

西藏伦坡拉盆地丁青湖组油页岩地球化学特征 及其地质意义

谢尚克^{1,2}, 杜佰伟^{1,2}, 王 剑^{1,2}, 董 宇³

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2. 国土资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 四川 成都 610081;
3. 西藏地勘局 第六地质大队, 西藏 拉萨 851400)

摘 要: 对伦坡拉盆地丁青湖组油页岩进行了系统采样和地球化学分析, 结果显示该地区油页岩 SiO_2 含量整体较低, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值较高, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 为 6.43%~10.28%, $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 为 1.7~4.91, 含有一定的铁镁质组分和较多的稳定组分, 化学蚀变指数 CIA 为 65~85, Th/U 值多集中在 0.97~3.38, 表明油页岩源区经历了相对中等的风化作用, 反映温暖、湿润的气候条件; Sr/Ba 值为 0.45~0.82, $V/(V + \text{Ni})$ 值为 0.46~0.68, Th/U 平均值为 0.59, 表明丁青湖组油页岩形成于淡水缺氧的湖泊之中。温暖湿润的气候、丰富的生物来源及淡水缺氧的沉积环境是伦坡拉盆地丁青湖组油页岩形成的重要条件。

关键词: 伦坡拉盆地; 丁青湖组; 油页岩; 地球化学; 沉积环境; 西藏

中图分类号: P618.12; P595

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)03-0503-08

Geochemical characteristics of oil shale member of Dingqinghu Formation in Lunpola Basin of Tibet and their geological implications

XIE Shang-ke^{1,2}, DU Bo-wei^{1,2}, WANG Jian^{1,2} and DONG Yu³

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China; 2. Key Laboratory for Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Chengdu 610081, China; 3. Tibet Bureau of Geology and Mineral Resources, Lhasa 851400, China)

Abstract: Systematic sampling and geochemical analysis of the oil shale member of Dingqinghu Formation show that SiO_2 are low, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratios are relatively high, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ are in the range of 6.43%~10.28%, and $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ values are between 1.7 and 4.91, indicating that the oil shale contains mafic components and more stable components. Chemical indexes of alteration (CIA) are between 65 and 85, and Th/U ratios are concentrated in the range of 0.97~3.38, suggesting that the provenances of oil shale had experienced relatively moderate weathering and were in a warm and humid climate environment. Sr/Ba ratios are between 0.45 and 0.82, $V/(V + \text{Ni})$ ratios are between 0.46 and 0.68, and Th/U ratios have an average of 0.59, indicating that the oil shale was formed in a fresh water and anoxic lacustrine environment. Warm and humid climatic conditions, abundant biological sources, fresh water and anoxic environment were important for the formation of Lunpola oil shale.

Key words: Lunpola Basin; Dingqinghu Formation; oil shale; geochemistry; sedimentary environment; Tibet

收稿日期: 2013-09-04; 修订日期: 2013-12-03

基金项目: 国家油气专项“青藏高原重点盆地油气资源战略调查与选区”(XQ-2009-1); 青藏高原非常规油气调查(1212011221106); 国家自然科学基金资助项目(40972087, 41072088)

作者简介: 谢尚克(1986-), 男, 助理工程师, 硕士, 主要从事油气地质工作, E-mail: shangke86@163.com。

油页岩作为重要的油气资源替代产品,不仅可以作为直接利用的能源物质,而且对盆地油气资源潜力评价具有重要意义。根据最新资料显示,我国油页岩资源丰富,页岩油储量巨大(刘招君等,2005)。近年来随着研究程度的不断深入,西藏地区发现多处油页岩(王成善等,2004;林金辉等,2004;杜佰伟等,2004;李亚林等,2005,2010;王剑等,2007;付修根等,2007a,2007b;汪正江等,2007;Fu *et al.*,2012),但伦坡拉盆地的油页岩研究程度很低。伦坡拉油页岩的研究不仅对于伦坡拉盆地油气资源潜力评价具有重要意义,而且对于我国陆相油页岩的勘探也具有一定的指导意义。笔者对伦坡拉油页岩的微量元素地球化学特征进行了研究,结合沉积相特征及野外地质观察,探讨了其古气候、古环境意义。

1 地质概况

伦坡拉盆地位于西藏自治区班戈县境内,面积约3 600 km²,海拔4 600余米,是世界上海拔最高的油气勘探区,也是西藏地区发育为数众多的古近系陆相盆地中已知油气地质条件较好、勘探程度最高的一个盆地,并最早获得了工业油气流(雷清亮等,1996;王剑等,2004)。伦坡拉盆地是一个具有走滑特征的断拗盆地,中间低而南北两侧较高,北部沉降

