

# 济阳拗陷下伏石炭系一二叠系煤系烃源岩中侵入岩的地球化学特征

金强<sup>1</sup>, 杨恺<sup>1</sup>, 万丛礼<sup>2</sup>

(1 中国石油大学 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266555;

2 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司 油气集输公司, 山东 东营 257015)

**摘要:** 石炭系一二叠系沉积以剥蚀残余状分布在渤海湾盆地之下, 在已发现油气的部位均发现浅层侵入岩。通过侵入岩产状、主量元素和微量元素组成等地质和地球化学分析, 发现侵入岩主要为富二氧化硅、钠、钾和镁的闪长玢岩以及贫二氧化硅和钠、富钾和镁的煌斑岩, 它们与鲁西隆起同层位侵入岩具有很多相似之处。研究认为它们是侏罗纪断陷形成初期上地幔物质上涌、沿深大断裂侵入形成的, 以富钾偏碱性或偏中性两种岩浆侵入在煤系烃源岩中。研究还发现, 煤系地层中的这些侵入体规模不大, 对烃源岩的烘烤作用范围不超过侵入体的厚度, 对整体的煤系生烃演化影响较小。

**关键词:** 石炭系一二叠系; 侵入岩; 地球化学特征; 闪长玢岩; 煌斑岩; 弧北地区; 济阳拗陷

**中图分类号:** P588.12; P595 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)02-0111-06

## Geochemical Characteristic of Intrusion Rocks in Coal-series Hydrocarbon Source Rock of Carboniferous-Permian Under Jiyang Depression

JIN Qiang<sup>1</sup>, YANG Kai<sup>1</sup>, WAN Cong-li<sup>2</sup>

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266555, Shandong, China;

2. Oil Transportation Company, Shengli Oilfield Branch Company, China Petroleum and Chemical Corporation, Dongying 257015, Shandong, China)

**Abstract** The Carboniferous-Permian sediments are distributed with eroded residual status under the Bohai Bay Basin; there were shallow intrusion rocks in the sediments with oil/gas. Through the geological and geochemical characteristic analysis on the distribution, main elements and trace elements in the intrusion rocks, the diorite porphyrites were richer in SiO<sub>2</sub> and Na than that of the lamprophyres and both were rich in K and Mg for the intrusion rocks; the above rocks were very similar to the rocks of the same strata in Luxi uplift. The results showed that the intrusion rocks were formed because the earth upper mantle matter rose and intruded along the discordogenic fault at the beginning of Jurassic fault depression, and intruded in coal-series hydrocarbon source rocks in the form of magma rich in K with meta alkaline or meta neutral; the intrusion were small, and the ranges of roast on hydrocarbon source rock were less than the thickness of the intrusion, so that the intrusion had little influence on hydrocarbon generation from the coal-series hydrocarbon source rocks.

**Key words:** Carboniferous-Permian; intrusion rock; geochemical characteristic; diorite porphyrite; lamprophyre; Gubei Area; Jiyang Depression

## 0 引言

渤海湾盆地的济阳拗陷是在古生代地台上发育起来的断陷盆地, 其下伏的石炭系一二叠系在中生代

的差异抬升中受到剥蚀, 有的地方完全被剥蚀, 有的地方还剩余 1 000 m 厚度<sup>[2]</sup>。石炭系一二叠系是一套海陆过渡相沉积, 其下部的山西组和太原组发育煤系烃源岩和海侵局限海相烃源岩<sup>[3-5]</sup>。据统计, 济阳

收稿日期: 2010-11-01

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40272063; 40572084)

作者简介: 金强(1956-), 男, 江苏南京人, 教授, 博士研究生导师, 从事油气地质及地球化学教学与研究。E-mail: jinqiang@upc.edu.cn

拗陷下伏石炭系—二叠系分布面积约占 70%，现今埋藏深度多在 3 000~7 000 m，应当处于油气生成阶段<sup>[67]</sup>。然而，现今发现石炭系—二叠系有油气产出或显示的地区以及发现源自石炭系—二叠系油气的地区，均有辉长岩、煌斑岩等中基性岩浆岩，前人研究了这些侵入岩的分布和识别特征等，其成因及其对煤系烃源岩生烃作用的影响未见报道<sup>[8-11]</sup>。

