

文章编号:1000-0550(2011)04-0809-06

异常地热对烃源岩生烃的影响^①

——以三塘湖盆地辉绿岩侵入体为例

刘兴旺^{1,2} 王晓锋¹ 史宝光¹ 王作栋¹ 杨鑫^{1,2} 郑建京¹ 刘春艳³

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所油气资源研究重点实验室 兰州 730000;

2. 中国科学院研究生院 北京 100049; 3. 承德石油高等专科学校石油工程系 河北承德 067000)

摘要 为了探讨异常地热对烃源岩沉积有机质热演化的影响,采集了三塘湖盆地大黑山东剖面附近一辉绿岩侵入体南侧石炭系哈尔加乌组上部黑色泥岩层系的8块样品(W008~W015),其与辉绿岩岩体的距离分别是20 cm、50 cm、100 cm、180 cm、300 cm、500 cm、1 000 cm和1 700 cm,通过分析这八块样品的有机质成熟度 R_o 、H/C原子比、O/C原子比和氯仿沥青“A”与总烃含量变化等基础地球化学特征,同时有选择地分析了其中5块样品的饱和烃质总离子流特征可以看出,当泥岩样品距岩体的距离大于180 cm时, R_o 基本保持不变,而当样品距岩体的距离小于180 cm时, R_o 开始明显增高,且增高幅度很大;W008和W009号样品的H/C原子比相对较小,分别是0.385和0.404,而W011~W015五块样品的H/C原子比在0.5左右,而且基本保持一致;O/C原子比的变化范围相对较小,集中在0.1左右,W008和W009号样品的O/C比相邻样品(W010、W011)略小一些;W008号样品的总烃和氯仿沥青“A”略高于W009~W012号样品;从有机质饱和烃参数来看,W008、W009和W010三个样品的CPI值相对较小,与W012和W014两块样品存在明显的差别。通过以上分析说明该烃源岩整体成熟度较高,同时靠近岩体1~1.8 m距离范围内,有机质的各项成熟度指标具有异常增高的趋势,说明侵入岩体与直接接触的烃源岩的烘烤作用的范围相对较小,大约在1.8 m以内。

关键词 辉绿岩 异常地热 沉积有机质 成熟作用

第一作者简介 刘兴旺 男 1983年出生 博士 构造地质学和地球化学 E-mail: liuxingwang@foxmail.com

中图分类号 TE122.1+13 **文献标识码** A

关于异常地热,主要是指岩浆活动。异常地热对烃源岩有机质热演化的影响自20世纪80年代以来在国内外受到广泛的重视^[1~13],在认识到火成岩热力对烃源岩和先存油气藏破坏作用的同时,更多地强调的是其对烃源岩有机质演化起到有利的作用。王有孝等发现异常地热对烃源岩有机质的生烃过程和烃类成熟作用有明显影响^[1];冯乔等认为侵入体余热可以使生油层早熟,并使其附近围岩中的有机质丰度降低^[2];李亚辉也提出辉绿岩侵入体能加速有机质的成熟^[3];万从礼等认为基性岩浆带来大量的热量和地幔物质,并产生极高的压力,加速了周围烃源岩的成熟演化,且促使其排烃^[4]。研究表明,火成岩的异常热作用对烃源岩的影响主要表现在使镜质体反射率出现明显的异常,使得有机质成熟度增加^[5],促使烃类的成熟、生成及排出^[6],其影响程度与源岩同火成岩体的距离和火成岩体的厚度有关^[7],尤其是当火成岩与烃源岩直接接触时,对有机质的成熟演

化和烃类的生成、排出更能起到加速的作用^[8];同时,火成岩本身携有大量的Pd、Fe、热流体等物质,对烃类的生成可起到催化作用,能成倍快速地生成油气^[9];火成岩在促生排烃的同时,往往产生异常压力,既可以在一定程度上改善火成岩储集性能,也可以成为油气进入火成岩的储集空间的动力^[10]。

关于辉绿岩侵入对烃源岩的影响范围,很多学者都分别做过讨论^[5,11~13],在肯定辉绿岩侵入加速有机质成熟方面作用的同时,对于其影响范围的认识差异较大。Dow根据德克萨斯州特拉华盆地钻井的H— R_o 关系图认为接触作用对于围岩成熟度影响的最大范围相当于侵入体厚度的两倍左右^[11];Simoneit根据大西洋深海钻探计划(DSDP)41-368钻孔中辉绿岩侵入体上、下黑色页岩岩心的系统地球化学研究认为其影响范围仅相当于侵入体厚度的1/3~2/3^[12];陈荣书在对冀中葛渔城一文安地区苏401井和苏8井辉绿岩岩床对上下围岩的影响的研究中,认为

