

文章编号: 1009-3850(2015)01-0050-07

羌塘盆地戈木错地区泥火山群沉积及浅表地球化学特征

冯兴雷¹, 付修根¹, 谭富文¹, 陈文彬¹, 颜 泽^{2,3}

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 618300; 2. 核工业 280 研究所, 四川 广汉 618300; 3. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要: 本文对羌塘盆地戈木错地区的泥火山群进行了沉积学及地球化学的研究。研究区泥火山沉积物主要为第四系风化沉积物及被流体带到地表的下伏地层岩块组成。酸解烃法、蚀变碳酸盐法(ΔC)对土壤样品的研究结果表明, 样品含有的有机酸解烃成分具有完整 C_1-C_5 序列; 烃类各组分间、烃类和碳酸盐指标间具有显著的正相关性; 烃类气体来源为原油伴生气和凝析油气, 显示出深部热解成因气的特征。

关键词: 羌塘盆地; 戈木错; 泥火山; 酸解烃; 地球化学特征

中图分类号: TE122.1+13

文献标识码: A

泥火山是盆地地层深部含水(气)和混有砾石、砂的泥质物在高压作用下喷出地表形成的锥状沉积体^[1-4]。泥火山跟泥底辟一样, 都是地层内部圈闭气体由于压力释放上冲的结果, 同时它也是气体向上运移的通道。1984年, Ginsburg等地球物理学家第一次提到了天然气水合物与海底泥火山的关系问题, 此后陆续在里海、黑海、挪威海、地中海、巴巴多斯近海、尼日利亚近海和墨西哥湾有所发现。这些现象说明泥火山与天然气渗漏关系密切, 可以认为泥火山是天然气渗漏的标志之一^[5]。

羌塘盆地戈木错地区泥火山群最先由1:25万区域地质调查发现^[6-7]。笔者2013年在该地区进行了详细的1:5万地质调查, 针对泥火山群开展了详细的沉积测量, 并运用浅表地球化学方法(酸解烃和碳酸盐法)研究该地区泥火山的地球化学特征,

分析泥火山与油气藏之间的关系。

1 地质背景

戈木错地区行政区域属于西藏自治区阿里地区改则县古姆乡, 位于羌塘盆地中部, 地理坐标: $N33^{\circ}27'30'' \sim 33^{\circ}38'30''$ 、 $E85^{\circ}53'00'' \sim 86^{\circ}18'00''$ 。区内平均海拔5000m以上, 空气稀薄, 寒冷干燥。饮用水为盐碱水, 沙化严重, 草场退化, 湖泊严重萎缩, 为典型的高原戈壁地貌。

研究区构造上位于羌塘盆地中央隆起带北缘, 断裂构造发育, 主要发育EW、NW、NE和NS向4组断裂。地层分布不规则, 地层体间多呈断层接触, 出露的地层包括上石炭统展金组(C_2z)、中二叠统鲁谷组(P_2l)、上三叠统望湖岭组(T_3w)、上更新统冲洪积沉积(Qp^3)、全新统冲积沉积(Qh)。其中, 上

收稿日期: 2014-07-20; 改回日期: 2014-09-18

作者简介:



冯兴雷, 男, 1982年生, 硕士, 工程师。从事石油地质学、沉积学、沉积地球化学及相关研究。目前主要开展青藏高原国家油气调查及冻土区天然气水合物调查工作; 主持或主研国家项目5项, 近年来, 在国内外期刊发表有关沉积学、地球化学方面的研论文23篇(第一作者文章7篇, 合作发表16篇)。

