

文章编号: 1000-4734(2007)03-0434-06

胜利油田惠民凹陷辉绿岩过渡元素地球化学

刘洪文^{1, 2, 3}, 黄智龙^{1*}, 申宝剑^{1, 3}(1. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 胜利石油管理局 科研处, 山东 东营 257000)

摘要:测定了胜利油田惠民凹陷 14 件辉绿岩的过渡元素(Sc、Ti、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu 和 Zn)含量。结果显示岩石中 Cr 和 Ni 含量具有很宽的范围(分别为 $76.9 \times 10^{-6} \sim 1049 \times 10^{-6}$ 和 $56.7 \times 10^{-6} \sim 495 \times 10^{-6}$), 样品商 745-2 出现异常高的 Cr 和 Ni 含量, 分别为 8718×10^{-6} 和 4530×10^{-6} ; Cu 和 Zn 含量高且变化范围大, 半数以上样品的 Cu 和 Zn 含量分别大于 1000×10^{-6} ($1082 \times 10^{-6} \sim 8111 \times 10^{-6}$) 和 500×10^{-6} ($634 \times 10^{-6} \sim 2198 \times 10^{-6}$)。分析认为, 本区辉绿岩 Cr 和 Ni 含量变化范围宽与岩浆结晶分异作用有关, 具异常高 Cr 和 Ni 含量样品可能为岩浆演化相对后期, 有大量铬铁矿结晶的产物; 岩石富集 Cu 和 Zn 可能与岩浆上升过程中遭受地壳物质混染作用有关。

关键词: 辉绿岩; 过渡元素; 地球化学; 惠民凹陷**中图分类号:** P581; P595 **文献标识码:** A**作者简介:** 刘洪文, 男, 1966 年生, 博士, 主要从事火山岩与油气关系研究。

过渡元素包括 Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu 和 Zn 等, 其中 Ti、Mn 和 Fe 常被视为主要元素, Sc、V、Cr、Co、Ni、Cu 和 Zn 被视为微量元素。这类元素在地幔部分熔融过程中的固相(矿物相)与液相(熔体)间分配系数相对较大, 相对富集于镁-铁矿物中, 因而对探讨基性-超基性岩地幔源区特征、成岩构造环境、原始岩浆组成、岩浆演化过程以及有关成矿作用具有重要意义。另外, 许多研究成果已证实^[1-9], 过渡元素对烃源岩的生烃演化过程具有催化作用, 以此探讨了火山活动与油气藏的成因联系。辉绿岩是胜利油田新生代火成岩的重要组成部分, 这类岩石作为重要的油气储层已引起生产部门和科研单位的高度重视。前人对该区辉绿岩的研究主要集中在岩石类型、储层性质以及在油气成藏过程中的作用等方面^[7, 10-14], 很少涉及其矿物学、地球化学、形成构造环境、地幔源区特征、原始岩浆组成和岩浆演化过程等方面的研究。本文对胜利油田惠民凹陷辉绿岩过渡元素含量进行了系统分析, 对其地球化学特征进行了初步探讨。

1 样品及分析方法

样品采自胜利油田惠民凹陷夏 382 井、商 106-1 井、商 853 井、商 745 井、商 743 井和商 848 井不同标高。岩石具典型的辉绿结构, 主要矿物为长石和单斜辉石, 其含量分别在 45% ~ 70% (体积百分比, 下同) 和 10% ~ 25% 不等, 次要矿物为橄榄石(小于 5%)、斜方辉石(小于 2%)和云母(小于 5%), 副矿物常见的有磷灰石(小于 1%)和金属矿物。油田地科院(私人通讯)测得本区商 743 井中 7 件辉绿岩的 K-Ar 表面年龄变化于 $(33.33 \pm 0.3) \text{ Ma} \sim (57.03 \pm 1.44) \text{ Ma}$ 之间, 平均 47.24 Ma, 考虑到 Ar 过剩等因素, 实际年龄应相对小于表面年龄, 因而其成岩时代可能在 40 Ma 左右。