①国家自然科学基金项目(批准号:40703001 41072106)资助。
收稿日期:2010-11-05;收修改稿日期:2011-01-15

其影响范围均超过岩床厚度的两倍^[5];李亚辉认为高邮凹陷北斜坡辉绿岩侵入体对围岩的有机质的热演化影响在纵向上大约为侵入体厚度的四倍以内^[3];曹学伟等在对临盘油田夏38井区辉绿岩热效应的研究中,认为其影响范围大致与岩床厚度相当^[13]。本文为了探讨异常地热对烃源岩有机质向烃类转化过程以及对烃类成熟作用的影响,采集了三塘湖盆地大黑山东剖面附近石炭系哈尔加乌组上部距一辉绿岩侵入体距离不等的8块黑色泥岩样品,分析了其各项有机地球化学特征。

1 三塘湖盆地火成岩发育特征

三塘湖盆地是由不同构造演化时期的原型盆地叠加形成的展布范围较小的复合型含油气盆地,发育以中上三叠统、上二叠统芦草沟组、石炭系至下二叠统三套地层为烃源岩的含油气系统^[14],中、下部两套主力烃源岩中发育有巨厚(最大叠加厚度超过4000m)广布的火山岩系地层,是油气勘探重点层系。其中,下部的石炭系一下二叠统火山岩系勘探程度很低,但已揭示良好的油气显示和储盖组合。上二叠统条湖组厚度超过1500m,发育大套厚层中一基性火山岩夹以薄层泥岩为主的碎屑岩,一些地区发育大量的基性浅成辉绿岩,凝灰岩也比较发育;上二叠统芦草沟组以泥岩、白云质泥岩为主,夹凝灰岩、泥灰岩、灰岩和白云岩,为中含油气系统主力烃源岩,少量发育火成岩;上石炭统卡拉岗组厚约900m,为大套火

山岩、火山碎屑岩,火山岩以溢流相玄武岩、安山岩为主,中间夹有泥岩、碳质泥岩和凝灰质粉砂岩等碎屑岩,碎屑岩的厚度不大,一般小于百米;上石炭统哈尔加乌组也以大套火山岩、火山碎屑岩为主,无规律发育泥质烃源岩。这些火成岩往往与可能的烃源岩呈互层特征分布。烃源岩演化过程中最为重要的影响因素是温度,而火成岩的侵入无疑会改变烃源岩所处环境的温度特征,从而影响烃源岩的演化。

综合来看,三塘湖盆地石炭纪和二叠纪的火成岩主要包括玄武岩、安山岩和凝灰岩,另外有部分的辉绿岩、流纹岩等,玄武岩、安山岩、凝灰岩主要都是喷发岩,沉积时温度已经很低或沉积后温度很快降低,由此提供的热能很有限,对岩石有机质的演化基本没有影响或者影响很小。辉绿岩为浅成的基性侵入岩,多形成岩床、岩墙,或小型岩体等,热量相对散失要慢,可以在较长时间保持一定的温度,如果附近有含有机质的岩石存在,必然会对其有机质的演化产生影响^[15]。另外,火成岩发育地区,岩浆活动必将造成该区大地热流与地温梯度的增高,这种区域性的变化对该区烃源岩有机质的熟化产生积极的作用。本次研究采集的样品为大黑山东剖面辉绿岩侵入体南侧的石炭系哈尔加乌组上部黑色泥岩层系的样品。该侵入体走向近东西,呈透镜体状侵入到石炭系当中,长约40km,平均宽度约2km,分布面积约80km²(图1)。其与围岩呈急变侵入接触,接触面倾向围岩,且侵入体中有大量的泥岩捕虏体和同化混染现象,围岩

