

松辽盆地南部万金塔二氧化碳气田 的地质特征及其成因

裘松余 钟世友

(地质矿产部吉林石油普查勘探指挥所)

五十年代末至六十年代初,经航磁、重力、电法和地震等综合勘探,在松辽盆地东南隆起区德惠凹陷西缘,发现和圈定了万金塔构造(图1)。1964年和1977年,石油工业部先后施工万₁和万₂井,1978—1983年,地矿部相继施工万₃、万₄和万₅井,均见CO₂气喷;其中,万₂、万₄、万₅三井获得工业性CO₂气流。据测试日产量约为20000—130000立方米,气样分析结果CO₂占84.5—99.8%,该气田储量大、纯度高、埋藏浅,具有开发价值。

一、地 层

德惠凹陷是在海西期花岗岩和上古生界变质岩基底之上发育的中生代沉积凹陷，晚侏罗世至早白垩世为断陷型沉积，火山活动频繁，发育一套火山—复陆屑式建造，夹煤层或煤线；中白垩世为拗陷型“披盖式”沉积，超覆在下伏地层之上。晚白垩世隆起，广遭剥蚀。据万、井剖面，其岩性自上而下简述于后：

上覆地层：第四系（Q）：灰白色砂砾层。

中白垩统 (K₂)

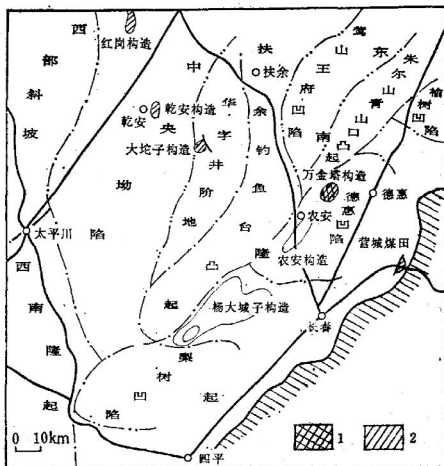
嫩江组 (K₂n)

二段 (K_2n^2)：底部为黄褐色夹灰黑色页岩，往上为深灰色、黑灰色泥岩，砂质增多，渐变为深灰色砂质泥岩。 31米

31米

一段 (K_2n^1)：下部为灰绿色泥质粉砂岩、泥岩夹深灰色、黑灰色泥岩，上部为黑灰色、深灰色泥岩夹灰绿色泥岩。 78米

78米

图1 松辽盆地南部CO₂气田和含气构造分布图

1—CO₂气田, 2—含CO₂气构造(地区)

整合

姚家组 (K_2y): 棕红色夹灰绿色泥岩、灰白色粉砂岩、泥质粉砂岩, 往上灰绿色泥岩增多, 呈灰绿色、棕红色相间互层。 280米

整合

青山口组 (K_2qn)

上段 (K_2qn^2): 棕红色、灰绿色、黑灰色泥岩互层, 夹多层薄形虫层和菱铁矿层。 97米

下段 (K_2qn^1): 黑灰色泥岩夹灰绿色粉砂岩、粉砂质泥岩, 夹多层介形虫层和菱铁矿层。 120米

整合

泉头组 (K_2q)

四段 (K_2q^4): 紫红色、棕红色泥岩夹灰绿色泥岩、灰白色粉细砂岩。 84米

三段 (K_2q^3): 暗紫红色、棕红色泥岩、粉砂质泥岩夹灰紫色粉细砂岩, 含白色、肉红色石膏团块。 345米

二段 (K_2q^2): 暗紫红色泥岩与灰绿色粉砂岩不等厚互层, 上部以泥岩为主, 下部以粉砂岩为主。 280米

一段 (K_2q^1): 灰白色砂砾岩夹暗紫红色、灰绿色、灰黑色泥岩。 68米

不整合

下白垩统 (K_1)

营城组 (K_1y)

上段 (K_1y^2): 深紫色致密块状玄武岩、深绿色致密块状辉绿岩, 夹灰绿色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、灰白色粉砂岩及砂砾岩。 46米

下段 (K_1y^1): 灰白色砂砾岩与灰黑色泥岩、粉砂质泥岩不等厚互层, 夹灰白色粉砂岩、灰绿色细砂岩和煤线。 209米

整合或假整合

上侏罗—下白垩统 (J_3K_1)