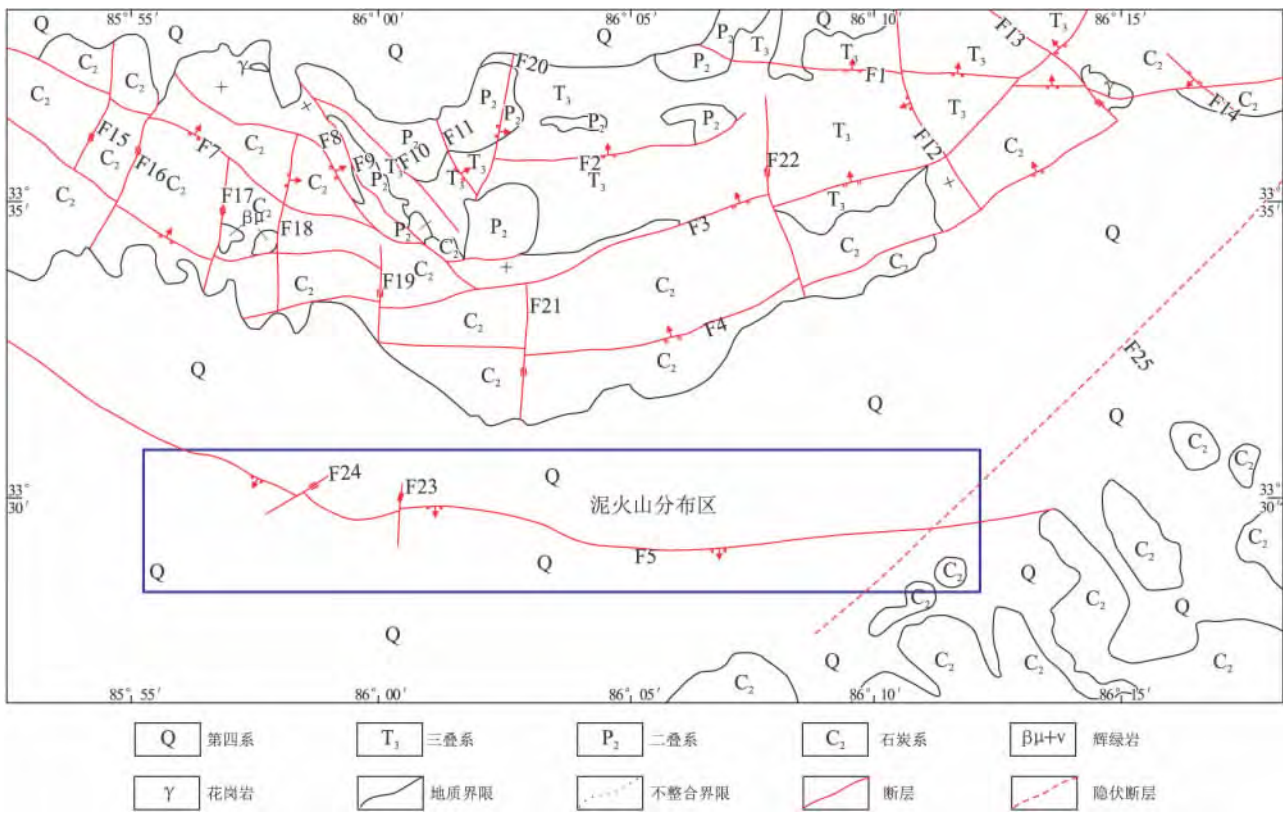


图 1 羌塘盆地戈木错地区地质图

Fig. 1 Geological map of the Gemucuo Lake area , Qiangtang Basin

石炭统、中二叠统出露在区块的中北部,分布面积约 207km²;展金组岩性以石英岩、云母石英片岩、变质石英砂岩为主,夹大理岩及多层变质玄武岩、辉绿岩;鲁谷组岩性为生物碎屑微晶灰岩,礁灰岩,局部为肾状、豆状灰岩。颜色以淡红色、褐红色为主,局部为青灰色。上三叠统望湖岭组以角度不整合覆盖于古生代地层上,分布面积约 105km²。该套地层下部以碎屑岩为主夹流纹岩,上部以碎屑灰岩为主,部分灰岩含有生物碎屑、陆源碎屑。第四系在区内分布最广,主要分布在大沙河两岸、研究区北部以及山间洼地、沟谷,分布面积约 390km²,是泥