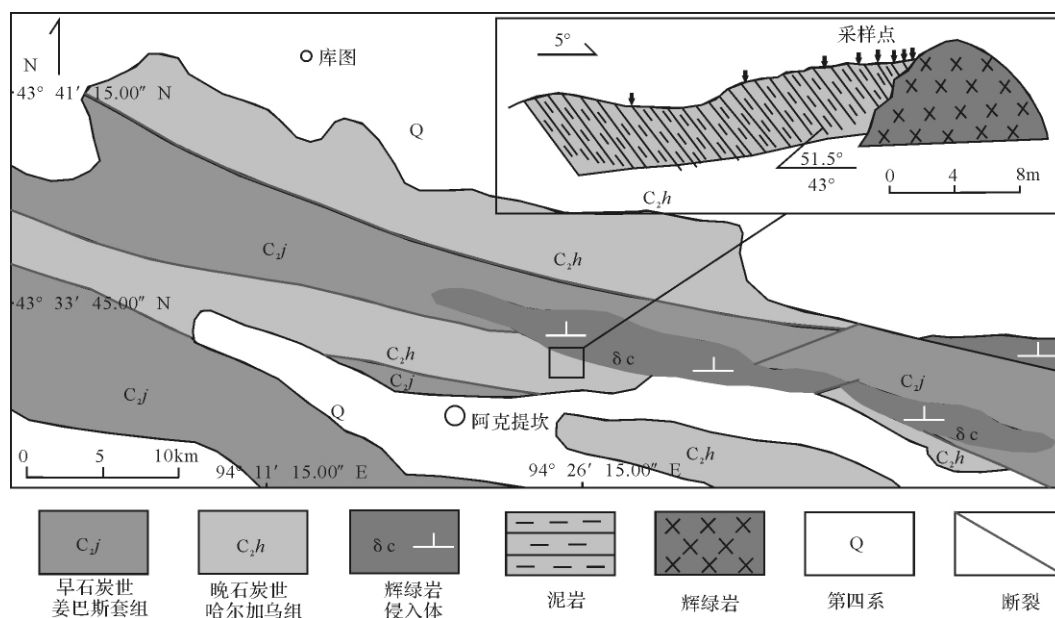


图1 采样点地质简图

Fig. 1 Geological diagram of the Sampling sites

表 1 样品基础地球化学参数

Table 1 Basic geochemical parameter table of the samples

样品	距岩体距离/cm	TOC/%	R_o /%	H/C 原子比	O/C 原子比	氯仿沥青“A”/%	总烃/ 10^{-6}
W008	20	0.30	3.84	0.385	0.095	0.0030	15.18
W009	50	0.29	3.45	0.404	0.096	0.0013	7.23
W010	100	0.31	2.87	0.651	0.132	0.0021	9.74
W011	180	0.32	2.06	0.499	0.144	0.0012	8.26
W012	300	0.35	2.06	0.508	0.108	0.0020	9.15
W013	500	0.39	2.11	0.495	0.074	0.0040	12.54
W014	1000	0.37	2.14	0.515	0.113	0.0017	11.53
W015	1700	0.36	2.05	0.539	0.092	0.0015	9.89

与侵入体接触的地方有不同程度的热变质。

2 辉绿岩侵入体对烃源岩生烃的影响

为了探讨异常地热对沉积有机质向烃类转化过程以及对烃类成熟作用的影响,本文采集了三塘湖盆地大黑山东剖面附近一辉绿岩侵入体南侧哈尔加乌组上部黑色泥岩层系的 8 块样品(W008 ~ W015),其与辉绿岩岩体的距离分别是 20 cm、50 cm、100 cm、180 cm、300 cm、500 cm、1 000 cm 和 1 700 cm,从基础有机地球化学(表 1)和生物标志物等方面探讨了辉绿岩侵入体热作用对有机质的影响。

从 8 块样品的 R_o 数据来看,整体均较高($R_o > 2\%$)处于过成熟阶段,这可能与该区岩浆活动频繁,区域上整体地温较高有关。随着泥岩样品距岩体的距离变小,W015、W014、W013、W012 和 W011 五块样品的 R_o 分别为 2.05%、2.14%、2.11%、2.06% 和 2.06%,基本保持不变。而 W010、W009 和 W008 三块样品随着距岩体的距离变小, R_o 分别为 2.87%、3.45% 和 3.84%,明显增高,而且增高幅度很大(图 2)。所以,从泥岩的热演化程度 R_o 的特征来看,侵入岩体与直接接触的烃源岩的烘烤作用的范围大约在 1.8 m 以内。

