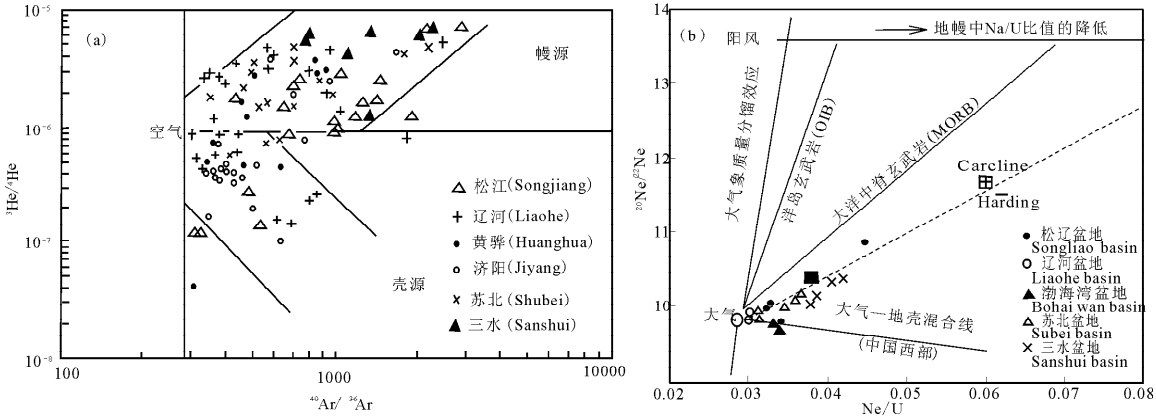


图 2 中国东部盆地天然气中³He/⁴He-⁴⁰Ar/³⁶Ar (a)及氖同位素比值(b)图解(据徐永昌,1996)

Fig. 2 ³He/⁴He vs ⁴⁰Ar/³⁶Ar (a) and neon isotope ratios (b) in natural gases from eastern basins of China

将³He/⁴He及⁴⁰Ar/³⁶Ar值投入图2a中,明显可以得出本区天然气主要来自幔源。徐永昌(1996)(据徐胜,2002)首次分析了我国东部地区30个天然气样品中的氖同位素组成,三水盆地天然气的²⁰Ne有过剩,同样地也说明天然气是来自幔源(图2b)。

徐永昌(2006)(据徐胜,2002)还分析了三水盆地的工业气井中的氙(¹²⁹Xe),发现¹²⁹Xe过剩。足可证明在燕山—喜马拉雅运动成矿(藏)作用“大爆发”的背景下,本区金、银多金属矿床的S、Pb同位素组成业已证明成矿物质是来自幔源,和天然气完全一致。

3.4 同一成矿(藏)作用

毋庸置疑,三水盆地的成矿(藏)作用是和我国东部燕山期和喜马拉雅期成矿分不开的。金属矿床是由深部流体沿断裂构造上升,经深部过程,在温度、压力适宜的条件下卸载成矿(藏)就位,这已成为大家的共识。从三水盆地金、银多金属矿床的流体包裹体成分即可看出(表4),长坑金矿和富湾银矿均以液相包裹体为主,甚至有纯液相包裹体,气相包裹

体仅占少数,并发现有机质包裹体,它们的成分极不均匀,长坑金矿包裹体中K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺要大于富湾银矿,但共同特点是都含有H₂、N₂、CO₂、CH₄及H₂O。这充分说明,形成金属矿产的深部的流体,对形成油气藏也起着极其重要的成藏作用。

杜乐天等(1995)认为碳、氢、氧是深部流体主要成分,也是成矿(藏)作用源泉。在沉积盆地地层中生油气的母质干酪根是富碳贫氢的,要使贫氢的干酪根转化为富氢的烃类,必需加入大量的氢。据张景廉(2001)、张景廉等(2004)引自金强等(1996)对裂谷盆地中火山岩与有机质相互作用进行了加氢的模拟实验研究(陈丰,1995),有机质在达到一定温度后发生了加氢反应,在加入橄榄石和氟石后,在相同条件下甲烷的产率增加了2~3倍。这一模拟实验可作为三水盆地成藏的佐证。另一方面,地幔脱气生成的CO₂、CO、H₂沿断裂上升到地壳的超基性蛇纹岩,则发生费-托合成反应(FTT):