本次工作分析了研究区辉绿岩过渡元素(Sc、Ti、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu 和 Zn)含量, 其中 Ti、Mn 和 Fe 含量由全岩主要元素分析结果换算出来, 全岩主要元素采用常规的湿化学方法分析, 利用平行样与国际标准样品进行数据质量监控, 分析误差小于 2%。其余元素由 ICP-MS 分析, 称 50 mg 样品于带不锈钢外套的密封装置中, 加入 1 mL HF, 在电热板上蒸干以去掉大部份 SiO₂, 再加入 1 mL HF 和 0.5 mL HNO₃, 盖上盖, 在烘箱中于 200 °C 分解 12 h 以上, 取出冷却后, 于电热板上低温蒸至

收稿日期: 2007-06-06

基金项目: 中国科学院地球化学研究所领域前沿项目; 胜利油田科研项目

* 通讯作者, E-mail: huangzhulong@vip.gyig.ac.cn

近干,加入 1 mL HNO₃再蒸干,重复一次。最后加入 2 mL HNO₃和 5 mL 水,重新盖上盖,于 130 °C 溶解蒸干残留物 3 h,取出冷却后加入 500 ng Rh 内

标溶液,转移至 50 mL 离心管中,然后用 ICP-MS 测定。具体分析过程同文献[15],分析误差小于 10%,分析结果见表 1。

表 1 惠民凹陷辉绿岩过渡元素含量

Table 1. The transition element contents of diabase from the Huimin depression

样号	井号	赋存地层	Sc	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	MgO
夏 382-1	夏 382 井	Es ³	33.6	1.49	76.9	0.14	8.40	73.2	8111	1161	4.95
夏 382-5	夏 382 井	Es ³	35.7	0.89	447	0.12	6.59	187	4298	706	4.90
夏 382-8	夏 382 井	Es ³	42.7	1.06	644	0.15	8.30	240	2979	401	6.49
夏 382-9	夏 382 井	Es ³	34.8	1.19	494	0.12	7.83	200	2652	215	5.27
商 106-1-2	商 106-1 井	Es ³	28.7	1.40	556	0.15	9.68	298	384	634	9.30
商 853-1	商 853 井	Es ³	7.67	1.51	97.7	0.15	8.44	56.7	601	197	6.81
商 853-3	商 853 井	Es ³	33.3	1.41	487	0.14	8.29	240	3158	759	7.72
商 745-2	商 745 井	Es ³	32.8	1.28	8718	0.15	8.38	4530	2107	2198	5.04
商 745-3	商 743 井	Es ³	19.7	1.07	984	0.08	9.11	495	214	214	6.53
商 745-5	商 745 井	Es ³	32.4	1.24	277	0.14	8.23	108	282	310	5.05
商 745-6	商 745 井	Es ³	34.9	1.78	174	0.18	10.24	101	746	499	4.58
商 745-7	商 745 井	Es ³	33.7	1.36	1049	0.17	9.01	408	1082	914	5.62
商 743-8	商 745 井	Es ³	23.8	1.09	670	0.14	7.82	293	871	432	7.49
商 848-2	商 848 井	Es ³	27.3	1.25	245	0.10	6.54	149	5613	956	4.01

注:Ti、Mn、Fe 和 MgO 为湿化学分析,单位为%;其余元素为 ICP-MS 分析,单位为 $\times 10^{-6}$;Es³为沙河街组第三段(胜利油田重要的储油地层之一)。