干酪根 H/C 原子比和 O/C 原子比是划分烃源岩有机质类型和判识烃源岩有机质热演化程度的重要参数,从八块泥岩样品的干酪根 H/C 原子比和 O/C 原子比来看,H/C 原子比分布在 0.385 ~ 0.651 之间,O/C 原子比分布在 0.092 ~ 0.144 之间(表 1),总体均相对较小,说明有机质成熟度较高。从图 3 来看,干酪根 H/C 原子比和 O/C 原子比相对应的热演化程度 R_o 大约在 2% 左右,与 R_o 实测值比较接近。

从图 3 可以看出,处于高演化阶段干酪根的 H/C 原子比随着热演化程度的进一步增高,变化幅度较大,而此时有机质中 O 元素基本消耗殆尽,所以 O/C

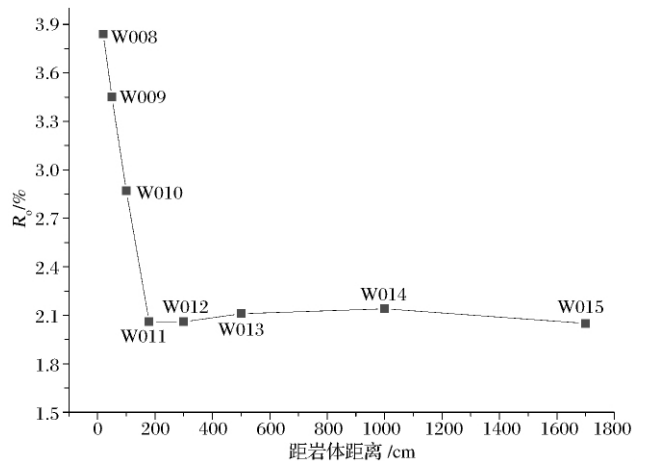


图 2 岩体一侧泥岩有机质热演化程度 R_o 变化特征

Fig. 2 The variation characteristics of organic matter maturity in the rock side

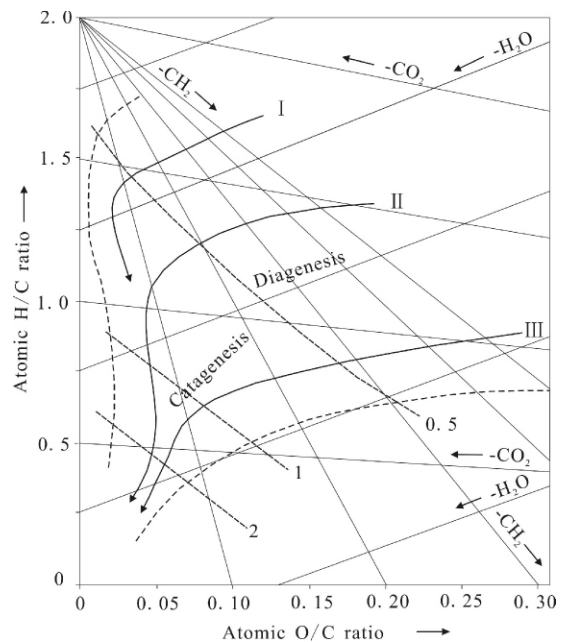


图 3 不同类型干酪根热演化特征变化图(Tissot 等,1984^[16])

Fig. 3 Thermal evolution characteristics variation diagram of different types of kerogens(after Tissot , et al. , 1984)

原子比的变化相对较小。从8块泥岩样品干酪根的H/C原子比来看(图4),W008和W009号样品的H/C原子比相对较小,分别是0.385和0.404,而W011~W015五块样品的H/C原子比在0.5左右,而且基本保持一致,W010样品的H/C原子比为0.651,相对较高,可能与测试误差有关。O/C原子比的变化范围相对较小,集中在0.1左右,W008和W009号样品的O/C比相邻样品(W010、W011)略小一些。这些结果与 R_o 分析得出的结论基本一致,即侵入岩体与直接接触的烃源岩的烘烤作用的范围相对较小。

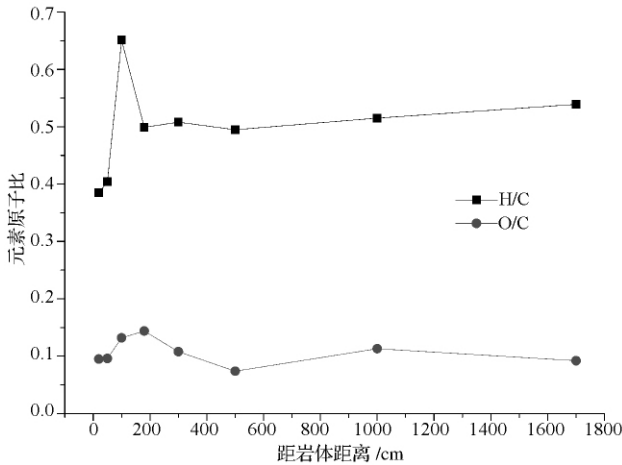


图4 泥岩有机质H/C、O/C原子比变化特征

Fig. 4 The variation characteristics of atomic ratio of H/C and O/C of the mudstone organic matter

