

文章编号: 1000-0550(2003)04-0560-05

青西凹陷下白垩统湖相喷流岩 成因探讨及其意义

范铭涛¹ 杨麟科¹ 方国玉¹ 汪满福¹ 李铁锋¹ 朱利东²
1(玉门油田分公司研究院 甘肃玉门 735200) 2(成都理工大学地球科学学院 成都 610059)

摘要 青西凹陷下白垩统泥云岩(泥质白云岩、白云质泥岩、白云岩,统称“泥云岩”)以其富含泥级钠长石、石英、铁白云石和重晶石等特殊矿物成分为特点。从构造、沉积、岩石学等方面对青西凹陷下白垩统泥云岩进行了地质分析,指出泥云岩的成因与湖底热水喷流有关。

关键词 青西凹陷 泥级钠长石 泥云岩 热水矿物 喷流岩

第一作者简介 范铭涛 男 1964年出生 博士 地球物理勘探

中图分类号 P588.24⁺5 **文献标识码** A

青西凹陷下白垩统下沟组发育巨厚的湖相泥云岩,钻井揭示最大厚度达1 314 m(未穿,Q2-3井),主要分布于半深湖—深湖亚相区,分布明显受北东向基底断裂控制,同沉积断裂活动对泥云岩的空间展布有直接控制作用。泥云岩矿物组成十分特殊,由纹层状分布的微晶—隐晶长英质矿物、铁白云石及有机质纹层相间组成,其次,还含有重晶石、地开石、方沸石、微量闪锌矿及黄铜矿等非正常沉积成因的矿物,属于一类具有特殊成因意义的“湖相喷流岩”。

1 区域地质背景

青西凹陷位于酒泉盆地酒西坳陷西部,是在古生界褶皱基底之上发育起来的中、新生代内陆沉积凹陷面积675 km²(图1)。

区内断裂有较强的分期定向性,燕山期断层是在边界断裂的剪切—拉分作用下而形成的派生断层,以

NE—NNE走向张扭性生长断层为主,促进了一系列分割性很强的早白垩世不对称箕状断陷或半地堑断陷的发育。在红柳峡、旱峡下白垩统下沟组露头剖面中,不仅发现古火山口,还存在顺层水下喷发玄武岩,厚约3~130 m,杏仁、气孔构造十分发育,同位素年龄测定为早白垩世(100~130 Ma^[1])玄武岩,这些同沉积断裂为热水沉积提供了构造条件。喜山期区内NW—NNW走向的逆冲断裂发育,控制了区内窟窿山等构造带及其局部构造的形成,晚第三纪以来强烈的逆冲推覆作用以及剪切作用肢解、改造了中生代断陷盆地。

该凹陷下白垩统内喜干旱的短叶杉、喜潮湿的蕨类等植物化石以及CaO等地球化学指标反映,本区早白垩世气候湿热,并存在潮湿与干旱气候更迭现象。岩石内B等微量元素含量、碳、氧同位素分析均指示古盐度呈正常湖泊间有微咸化—半咸化湖泊特征。旱峡等露头剖面反映下白垩统下沟组内富含叶肢介及核形石层位,常见以化学方式晶出的碳酸盐矿物(白云石、方解石)、热稳定性差的片状方沸石及含铁矿物(黄铁矿)等自生矿物,表明古水介质偏碱性—碱性。因此,在下白垩统沉积时,断陷湖泊整体上处于封闭—半封闭的强还原—还原环境。

2 泥云岩的岩矿特征及沉积构造

该凹陷下白垩统内泥云岩与一般正常沉积形成的泥云岩成分有所不同,由泥晶、微晶铁白云石和泥级钠长石、石英以及重晶石、方沸石等特殊矿物构成,而那些在正常沉积环境下形成的泥岩中常见的片状粘土矿物含量较少(表1)。



图1 酒西坳陷西部燕山期构造区划图

Fig. 1 Tectonic units of Yanshan epoch in the western Jiuxi Depression

表 1 青西凹陷隆 105 井泥云岩岩石组分统计表

Table 1 Mineral compositions of muddy dolostone in Well Long 105 in Qingxi sag

井深 /m	矿物含量/%							
	粘土	石英	斜长石	钾长石	铁白云石	方沸石	菱铁矿	黄铁矿
4446.40	5.59	7.55	12.62	0	52.89	15.02	0	6.33
4459.70	11.1	3.43	33.56	0	41.99	9.95	0	0
4549.41	6.27	4.37	11.47	12.33	39.93	7.68	17.95	0
4639.93	3.32	3.61	16.78	6.01	65.65	3.02	0	1.61