幅度大,沉积厚度大,向南呈斜坡状,呈不对称的箕状,具有南北分带、东西分块的构造格局(雷清亮等,1996;艾华国等,1998;王剑等,2004),如图1所示。伦坡拉盆地是叠合盆地,其构造演化可分为始新世的断陷期和渐新世的拗陷期两个阶段,分别接受了牛堡组和丁青湖组两套沉积,形成两套粗-细-稍粗和红-黑-稍红的沉积旋回。牛堡组为一套棕红色碎屑岩夹灰绿色泥页岩、灰白色泥灰岩,丁青湖组为一套灰色、深灰色泥页岩、油页岩、泥灰岩夹细砂岩的岩石组合。

伦坡拉盆地油页岩出露情况良好,主要分布于伦坡日、蒋日阿错及爬错等地区。油页岩新鲜面为深灰、灰黑色,风化后略显浅灰色,弱油脂光泽,岩石质地轻,具有一定的韧性,用小刀能剥离出毫米级页片且能用指甲划出光滑的条痕,油页岩呈薄的叶片状或呈极薄片状产出。油页岩新鲜面具油气味,油页岩可燃,燃烧时火焰长约1~2 cm,烟浓黑,并发出浓烈的焦油臭味,油页岩颜色愈深者愈易燃烧。伦坡拉油页岩总体表现为盆地中心厚、盆地边缘薄的特点,油页岩单层厚度最大者大于4.2 m。笔者以油页岩单层厚度最大的伦坡日油页岩剖面为研究对象,对其微量元素特征进行了详细研究。该油页岩剖面 GPS 坐标为: N:31°56'35.97", E:89°47'49.02", 高度4 641±5 m。剖面岩性组合特征简单,主要为泥岩、油页岩、粉砂岩及细砂岩的组合(图2)。

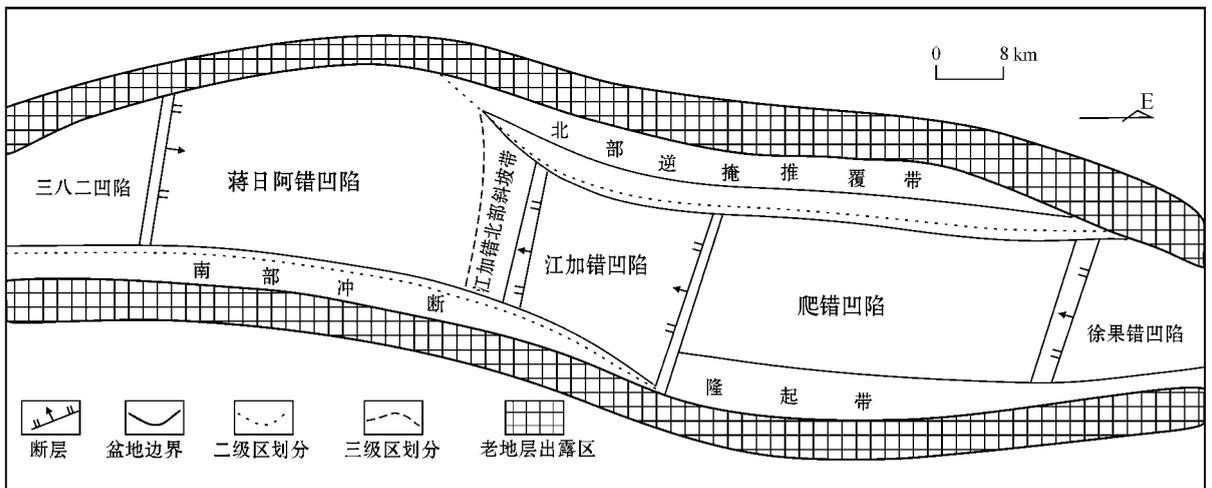


图 1 西藏伦坡拉盆地构造分区图(据杜佰伟等,2004)

Fig. 1 Tectonic division of Lunpola Basin, Tibet(modified after Du Bowei *et al.*,2004)