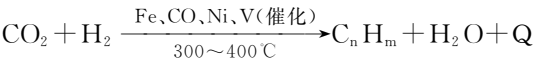


表 4 三水盆地金属矿床中流体包裹体液相成分(×10⁻⁶)

Table 4 Chemical compositions (×10⁻⁶) of ore-forming fluids in metal deposits from the Sanshui basin

矿床	矿物	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	CO	CH ₄	H ₂	N ₂	H ₂ O	CO ₂
鹿川银矿	石英	32.24	12.80	39.90	1.15	1.46	8.40	541.15	229.73	7.66	0.28	0.008	12.39	3333	0.035
西樵山银矿	石英	69.40	6.58	24.00	2.05	0.91	5.42	412.60	52.89	7.66	0.28	0.006	11.38	1778	0.012
长坑金矿	重晶石	6.90	9.16	18.80	0.07	1.36	19.70	42.98	83.12	4.59	0.70	0.011	5.69	2757	0.012
长坑金矿	石英	90	6.07	32.80	2.35	1.81	3.5	675.16	50.38	2.55	0.28	0.009	7.65	990	0.02
长坑金矿	黄铁矿	12.40	2.67	174.0	1.42	0.85	2.03	274	120.9	3.27	0.06	0.002	4.29	477	0.093
长坑金矿	黄铁矿	12.20	3.24	30.5	1.16	0.91	2.68	228	62.47	0.20	0.08	0.0004	2.55	400	0.60
富湾银矿	石英	8.26	3.10	39	0.41	1.057	8.05	160.48	36.26	7.15	0.42	0.004	11.05	889	0.016
富湾银矿	方解石	1.26	1.97		2.29	2.18	2.96	33	163.72	1.53	0.14	0.006	9.04	611	0.098
富湾银矿	石英	2.40	3.06	13.6	0.06	1.45	8.87	28.88	30.38	1.79	0.28	0.004	3.68	600	0.20