2.1 特殊矿物组分

青西凹陷下白垩统泥云岩中发现了众多正常沉积岩难以解释的矿物组分及构造。

钠长石: 青西地区泥云岩中的斜长石属于 $An=2-10$ 的钠长石, 所有样品均分布在 O/D 过渡区(图 2), 具有中间结构的有序状态, 反映此区泥晶钠长石是低温热液结晶作用的产物。钠长石呈纹层状、脉状、团块状、碎屑状或角砾胶结物状产出, 共生矿物有重晶石、方沸石、铁白云石、地开石等。

重晶石: 多呈纹层状、碎屑状产出, 常与闪锌矿等

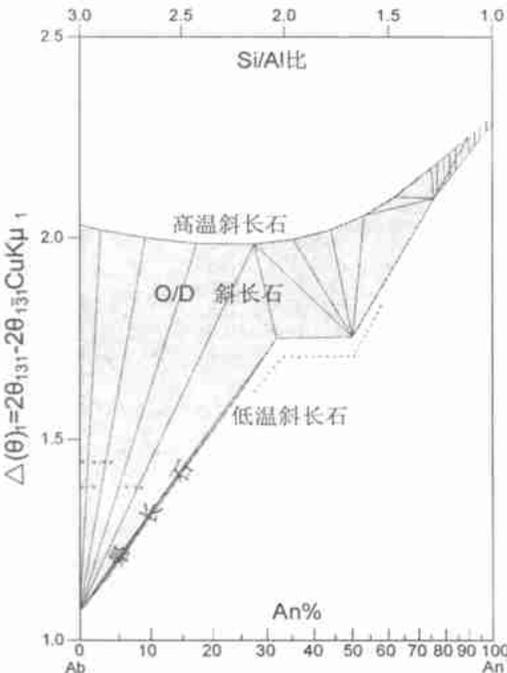


图 2 青西凹陷斜长石 $\Delta(\theta)_1$ 与成份和结构状态关系图 (据罗平, 2001)

Fig. 2 Relationship between plagioclase $\Delta(\theta)_1$, compositions and mineral structures (after Luo Ping, 2001)

矿物形成集合体。

方沸石: 常与钠长石、铁白云石等呈纹层状、团块状或角砾胶结物状产出。

闪锌矿: 多呈斑点状、斑块状, 常与钠长石、重晶石形成集合体。

黄铜矿和方铅矿: 在钠长石、重晶石集合体中呈斑

块状产出。

铁白云石: 以微晶结构为主, 呈纹层状、分散状或团块状产出, 在纹层状构造中, 不同纹层中其含量差别较大, 5%~78%, 电子探针分析主要成分为 MgO 、 CaO 、 FeO 及 CO_2 等(表 2)。

表 2 青 2-4 井微晶铁白云石电子探针分析结果(%)

Table 2 Composition of micrite ankerite in Well Qing 2-4 by electronic probe analysis(%)

Na_2O	MgO	SrO	K_2O	CaO	BaO	MnO	FeO	CO_2	TOTAL
0.13	11.21	0	0.14	30.74	0.23	0.36	10.18	47.01	100
0.23	10.97	0.19	0.24	30.37	0	0.52	10.18	47.31	100
0.13	11.48	0.19	0.12	29.75	0	0.38	11.16	46.80	100

2.2 矿物组合类型

铁白云石—钠长石—石英多元纹层组合;

铁白云石—钠长石—石英—重晶石多元纹层组合;

铁白云石—钠长石—石英—方沸石多元纹层组合;

脉状、团块状、碎屑状或角砾状胶结物产出的钠长石、重晶石、方沸石、铁白云石、地开石的单矿物或复矿物组合。局部含有微晶闪锌矿、黄铜矿、方铅矿等金属硫化物和石盐。

2.3 沉积构造

仔细观察青西凹陷钻井取芯, 发现许多沉积构造与正常沉积有所差异, 造成差异的主要原因是由于热水沉积。

纹层状构造: 泥云岩中发育二元纹层和三元纹层, 纹层有水平的, 有微波状起伏的, 还有被生物改造的, 甚至有滑塌变形构造, 岩心测量纹层厚 1~20 cm, 由白云石、有机质、泥质间互组成。薄片分析纹层厚 0.3~1 mm, 主要由钠长石、重晶石、铁白云石、方沸石、地开石和菱铁矿等热水矿物与正常沉积的粘土矿物及有机质纹层相间组成(图 3)。上述纹层的发育与湖底热水喷流及分带性沉积作用有关。