火山发育分布区。

区内的泥火山群主要分布在南部 F5 断裂两侧大沙河一带,呈东西向带状分布,共计 117 个,形成于 1 万年前左右^[8],分为盾状、盆状和盾-盆复合状 3 种类型(图 2)。

2 泥火山沉积特征

泥火山的主要沉积物为第四系沉积物以及下伏地层岩块,根据沉积地貌和形态,泥火山可分为盾状、盆状和盾-盆复合状 3 种类型。

盾状泥火山:区内共发现 42 个。此类泥火山呈



图 2 戈木错地区泥火山沉积地貌特征

Fig. 2 The geomorphological features of the mud volcanoes in the Gemucuo Lake area , Qiangtang Basin

盾状产出,大小不一,直径为20~120m(平均49m),边坡角5~36°(平均12°)。顶部、边坡成分与周围第四系沉积物一致,主要为沙土和有一定磨圆的砾石,表明盾状泥火山是气体向上运动导致第四系覆盖层突起,但由于压力不足未能喷出地面而形成的。

盆状泥火山:区内共发现51个。此类泥火山喷发口下凹,四周凸起,似“盆”形。内坡角5~23°(平均9°),外坡角6~45°(平均14°),内径10~78m(平均25m),外径19~160m(平均55m)。盆壁表面一般为1~10cm的砾石,成分主要为石英、白云母片岩、灰白色变质石英砂岩等,距地表20cm深以下为黄褐色砂砾土混合物;盆底表层以下大多为黑色土壤,富含有机质。受河流和雨水、地下水的影 响,大部分盆状泥火山形成季节性泥火山湖或常年泥火山湖。河流涨水或大量降雨过后,盆壁将河水或雨水圈围在盆底,无法排泄,形成火山湖。后随着强蒸发作用,湖水完全蒸发使泥火山湖消失,此类为季节性火山湖。地下水通过构造补给到盆状泥火山,形成的泥火山湖,常年存在,为常年泥火山湖。季节性火山湖在干旱季节表现为盆底有大量盐碱结晶物,并局部存在冻胀草丘等冻土特征。受现代气候影响,部分泥火山湖发生了明显萎缩,但也有个别泥火山湖仍在向外扩张,致盆壁逐渐垮

塌,盆底范围扩大。极个别泥火山湖中见有气泡冒出,表明沿这些泥火山通道至今仍有地下气液上升。盆状泥火山的形成需要下部气液体压力大,足以将覆盖物冲破喷出泥浆,此类泥火山内倾角越大,表明释放的压力越大。

盾-盆复合状泥火山:区内共发现24个。此类泥火山整体形态为盆状,火山口保持盾状外观。直径一般为33~110m(平均52m)。盆壁上的沉积物砾石较多,沙土颗粒较大;喷发口盾状沉积物砾石较少,沙土颗粒细小。此类泥火山表明不同期次、不同规模的泥浆活动。

3 地球化学特征

3.1 样品采集

本次土壤样品均采自泥火山或第四系覆盖区。采集时穿过腐殖层60cm以下粘土层或砂土层物质,共采集32件样品,其中29件来自于大沙河一带的泥火山,两件为非泥火山样品,并在研究区外北部泥火山取样1件做对比。由于研究区泥火山整体呈沿F5断裂线性分布,故采样的位置并不满足面上化探的网度要求,而是沿F5断裂的地球化学剖面(图3)。