山西组和太原组煤系烃源岩是石炭系—二叠系中比较软的地层，容易遭受岩浆侵入。鲁西隆起石炭系—二叠系出露区也是如此，在煤系地层中见有规模不大的辉长岩、煌斑岩等中基性岩浆岩侵入体。它们是否与济阳拗陷同层位侵入岩具有成因联系？其分布规律是什么？对周围煤系烃源岩热烘烤作用范围

有多大？这些都是值得深入研究的问题。笔者以济阳拗陷孤北地区为例，探讨石炭系—二叠系侵入岩的地球化学特征和成因，为进一步研究其分布规律和对煤系烃源岩生烃作用的影响提供依据。

## 1 煤系烃源岩中侵入岩分布特征

孤北地区位于济阳拗陷东北部，受中生代断层切割，现今是面积超过 300 km<sup>2</sup> 的断块斜坡。该斜坡的石炭系—二叠系和侏罗系中发育侵入岩，其单层厚度一般为 1~3 m，岩性主要为闪长玢岩和煌斑岩，在沙河街组发育少量玄武岩和辉长岩(表 1)。孤北古 1 井在二叠系砂岩中钻遇工业油气流，并且证实是源于山西组和太原组煤系烃源岩。

表 1 济阳拗陷孤北地区主要探井侵入岩分布

Tab. 1 Distribution of Intrusion Rocks Discovered by Main Exploratory Well in Gubei Area of Jiyang Dpression

井号	深度/m	层位	岩性	围岩性质
义 133	3 414.4(未穿)	J	闪长玢岩	煤
义 135	4 015~4 020	J	煌斑岩	煤
义 136	3 854.5~3 856(未穿)	C-P	煌斑岩	煤
义 155	4 464~4 468	C-P	闪长玢岩	煤
孤北古 1	3 697~3 721, 3 770~3 782, 3 874~3 879, 4 013~4 017	J	闪长玢岩	煤及碳质泥岩
孤北古 2	3 181~3 187	C-P	闪长玢岩	煤
孤北古 3	3 398~3 411, 3 457~3 458, 3 475~3 476.5	J, C-P	闪长玢岩	煤等
渤古 4	4 327~4 340	C-P	煌斑岩	煤
渤古 401	3 891.0~3 896.5	C-P	闪长玢岩	
渤古 402	4 237~4 238, 4 304~4 313, 4 421~4 424, 4 633~4 659, 4 741~4 743	C-P	煌斑岩和闪长玢岩	煤及暗色泥岩
渤古 602	4 594~5 021(254 m/7层)	E <sub>3</sub>	煌斑岩	泥岩
渤古 601	4 161.0~4 251.5(90.5 m/层)	E <sub>3</sub> , C-P	闪长玢岩	碳酸盐岩及砂、泥岩
渤深 3	4 554~4 590, 4 829~4 840	J	煌斑岩	暗色泥岩
	4 862~4 970	C-P	闪长玢岩	泥岩、砂岩
渤 930	1 987~1 989, 2 156~2 184	C-P	煌斑岩	煤岩
孤古 3	3 616~3 632	J	煌斑岩	煤、暗色泥岩
孤古 14	2 911~2 916, 2 955~2 964	J	煌斑岩	煤、暗色泥岩

注: 据文献[12]。

孤北古 1 井石炭系—二叠系侵入的主要为闪长玢岩，深度为 3 820~3 880 m(图 1a)，孤古 14 井侵入岩主要为煌斑岩，侵入层位为侏罗系(34 层厚 62 m，单层厚度 0.5~8.0 m)，围岩主要为煤岩和暗色泥岩(图 1b)。煤层和暗色泥岩具有明显的热烘烤现象，烘烤厚度一般为侵入岩的一半左右。