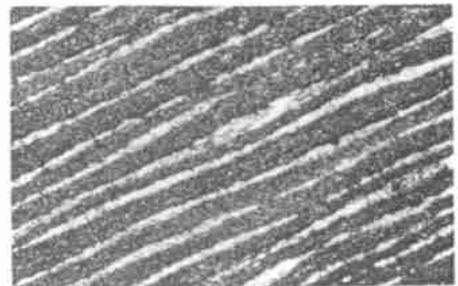


图 3 青 2-1 井 4 613.69~4 613.73 m 浅色纹层为地开石, 暗色纹层为泥晶铁白云石

Fig. 3 Laminae structure of muddy dolostone within interval 4 613.69~4 613.73 m in Well Qing 2-1. Light layer is dickite and dark one is micrite ankerite

同生变形构造: 发育于泥云岩层内, 在正常沉积过程中, 由于地震等原因造成富含热水矿物不均一沉积, 发生局部变形, 变形幅度仅为数毫米至厘米级, 夹于水平层理中。主要有液化变形构造、滑塌构造等, 其成因与热水沉积物快速堆积及沉积坡度较陡而发生重力滑塌有关, 显示其分布位置与热水喷流口较近。

斑状及似斑状构造: 在青西凹陷 Q2-4 等井中, 发现厚层泥云岩中存在数层白云石斑块 (图 4), 厚度为 0.06~0.84 m, 白云石斑块大小在 0.2cm×0.1cm~7cm×9cm 之间, 大小混杂, 无明显规律性, 镜下分析白云石斑块中白云石为微晶—泥晶结构, 且为同生白云石, 研究认为白云石斑块的分布与热水沉积有关, 反映出其分布区就位于古喷流口附近。



图 4 Q2-4 井 3 934.08~3 934.27 m 泥云岩中斑状构造

Fig. 4 Patchy structure in muddy dolostone within interval 3 934.08~3 934.27 m of Well Q2-4

热水角砾构造: 角砾成分为钠长石、重晶石纹层含量较高的泥云岩, 角砾大小不一, 以呈轻微位移或可拼合的棱角状外形为主, 角砾之间主要被单一的微晶—泥晶钠长石、重晶石集合体充填胶结或被等厚环边的方解石和方沸石胶结 (图 5), 也偶见星散状分布的微粒闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿和菱铁矿。其成因与热水沉积相联系, 不仅是识别水下喷流岩重要的岩石学标志之一, 而且还可指示古喷流口的位置。

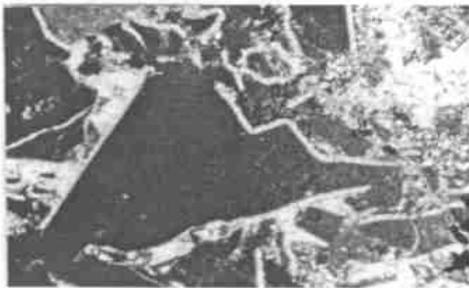


图 5 柳 103 井 4 303.24~4 303.27 m, 角砾被等厚环边的方解石和方沸石胶结

Fig. 5 Breccia cemented by calcite and zeolite film within interval 4 303.24~4 303.27m of Well Liu 103

网脉状构造: 在 Q2-4 井下白垩统下沟组岩心中发现网脉状构造, 厚 5~17 cm, 主要是燕山构造运动

产生的早期构造裂缝, 绝大部分已被白云石、黄铁矿、有机质、石英等充填, 缝宽 0.1~3 cm 不等, 缝面较平直。镜下观察泥云岩中的网脉状裂缝, 缝宽 0.01~0.1 mm, 个别达 1 mm, 被单一或复矿物组合的微晶—泥晶钠长石、铁白云石、黄铁矿、重晶石、地开石、方沸石等充填 (图 6), 偶见零星、散状分布的微粒闪锌矿。这些网脉状构造, 被肖荣阁等作为识别脉状充填型喷流岩和指示喷流口位置的重要证据之一^[2]。



图 6 旱峡剖面: 下沟组泥云岩中重晶石脉

Fig. 6 Barite vein in muddy dolostone of Xiagou Formation (K_{1g}) in Hanxia cross-section