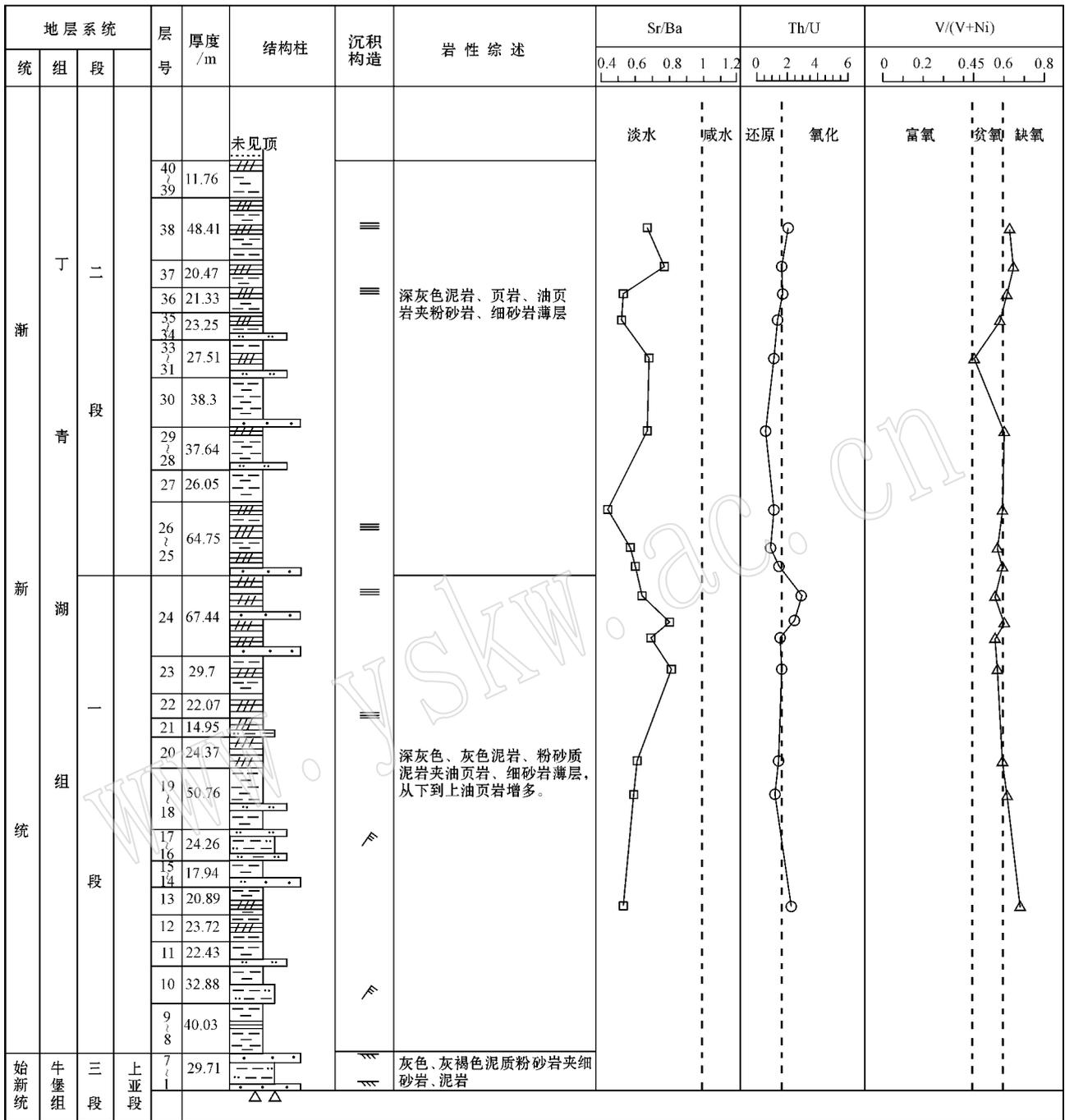


图 2 伦坡日剖面丁青湖组地层特征及其元素比值

Fig. 2 Stratigraphic characteristics and vertical changes of geochemical indicators of Dingqinghu Formation along Lunpori section

2 样品选择和分析方法

在伦坡拉盆地伦坡日地区共采集丁青湖组油页岩 16 件。为了降低地表现代有机物质的污染,减小

因生物降解对沉积有机质的影响,在采样时尽量采集新鲜的岩石样品,并用小刀刮去泥灰岩、油页岩表面相对松散的物质。样品在室温下自然风干,经缩分混匀后,研磨至过 200 目尼龙筛,微量元素分析前样品经 HF-HClO₄-HNO₃ 消解处理,去离子水定容

后,用电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)测定元素含量(以干重计)。测试工作由国家地质实验测试中心完成,分析精度优于95%。