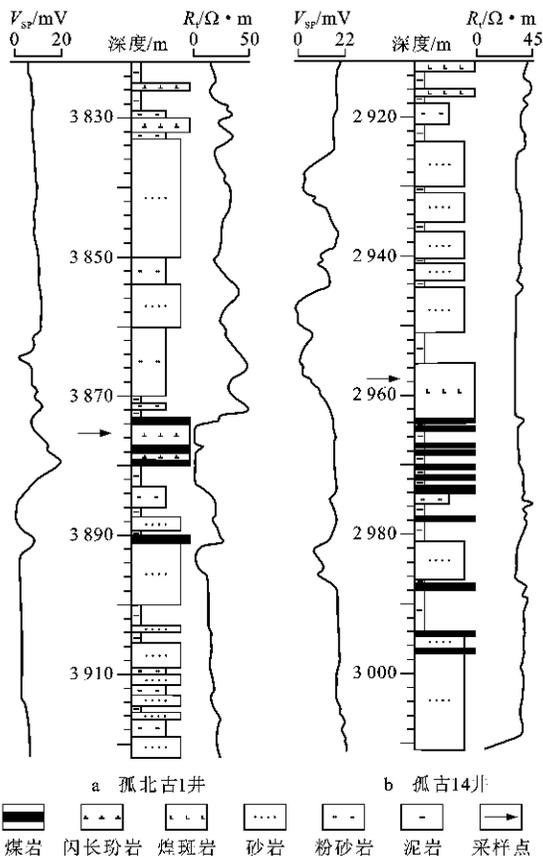
从剖面上看，煌斑岩主要发育在深大断裂带附近，孤西、孤北和埕东断裂是这些侵入岩上涌的直接通道(图 2)。闪长玢岩主要沿孤西断裂带零散分布，其中孤北古 1 井区闪长玢岩面积和厚度最大，该岩体

东西长 4.8 km，南北最宽 3.6 km，面积约 13 km<sup>2</sup>。闪长玢岩最厚处位于孤北古 1 井南部的孤北断裂带附近，共 6 层，单层厚度为 1~3 m，累计厚度 12 m。

## 2 侵入岩地球化学

### 2.1 主量元素

孤北地区的石炭系—二叠系和侏罗系闪长玢岩  $w(\text{SiO}_2)$  为 60.02%~64.74%， $w(\text{TiO}_2)$  为 0.59%~0.78%， $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  为 15.5%~16.5%， $w(\text{MgO})$  为 2.5%~6.0%， $w(\text{Na}_2\text{O})$  为 5.43%~7.85%， $w(\text{K}_2\text{O})$



注:  $V_{sp}$ —自然电位;  $R_1$ —感应电阻率。

图 1 孤北古 1 井闪长玢岩和孤古 14 井煌斑岩与煤系烃源岩的接触关系

Fig 1 Contact Relations of Coal-series Hydrocarbon Source Rocks to Diorite Porphyrites in Well Gubeigui and Lamprophyres in Well Gugui4

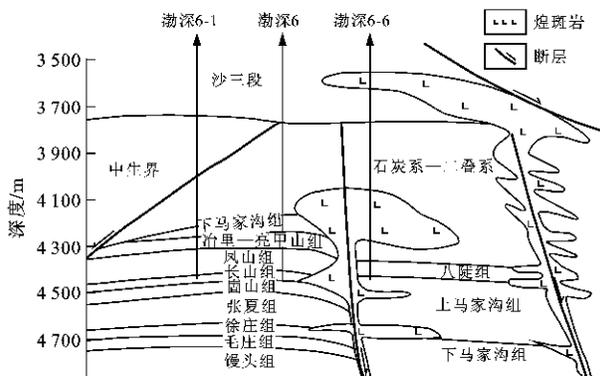


图 2 渤深 4 井—渤 601 井侵入岩剖面

Fig. 2 Profile of Intrusion Rocks from Well Boshen4 to Well Bo601

为 2.3%~3.8%,  $K_2O$  与  $Na_2O$  的分子数比为 0.2~0.5(表 2、3)。在  $w(SiO_2)$  与  $w(K_2O) + w(Na_2O)$  关系图解(图 3)上, 闪长玢岩主要位于粗面英安岩区域内(图 3), 其特征为富二氧化硅、钠、钾和镁。