2.4 泥云岩中粘土矿物的组分及转换

粘土矿物纵向分布呈规律性的变化, 随着深度增加、温度增高, 由蒙脱石过渡到蒙—伊混层, 再过渡到伊利石, 蒙脱石向伊利石转换的程度取决于温度、K⁺质量分数和时间。从表 3 分析数据可知, 青西凹陷从下第三系柳沟庄组 (E₂l) 到下白垩统下沟组 (K_{1g}) 伊利石含量明显增高^[3] (上白垩统未接受沉积), 其原因主要是富含 K、Si、Al 等元素的热液喷流岩的介入, 使得下白垩统下沟组中、下部地层内粘土矿物组分几乎全转变为伊利石。

表 3 青西凹陷隆 3 井泥云岩的粘土矿物组成

Table 3 Clay minerals of muddy dolostone of Well Long 3 in Qingxi sag

井深/m	层位	岩性	粘土矿物含量/%				
			K	C	I	I/S	S
3495	E ₂ l	泥岩	3	6	55	36	65
4200	K _{1g}	泥云岩	0	9	81	10	< 20
4792	K _{1g}	泥云岩	0	0	100	0	

3 泥云岩的成因分析

青西凹陷下白垩统内泥云岩的成因争论较大, 曾有学者提出该凹陷内泥云岩为“火山物质经搬运入湖蚀变产物”, 也有“火山灰漂浮入湖蚀变成因”之观点。结合以上泥云岩特殊的岩石组分、矿物组合及沉积构造等方面的研究成果, 笔者认为该凹陷泥云岩的成因

与湖底热水流体的沉积作用有关,属于一类具有特殊成因意义的“湖相喷流岩”。

4 喷流岩的类型及沉积方式

青西凹陷下白垩统现今地温梯度 $2.6 \sim 2.9 \text{ } ^\circ\text{C}/100\text{m}$, 现今热流值 $0.92 \sim 1.01 \text{ HFU}$, 古地温梯度 $2.87 \sim 3.2 \text{ } ^\circ\text{C}/100\text{m}$, 古热流值 $0.95 \sim 1.06 \text{ HFU}$, 按古海洋热水活动体系划分方法, 青西凹陷下白垩统为低温热水体系, 可与现代海底“白烟囱”相对应。按热水矿物组合特征, 喷流岩通常被划分为“白烟型”和“黑烟型”^[4] 两种类型, 而青西凹陷下白垩统泥云岩以非晶质或隐晶质的 SiO_2 、铝硅酸盐及碳酸盐岩矿物组合为主, 次为石膏、食盐及重晶石等硫酸盐矿物组合, 金属硫化物含量较少, 为典型的“白烟型”喷流岩沉积。

4.1 喷流岩成因类型的划分

按矿物组合和结构、构造特征, 喷流岩划分为脉状充填型、水爆角砾型、盆地沉积型、区域扩散型四种成因类型。

脉状充填型和水爆角砾型喷流岩(硅酸盐—硫酸盐质喷流岩): 各种热水矿物均可出现, 以钠长石、重晶石、方沸石和地开石最为富集, 并以含微量闪锌矿、黄铜矿和方铅矿为显著特征, 指示盆内喷流口的发育位置, 代表具备较高温度和压力条件, 相对封闭的热流体沉积体系。见于柳 103 井 $4\ 303.24 \sim 4\ 303.27 \text{ m}$ 。

盆地沉积型喷流岩(硅质—硅酸盐—硫酸盐—碳酸盐质喷流岩): 以钠长石、铁白云石、石英为主要造岩矿物, 次为重晶石、方沸石、地开石, 常含有来自喷流口的钠长石、重晶石、方沸石单矿物或复矿物组成的水爆碎屑, 碎屑中时可见到闪锌矿、黄铜矿、方铅矿和黄铁矿。主要发育于凹陷内近喷口的低洼部位, 代表水体较深, 水循环滞留, 具备一定温度和压力条件的半开放性的热流体沉积体系。见于白垩系旱峡剖面。

区域扩散型纹层状喷流岩(碳酸盐质喷流岩): 常由单一的铁白云石与陆源的伊利石粘土、硅质粉砂相间互层组成, 发育于水体相对较浅的凹陷边缘部位, 代表温度和压力较低、热卤水与底层水有混合作用, 并向凹陷边缘循环扩散的、有湖水参与的开放性热流体沉积系。见于隆 102 井 $4\ 682.6 \sim 4\ 682.75 \text{ m}$ 井段。