2 过渡元素含量特征与配分模式

2.1 含量特征

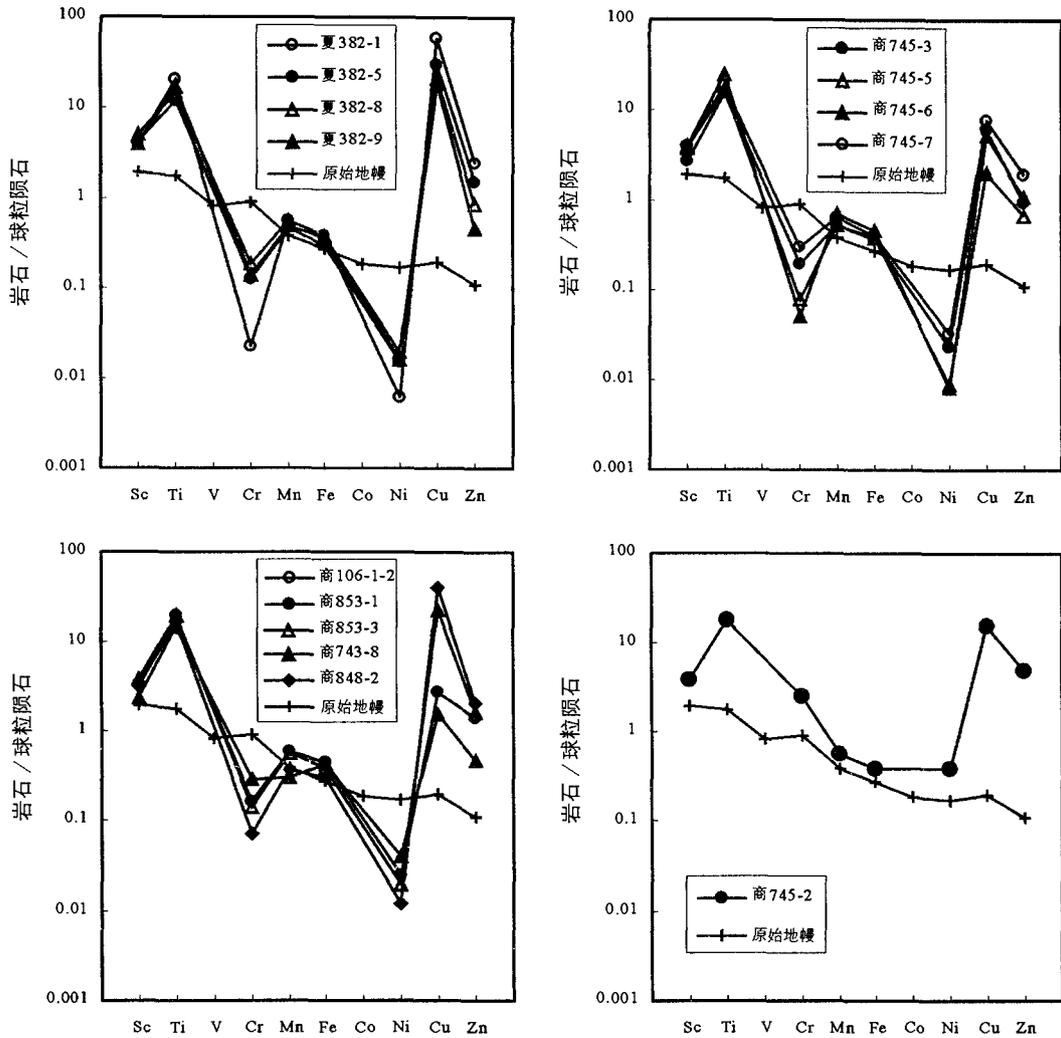
从表 1 中可见,研究区辉绿岩过渡元素 Sc 含量相对稳定,除样品商 853-1 的 Sc 含量为 7.67×10^{-6} 外,其余样品 Sc 含量为 $19.7 \times 10^{-6} \sim 42.7 \times 10^{-6}$,大部分样品集中在 $25.0 \times 10^{-6} \sim 35.0 \times 10^{-6}$ 之间。Cr 和 Ni 含量具有很宽的范围较宽,样品商 745-2 出现异常高的 Cr 和 Ni 含量,分别为 8718×10^{-6} 和 4530×10^{-6} ,其余样品的 Cr 和 Ni 含量分别在 $76.9 \times 10^{-6} \sim 1049 \times 10^{-6}$ 和 $56.7 \times 10^{-6} \sim 495 \times 10^{-6}$ 之间。