孤北地区煌斑岩  $w(SiO_2)$  为 46.12%~50.29%,

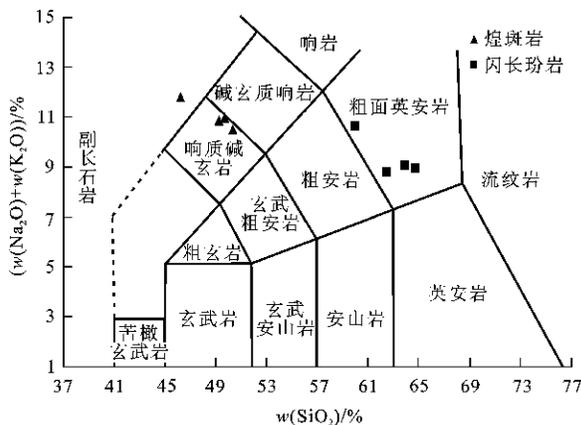


图 3 济阳拗陷孤北地区侵入岩  $w(SiO_2)$  与  $w(K_2O) + w(Na_2O)$  的关系

Fig. 3 Relationships Between  $w(SiO_2)$  and  $w(K_2O) + w(Na_2O)$  of Intrusion Rocks in Gubei Area of Jiyang Depression

$w(TiO_2)$  为 0.39%~6.23%,  $w(Al_2O_3)$  为 10.7%~12.23%,  $w(MgO)$  为 21.26%~25.01%,  $w(Na_2O)$  为 0.25%~1.72%,  $w(K_2O)$  为 9.27%~11.67%,  $K_2O$  与  $Na_2O$  的分子数比为 3.5~30(表 2、3)。在  $w(SiO_2)$  与  $w(K_2O) + w(Na_2O)$  关系图解上, 投影点主要落在响质碱玄岩区域内, 部分落在副长石岩区内(图 3), 其特征为贫二氧化硅和钠、富钾和镁。

### 2.2 微量元素

闪长玢岩的  $w(LREE)/w(HREE)$  为 7.49~10.89, 显示出富轻稀土元素(LREE)、贫重稀土元素(HREE)特征。其  $w(La)$  和  $w(Ce)$  分别为  $(21.43 \sim 24.18) \times 10^{-6}$ 、 $(44.42 \sim 53.13) \times 10^{-6}$ , 轻重稀土元素分馏不显著,  $w(La)_N/w(Yb)_N$  为 4.6~9.5, 具有微弱的 Eu 正异常, 球粒陨石分布模式表现为明显的右倾斜形(图 4)。

煌斑岩的稀土元素总体含量较闪长玢岩高, 其  $w(LREE)/w(HREE)$  为 24.1~33.0, 显著富轻稀土元素, 贫重稀土元素。其  $w(La)$  和  $w(Ce)$  分别为  $(87.6 \sim 144.9) \times 10^{-6}$ 、 $(154.6 \sim 276.13) \times 10^{-6}$ ; 轻重稀土元素分馏十分显著,  $w(La)_N/w(Yb)_N$  为 50.0~72.5, 具有微弱的 Eu 负异常, 球粒陨石分布模式表现为明显的右倾斜形(图 4)。

闪长玢岩和煌斑岩均富大离子亲石元素(Sr、Ba 等), 贫高场强元素(Th、Nb、Hf)(表 2), 二者的  $w(Sr)$  和  $w(Ba)$  分别为  $(397 \sim 563) \times 10^{-6}$ 、 $(989 \sim 1758) \times 10^{-6}$ 、 $(835 \sim 1247) \times 10^{-6}$ 、 $(1674 \sim 2204) \times 10^{-6}$ ;  $w(Th)$  和  $w(Nb)$  分别仅为  $(2.9 \sim 4.6) \times 10^{-6}$ 、 $(12.9 \sim 18.4) \times 10^{-6}$ 、 $(6.2 \sim 8.4) \times 10^{-6}$ 、 $(8.0 \sim 11.0) \times 10^{-6}$ ;

表 2 济阳拗陷孤北地区侵入岩主量元素和微量元素含量及特征参数

Tab. 2 Characteristic Parameter and Content of Major and Trace Elements of Intrusion Rocks in Gubei Area of Jiyang Depression