4.2 沉积作用方式

根据热水沉积发生的位置和方式, 可以区分出沉积期和准同生期的沉积、交代和充填三种方式。其中, 沉积作用发生在沉积界面上, 表现为青西凹陷下白垩统纹层状分布的喷流岩, 是最重要的沉积方式之一; 而交代和充填发生在沉积界面之下或穿透沉积界面的热水流体通道及附近, 产出层位以网脉状、热水碎屑岩、

热水角砾岩为表现方式。

4.3 热水流体性质的判别

据青西凹陷地层水分析资料及热水矿物的组合特征, 热水流体具有富 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Ba^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 与 Si 、 Al 等元素的热卤水性质。表现出在每次热水喷流和矿物结晶分异及沉淀过程中, 流体性质存在高碱性流体与酸性流体脉动性变化。

5 喷流岩具有平面环状分带特征

青西凹陷内热水矿物组合具有硅酸盐、硫酸盐矿物(含微量金属硫化物)组合→硅酸盐、硫酸盐、碳酸盐矿物组合→单一碳酸盐矿物组合的环状分带特征。

岩石的成因类型方面, 具有脉状、角砾状喷流岩→盆地沉积型纹层状喷流岩→区域扩散型纹层状喷流岩的环状分布特征。

在古水体物化条件下, 具有相对封闭的热流体沉积体系(相对较高的温度和压力)→半开放性热流体沉积体系(具一定的温度和压力)→开放性热流体沉积与正常陆源沉积交替发育的沉积体系(常温常压)。

6 喷流岩的研究意义

(1) 喷流岩为当今地学研究的最前沿热点课题之一, 据国内外资料检索, 目前有关喷流岩的研究成果主要集中在海相方面^[5,6], 湖相喷流岩较为少见, 且其类型仅限于“黑烟型”, 而湖相“白烟型”喷流岩则尚未见有报道, 本项研究中发现于酒西拗陷下白垩统下沟组的湖相“白烟型”喷流岩尚属首例。这一发现无疑为喷流岩的研究增添了新的成因类型和研究内容, 拓宽了喷流岩研究领域。

(2) 酒西拗陷湖相“白烟型”喷流岩热水矿物中, 以铁白云石的含量为最高, 分布范围为最大, 产出层位为最稳定, 表明热水沉积作用应该是形成湖相白云岩的重要方式之一。酒西拗陷内以铁白云石为主的喷流岩的发现和湖相喷流型热水沉积白云岩成因类型的提出, 为同类盆地湖相白云岩研究提供了新的成因类型、成因模式和研究思路。此外, 在东非裂谷的 Tanganyika 湖中也发现了现代的热热水碳酸盐沉积^[7], 可为酒西盆地湖相白云岩的成因探讨提供重要的类实例和研究方法。

(3) 酒西拗陷青西拗陷喷流成因的泥云岩的发现, 对下白垩统泥云岩内特殊矿物组分有了进一步的认识。泥云岩中的“泥质”成分主要为“泥级”长英质矿物, 泥云岩的岩石学特征发生了认识上的变化, 由“塑性”转变为“刚性”。由于青西拗陷在晚燕山期—喜山

期遭受强烈挤压,“刚性”岩石易于形成构造裂缝及次生孔隙,改善了泥云岩储集层的孔隙结构及渗透性,这是青西油田隆103等井获高产的地质内因。

(4) 热水石油(Hydrothermal Petroleum)是一种新的现代石油成因类型,在上世纪80年代,首先发现于美国的Guaymas裂谷盆地中^[8],随即引发了对热水石油的研究热潮,在近二十年来,来自不同学科的科学家对热水石油的成因^[9]、组成^[10]、生物标记化合物^[11]和运移^[12]等问题进行了深入的研究,取得了丰富的成果。特别是,在东非裂谷的现代湖泊中也发现了湖底热液活动和与之伴生的烃类^[13],这启示我们酒西盆地在白垩纪裂谷发育时期,伴随热液活动也有可能形成早期烃类物质,并为青西油田的形成做出某种程度上的贡献,因此有必要换个思路深入研究青西拗陷的碳酸盐岩类烃源岩的生烃条件、生烃模式和生烃史,从理论上突破,有可能开拓出新的勘探领域。

参考文献(References)