3 结果与讨论

测试结果及分析见表1,伦坡拉油页岩整体SiO₂含量较低,含量变化范围较大,为41.50%~50.73%,平均值为46.4%。MgO+Fe₂O₃为6.43%~10.28%,平均值为8.15%,说明油页岩中含有一定量的铁镁组分。K₂O含量普遍比Na₂O高(K₂O/Na₂O>1),表明油页岩中含有较多的钾长石或含钾矿物。Al₂O₃/(CaO+Na₂O)值能反映泥岩中稳定组分和不稳定组分的相对含量(顾雪祥等,2003),样品Al₂O₃/(CaO+Na₂O)值为1.7~4.91,平均为2.49,据此判断伦坡拉油页岩中稳定组分含量相对较高。

伦坡日剖面丁青湖组油页岩Sr/Ba、Th/U、V/(V+Ni)和CIA值分别在0.45~0.82、0.97~3.38、0.46~0.68和63~73之间,平均值分别为0.64、1.98、0.59和68。

3.1 判断化学风化程度

泥岩中的化学成分能够提供源区风化作用的信息。Nesbitt等提出了以化学蚀变指数(CIA)来判断源区的风化程度: $CIA = 100 \times [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)]$,式中各元素采用摩尔分数,其中CaO*仅指硅质矿物中CaO的摩尔分数(Nesbitt *et al.*, 1982)。本次采用Bock等(1998)提出的方法来确定泥岩中CaO*的含量:当CaO>Na₂O时, CaO* = Na₂O;当CaO≤Na₂O时, CaO* = CaO。

CIA值介于50~60之间,反映寒冷、干燥的气候条件下低等的化学风化程度;CIA值介于65~85之间,反映温暖、湿润条件下中等的化学风化程度;CIA值介于85~100之间,反映炎热、潮湿条件下强烈的化学风化程度(Bock *et al.*, 1998)。伦坡拉油页岩CIA值介于63~73之间,反映温暖、湿润条件下的中等化学风化程度。在Al₂O₃-(Na₂O+CaO*)-K₂O图解中(图3a),油页岩点群主要集中在伊利石区,与X衍射分析伦坡拉盆地油页岩粘土矿物类型基本一致,主要以伊利石为主(Fu *et al.*, 2012)。

由于氧化作用和U的丢失,Th/U比值随着风化程度的增加而增加(McLennan *et al.*, 1993,

1995),当Th/U>4,表明源岩区受风化作用的影响(Murray *et al.*, 1991)。伦坡拉油页岩样品均在Th/U=4之下,为0.97~3.38之间,平均值为1.98,低于上地壳Th/U值(3.8)(图3b),说明伦坡拉盆地源岩区风化强度不高,是中等条件下的化学风化。

3.2 微量元素

微量元素的富集程度与沉积环境密切相关(邓宏文等,1993),其比值的变化、组合在一定程度上反映着古气候。Sr/Ba值常作为古盐度的标志,用来反映水体的盐度变化及相应的气候条件(史忠生等,2003;常华进等,2009;谢尚克等,2010)。高值反映高盐度或干旱气候,低值指示低盐度或温湿气候,通常Sr/Ba比值>1,指示海相咸水沉积,Sr/Ba比值<1指示陆相淡水沉积。伦坡拉盆地油页岩的Sr/Ba值在0.45~0.82之间,平均值为0.64,显示了一种淡水的湖泊环境。

Th/U值常被用作氧化还原条件的判别指标,Th不受氧化还原条件的影响,通常以不能溶解的Th⁴⁺形式存在,但U在还原条件下以不能溶解的U⁴⁺形式存在,使得U在沉积物中富集,在氧化条件下以可溶性的U⁶⁺存在,导致U在沉积物中亏损,Th/U值在缺氧的环境中为0~2,在贫氧环境中为2~8,在氧化环境中可达到8(常华进等,2009)。伦坡拉盆地油页岩的Th/U比值在0.97~3.38之间(图2),平均值为1.98,反映油页岩沉积时为缺氧环境。V/(V+Ni)值也常被用作沉积环境的判别指标(常华进等,2009)。V/(V+Ni)值在富氧环境下小于0.45,在贫氧环境下居于0.45~0.60之间,而在缺氧环境下大于0.60(Kimura *et al.*, 2001)。在伦坡拉盆地中,V/(V+Ni)值在0.46~0.68之间(图2),平均值为0.59,反映油页岩沉积时为贫氧环境。

笔者通过野外剖面观察,发现伦坡拉盆地丁青湖组油页岩颜色较深,大多为深灰-灰黑色,丁青湖组以丁青湖组一段和二段出露地表较多,丁青湖组三段因剥蚀,地表出露较少。该区油页岩沉积时期几乎不受湖浪的影响,水平层理发育,水体多处于安静的还原环境,沉积物多为暗色的泥质沉积夹油页岩,少量为粉砂岩,有时见泥灰岩、灰岩沉积物。一般缺乏底栖生物,化石以陆相介形虫类及轮藻生物为主(杜佰伟等,2004;邓虎成等,2008),此外,笔者还发现有螺、鱼等生物化石。结合油页岩中Sr/Ba、