3.2 分析方法

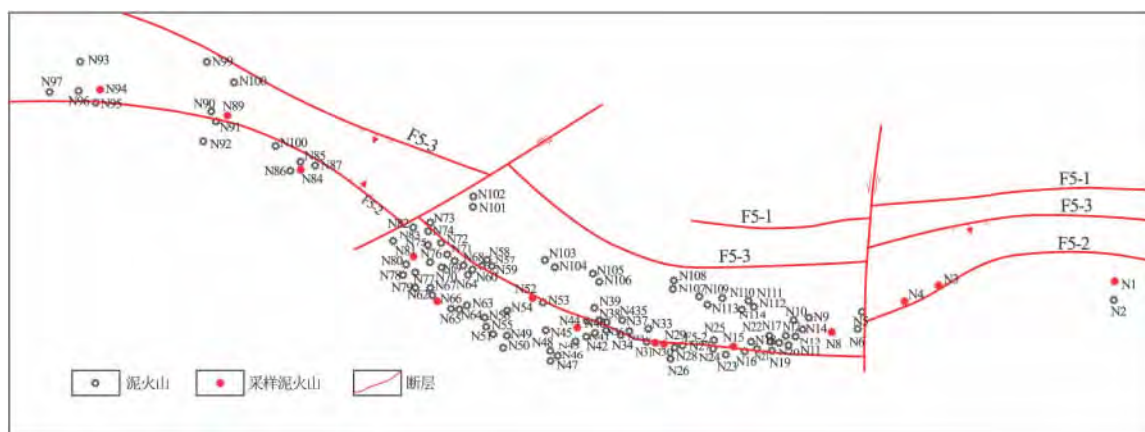


图3 戈木错地区泥火山分布图

Fig. 3 Distribution of the mud volcanoes in the Gemucuo Lake area, Qiangtang Basin

分析方法和检出限依据《石油天然气行业标准》SY/T6009-2003。测试由长江大学油气地球化学实验室完成。在检测过程中,除常规的空白监控、标准样品仪器监控等手段外,还采取管理样监控、重复密码样监控、异常点复测等方法保证质量。

3.2.1 酸解烃法

烃类气体在运移过程中往往受到生物和化学

降解作用的改造。这些作用常促使浅表层沉积物发生蚀变,形成自生矿物。新生矿物中会包含大量的烃类气体。通过酸解烃分析方法将矿物中吸附包含的烃类气体物质释放出来,能够判断深部是否有油气资源存在。试样在真空和一定的恒温条件下经盐酸分解,释放出来的气体经碱溶液吸收除去CO₂,其余气体经碱液排驱到量气管,记录脱出的气

体体积 根据含量注入适量的脱出的气体 ,进行色谱测定 $C_1 \sim C_5$ 。烃类组分用外标法进行定量计算。

3.2.2 碳酸盐法

油气藏中的烃类组分运移至地表被氧化成 CO_2 ,并与土壤水和盐类进行作用后转化成碳酸盐。这种后生碳酸盐呈胶结物的形式存在于土壤的硅铝酸盐中或晶格间 ,稳定而不易被淋滤。其与土壤中原有碳酸盐的分解温度不同 ,主要在 $500 \sim 600^{\circ}C$ 的温度区间易被分解。样品经处理后 ,放置于热释炉内进行分解。在此温度区间释放出的 CO_2 经载气带至红外气体分析仪中进行检测 ,即可指示样品中 ΔC 的含量。 ΔC 指标间接地反映了油气藏的垂向

运移作用。其在地表形成的异常与地下油气藏之间存在着内在联系 ,是常用的油气化探方法。

3.3 地球化学特征与讨论

3.3.1 地球化学基本特征统计

通过实验分析 ,对戈木错泥火山群浅表层地球化学指标特征值进行了统计分析 ,结果发现 87.5% 的土壤样品酸解烃组分齐全 ,具有 $C_1 > C_2 > C_3 > C_4 > C_5$ 的含量特征(表 1) 。研究区与羌塘盆地其它地区相比 ,烃类和蚀变碳酸盐在近地表土壤中的赋存特征总体上表现为低背景的地球化学场。但与木里水合物发现区相比 ,研究区烃类和蚀变碳酸盐含量平均值与木里地区比较相近(表 2) 。