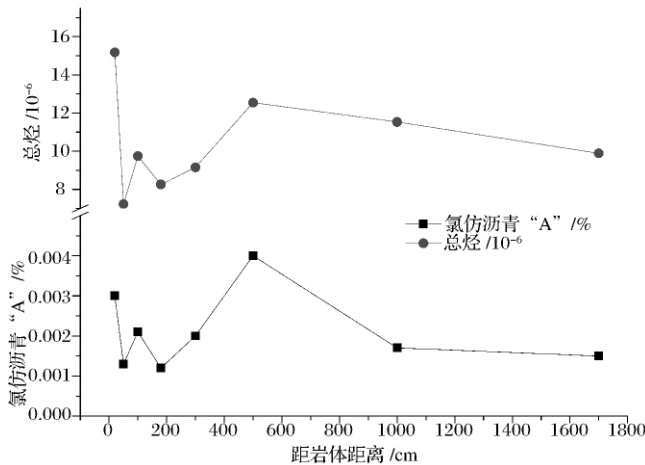


图5 泥岩有机质氯仿沥青“A”与总烃变化特征

Fig. 5 The variation characteristics of chloroform asphalt "A" and total hydrocarbon of the mudstone organic matter

图5是岩体一侧泥岩有机质氯仿沥青“A”含量与总烃变化特征,从图中可以看出,W008号样品的总烃和氯仿沥青“A”含量略高于相邻的W009~

W012号样品,但是总体而言,规律性不是很明显。

除了基础有机地球化学分析之外,我们有选择地进行了几个样品饱和烃的有机地球化学色质分析。选择样品为W008、W009、W010、W012和W014,饱和烃的总离子流图见图6。

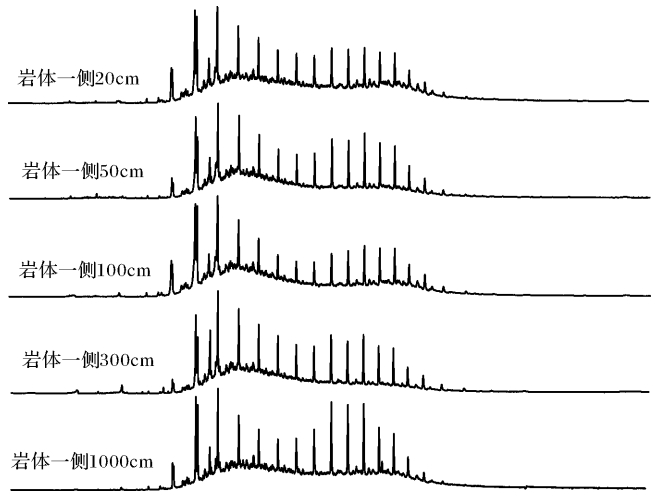


图6 岩体一侧泥岩有机质饱和烃总离子流图

Fig. 6 Saturated hydrocarbon total ion chromatogram of organic matter maturity in the rock side

从图6可以看出,五个样品的饱和烃总离子流图特征基本一致,差别不大。岩体一侧系列样品的正构烷烃均呈双峰分布,碳数分布范围为 $C_{13} \sim C_{33}$,前、后峰的主峰碳为 C_{18} 和 C_{27} 。随着距岩体距离的增加,后峰的相对丰度在增加,表明热作用越强烈,高碳数部分(后峰)的消耗越多。表2列举了岩体一侧5个样品的有机质饱和烃参数,其中碳优势指数(CPI)是成熟度的良好参数,该参数越接近1,说明样品的成熟度越高。虽然样品CPI值比较高,W012和W014甚至大于1.2,但从表2中仍然可以看出,距离岩体的

表2 岩体一侧泥岩有机质饱和烃参数

Table 2 Saturated hydrocarbon parameter table of organic matter maturity in the rock side