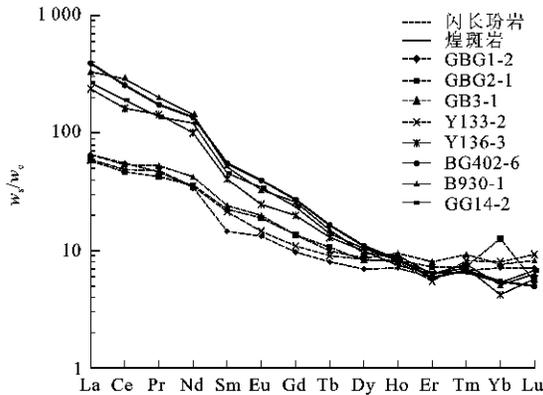
井号	孤北古 1	孤北古 2	孤北 3	义 133	义 136	渤古 402	渤 930	孤古 14
岩性	闪长玢岩	闪长玢岩	闪长玢岩	闪长玢岩	煌斑岩	煌斑岩	煌斑岩	煌斑岩
样品号	GBG1-2	GBG2-1	GB3-1	Y133-2	Y136-3	BG402-6	B930-1	GG14-2
SiO <sub>2</sub>	60.02	62.47	64.74	63.92	50.29	49.18	49.62	46.12
TiO <sub>2</sub>	0.59	0.78	0.65	0.57	1.04	0.67	0.39	6.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.57	15.66	16.41	15.64	10.76	11.91	12.23	11.04
MnO	0.06	0.11	0.04	0.05	0.14	0.06	0.09	0.13
MgO	5.89	5.43	2.65	4.21	25.01	24.28	24.61	21.26
CaO	4.25	6.24	3.84	3.76	0.04	0.09	0.17	0.42
Na <sub>2</sub> O	7.85	6.62	5.84	5.43	0.25	1.72	1.06	0.27
K <sub>2</sub> O	2.93	2.31	3.26	3.77	10.36	9.27	10.05	11.67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.21	0.24	0.25	0.22	0.22	0.19	0.20	0.18
烧失	2.37	2.42	1.94	2.28	1.84	1.98	1.69	2.10
总量	99.74	99.97	99.62	99.85	99.95	99.35	100.11	99.42
La	24.18	21.43	24.17	21.87	87.6	144.9	123.1	98.5
Ce	53.13	44.42	51.36	47.27	154.6	247.8	276.1	182.4
Pr	6.47	5.81	7.23	6.52	19.7	24.2	27.4	18.9
Nd	24.72	25.51	30.20	25.09	71.3	98.6	101.5	86.3
Sm	3.39	5.17	5.49	4.87	9.42	12.84	11.92	10.53
Eu	1.15	1.63	1.72	1.28	2.13	3.47	2.85	3.02
Gd	2.95	4.12	4.15	3.36	6.11	8.32	7.90	7.26
Tb	0.46	0.62	0.57	0.52	0.74	0.95	0.87	0.81
Dy	2.65	3.12	3.28	3.19	3.74	4.11	3.58	3.97
Ho	0.61	0.69	0.81	0.68	0.64	0.72	0.77	0.70
Er	1.46	1.79	1.97	1.37	1.57	1.45	1.55	1.59
Tm	0.24	0.26	0.33	0.29	0.25	0.24	0.27	0.23
Yb	1.75	3.11	1.88	1.97	1.03	1.35	1.27	1.33
Lu	0.27	0.21	0.31	0.35	0.22	0.19	0.24	0.26
V	101.4	117.9	98.4	89.3	143	128	137	149
Cr	65.4	148.9	94.3	99.8	667	524	231	295
Co	7.9	21.3	13.7	15.2	27	19	17	18
Rb	39.3	33.4	29.4	34.2	72	69	91	57
Sr	397	536	537	563	1758	1637	989	1265
Y	14.6	17.3	19.4	15.9	19	21	17	22
Zr	187.3	154.7	142.6	161.5	221	174	196	204
Nb	7.8	6.2	8.4	7.4	11	8	10	7
Ba	1105	835	1247	1085	2018	1859	2204	1674
Hf	5.6	3.8	4.7	5.2	6.28	5.21	4.95	5.76
Pb	4.9	7.7	4.1	5.3	21	19	17	22
Th	4.6	3.5	2.9	3.1	16.8	17.3	12.9	18.4
U	0.62	0.81	0.73	0.68	3.86	4.21	3.41	5.36
w(REE)	123.43	117.89	133.47	118.63	359.05	549.14	559.32	415.80
w(La) <sub>N</sub> /w(Yb) <sub>N</sub>	13.8	6.9	12.8	11.1	85.0	107.3	96.9	74.1
∑Eu	1.09	1.05	1.06	0.92	0.81	0.96	0.85	1.00
w(Rb)/w(Sr)	0.10	0.06	0.05	0.06	0.04	0.04	0.09	0.05