表 1 戈木错地区泥火山群酸解烃及蚀变碳酸盐测定结果表

Table 1 Determinations of the acidolysis hydrocarbons and altered carbonate rocks from the mud volcanoes in the Gemucuo Lake area , Qiangtang Basin

序号	样品编号	酸解烃含量($\mu l/kg$)							蚀变碳酸盐(%)
		甲 烷	乙 烷	丙 烷	异丁烷	正丁烷	异戊烷	正戊烷	ΔC
1	YN1-2	82.38	19.38	10.79	0.65	0.84	0.42	0.19	1.18
2	YN3-1	131.6	32.99	25.82	1.12	1.4	0.71	0.34	0.63
3	YN4-1	126.5	42.23	34.43	1.21	1.51	0.86	0.44	1.07
4	YN8-1	84.62	15.57	10.43	0.61	0.76	0.39	0.17	0.77
5	YN8-2	7.76	1.95	1.25	0.05	0.06	0.03	0.02	0.65
6	YN15-1	39.66	6.08	2.7	0.35	0.43	0.21	0.11	0.63
7	YN15-2	11.35	1.31	0.48	0.05	0.06	0.03	0.01	0.39
8	YN29-1	21.14	3.39	1.35	0.17	0.21	0.1	0.06	0.56
9	YN30-1	107.2	18.42	7.35	0.8	1.01	0.51	0.26	0.5
10	YN44-1	3.06	0.39	0.16	0.02	0.03	/	/	0.31
11	YN44-2	1.2	0.13	0.06	/	/	/	/	0.3
12	YN52-1	3.27	0.41	0.17	0.02	0.03	/	/	0.44
13	YN66-1	6.86	0.89	0.36	0.04	0.05	0.02	0.01	0.31
14	YN66-2	2.17	0.28	0.12	0.01	0.02	/	/	0.16
15	YN84-1	28.96	4.26	1.61	0.28	0.36	0.19	0.09	0.85
16	YN89-1	32.96	5.08	2.09	0.21	0.27	0.14	0.06	0.37
17	YN94-1	21.39	3.67	1.27	0.11	0.14	0.07	0.03	0.38
18	YN0-2	61.07	11.5	4.24	0.48	0.61	0.3	0.15	1.23
19	YN0-5	56.98	7.62	2.91	0.4	0.5	0.23	0.11	0.94
20	YN116-1	6	0.82	0.33	0.03	0.04	0.02	0.01	0.61
21	YN118-1	492	94.81	33.76	4.9	9.02	3.59	1.94	3
22	YN81-1	56.2	9.79	3.85	0.39	0.49	0.24	0.12	0.66
23	YN81-3	58.74	8.34	3.36	0.36	0.45	0.22	0.11	0.55
24	YN81-7	45.99	7.27	2.67	0.28	0.36	0.21	0.1	0.6
25	YN81-9	42.92	6.83	3.01	0.26	0.33	0.17	0.07	0.64
26	YN81-11	49.64	8.41	3.52	0.33	0.41	0.2	0.08	0.63
27	YN81-13	52.1	9.01	3.66	0.38	0.48	0.23	0.1	0.6
28	YN81-15	29.74	5.11	2.02	0.27	0.33	0.17	0.08	0.53
29	YN81-17	17.44	2.83	1.21	0.08	0.1	0.05	0.03	0.67
30	YN81-18	55.86	10.93	4.3	0.43	0.53	0.28	0.13	0.62
31	YN81-20	11.51	1.63	0.68	0.05	0.07	0.04	0.02	0.36
32	Y0-1	33.06	8.23	3.92	0.35	0.44	0.2	0.08	1.06

表2 戈木错地区泥火山群浅表层地球化学指标特征值

Table 2 Geochemical signatures for the mud volcanoes in the Gemucuo Lake area , Qiangtang Basin