样品	距岩体距离/cm	Pr/Ph	$\Sigma C_{22-} / \Sigma C_{23+}$	CPI
W008	20	0.4	1.23	1.09
W009	50	0.26	0.97	1.19
W010	100	0.37	1.28	1.14
W012	300	0.18	1.06	1.21
W014	1000	0.27	0.84	1.22

距离越近,CPI越趋近于1,W008、W009和W010三个样品的CPI值相对较小,与W012和W014两块样品存在明显的差别,同样说明侵入岩体与直接接触的

烃源岩的烘烤作用的范围相对较小,在1.8 m以内。同时表明过成熟阶段的CPI值可能不适于衡量有机质成熟度。

3 结论

本文通过分析三塘湖盆地大黑山东剖面附近一辉绿岩岩体一侧不同距离的石炭系哈尔加乌组的8块烃源岩样品的干酪根 R_o 、H/C原子比、O/C原子比和岩石氯仿沥青“A”与总烃含量变化等基础有机地球化学特征,同时有选择地分析了其中5块样品的饱和烃色质总离子流特征,说明该烃源岩整体成熟度较高,同时靠近岩体1.8 m距离范围内,有机质的各项成熟度指标具有异常增高的趋势,说明侵入岩体与直接接触的烃源岩的烘烤作用的范围相对较小,大约在1.8 m以内。

虽然侵入岩体与直接接触的烃源岩的烘烤作用的影响范围相对较小,但是三塘湖盆地石炭纪—二叠纪广泛发育的火成岩,必将造成该区大地热流与地温梯度的增高,有助于局部或一定范围内烃源岩的生烃,进而对油气的运移、聚集以及成藏都会产生有利的影响。

参考文献(References)

- 1 王有孝,范璞,程学惠,等. 异常地热对沉积有机质生烃过程的影响[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(1): 73-77 [Wang Youxiao, Fan Pu, Cheng Xuehui, *et al.* Abnormal geothermal influence on hydrocarbon genesis of sedimentary organics [J]. *Oil & Gas Geology*, 1990, 11(1): 73-77]
- 2 冯乔,汤锡元. 岩浆活动对油气藏形成条件的影响[J]. 地质科技情报, 1997, 16(4): 59-65 [Feng Qiao, Tang Xiyuan. Magma activity's influence of conditions forming oil and gas pool [J]. *Geological Science and Technology Information*, 1997, 16(4): 59-65]
- 3 李亚辉. 高邮凹陷北斜坡辉绿岩与油气成藏[J]. 地质力学学报, 2000, 6(2): 17-22 [Li Yahui. Diabase and hydrocarbon reservoir formation on the northern slope of Gaoyou sag [J]. *Journal of Geomechanics*, 2000, 6(2): 17-22]
- 4 万从礼,金强. 东营凹陷纯西辉长岩对烃源岩异常生排烃作用研究[J]. 长安大学学报: 地球科学版, 2003, 25(1): 20-25 [Wan Congli, Jin Qiang. Study on exceptional hydrocarbons generating and eliminating of gabbros to source rocks in Chunxi area of Dongying depression [J]. *Journal of Chang'an University: Earth Science Edition*, 2003, 25(1): 20-25]
- 5 陈荣书,王青玲,何生,等. 岩浆活动对有机质成熟作用的影响初探——以冀中葛渔城—文安地区为例[J]. 石油勘探与开发, 1989, (1): 29-37 [Chen Rongshu, Wang Qingling, He Sheng, *et al.* Primary exploration of influence of the magmatic activity on organic maturation: Case study on the Geyucheng-wen'an area of central Hebei [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1989, (1): 29-37]
- 6 孙永革,傅家谟,刘德汉,等. 火山活动对沉积有机质演化的影响及其油气地质意义——以辽河盆地东部凹陷为例[J]. 科学通报, 1995, 40(11): 1019-1022 [Sun Yongge, Fu Jiamo, Liu Dehan, *et al.* Effect of volcanism on maturation of sedimentary organic matter and its significance for hydrocarbon generation, a case: The east sag of Liaohe Basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40(7): 1446-1450]
- 7 Raymond A C, Murchison D G. Effect of volcanic activity on level of organic maturation in Carboniferous rocks of East Fife [J]. *Midland valley of Scotland Fuel*, 1988, 67: 1164-1166
- 8 谷团,陈淑凤,苑丽,等. 辽河盆地新生代火山岩地球化学特征及其与油气成藏的关系[J]. 矿物学报, 2006, 26(3): 325-334 [Gu Tuan, Chen Shufeng, Yuan Li, *et al.* Geochemical characteristics of Cenozoic volcanic rocks and their correlations with hydrocarbon accumulation in Liaohe Basin [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2006, 26(3): 325-334]
- 9 郭占谦. 火山活动与石油、天然气的形成[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(1): 5-10 [Guo Zhanqian. On volcanic activity and generation of hydrocarbons [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2002, 23(1): 5-10]
- 10 Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments [J]. *AAPG Bulletin*, 1990, 74(1): 1-12
- 11 Wallace G Dow. Kerogen studies and geological interpretations [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1977, 7: 79-99
- 12 Simoneit B R T, Bernner S, Peters K E, *et al.* Thermal alteration of Cretaceous black shale by diabase intrusions in the Eastern Atlantic—II. Effects on bitumen and kerogen [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1981, 45: 1582-1602
- 13 曹学伟,胡文瑄,金之钧,等. 临盘油田夏38井区辉绿岩热效应对成烃作用的影响[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 317-322 [Cao Xuewei, Hu Wenxuan, Jin Zhijun, *et al.* Influences of thermal effect of diabase intrusion on hydrocarbon generation in Xia 38 wellblock, Linpan oilfield [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(3): 317-322]
- 14 王志勇,卫延召,赵长毅. 三塘湖盆地低熟油的发现及其地球化学特征[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 598-604 [Wang Zhiyong, Wei Yanzhao, Zhao Changyi. The immature oils in Santanghu Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(4): 598-604]
- 15 高岗,梁浩,沈霞,等. 三塘湖盆地二叠系火成岩分布及其对烃源岩热演化的影响[J]. 石油实验地质, 2009, 31(5): 462-465 [Gao Gang, Liang Hao, Shen Xia, *et al.* Permian igneous rock distribution and its influence to the thermal evolution of source rock in Santanghu Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2009, 31(5): 462-465]
- 16 Tissot B P, Welte D H. *Petroleum Formation and Occurrence* (Second Revised and Enlarged Edition [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1984: 1-699