本区辉绿岩过渡元素的另一明显特征是 Cu 和 Zn 含量高且变化范围大,14 件样品中有 8 件的 Cu 含量大于 1000×10^{-6} ($1082 \times 10^{-6} \sim 8111 \times 10^{-6}$),其余样品 Cu 含量为 $214 \times 10^{-6} \sim 871 \times 10^{-6}$,高出克拉克值 (63×10^{-6})^[16] 和中国东部新生代玄武岩(平均 48×10^{-6})^[17] 的 1~2 个数量级;Zn 含量范围在 $197 \times 10^{-6} \sim 2198 \times 10^{-6}$,1 半样品 Zn 含量大于 500×10^{-6} ,约为克拉克值 (94×10^{-6})^[16] 的 2~25 倍、中国东部新生代玄武岩(平均 120×10^{-6})^[18] 的 2~20 倍。

2.2 配分模式

研究区辉绿岩过渡元素以球粒陨石^[19]标准化的配分模式相似,均为“W”型(图 1),与 Jagoutz 等^[20]估算的原始地幔过渡元素含量相比,相对富集 Ti、Cu,略高或大致相等的是 Mn、Fe、Zn,明显亏损 Cr、Ni,这与许多幔源性超基性岩、碱性岩的过渡元素配分模式一致。夏 382-1、夏 382-5、夏 382-8 和夏 382-9 为采自夏 382 井不同标高的 4 件样品,虽然其过渡元素含量有一定差别,但配分模式基本一致(图 1);商 745-3、商 745-5、商 745-6 和商 745-7 也是采自商 745 井不同标高的 4 件样品,除过渡元素含量有一定差别外,配分模式不具明显差异。这说明本区辉绿岩为同源不同演化阶段的产物。

样品商 745-2 具异常高 Cr、Ni 含量,其过渡元素配分模式与其他样品也有很大差别,所有元素含量均高于原始地幔(图 1)。前已述及,该样品与商 745-3、商 745-5、商 745-6 和商 745-7 采自商 745 井不同标高,因而排除异源(不同成因)的可能性,与其他样品之间过渡元素含量和配分模式的差别后文将进行详细讨论。



球粒陨石据文献[19];原始地幔据文献[20]

图1 辉绿岩过渡元素配分模式

Fig. 1. The chondrite-normalized transition element patterns of diabase from the Huimin depression.

3 讨论

3.1 岩浆结晶分异作用

业已证实,基性-超基性岩中的Cr、Ni主要赋存于橄榄石、斜方辉石和单斜辉石中,其含量随岩石中这些暗色矿物的减少而减少,因而一套岩石中Cr、Ni含量变化与岩浆结晶分异作用密切相关。图2显示,本区辉绿岩MgO与Cr、Ni之间以及Cr与Ni之间存在正相关关系(样品商745-2例外),暗示岩浆结晶分异作用是引起岩石中Cr、Ni含量变化大的重要因素。Sc常赋存于副矿物钙钛矿

中^[21],该区辉绿岩Ni与Sc之间大体具负相关关系(图2),暗示本区岩浆沿相对富Fe方向演化。

样品商745-2具有异常高的Cr、Ni含量,该样品与商745-3、商745-5、商745-6和商745-7为采自商745井不同标高,其矿物组合与其他4件样品相近。初步分析显示,包括MgO在内的大部分氧化物含量也与其他4件样品不具明显差别,暗示其异常高的Cr、Ni含量可能不是相对富含橄榄石、斜方辉石和单斜辉石等暗色矿物引起。与其他样品相比,该样品K₂O/Na₂O高,相对富Sr和Ba,镜下观察有大量不透明矿物(探针分析为铬铁矿),可能为岩浆演化相对后期,有大量铬铁矿结晶的结果。