注:表中主量元素质量分数/%;微量元素质量分数/10<sup>-6</sup>;特征参数量纲为一

表3 济阳拗陷孤北地区侵入岩稀土元素特征参数

Tab. 3 Characteristic Parameter of Rare Earth Elements of Intrusion Rocks in Gubei Area of Jiyang Depression

井号	孤北古1	孤北古2	孤北3	义133	义136	渤古402	渤930	孤古14
岩性	闪长玢岩	闪长玢岩	闪长玢岩	闪长玢岩	煌斑岩	煌斑岩	煌斑岩	煌斑岩
样品号	GBG1-2	GBG2-1	GB3-1	Y133-2	Y136-3	BG402-6	B930-1	GG14-2
$w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$	10.879 69	7.469 11	9.035 34	9.113 38	24.108 39	30.687 25	33.001 22	24.746 13
$w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$	9.336 92	4.656 37	8.687 69	7.501 85	57.471 50	72.530 43	65.499 80	50.046 10
$w(\text{Sr})_N/w(\text{Y})_N$	4.839 22	5.513 86	4.926 18	6.301 57	16.466 55	13.872 88	10.353 44	10.233 05
$\text{K}_2\text{O}$ 与 $\text{Na}_2\text{O}$ 的分子数比	0.246 19	0.230 15	0.368 19	0.457 94	27.332 77	3.554 80	6.253 51	28.508 27



注:  $w_s$ —样品质量分数;  $w_c$ —球粒陨石质量分数。

图4 济阳拗陷孤北地区侵入岩稀土元素分布模式

Fig. 4 Distribution Pattern of Rare Earth Elements of Intrusion Rocks in Gubei Area of Jiyang Depression

闪长玢岩和煌斑岩的  $w(\text{Sr})_N/w(\text{Y})_N$  分别为 4.8 ~ 6.3、10.2 ~ 16.4,  $w(\text{Y})$  分别为  $(14.6 \sim 19.4) \times 10^{-6}$ 、 $(17 \sim 22) \times 10^{-6}$ 。二者的过渡元素 Cr 也较贫乏,且闪长玢岩含量更少,反映其分异演化程度较高。

### 3 侵入岩成因分析

前人对鲁西隆起及郯庐断裂的中生代侵入岩(特别是石炭系—二叠系中的中生代侵入岩)做了大量地质和地球化学研究<sup>[13-17]</sup>,将孤北地区石炭系—二叠系及侏罗系侵入岩岩性、主量元素及微量元素与其进行对比,发现它们之间存在许多相似之处,例如  $w(\text{SiO}_2)$  为 57% ~ 66%、Na、K 和 Mg 含量与表 2 所列数值相近<sup>[13-15]</sup>,可能具有相似的成因,即它们属于大陆伸展背景下板内岩浆活动,可能与中生代太平洋板块俯冲导致中国东部岩石圈减薄、软流圈上涌有关。

研究区侵入岩微量元素组成(表 2)与产于岛弧及大陆边缘环境的侵入岩有明显区别,而与产于裂谷环境的富钾侵入岩相似<sup>[13]</sup>;另外,反映出该区的闪长玢岩和煌斑岩均来自地幔,混有部分地壳熔融岩浆,闪长玢岩中熔融地壳成分较多<sup>[14-15]</sup>。同时,研

究区煌斑岩  $w(\text{K}_2\text{O})$  超过  $8 \times 10^{-6}$ ,属于富钾侵入岩。对富钾侵入岩成因有多种说法<sup>[18-20]</sup>,但是大多数学者认为是原富集地幔源区的部分熔融而形成的<sup>[21]</sup>。济阳拗陷和鲁西地区一样,中生代受到古太平洋板块对欧亚板块的俯冲和华北板块与扬子板块碰撞作用的影响,表现出地幔上隆而产生热事件,来自地幔深部的富含挥发组分和不相容元素的流体沿构造隆起带向上运移,形成富轻稀土和大离子亲石元素的富集型地幔,导致大规模钾质岩浆活动<sup>[13]</sup>。研究区内煌斑岩与富钾侵入岩具有相似的地球化学特征及相似的产出构造背景,因此,其成因也主要起源于富钾地幔的部分熔融。