指标		样品数	最大值	最小值	平均值	木里水合物发现区均值	羌塘托纳木均值	羌塘龙尾湖均值
酸解烃 ($\mu\text{l}/\text{kg}$)	甲烷	31	131.6	1.2	41.59	30.74	791.15	2527
	乙烷	31	42.23	0.13	8.22	0.65	130.52	132.10
	丙烷	31	34.43	0.06	4.52	0.91	57.36	49.54
	异丁烷	31	1.21	0	0.33	0.22	14.94	4.39
	正丁烷	31	1.51	0	0.41	0.35	18.98	16.69
	异戊烷	31	0.86	0	0.23	0.24	11.51	10.42
	正戊烷	31	0.44	0	0.11	0.13	6.46	5.87
蚀变碳酸盐(%)		31	1.18	0.16	0.62	0.28		0.79

土壤酸解烃指标间相关程度较高,相关系数最高值达0.991(表3),反映烃类组分之间的组成特征与油气藏或天然气水合物矿藏分解产生的烃类组成特征一致,其迁移形式具有共性。蚀变碳酸盐

与酸解烷烃指标间相关程度也较高,除与丙烷相关系数为0.686外,其它均大于0.875,揭示二者之间存在共生关系和相互转化的特征。

表3 戈木错地区泥火山群浅表层各地球化学指标相关矩阵

Table 3 Correlation matrix of the geochemical signatures for the mud volcanoes in the Gemucuo Lake area , Qiangtang Basin

	甲烷	乙烷	丙烷	异丁烷	正丁烷	异戊烷	正戊烷	蚀变碳酸盐
甲烷	1							
乙烷	0.979	1						
丙烷	0.807	0.905	1					
异丁烷	0.996	0.978	0.799	1				
正丁烷	0.984	0.951	0.738	0.994	1			
异戊烷	0.991	0.972	0.788	0.998	0.995	1		
正戊烷	0.988	0.966	0.774	0.997	0.998	0.998	1	
蚀变碳酸盐	0.894	0.875	0.686	0.903	0.900	0.900	0.899	1

3.3.2 因子分析

为弄清影响泥火山分布区浅表地球化学特征的主控因素,我们对地球化学指标进行了因子及主成分分析。表4为地球化学指标初始因子矩阵,各指标经因子分析获得4个因子,因子贡献累计百分数达100%,前3个因子贡献为99.81%,F4因子可忽略不计。初始因子、旋转因子获得的结果一致。甲烷在各个因子中都处于最大载荷。蚀变碳酸盐在第一因子(F1)中获得较大载荷。乙烷、丙烷在第二因子中获得较大载荷,丁烷、戊烷在第三因子中获较大载荷。根据研究区地球化学异常分布的特征,主要因子指示水合物的意义如下: F1 主要由甲烷和蚀变碳酸盐组成,该因子贡献率为45.709%,甲烷和碳酸盐从化学吸附烃的角度反映深部油气或天然气水合物中烃类组分垂向运移的特征; F2 由甲烷、乙烷和丙烷组成,该因子贡献率为45.136%,说明深部具有比较全的油气藏各类别轻烃裂

解产物; F3 由甲烷、丁烷和戊烷组成,因子贡献为9.136%,该指标反映了油气藏轻烃和多分子烃之间的转化关系。

表4 戈木错地区泥火山群地球化学指标初始因子矩阵

Table 4 Factor matrix of the geochemical signatures for the mud volcanoes in the Gemucuo Lake area , Qiangtang Basin