Influence of Abnormal Geothermal on Hydrocarbon-Generation: Case study on the diabase intrusion of the Santanghu Basin

LIU Xing-wang^{1,2} WANG Xiao-feng¹ SHI Bao-guang¹ WANG Zuo-dong¹
YANG Xing^{1,2} ZHENG Jian-jing¹ LIU Chun-yan³

(1. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

3. Department of Petroleum Engineering, Chengde Petroleum College, Chengde, Hebei 067000)

Abstract In order to probe into abnormal geothermal's influence on hydrocarbon-generation, we collected eight source rock samples (W008-W015) from the black mudstone series of strata of Carboniferous upper Haerjiawu group on the south side of the diabase intrusion of the East Daheishan Profile in the Santanghu Basin, whose distance to the diabase rock is 20 cm, 50 cm, 100 cm, 180 cm, 300 cm, 500 cm, 1 000 cm, and 1 700 cm, respectively. Through analysis of the basic geochemical characteristics such as the atomic ratios of R_o to H/C and to O/C, the change of the chloroform bitumen "A" and total hydrocarbon of the eight samples, along with selective analysis of the chromatographic characteristics of the saturated hydrocarbon of five of them, we found that with the distance to the diabase rock greater than 180 cm, the content of R_o remains almost unchanged, however, the content of R_o significantly increases with the distance less than 180 cm; the atomic ratio of H/C in W008 and W009 is relatively small, which is 0.385 and 0.404, while from W011 to W015, the atomic ratio of H/C is about 0.5, which remains the same on the whole; the range of variation in the atomic ratio of O/C is relatively small concentrating around 0.1, and the atomic ratio of O/C in W008 and W009 is slightly smaller than adjacent samples (W010, W011); the chloroform bitumen "A" and total hydrocarbon of W008 is slightly higher than that of W009 ~ W012; from the perspective of organic saturated hydrocarbon parameters, CPI in W008, W009 and W010 is relatively small, which is obviously different from that of in W012, and W014. From the above analysis, we can conclude that the overall maturity of this source rock is rather high, and near the diabase intrusion with the distance range of 1 ~ 1.8 m, its maturity index has the trend of exceptional increase which shows the source rocks directly exposed to the intrusive rocks has a relative smaller scope of baking effect which is less than about 1.8 m.

Key words diabase; abnormal geothermal; hydrocarbon-generating; maturation