- 1 杨经绥,孟繁聪,张建新.重新认识阿尔金断裂东段红柳峡火山岩的时代及构造意义[J].中国科学(D辑),2001,31(增刊):12 [Yang J S, Meng F C, Zhang J X. Recognition of the geologic age of volcanic rock distributed in the eastern end of Hongliuxia Fault and its tectonic significance [J]. Science in China (series D), 2001, 31(Suppl.): 12]
- 2 肖容阁,李朝阳.热水成矿作用[J].地学前缘,1994,1(3~4):10 [Xiao R G, Li C Y. Thermal ore genesis [J]. Geoscience Frontier, 1994, 1(3~4): 10]
- 3 解习农,李思田等.热流体活动示踪标志及其地质意义[J].地球科学—中国地质大学学报,1999,24(2):3 [Xie X N, Li S T, et al. Tracing indicators for thermal fluid activity and its geological significance [J]. Geosciences-Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(2): 3]
- 4 周永章,刘建明,陈多福.华南古海洋热水沉积作用研究概述及若干认识[J].矿物岩石地球化学通报,2000,19(2):4 [Zhou Y Z, Liu J M, Chen D F. Review of paleomarine thermal sedimentation in the south China [J]. Bulletin of Mineral, Rock and Geochemistry, 2000, 19(2): 4]
- 5 吴志亮,李峰.热水沉积成岩成矿作用—以阿尔泰泥盆纪火山沉积盆地为例[M].北京:地质出版社,1996 [Wu Z L, Li F. Thermal sedimentation, diagenesis and ore deposit process-taking Devonian volcanic basin in Aretai as an example [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996]
- 6 Bischoff J L. Red sea geothermal brine deposits [A]. In: Degens E T and Ross D A, eds. Hot brines and recent heavy metal deposits of the Red sea [C]. New York: Springer-Verlag, 1969. 338~401
- 7 Stoffers P and Botz R. Formation of hydrothermal carbonate in Lake Tanganyika, East-Central Africa [J]. Chemical Geology, 1994, 115(1~2): 117~122
- 8 Simoneit B R T, Lonsdale P F. Hydrothermal petroleum in mineralized mounds at the seabed of Guaymas Basin [J]. Nature, 1982, 295: 198~202
- 9 Dydik B M, Simoneit B R T. Hydrothermal oil of Guaymas Basin and implications for petroleum formation mechanisms [J]. Nature, 1989, 342: 65~69
- 10 Yamanaka T, Ishibashi J, Hashimoto J. Organic geochemistry of hydrothermal petroleum generated in the submarine Wakamiko Caldera, southern Kyushu Japan [J]. Organic Geochemistry, 2000, 31: 1117~1132
- 11 Simoneit B R T, Fetzer J C. High molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons in hydrothermal petroleum from the gulf of California and northeast Pacific Ocean [J]. Organic Geochemistry, 1996, 24: 1065~1077
- 12 Simoneit B R T. Hydrothermal petroleum: genesis, migration, and deposition in Guaymas basin, Gulf of California [J]. Canadian Journal of Earth Science, 1985, 22: 1919~1929
- 13 Tiercelin J J, Thouin C, Kalala T. Discovery of sublacustrine hydrothermal activity and associated massive sulfides and hydrocarbons in the north Tanganyika trough, east African Rift [J]. Geology, 1977, 5: 1053~1056

Origin of Lacustrine Hydrothermal Sedimentary Rock (Lower Cretaceous) in Qingxi Sag and Its Significance

FAN Ming-tao¹ YANG Ling-ke¹ FANG Guo-yu¹ WANG Man-fu¹
LI Tie-feng¹ ZHU Li-dong²

1(Research Center of Yumen Oilfield Co. Ltd. CNPC, Yumen Gansu 735200)

2(College of Geosciences, Chengdu Science and Technology University, Chengdu 610059)

Abstract Lower Cretaceous muddy dolostone distributed Qingxi sag, Jiuxi depression is characterized by the high content of special mineral assemblage including clay-sized albite and quartz, ankerite and barite, and so on. So far, there have been different debates on the origin of this special rock type, resulting in the difficult evaluation on the muddy dolostone reservoir. Based on the systematic structural, depositional and petrologic study on this kind of rock, this paper has pointed out that the rock is closely related to the overflow of thermal water from lake bottom, and, furthermore, discusses the role of the special rock in controlling petroleum formation as well as the future exploration direction.

Key words Qingxi sag, clay-sized albite, muddy dolostone, thermal water minerals, thermal fluid rock