注:王登红(2005))引自广东757地质队和张生(1997),孙晓明等(1998)资料。

简言之,深部岩浆和成矿流体活动对于三水盆地油气与金属矿床的形成有着内在联系。

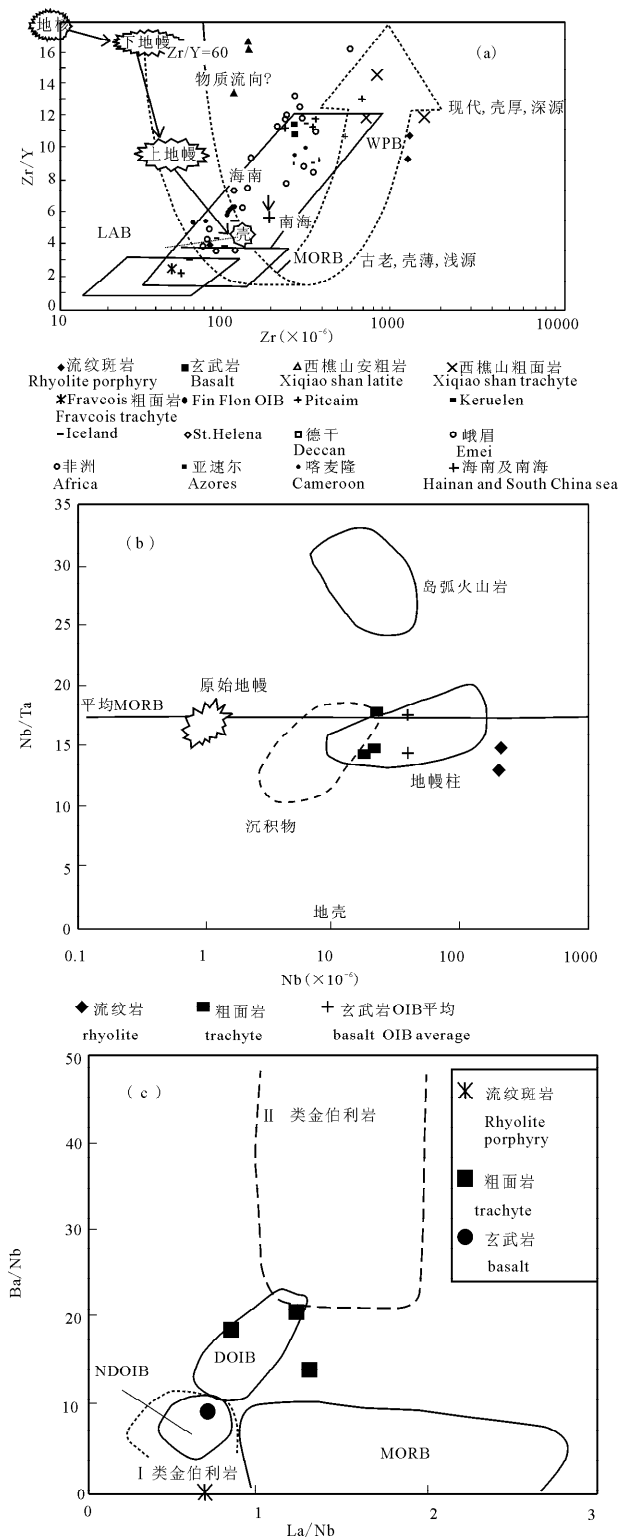


图 3 三水盆地及外围火山岩的 Zr-Zr/Y (a)、Nb/Ta-Nb (b)和 Ba/Nb-La/Nb (c)图解(据王登红等,2005,2006)

Fig. 3 Diagram of Zr vs Zr/Y (a)、Nb/Ta vs Nb (b) and Ba/Nb vs La/Nb (c) for volcanic rock in the Sanshui basin and its neighbouring areas (after Wang et al. , 2005,2006)

4 三水盆地油气田与金属矿床关系的成因初探

三水盆地的火山岩是以玄武岩和流纹质火山岩、火山碎屑岩为主,而安山岩及安山质火山碎屑岩比较少见,具有一定的双峰式喷发特点。由于火山喷发是就位在陆壳地幔深部过程之中,必然受到陆壳物质混染、重熔。区内少量安山质岩石,可能是酸性岩浆和碱性岩浆两者相互作用的产物,和典型夏威夷热点略有差别,但具有一定的可比性(王登红等,2005)。

玄武岩是确定地幔柱的“晴雨表”。从三水盆地、海南岛及南海盆地的玄武岩 Zr-Zr/Y 图解上(图 3a)来看,它们均落在板内(WPB)区域内,而且从三水盆地至南海 Zr/Y 值有逐渐减小的趋势,同时三水盆地的火山岩 Zr/Y 值皆大于 10,这可能受到地壳的混染所致。流纹正长斑岩也具有碱性特征,它的 Nb、Ta、U、Th、Zr、Hf、Sn 含量很高,落在 Na-Nb/Ta 图解的(图 3b)地幔柱区域;王登红(2006)曾在茶山凤尾矿区发现含锡的自然铜矿物,表明金属元素相当于硫是极度富集的,故呈自然金属互化物的形式出现。另外在 Ba/Nb-La/Nb 图解(图 3c)中,同样也证明三水盆地的火山岩来自地幔柱源区,而不是来自正常上地幔或地壳,其中玄武岩来自非亏损的地幔区(NDOIB);粗面岩可能是其分异的产物(图 3c)。

再从三水盆地的粗面岩、玄武岩和流纹斑岩的微量元素的蛛网图解(图 4)来看(其中紫洞玄武岩的曲线几乎和 OIB 型曲线重合),均与典型的 OIB 玄武岩及地幔柱成因的玄武岩具有相似性,而与

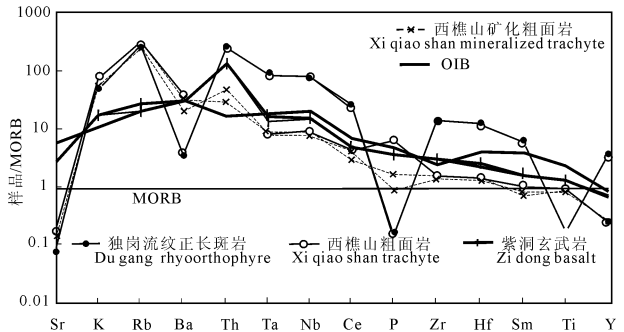


图 4 广东三水盆地不同类型火山岩的微量元素蛛网图解(据王登红等,2005,2006)