沙河子组 (J_3K_1s): 黑色泥岩、灰黑色粉质泥岩、粉砂岩, 夹灰白色砾岩。 >60米

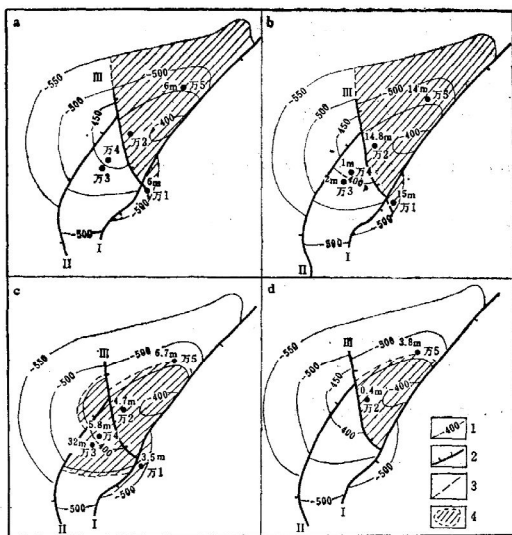
二、地质构造特征

万金塔构造是一个在基底断块基础上发展起来的穹窿构造。两翼倾角下陡上缓, Ta_2 反射界面以下两翼不对称, T_2 反射面构造两翼对称, 倾角约 2° , 圈闭面积 44 平方公里, 闭合幅度 165 米 (图 2, 表 1)。构造上断层发育, 大小不一, 以北东向正断层为主, 延伸数公里至十几公里 (表 2)。其中, I、II 号主干断层长期活动 (切割 T_5-T_2 反射界面), 控制了二氧化碳气的运移和聚集¹⁾。

1. 构造成早。在晚侏罗世, 因燕山运动影响, 伴随断裂活动与岩浆活动, 形成北东向地垒——万金塔构造的雏形, 为原生 CO_2 气藏形成提供了聚集场所。它又是个长期活动的古构造, 定型于晚白垩世, 为后来次生气藏形成提供了圈闭条件。

2. 构造上断层发育, 火山活动强烈。尤其是 I、II 号主干断层控制了晚侏罗—早白垩世火山活

1) T_5 为青山口组底的反射界面, Ta_2 为泉头组二段底的反射界面, T_4 为泉头组底反射界面, T_3 为上古生界顶面 (松辽盆地基底面) 反射界面

图2 万金塔CO₂气田构造及含气范围略图

a, b, c, d分别为第一、三、四、五各气层组含气面积,

1—等深线(米), 2—断层, 3—含气边界, 4—含气面积

表1 万金塔构造要素*

地震 层位	构造 形态	高点 海拔 (m)	圈闭 海拔 (m)	闭合 幅度 (m)	闭合 面积 (km ²)	轴长 (km)		走 向	两翼倾向	
						长轴	短轴		东翼	西翼
T ₂	穹窿	-400	-500	100	44	11	6.3	NE40°	2°	2°
Ta ₂	穹窿	-1000	-1200	200	35	9.5	5.3	NE37°	10°	8°
T ₄	穹窿	-1000	-1200	200	30	8	6	NE37°	11°	8°
T ₅	穹窿	-2100	-2300	200	35	8	4	NE33°	10°	8°

• 据牛 成等, 1983, 稍作修改

表2 万金塔构造的断层要素

断层 编号	断层 性质	断开层位 (地層)	断 距 (m)	断 层 产 状			长 度 (km)
				走向	倾向	倾角	
I •	正	T ₂ —T ₁	200—600	345°转36°	75—126°	70°	18
II •	正	T ₃ —T ₂	300—500	29°	299°	65°	18
III	正	T ₂	25	318°转340°	48—74°	60°	4.5

• 据牛 成等, 1983

动，是岩浆上涌的通道。特别是早白垩世晚期火山活动最烈。如万₁井有火山熔岩6层，厚28米，

万₃井 939 米全是火山岩系, 并未见底。

3. 中白垩统泉头组二、三段有利的岩性组合为气藏形成提供了良好的储盖条件。泉二段和泉三段下部的河道砂体以细—粉砂岩为主, 尤其是泉三段下部的砂岩, 物性较好, 孔隙度为 11.2—17.47%, 渗透率约 2.5 毫达西, 组成了一、三、四气层组。气层之上的泉三段上部 and 泉四段的棕红色泥岩, 为良好盖层。