表1 伦坡日地区丁青组油页岩的主要元素($w_B/\%$)和微量元素($w_B/10^{-6}$)和微量元素($w_B/10^{-6}$)分析结果
 Table 1 Major elements ($w_B/\%$) and trace elements ($w_B/10^{-6}$) analyses of oil shale from Dingqinghu Formation in Lannopori area

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	V	Ni	Th	U	Sr	Ba	Tb/U	V/(V+Ni)	Sr/Ba	V/Ni	CIA
L39-3	47.89	15.30	5.34	4.34	3.14	3.20	1.30	0.54	0.14	0.06	117.00	68.70	13.40	5.03	254.00	375.00	2.66	0.63	0.68	1.70	66
L39-4	45.07	15.47	4.91	6.40	2.25	3.30	0.93	0.56	1.35	0.07	107.00	58.30	13.90	8.59	359.00	461.00	1.62	0.65	0.78	1.84	70
L39-5	44.37	14.08	5.10	5.18	2.25	3.22	0.91	0.51	0.10	0.08	100.00	61.70	13.00	7.19	252.00	466.00	1.81	0.62	0.54	1.62	68
L39-6	49.34	15.40	5.82	4.98	2.28	3.27	0.73	0.56	0.23	0.08	110.00	77.60	13.50	6.66	256.00	480.00	2.03	0.59	0.53	1.42	72
L39-7	42.76	13.64	7.65	4.87	2.63	2.95	1.17	0.46	0.32	0.06	111.00	130.00	12.20	6.36	264.00	381.00	1.92	0.46	0.69	0.85	66
L39-10	46.97	15.99	5.73	5.06	2.55	3.61	1.56	0.53	0.63	0.06	127.00	82.60	14.3	4.95	285.00	418.00	2.89	0.61	0.68	1.54	64
L39-11	50.73	17.13	4.38	1.95	2.05	3.76	1.54	0.62	0.07	0.05	124.00	82.40	15.30	4.52	152.00	341.00	3.38	0.60	0.45	1.50	63
L39-12	46.57	15.73	5.83	5.39	2.40	3.33	1.46	0.58	0.16	0.08	107.00	80.70	14.40	7.87	223.00	385.00	1.83	0.57	0.58	1.33	65
L39-15	49.52	16.39	5.45	3.19	2.38	3.50	1.76	0.56	0.51	0.06	130.00	87.40	15.10	11.60	217.00	358.00	1.30	0.60	0.61	1.49	63
L39-16	41.50	13.76	6.19	7.50	3.00	2.98	0.59	0.42	0.14	0.07	111.00	87.40	11.10	7.46	259.00	400.00	1.49	0.56	0.65	1.27	73
L39-17	46.93	14.69	5.33	6.11	3.41	2.89	1.09	0.51	0.38	0.06	104.00	66.20	13.50	13.90	325.00	400.00	0.97	0.61	0.81	1.57	69
L39-18	46.06	14.30	5.62	6.08	2.99	3.00	0.99	0.49	0.17	0.07	101.00	80.50	12.00	6.78	277.00	398.00	1.77	0.56	0.70	1.25	69
L39-19	44.62	14.81	5.66	6.74	2.90	3.06	0.97	0.46	0.16	0.07	107.00	79.70	12.40	8.27	307.00	374.00	1.50	0.57	0.82	1.34	69
L39-20	47.64	15.34	5.65	4.57	2.66	3.12	1.06	0.53	0.09	0.06	105.00	69.50	13.70	6.73	229.00	370.00	2.04	0.60	0.62	1.51	69
L39-21	43.47	14.82	5.24	6.74	2.38	3.35	0.94	0.49	0.24	0.07	107.00	66.70	15.10	7.50	258.00	433.00	2.01	0.62	0.60	1.60	69
L39-22	48.95	16.38	4.93	5.56	2.37	3.52	0.96	0.54	0.22	0.06	120.00	56.60	15.90	6.47	234.00	435.00	2.46	0.68	0.54	2.12	70