Fig. 4 Trace element spider diagram for volcanic rocks of different types in the Sanshui basin, Guangdong province (after Wang et al. , 2005,2006)

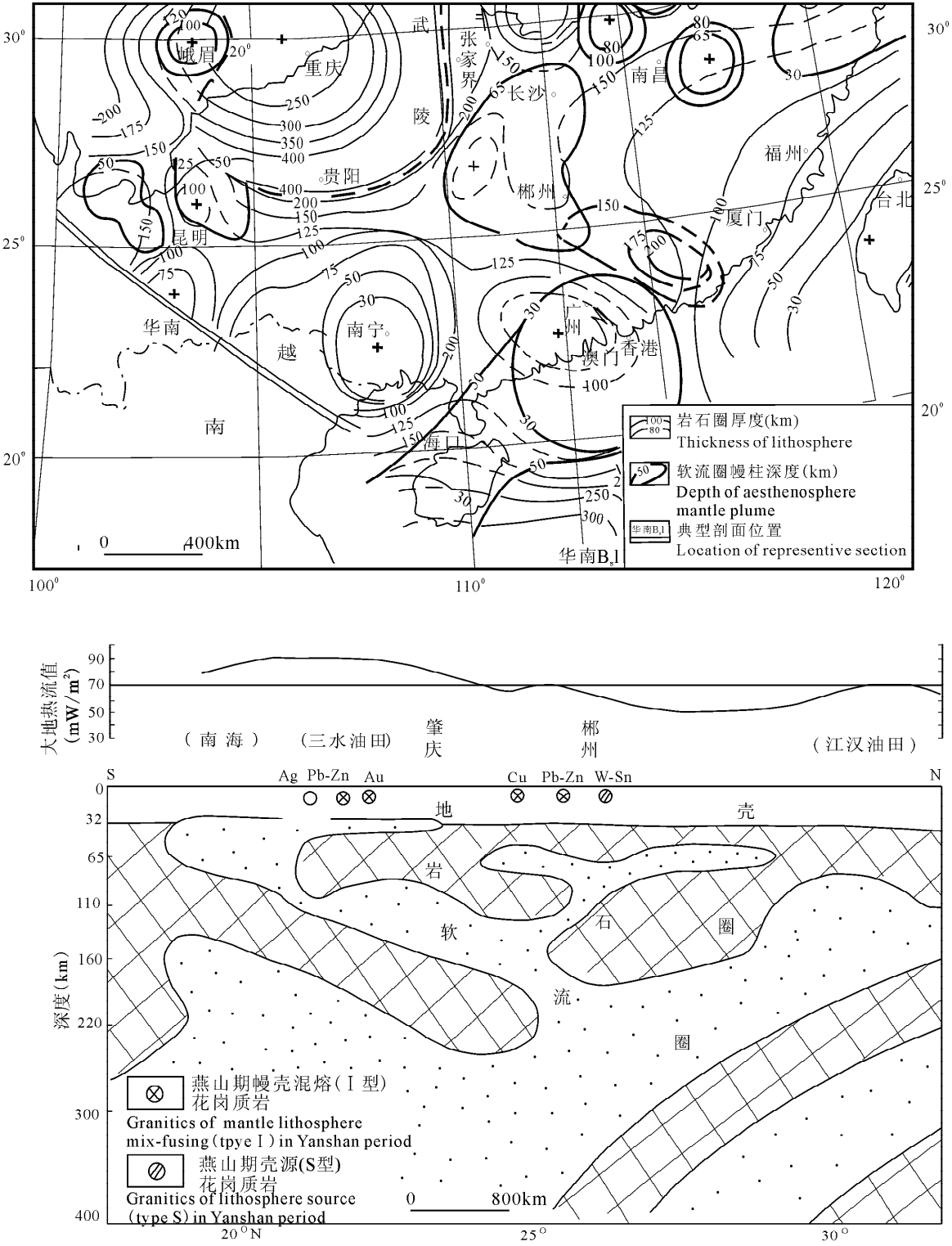


图 5 中国南部岩石圈构造及地震层析剖面(据邢集善等,2007)

Fig. 5 Lithosphere structure and seismic tomography of southern China (after Xing Jishan et al. , 2007)