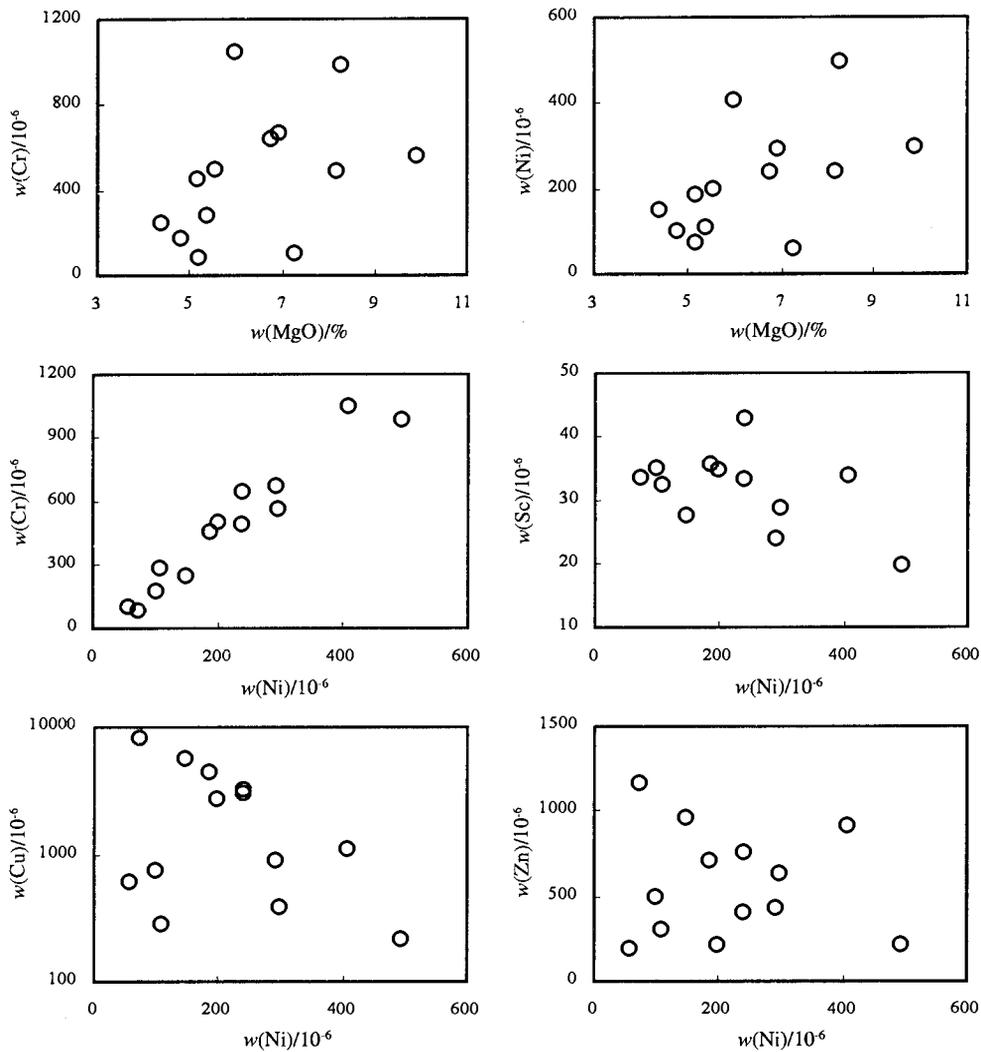


图 2 辉绿岩 MgO 与过渡元素和过渡元素之间变异图

Fig. 2. The correlation diagram of MgO vs transition elements and variation trend between the transition elements of diabase from the Huimin depression.