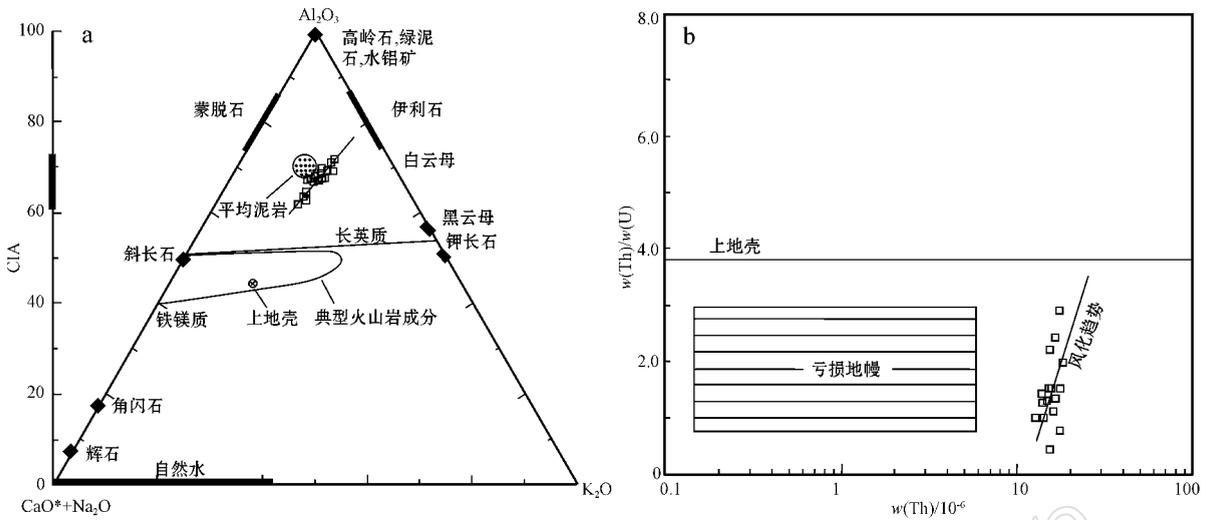


图 3 伦坡拉盆地丁青湖组油页岩的 $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}^*) - \text{K}_2\text{O}$ (a, 底图据 Nebitt 和 Young, 1982) 和 $\text{Th}/\text{U} - \text{Th}$ (b, 底图据 McLennan 等, 1993) 物源区图解

Fig. 3 $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}^*) - \text{K}_2\text{O}$ diagram (a, after Nebitt and Young, 1982) and $\text{Th}/\text{U} - \text{Th}$ diagram (b, after McLennan *et al.*, 1993) of oil shale from Dingqinghu Formation in Lunpola Basin

V/Ni 和 Th/U 等元素比值, 表明当时属于淡水缺氧的湖泊环境, 这种缺氧的湖泊底部为丁青湖组油页岩有机质的堆积和保存提供了良好的条件。温暖湿润的淡水湖泊适合各类生物的繁衍生长, 能够提供大量的有机质来源, 而湖泊底部由于缺氧条件有利于有机质的保存, 一般湖底正在腐烂的有机质软泥由上层水体的游泳-浮游生物所提供。

综合上述分析, 伦坡拉盆地丁青湖组油页岩沉积时期, 温暖湿润的气候条件有利于大量浮游生物及鱼类等的发育, 缺氧的湖泊底部有利于有机质的堆积与保存, 以上条件是伦坡拉盆地丁青湖组发育优质油页岩的重要原因。

4 结论

(1) 伦坡拉油页岩 SiO_2 含量整体较低, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值较高, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 及 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 比值, 表明油页岩中含有一定的铁镁质组分和较多的稳定组分。

(2) 伦坡拉油页岩化学蚀变指数(CIA)及 Th/U 值, 表明油页岩经历了相对中等的风化作用, 反映温暖、湿润的气候条件; Sr/Ba、V/Ni 及 Th/U 比值, 表明油页岩形成于缺氧的淡水湖泊之中。

(3) 温暖湿润的气候、丰富的生物来源及淡水缺氧的沉积环境是伦坡拉盆地丁青湖组油页岩形成的重要条件。

References

- Ai Huaguo, Lan Linying, Zhu Hongquan, *et al.* 1998. Formation mechanism and petroleum geological features of Tertiary Lunpola Basin, Tibet [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 19(2): 21~27 (in Chinese with English abstract).
- Bock B, McLennan S M and Hanson G N. 1998. Geochemistry and Provenance of the Middle Ordovician Austin Glen Member (Norman-Skill Formation) and the Taconian Orogeny in New England [J]. *Sedimentology*, 45: 635~655.
- Chang Huajin, Chu Xuelei, Feng Lianjun, *et al.* 2009. Redox sensitive Trace elements as Paleoenvironments Proxies [J]. *Geological Review*, 55(1): 91~99 (in Chinese with English abstract).
- Deng Hongwen and Qian Kai. 1993. *Sedimentary Geochemistry and Environment Analysis* [M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press (in Chinese).
- Deng Hucheng, Zhou Wen and Qiu Dongzhou. 2008. Oil sand resource latent capacity in Lunpola Basin, Tibet [J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 28(2): 167~173 (in Chinese with English abstract).
- Du Bowei, Tan Fuwen and Chen Ming. 2004. Sedimentary features and petroleum geology of the Lunpola Basin, Xizang [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 24(4): 46~54 (in Chinese with English abstract).
- Fu Xiugen, Wang Jian, Tan Fuwen, *et al.* 2012. Geochemistry of ter-