4. 有两种圈闭类型: 背斜圈闭和岩性—断层—背斜复合圈闭。第四气层组主要受背斜构造控制, 厚度在含气面积内较稳定, 气水界面与构造等高线一致 (图2)。第三和第五气层组, 不仅受背斜构造控制, 而且还受断层和岩性影响 (图2-b, d)。如: 第三气层组在Ⅱ号断层以东储层发育, 单井砂岩厚度大于 14 米, 物性好, 产量高, 据万₃井测试日产量可达 130000 立方米, 而Ⅱ号断层以西构造顶部的万₃井, 万₄井砂岩厚度急剧减薄至 1—2 米, 储集性能差, 产量低, 甚或非气层。

三、CO₂ 的赋存状况

万金塔气田的 CO₂ 有如下四个赋存特征:

1. 二氧化碳气与烃类气体共存。从表 3 可见, 各气层组除 CO₂ 外, 还含有烃类和其它气体成分及少量凝析油。烃类气体含量各井、层不尽相同, 一般小于 10%, 其中又以万₃井第三气层组最低, 甲烷含量只占 0.13%。

表 3 万金塔气田气体组分数据表

井号	井深 (m)	层位	天然气组分 (%)					
			CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	N ₂
万 ₂	785	K ₂ q ³	59.79	34.56	0.98	—	—	—
	863.4—838.8	K ₂ q ³	99.77	0.23	—	—	—	—
万 ₄	788.5—774.5	K ₂ q ³	89.92	9.69	0.39	—	—	—
万 ₃	811—806	K ₂ q ³	82.49	7.98	0.37	0.1	0.03	5.0
	952—948 942—939	K ₂ q ³	97.75	0.13	2.12	—	—	—
	1072—1011	K ₂ q ²	99.48	0.52	—	—	—	—

2. 不具统一的气水界面。经测试, 各层组气水界面高度不同, 说明气层组之间互不连通, 有各自独立的水动力系统。例如: 万₃井第一气层组测试不含水, 为纯气层, 最上部的第五气层组则为气水同层。

3. 气层中天然气有重力分异现象。从表 3 可见天然气组分随深度有明显的变化: 气层越深, 二氧化碳含量越高, 烃类气体含量越少。如万₂井于 785 米深的第四气层组的天然气, 甲烷含量高达 34.56%, 而其下的第三气层组 (838.8—863.4 米) 的天然气中, CO₂ 含量高达 99.77%, 甲烷含量只占 0.23%。同一气层又以上部 CO₂ 含量较下部低, 烃类气体正好相反, 有的甚至在初喷时呈蓝色, 为烃类气体, 可点燃, 尔后才成为白色的 CO₂ 气喷。

4. CO₂ 的分布明显受Ⅱ号断层控制。一、三、五气层组分布在Ⅱ号断层以东, 以西递减, 甚至尖灭, 所以东部地区要比西部好 (图2-a, b, d)。

四、成因分析

众所周知, 天然 CO₂ 成因大致可分为有机成因、无机成因两大类。有机成因是指有机物质如石

油、煤、泥炭等在厌氧细菌作用下分解而生成 CO_2 ；其次，含 Na_2SO_4 (CaSO_4) 的矿化水，对碳氢化合物作用亦可生成 CO_2 。无机成因包括岩石化学成因和岩浆源成因。前者主要有：(1) 地下水中的酸水溶解碳酸盐岩；(2) 碳酸盐岩在高温作用下热分解；(3) 碳酸盐岩低温水解。后者是指岩浆在上升过程中，随着压力和温度的降低，有大量 CO_2 析出。

碳同位素测定技术为我们研究地下 CO_2 起源，提供了一把钥匙。因为由含碳物质生成的二氧化碳气的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值与原始含碳物质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值基本相同，而不同含碳物质的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 又有明显差异 (表4)。

表4 各种含碳物质的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值

含碳物质		$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	资料来源
有机 物	天然气	-20.0—-85.0	•
	原油	-23.0—-33.0	[4]
	煤	-21.50—-27.2	•
	陆地淡水植物及动物	-25.5	[4]
	海生有机物 (包括浮游动植物)	-9.0—-22.0	[4]
无机 物	岩浆成因碳酸气	-7.0 (-1.3—-12.0)	[8]
	海洋无机碳	-1.0—+2.0	[5]
	淡水溶解的无机碳	-5.0—-11.0	[5]
	白云岩	0.82 (-2.29—+2.66)	•
	海相灰岩	-2.0—+2.0 (-9.0—+6.0)	[6]
	非海相碳酸盐岩	-3.0—-8.0	•