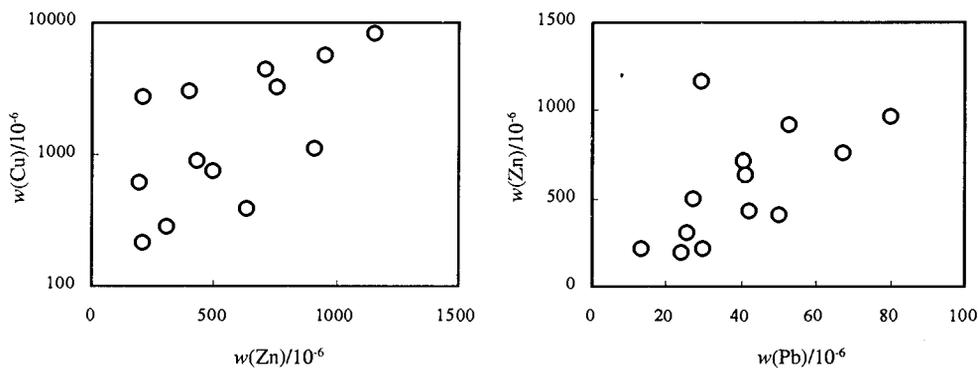


图 3 辉绿岩 Cu-Zn 和 Pb-Zn 相关图

Fig. 3. The correlation diagram of Cu vs Zn and Pb vs Zn of diabase from the Huimin depression.

3.2 地壳物质混染作用

研究区辉绿岩过渡元素地球化学明显特征是富 Cu、Zn,笔者认为可能与岩浆上升过程中遭受地壳物质混染作用有关,主要有以下证据:

(1)在图 2 中, Ni 与 Cu、Zn 之间均具有弱的负相关,表明 Cu、Zn 含量随岩浆演化而增加; Cu、Zn 富集与否主要与 S 含量高低有关,大量研究成果表明,地幔部分熔融不可能熔出高 S 熔体,相对贫 S 岩浆也不能演化出富 S 岩浆,只有外来 S 的加入才有可能形成相对富 S 岩浆,相对富 S 的地壳物质可能是外来 S 的理想对象,研究区新生代多套地层中含有石膏层支持这一推论。

(2)本区辉绿岩中 Pb 含量为 $13.4 \times 10^{-6} \sim 93.7 \times 10^{-6}$ (作者未发表资料),明显高于克拉克值

(12×10^{-6})^[16]和中国东部新生代玄武岩(平均 9.6×10^{-6})^[18],图 3 显示,本区辉绿岩 Zn 与 Cu 和 Zn 与 Pb 之间存在正相关关系,暗示岩石中 Cu、Zn 和 Pb 具有相似的变化规律; Pb 为亲 S 元素且在地壳中相对富集^[21],同样暗示辉绿岩中的 Pb 可能为地壳物质混染所致。

(3)本区辉绿岩中黑云母矿物化学研究结果^[22],以及岩石相对富含高场强元素(尤其是 Nb)以及相对高⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始比值、低¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 初始比值(作者未发表资料),也证实其岩浆过程中存在较明显的地壳物质混染作用。

致谢:参加野外地质工作的还有中国科学院广州地球化学研究所的林治家博士,野外采样过程中得到胜利油田临盘采油厂领导和同行的大力支持和帮助,在此表示感谢!

参 考 文 献:

- [1] Mango F D. Transition metal catalysis in the generation of petroleum and natural gas[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1992, 56: 553-555.
- [2] Mango F D. Transition metal catalysis in the generation of natural gas[J]. *Organic Geochemistry*, 1996, 24: 977-984.
- [3] 张敏, 林子子. 试论轻烃形成过程中过渡金属的催化作用[J]. 地质科技情报, 1994, 13(3): 75-801.
- [4] Mango F D, Hightower J W, James A T. Role of transition-metal catalysis in the formation of natural gas[J]. *Nature*, 1994, 368: 536-538.
- [5] 金强. 裂谷盆地生油层中火山岩及其矿物与有机质的相互作用: 油气生成的催化和加氢作用研究进展与展望[J]. 地球科学进展, 1998, 13(6): 542-546.
- [6] 万从礼, 翟庆龙, 金强. 生油岩与火成岩相互作用研究初探—有机酸对火成岩的蚀变及过渡金属对有机质演化的催化作用[J]. 地质地球化学, 2001, 29(2): 46-51.
- [7] 万从礼, 金强, 翟庆龙. 东营凹陷滨南地区水下火山喷溢对烃源岩形成及生烃演化的作用[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2003, 27(3): 17-21.
- [8] 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): 342-349.
- [9] 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(自然科学版), 2003, 25(1): 20-25.
- [10] 康仁华, 刘魁元. 罗家地区下第三系辉绿岩建造及成藏特征[J]. 特种油气藏, 2000, 7(2): 8-10.
- [11] 李树芳, 潘懋. 胜利油区辉绿岩储层的伤害机理研究[J]. 石油实验地质, 2002, 24(3): 423-426.
- [12] 宋建勇, 吴时国, 蒲玉国, 刘元. 东营凹陷纯西地区辉绿岩岩体的相带识别[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(4): 40-43.
- [13] 王峰, 曾庆辉, 刘德汉, 肖贤明, 田辉, 申家贵, 甘华军. 临邑凹陷辉绿岩中石油包裹体形成条件与油气成藏研究[J]. 地球化学, 2006, 35(3): 285-294.
- [14] 万从礼, 金强, 了继红, 赵勇. 东营凹陷纯西辉长岩-变质岩组合油藏成藏机制[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2006, 36(1): 115-118.
- [15] Qi L, Hu J, Gregoire D C. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. *Talanta*, 2000, 51: 507-513.
- [16] 黎彤, 倪守斌. 地球和地壳的化学元素丰度[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [17] 池际尚. 中国东部新生代玄武岩及上地幔研究(附金伯利岩)[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988.
- [18] 鄯明才, 迟清华. 中国东部地壳与岩石的化学组成[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [19] Mason B. *Handbook of Elemental Abundances in Meteorites* [M]. New York: Gordon & Breach, 1977.
- [20] Jagoutz E, et al. The abundances of major, minor and trace elements in the Earth's as derived from primitive ultramafic nodules[J]. *Proc Lunar Sci Conf*, 1979, 10: 2031-2050.
- [21] 刘英俊. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [22] 刘洪文, 黄智龙, 申宝剑. 胜利油田惠民凹陷辉绿岩中黑云母矿物化学[J]. 矿物学报, 2007, 27(3).

**GEOCHEMISTRY OF THE TRANSITION ELEMENTS IN DIABASE FROM
THE HUIMIN DEPRESSION IN THE SHENGLI OILFIELD,
SHANDONG PROVINCE, CHINA**

LIU Hong-wen^{1, 2, 3}, HUANG Zhi-long¹, SHEN Bao-jian^{1, 2}

(1. *The State key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*

3. *Department of Science and Technology of Shengli Petroleum Administrative Bureau, Dongying 257000, China)*

Abstract: This paper determined the transition element (Sc, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu and Zn) contents of 14 diabase samples from the Huimin depression in the Shengli oilfield, Shandong Province, China. The results showed that the contents of Cr and Ni vary over a wide range from 76.9×10^{-6} to 1049×10^{-6} and 56.7×10^{-6} to 495×10^{-6} , respectively (with the exception of sample Shang-745-2), sample Shang-745-2 displays abnormally high Cr and Ni contents (8718×10^{-6} and 4530×10^{-6} , respectively). The Cu and Zn contents of the rock also vary over a wide range, obviously higher than the Clarke values and those of basalts in eastern China, and over half of the samples have the contents of Cu and Zn of more than 1000×10^{-6} (1082×10^{-6} to 8111×10^{-6}) and 500×10^{-6} (634×10^{-6} to 2198×10^{-6}), respectively. It is suggested that the Cr and Ni contents of diabase in this area vary over a wide range, which may be related to magma crystallization fractionation, and the abnormally high Cr and Ni contents may be due to chromite crystallization in the process of magmatic evolution. Copper- and Zn-enrichments may be connected with contamination by crustal materials during magma upwelling.

Key words: diabase; transition elements; geochemistry; Huimin depression