- restrial oil shale from the Lunpola area , northern Tibet , China[J]. International Journal of Coal Geology , 102 : 1~111.
- Fu Xiugen , Wang Jian , Wang Zhengjiang , *et al.* 2007a. Marine oil shale depositional environment of Qiangtang basin in northern Tibet [J]. Xinjiang Petroleum Geology , 28(5) : 529~533(in Chinese with English abstract).
- Fu Xiugen , Wang Jian , Wang Zhengjiang , *et al.* 2007b. Biomarkers and sedimentary environment of Late Jurassic marine oil shale in Qiangtang basin , northern Xizang and its geological significance[J]. Geochimica , 36(5) : 486~496(in Chinese with English abstract).
- Gu Xuexiang , Liu Jianming , Schulz O , *et al.* 1998. Formation mechanism and petroleum geological features of Tertiary Lunpola Basin , Tibet[J]. Acta Petrolei Sinica , 19(2) : 21~27(in Chinese with English abstract).
- Kimura H and Watanabe Y. 2001. Ocean anoxia at the Precambrian-Cambrian boundary[J]. Geology , 29 : 995~998.
- Lei Qingliang , Fu Xiaoyue and Lu Yaping. 1996. Petroleum geological features of Tertiary terrestrial Lunpola Basin , Xizang(Tibet) [J]. Earth Science , 21(2) : 168~173(in Chinese with English abstract).
- Li Yalin , Wang Chengshan , Wu Xinhe , *et al.* 2005. Ma Runze. Discovery of Upper Jurassic marine oil shale in the Tuonamu area , northern Tibet , China[J]. Geological Bulletin of China , 24(8) : 783~784(in Chinese with English abstract).
- Li Yalin , Wang Chengshan , Zhu Lidong , *et al.* 2010. Discovery of oil shale in the Nima basin , China and its significance[J]. Geological Bulletin of China , 29(12) : 1 872~1 874(in Chinese with English abstract).
- Lin Jinhui , Yi Haisheng and Zou Yanrong. 2004. Biomarkers of marine and continental oil shale , the Zangbei Plateau[J]. Geochimica , 33(1) : 57~63(in Chinese with English abstract).
- Liu Zhaojun and Liu Rong. 2005. Oil shale resource evaluating system [J]. Earth Science Frontiers , 12(3) : 315~323(in Chinese with English abstract).
- Murray R W , Buchholtz M R , Gerlach D C , *et al.* 1991. Rare earth , major , and trace elements in chert from the Franciscan complex and Monterey group , Californian : assessing REE sources to fine-grained marine sediments[J]. Geochim Cosmochim Acta , 55 : 1 875~1 895.
- McLennan S M , Hemming S , McDaniel D K , *et al.* 1993. Geochemical Approaches to Sedimentation , Provenance and Tectonic[J]. GSA Special Publication , 284 : 21~40.
- McLennan S M , Hemming S , Taylor S R , *et al.* 1995. Early Proterozoic Crustal Evolution : Geochemical and Nd-Ph Isotopic Evidence from Metasedimentary Rocks , Southwestern North America[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 59 : 1 153~1 177.
- Nesbitt H W M and Young G M. 1982. Early Proterozoic Climates and Plate Motions Inferred from Major Element Chemistry of Lutites [J]. Nature , 299 : 715~717.
- Shi Zhongsheng , Chen Kaiyun , Shi Jun , *et al.* 2003. Feasibility analysis of the application of the ratio of Strontium to Barium on the identifying sedimentary environment[J]. Fault block Oil and Gas Field , 10(2) : 12~16(in Chinese with English abstract).
- Taylor S R and McLennan S M. 1985. The Continental Crust : Its Composition and Evolution[M]. Oxford : Blackwell , 12~312.
- Wang Chengshan , Yi Haisheng , Liu Chiyang , *et al.* 2004. Discovery of paleo-oil-reservoir in Qiangtang basin in Tibet and its geological significance[J]. Oil & Gas Geology , 25(2) : 139~143(in Chinese with English abstract).
- Wang Jian , Fu Xiugen , Du Andao , *et al.* 2007. Organic geochemistry and Re-Os dating of marine oil shale in Shenglihe area , northern Tibet , China[J]. Marine Origin Petroleum Geology , 12(3) : 21~26 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jian , Tan Fuwen , Li Yalin , *et al.* 2004. The Potential of the Oil and Gas Resources in Major Sedimentary Basins on the Qinghai-Xizang Plateau[M]. Beijing : Geological Publishing House , 283~298(in Chinese).
- Wang Zhengjiang , Wang Jian , Chen Wenxi , *et al.* 2007. Discovery of the Late Jurassic Shenglihe marine oil shale in the northern Qiangtang basin , Qinghai-Tibet Plateau[J]. Geological Bulletin of China , 26(6) : 764~768(in Chinese with English abstract).
- Wignall P B and Twitchett R J. 1996. Oceanic anoxia and the end Permian mass extinction[J]. Science , 272 : 1 155~1 158.
- Xie Shangke , Wang Zhengjiang , Wang Jian , *et al.* 2010. The Middle and Late Ordovician trace elements geochemistry characters in Qijiang County , Chongqing City[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology , 30(4) : 60~65(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 艾华国 , 兰林英 , 朱宏权 , 等. 1998. 伦坡拉第三纪盆地的形成机理和石油地质特征[J]. 石油学报 , 19(2) : 21~27.
- 常华进 , 储雷蕾 , 冯连君 , 等. 2009. 氧化还原敏感微量元素对古海洋沉积环境的指示意义[J]. 地质论评 , 55 : 91~99.
- 邓宏文 , 钱 凯. 1993. 沉积地球化学与环境分析[M]. 兰州 : 甘肃科学技术出版社.
- 邓虎成 , 周 文 , 丘东洲. 2008. 西藏伦坡拉盆地油砂资源潜力分析[J]. 桂林工学院学报 , 28(2) : 167~173.