变量	F1	F2	F3	F4
甲烷	1.653	1.27858	0.86046	-0.18046
乙烷	-0.874	0.99589	-0.42052	1.79031
丙烷	-0.813	0.87089	-1.06509	-1.60832
异丁烷	-0.38691	-0.67159	0.72536	-0.12347
正丁烷	-0.39053	-0.66579	0.73933	-0.05988
异戊烷	0	0	0	0
正戊烷	-0.37219	-0.69626	0.70343	-0.17382
蚀变碳酸盐	1.18288	-1.11171	-1.54298	0.35564
累计因子贡献	45.709	90.845	99.981	100.000

3.3.3 聚类分析

聚类分析是应用数学方法将变量归并为若干点群,使得每个点群内的所有个体之间具有较密切的关系。图4给出R型聚类分析的结果。按集群数5的位置,将变量分为5个群体,甲烷、乙烷、丙烷和蚀变碳酸盐各为一组;具有正异构的烷烃(正戊烷、异戊烷、正丁烷、异丁烷)为一组,揭示研究区泥火山赋存区地表化探指标的分类地球化学特征。除了丙烷外,在集群数为13时蚀变碳酸盐跟其它烷烃归为一类,反映烷烃类组分在地表受到改造转变为蚀变碳酸盐。

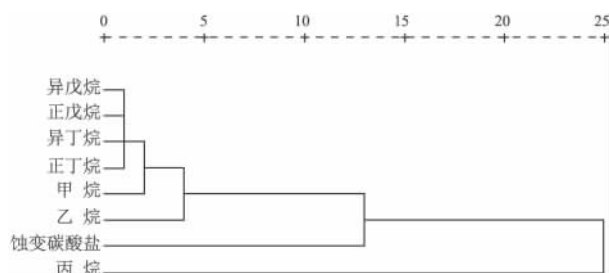


图4 戈木错地区泥火山群浅表层各指标聚类分析谱系

Fig. 4 Cluster phenogram of the geochemical signatures for the mud volcanoes in the Gemucuo Lake area, Qiangtang Basin

3.3.4 烃类成因分析

根据形成机制的不同,形成浅表沉积物中烃类气体可分为两大类:热降解成因和微生物成因。部分地区的浅表地球化学中烃类气体同时包括上述两种成因。本次根据测试的32个样品中 $C_1 \sim C_5$ 组分特征,依据SSG图版判别,对戈木错泥火山群的烃类气体做了成因分析。从土壤吸附烃判别结果来看(图5),测点主要分布于油、凝析油气类型区域,

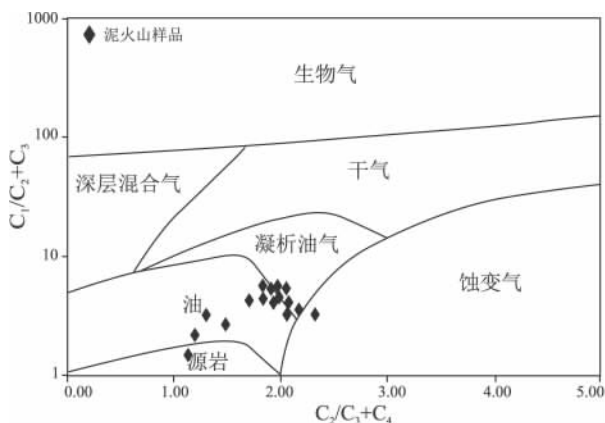


图5 戈木错地区泥火山群 $C_1/C_2 + C_3 - C_2/C_3 + C_4$ 交汇图

Fig. 5 $C_1/C_2 + C_3$ vs. $C_2/C_3 + C_4$ plot of the geochemical signatures for the mud volcanoes in the Gemucuo Lake area, Qiangtang Basin