MORB 型玄武岩或正常上地幔来源火山岩明显不同,足以说明三水盆地的火山岩是地幔柱成因的。

另外,据邹和平(2005)研究,南海北部在印支期—黄山早期,已处于华夏型地台活化带的环境,燕山晚期造山带拉伸塌陷,地壳深处发生岩浆底侵作用,至中新世形成盆地。演化成造山后期,如按 Cartoon 模型分析,三水盆地处于造山带两个单元之间,为岩石圈不连续(discontinuity),由于构造载荷效

应,有助于生物促成烃的成熟和其他流体流动,此时流体迁移导致前陆盆地内油气及其边缘金属矿床生成(邓晋福等,2004)。故产生天然气田和金属矿床成因关系。

显而易见,成矿的深层过程与矿源的研究是非常重要的,这就必须涉及地球物理对深部的研究与探索。张景谦(2001)曾对中国含油气盆地的深部地壳结构作了系统研究,并指出中国北方、南方含油气盆地的中地壳的纵波速度均小于6.0 km/s;而且中国金矿带深部中地壳的纵波速度为6.2~6.3 km/s(>6.0 km/s),三水盆地的地壳结构亦不例外。滕吉文(2001)亦曾指出“石油与天然气和金属与非金属矿产资源的形成、演化与聚集均为深层动力过程所控制”,三水盆地即为典型的范例。

邢集善等(2007)运用地震层析数据,参考大地电磁测深和大地热流值相关成果,将相对高速层作为岩石圈层,相对低速层为软流圈层,研究我国东部深部构造。从编制中国南部岩石圈构造图可以看出(图5),上地幔岩石圈—软流圈构造,即深部构造是由软流圈起主导作用。华南深部构造线为NW向,这正和三水盆地中心的瘦狗岭断裂一致,软流圈柱头片的深部上涌约32 km(图5之剖面)。但主体部分软流圈涌至90~160 km深度,但下部仍有岩石圈呈板状插入软流圈中达220 km深度。由于大范围热能通过热烘烤,可使壳层完全同熔,形成I型花岗岩,这是和燕山期长坑金矿等及喜马拉雅期富湾银矿等多金属矿与石油、天然气的成因有关。区域内因热能对地壳仅是部分重熔,则可形成S型花岗岩(三水盆地外围区域广泛分布),而且大地热流值较高(约70~80 W/m²),从盆地内的西樵山火山机构中见有铌钽矿产也可证实。

图5的剖面图,阐明了三水油田、江汉油田是和我国东部新生代盆地一样(钟华等,2003)。在盆地的基底之下,呈现了地幔隆起。在软流层上部,为挥发组分集中的部位,也是石油、天然气成矿(藏)物质的场所。据Додеко(1986)和Уекапюк(1971)研究认为,石油碳氢化合物形成于高还原、超基性矿物介质、含有碳和挥发组分(C、H₂、H₂O、CO₂、CH₄)的高温(1200~1700℃)和高压(5~9 GPa)环境中。根据热动力计算,在软流层不大深度上的平衡系统中,主要是甲烷,随着深度的增加(>100 km)则聚集了硫化物(含氧、硫、氮的化合物)。这亦充分说明了石油、天然气与金属矿床共生理理。

5 结束语

中国东部新生代裂谷盆地的形成过程有可能是中生代造山的自然延伸。早白垩纪山根和岩石圈根崩塌以后,形成软流圈物质的大规模上升(罗照华等,2007)。这也是三水盆地油气藏和金属矿产内在联系的重要原因。

很显然,三水盆地的油气藏和金、银多金属矿产是地幔热柱活动中同一成矿事件的产物,所以具有同一成矿时代,同一构造控矿系统,同一成矿物质来源、同一成矿作用的特征。藉此可按照油气藏和金属矿的成矿系列,对三水盆地的四周区域,沿走滑断裂系统预测和寻找多金属矿床。

致谢:在撰写和研究过程中,承蒙四位博导:中国地质大学罗照华教授、南京大学顾连兴教授、石家庄经济学院牛树根教授、中国地质科学院矿床所王登红研究员的热忱指导,并提出极其珍贵的意见,在此敬表谢意。