### 4 侵入岩对煤系烃源岩的烘烤现象

前人研究认为,侵入岩热烘烤范围纵向上为侵入体厚度的 2 倍,横向上的距离等于侵入体的直径<sup>[22-23]</sup>。对孤北地区岩芯观察发现,闪长玢岩厚度上下的煤系烃源岩受到烘烤,局部产生强烈的热变质,但是受热作用范围一般不超过侵入岩的厚度,横向上也不超过侵入岩的厚度。闪长玢岩的围岩呈现环状变质带,由内而外依次为堇青石角闪岩带、板岩带和变余泥岩带,变余泥岩带之外为正常泥岩带。堇青石为特征变质矿物,形成温度为 550 °C ~ 600 °C,具有重要的指相意义,可以作为地质温度计<sup>[24-25]</sup>。周荔青对苏北盆地—辉长岩侵入体周围变质带温度研究发现,堇青石形成温度为 600 °C,斑点板岩形成温度为 380 °C,正常泥岩为 100 °C<sup>[26]</sup>。

孤北地区石炭系—二叠系内侵入岩对围岩烘烤作用范围较小。孤北古 1 井 3 874 ~ 3 877 m 为一厚度 3 m 的闪长玢岩,在其上的煤层、碳质泥岩和泥岩中分别采样进行镜质体反射率( $R_o$ )测定(表 4),由于区域上的石炭系—二叠系煤系  $R_o$  一般为 2.0% ~ 2.2%,该井 3 870.23 m 处的泥岩  $R_o$  为 2.13%,可见受侵入岩烘烤的烃源岩厚度小于 2.77 m,不超过侵入岩的厚度。此外,研究区石炭系—二叠系有效生

表 4 孤北古 1 井闪长玢岩之上煤系烃源岩  
镜质体反射率的变化

Tab. 4 Changes of Vitrinite Reflectance of Coal-series  
Hydrocarbon Source Rocks Above the Diorite  
Porphyrites in Well Gubeigui

深度/m	3 870.23	3 870.92	3 871.61	3 872.16	3 872.64	3 872.73
$R_o/\%$	2.13	2.61	3.68	4.97	6.25	5.87

烃期在古近纪晚期以来,而不是侵入岩侵入的中生代,因此,侵入岩对煤系烃源岩生烃作用影响范围小,对主要生烃期没有显著影响<sup>[27]</sup>。

## 5 结语

(1) 济阳拗陷孤北地区石炭系一二叠系闪长玢岩和煌斑岩与鲁西隆起相同层位发育的侵入岩具有相同的元素组成和微量元素组成,均为富钾浅层侵入岩,岩性为闪长玢岩和煌斑岩。

(2) 研究区侵入岩微量元素特别是稀土元素与鲁西隆起侵入岩相似,是大陆裂谷初期(侏罗纪为主)形成富轻稀土元素和大离子亲石元素的富集型部分熔融地幔,通过深大断裂侵入到石炭系一二叠系。