- 杜佰伟,谭富文,陈明. 2004. 西藏伦坡拉盆地沉积特征分析及油气地质分析[J]. 沉积与特提斯地质, 24(4): 46~54.
- 付修根,王剑,汪正江,等. 2007a. 藏北羌塘盆地海相油页岩沉积环境[J]. 新疆石油地质, 28(5): 529~533.
- 付修根,王剑,汪正江,等. 2007b. 藏北羌塘盆地晚侏罗世海相油页岩生物标志物特征、沉积环境分析及意义[J]. 地球化学, 36(5): 486~496.
- 顾雪祥,刘建明, Oskar Schulz, 等. 2003. 江南造山带雪峰隆起区元古宙油积岩沉积构造背景的地球化学制约[J]. 地球化学, 32(5): 406~426.
- 雷清亮,付孝悦,卢亚平. 1996. 伦坡拉第三纪陆相盆地油气地质特征分析[J]. 地球科学, 21(2): 168~173.
- 李亚林,王成善,伍新和,等. 2005. 藏北托纳木地区发现上侏罗统海相油页岩[J]. 地质通报, 24(8): 783~784.
- 李亚林,王成善,朱利东,等. 2010. 西藏尼玛盆地油页岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 19(12): 1872~1874.
- 林金辉,伊海生,邹艳荣. 2004. 藏北高原海陆相油页岩生物标志化合物对比研究[J]. 地球化学, 33(1): 57~63.
- 刘招君,刘蓉. 2005. 中国油页岩特征及开发利用前景分析[J]. 地学前缘, 12(3): 315~323.
- 史忠生,陈开远,史军,等. 2003. 运用铈钡比判定沉积环境的可行性分析[J]. 断块油气田, 10(2): 12~16.
- 王成善,伊海生,刘池阳,等. 2004. 西藏羌塘盆地古油藏发现及其意义[J]. 石油与天然气地质, 25(2): 139~143.
- 王剑,付修根,杜安道,等. 2007. 羌塘盆地胜利河海相油页岩地球化学特征及 Re-Os 定年[J]. 海相油气地质, 12(3): 21~26.
- 王剑,谭富文,李亚林,等. 2004. 青藏高原重点沉积盆地油气资源潜力分析[M]. 北京:地质出版社, 283~298.
- 汪正江,王剑,陈文西,等. 2007. 青藏高原北羌塘盆地胜利河上侏罗统海相油页岩的发现[J]. 地质通报, 26(6): 764~768.
- 谢尚克,汪正江,王剑,等. 2010. 綦江观音桥中上奥陶统微量元素地球化学特征[J]. 沉积与特提斯地质, 30(4): 60~65.