• 廖永胜, 1981. 碳同位素石油地球化学研究; [4—6], 见文末参考文献

万金塔气田三口井的 CO_2 气样经碳同位素分析, $\delta^{13}\text{C}$ 最高值为 -4.04‰, 最低值为 -8.83‰ (表5), 既不具海相碳酸盐岩的高值, 也不具有有机含碳物质的低值 (表4), 表明不可能是岩石化学成因和有机成因。此外, 晚侏罗世至早白垩世煤系亦不可能生成如此高含量的 CO_2 。据资料统计, 煤成气的

表5 万金塔气田碳同位素分析数据

井号	井段 (m)	层位		$\delta^{13}\text{C}$ (‰)			
		地层	气层组	CO_2	CH_4	凝析油	泥岩
万 ₁	838.8—863.4	K_2q^3	三	-4.04			
万 ₄	774.5—788.3	K_2q^3	四	-8.83	-45.37	-24.8	
万 ₅	1011—1072	K_2q^2	—	-6.07	-42.07	-24.11	
万 ₅	1334.15	K_{1y}					-23.92

CO_2 含量一般不超过 5%, 甲烷含量则大都超过 90%, 酸烷比不大于 0.1; 而万金塔 CO_2 气田则截然不同, CO_2 含量一般大于 90%, 甲烷含量不超过 10%, 酸烷比高达 8.6—433.8。显而易见, 万金塔气田的 CO_2 不可能来自下伏煤系。至于该气田中的烃类气体与 CO_2 共存, 是由于下伏煤系产生的烃类气体, 被运移到同一构造圈闭所致。三口井气样的碳同位素分析结果, $\delta^{13}\text{C}$ 值正好都落在岩浆源的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值域内, 可作为万金塔气田 CO_2 岩浆源成因的直接证据。区域地质分析也证明, 晚侏罗—早白垩世岩浆活动频繁, 火山岩系发育, 最厚的大于 939 米 (万₅井), 是万金塔气田 CO_2 岩浆源成因的物质基础。其形成机理, 我们认为在早白垩世巴列姆期 (营城组沉积时期), 万金塔构造处于火山口或其附近, I、II 号主干断裂为岩浆喷发和侵入的通道, 从岩浆和热液中析出的 CO_2 沿裂隙、孔隙向火山颈周围的储集层中运移, 遇到合适的圈闭就聚集起来, 形成原始的万金塔 CO_2 气。

藏。由于后期的构造运动,尤其是嫩江期末的构造活动,使已形成的原始气藏遭到破坏,二氧化碳气沿断裂向上运移,在泉头组二、三段又重新聚集起来形成现在的万金塔 CO_2 气田。

(收稿日期 1985年6月24日)

参 考 文 献

- [1] 唐忠汉, 1980, 三水盆地二氧化碳气地质特征及其成因探讨, 石油实验地质, 第3期。
- [2] 唐忠汉, 1983, 天然二氧化碳气藏的地质特征及其利用, 天然气工业, 第3卷, 第3期。
- [3] 戚厚发、戴金星, 1981, 我国高含二氧化碳气藏的分布及其成因探讨, 石油勘探与开发, 第2期。
- [4] A. П. 维诺格拉多夫, Э. М. 加里莫夫, 1970, 碳同位素和石油起源问题, 石油地质学译文集, 第三集 1976, 科学出版社。
- [5] 霍夫斯, 稳定同位素地球化学, 1976, 科学出版社。
- [6] Максимов, С. П. и др., 1980, Изотопный состав углерода CO_2 газов западной Сибири в связи с его генезисом, Геохимия, No. 7.

GEOLOGICAL FEATURES OF WANJINTA CO_2 FIELD IN SOUTH SONGLIAO BASIN

Qiu Songyu Zhong Shiyu

(Jilin Headquarters of Petroleum Prospecting and Exploration, Ministry of
Geology and Mineral Resources)

Abstract

Wanjinta CO_2 field is located on the western margin of Dehui depression, Songliao Basin. The gas pooled in the Middle Cretaceous Quantou Formation, and is trapped in anticline and stratigraphy-fault-anticline complexities. The well yield is more than 20,000 m^3 of gas per day.

The gas comprises 84.5-99.8% of CO_2 and a little hydrocarbons. Each gas pool has its own specific hydrodynamic system. Due to its gravity differentiation, the content of hydrocarbon decreases and that of CO_2 increases with depth.

The reserve of gas field is quite voluminous and productive. On the basis of $\delta^{13}\text{C}$ value and regional condition, it is suspected that CO_2 was derived, and then concentrated, from magmatism. The Early Cretaceous volcanics to which the Well Wan-5 penetrated more than 939m thick.