参 考 文 献

- 陈丰. 1995. 氢——地球深部流体的重要源泉. 地学前缘, (3~4): 72~77.
- 邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 等. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用. 北京: 地质出版社, 150~199.
- 杜乐天, 陈安福, 王驹, 等. 1995. 地球的排氢作用. 矿物岩石地球化学通报, 3: 193~198.
- 郭占谦. 2003. 火山活动与油气资源. 新疆石油地质, 24(1): 176~179.
- 罗照华, 莫宣学, 卢欣祥, 等. 2007. 透岩浆流体成矿作用——理论分析与野外证据. 地学前缘, 14(3): 165~183.
- 滕吉文. 2001. 中国地球深部结构和深层动力学过程与主体发展方向. 地质论评, 48(2): 125~138.
- 王登红, 陈毓川, 徐珏, 等. 2005. 中国新生生成矿作用. 北京: 地质出版社, 117~791.
- 王登红, 陈毓川, 李杰维, 等. 2006. 广东三水盆地西缘横江铅锌矿床的成矿时代及新生代找铜前景. 矿床地质, 25(1): 176~179.
- 伍广宇, 梁伟, 魏琳, 等. 2001. 广东省三水盆地及西缘喜马拉雅期内生成矿的地质特征与同位素年代学证据, 117~129.
- 辛仁臣, 田春吉, 窦同君. 2000. 油藏成藏年代学分析. 地学前缘, 7(3): 48~53.
- 邢集善, 杨巍然, 邢作云, 等. 2007. 中国东部深部构造特征及其与矿集区关系. 地学前缘, 14(3): 114~130.
- 徐永昌. 1996. 天然气中的幔源稀有气体. 地学前缘, 3(3~4): 63~70.
- 徐永昌, 沈平, 陶明信, 等. 1996a. 东部油气区天然气中幔源挥发份的地球化学——I 氩资源的新类型: 沉积壳层幔源氩、氩及碳化合物. 中国科学(D辑), 26(1): 1~8.
- 徐永昌, 刘文化, 沈平, 等. 1996b. 东部油气区天然气中幔源挥发份的

地球化学——Ⅱ幔源挥发份中的氮、氩及碳化合物. 中国科学(D 辑), 26(2): 187~192.

张景簾. 2001. 论石油的无机成因. 北京: 石油出版社, 116~128.

钟华, 周锡明, 真允庆. 2003. 地幔热柱与油气田成因. 桂林工学院学报, 23(3): 258~265.

邹和平. 2005. 南海北部及其沿岸中、新生代地壳幔相互作用与构造演化. 大地构造与成矿学, 29(1): 78~86.

Jin Qiang, Xiong Shoasheng, Lu Peide. 1999. Catalysis and

hydrogenation: volcanic activity and hydrocarbon generation in rift basins, Eastern China, Applied Geochemistry, 14: 547~558.

Долеко Г. Н. 1986. Происхождение нефти газа и нефтегазоанакопление в эемной коре. Киваукова думка, 65~77.

Чекалюк Э. Б. 1971. Термодинамические основы теории минерального происхождения нефти. Киев Наук. думка, 256~265.

Genesis Relation between Hydrocarbon Reservoirs and Metal Ore Deposits
in the Shanshui Basin, Guangdong Province

ZHEN Yunqing^{1,2,3)}, HAO Honglei²⁾, FU Huailin²⁾, WU Jinfeng²⁾, ZENG Chaowei²⁾

1) Easter China Geological and Mining Organization for Non-ferrous Metals, Nanjing, 210093;

2) Geological Brigade No. 814, Easter China Geological and Mining Organization
for Non-ferrous Metals, Zhenjiang, Jiangsu, 212005;

3) Third Branch of China Metallurgical Geoeploration Bureau, Taiyuan, 030002

Abstract

The Shanshui Basin is a Cenozoic rift basin in eastern China. It is important not only for its hydrocarbon reservoirs, but also for its super-large silver deposit at Fuwan, large gold deposit at Changkeng, and numerous metal and non-metal deposits with great ore-prospecting potential. Both hydrocarbon reservoirs and metal resources are characterized by similar ages, structural constraints, sources and formation processes. Their emplacement was closely correlated to up rising of mantle plume and asthenosphere.

Key words: hydrocarbon reservoir; polymetallic ore deposit; mantle plume; Shanshui basin; Guangdong