个别测点位于源岩、蚀变气的类型区域。总体上成因比较单一,主要是热解成因的气源。此外,从源岩、油到凝析油气的分布特征说明其渗漏程度不一。

4 结论

羌塘盆地戈木错地区的泥火山形成于1万年前左右,其发现为羌塘盆地曾经有过油气富集、运移提供了间接证据。泥火山沉积物主要由第四系沉积物以及下覆沉积地层的岩块组成,沉积类似于第四系风化沉积物。具有类似于火山口的特有沉积形态,经过调查研究区泥火山主要为盆状、盾状和盾-盆复合状3种类型,其特有的沉积、地貌特征是其区别于普通第四系沉积物的重要标志。地球化学研究表明,研究区泥火山土壤酸解烃成分齐全,甲烷和蚀变碳酸盐是其地球化学特征的主控因素。聚类分析表明从高碳有机大分子到小分子之间具有明显的转化关系,各种有机分子在运移的过程中对周围物质进行了改造,主要表现在蚀变碳酸盐具有的可控地位方面。根据泥火山气体成因的判断结果,表明其主要为热解成因类型,表明泥火山的成因为油气藏渗漏造成。

参考文献:

- [1] 李猛,王道,李茂伟,戴晓敏. 新疆独山子泥火山喷发特征的研究[J]. 内陆地震, 1996, 10(4): 359-362.
- [2] ALIYEV A A, GULIYEV I S, BELOV I S. Catalogue of recorded eruptions of mud volcanoes of Azerbaijan [M]. Baku: Nafta Press, 2002.
- [3] MILKOV A V. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates [J]. Marine Geology, 2000, 167(12): 29-42.
- [4] DIMITROV LI. Mud volcanoes: A significant source of atmospheric methane [J]. Geo Marine Letters, 2003, 23(3-4): 155-161.
- [5] MILKOV A V. Global distribution of mud volcanoes and their significance in petroleum exploration as a source of methane in the atmosphere and hydrosphere and as a geohazard [C]. Mud Volcanoes, Geodynamics and Seismicity, 2005, 51: 29-34.
- [6] 解超明,李才,李林庆,吴彦旺,胡培远. 藏北羌塘中部首次发现泥火山[J]. 地质通报, 2009, 28(9): 1319-1324.
- [7] 解超明,李才,吴彦旺,胡培远. 青藏高原羌塘中部泥火山喷发物中沥青脉饱和烃气相色谱特征及其油气地质意义[J]. 地质通报, 2012, 31(6): 977-978.
- [8] XIUGEN FU, JIAN WANG, FUWEN TAN, XINGLEI FENG, DONG WANG, JIANGLIN HE. Gas hydrate formation and accumulation potential in the Qiangtang Basin, northern Tibet, China [J]. Energy Conversion and Management, 2013, 73: 186-194.

Sedimentary and geochemical characteristics of the mud volcanoes in the Gemucuo Lake area , Qiangtang Basin , northern Xizang

FENG Xing-lei¹ , FU Xiu-gen¹ , TAN Fu-wen¹ , CHEN Wen-bin¹ , YAN Ze^{2 3}

(1. *Chengdu Center , China Geological Survey , Chengdu 610081 , Sichuan , China*; 2. *No. 280 Research Institute , China National Nuclear Corporation , Guanghan 618300 , Sichuan , China*; 3. *Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , Sichuan , China*)

Abstract: Sedimentary and geochemical approaches are made for the mud volcanoes in the Gemucuo Lake area , Qiangtang Basin , northern Xizang. The mud volcanic deposits herein consist mostly of the Quaternary weathering sediments and the rock fragments from the underlying strata. The analytical results of the soil samples obtained by using the acidolytical hydrocarbons method and altered carbonate method (ΔC) show a complete sequence from C_1 to C_5 , i. e. , $C_1 > C_2 > C_3 > C_4 > C_5$. There is a significant positive correlation in geochemical signatures for the acidolysis hydrocarbons and altered carbonates. The hydrocarbon gas types in the near-surface area of the Gemucuo Lake area are represented by the crude oil-associated gas and condensate oil-associated gas , characteristic of depyrolysis.

Key words: Qiangtang Basin; Gemucuo; mud volcano; acidolysis hydrocarbon; geochemical signature