(3) 石炭系一二叠系中的侵入岩体规模不大,对周围煤系烃源岩具有明显的烘烤作用,但是烘烤范围均不超过侵入岩层的厚度,对其整体的生烃作用没有显著影响。

### 参考文献:

- [1] 丁增勇,王良书,钟 锴,等. 渤海湾盆地新生界残留地层分布特征及其构造意义[J]. 高校地质学报, 2008, 14(3): 405-413.
- [2] 夏 斌,刘朝露,陈根文. 渤海湾盆地中生代构造演化与构造样式[J]. 天然气工业, 2006, 26(12): 57-60.
- [3] 杨 勇,桑树勋,陈世悦,等. 渤海湾盆地石炭二叠系盖层及其沉积控制[J]. 中国煤田地质, 2007, 19(6): 9-13.
- [4] 于林平,曹忠祥,李增学. 济阳拗陷石炭二叠系烃源岩有机地球化学特征[J]. 地质地球化学, 2003, 31(4): 68-73.
- [5] 李增学,曹忠祥,王明镇,等. 济阳拗陷石炭二叠系埋藏条件及煤型气源岩分布特征[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(4): 4-6.
- [6] 曹忠祥,刘 华,王玉林. 济阳拗陷石炭二叠系沉积与层序地层分析[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2002, 21(2): 68-71.
- [7] 朱炎铭,王晓辉,张 聪,等. 东濮拗陷石炭一二叠系煤系烃源岩的生烃演化[J]. 石油学报, 2007, 28(6): 27-31.
- [8] 万丛礼. 东营凹陷火成岩与烃源岩相互作用及其组合体油气成藏模式研究[D]. 东营: 中国石油大学, 2002.
- [9] 金 强,翟庆龙. 裂谷盆地的火山热液活动和油气生成[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 413-424.
- [10] 任建业,刘文龙,林畅松,等. 中国大陆东部晚中生代裂陷作用的表现形式及其幕式扩展[J]. 现代地质, 1996, 10(4): 526-

531.

- [11] 肖芝华,胡国艺,钟宁宁,等. 塔里木盆地煤系烃源岩产气率变化特征[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(1): 9-13.
- [12] 万丛礼,赵 勇,李 敬,等. 胜利油田孤北地区煤成气形成条件研究[R]. 东营: 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司, 2008.
- [13] 邱检生,王德滋,曾家湖,等. 鲁西中生代富钾火山岩及煌斑岩微量元素和 Nd-Sr 同位素地球化学[J]. 高校地质学报, 1997, 3(4): 384-395.
- [14] 巫祥阳,徐义刚,马金龙,等. 鲁西中生代高镁闪长岩的地球化学特征及其成因探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2003, 27(3): 228-236.
- [15] 杨承海,许文良,杨德彬,等. 鲁西中生代高 Mg 闪长岩的成因: 年代学与岩石地球化学证据[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, 31(1): 81-92.
- [16] 陶奎元,毛建仁,邢光福,等. 中国东部燕山期火山—岩浆大爆发[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 316-322.
- [17] 宋明春,赵庆龄. 山东省日照市官山闪长玢岩锆石 SHRIMP 年龄: 印支期岩浆热事件及其对超高压变质岩折返历史的限定[J]. 地质通报, 2004, 23(12): 1254-1258.
- [18] Taylor H P, Giannetti B, Tun B. Oxygen Isotope Geochemistry of the Potassic Igneous Rocks from the Roccamonfina Volcano, Roman Comagmatic Region, Italy[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1979, 46(1): 81-106.
- [19] Ferrara G, Preite-Martinez M, Taylor H P, et al. Evidence for Crustal Assimilation, Mixing of Magmas, and a <sup>87</sup>Sr-rich Upper Mantle[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1986, 92(3): 269-280.
- [20] Beccaluva L, Girolamo P, Serri G. Petrogenesis and Tectonic Setting of the Roman Volcanic Province, Italy[J]. Lithos, 1991, 26(3/4): 191-221.
- [21] Smithies R H, Champion D C. The Archaean High-Mg Diorite Suite: Links to Tonalite-trondhjemite-granodiorite Magmatism and Implications for Early Archaean Crustal Growth[J]. Journal of Petrology, 2000, 41(12): 1653-1671.
- [22] 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.
- [23] 王有孝,范 璞,程学惠. 异常地热对沉积有机质生烃过程的影响——以辉绿岩侵入体为例[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(1): 73-77.
- [24] 薛君治,白学让,陈 武. 成因矿物学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990.
- [25] 贺 凯,庞 瑶,何治亮,等. 准东地区石炭系烃源岩评价及重要意义[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2010, 32(6): 41-45.
- [26] 周荔青. 深大断裂与中国东部新生代盆地油气资源分布[D]. 西安: 西北大学, 2005.
- [27] 金 强,宋国奇,梁宏斌,等. 渤海湾盆地源于石炭系一二叠系的煤成气成因特征和潜力分析[J]. 地质学报, 2009, 83(6): 861-867.