

# 内蒙古西部额济纳旗雅干地区二叠系埋汗哈达组的岩石学特征和沉积环境

史冀忠, 陈高潮, 李玉宏, 姜 亭

SHI Ji-zhong, CHEN Gao-chao, LI Yu-hong, JIANG Ting

中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054

*Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China*

**摘要:**通过对额济纳旗雅干地区二叠系埋汗哈达组进行剖面实测、室内薄片鉴定、化石鉴定、X-衍射、微量元素、粘土矿物、重矿物等的分析,研究了埋汗哈达组主要岩性的岩石学特征。在此基础上,根据岩性特征、古生物化石、微量元素含量及其比值、饱和烃气相色谱地球化学参数等研究了埋汗哈达组的沉积环境,综合分析认为雅干地区二叠系埋汗哈达组形成于半咸水的滨海—浅海的还原环境。

**关键词:**额济纳旗;雅干地区;埋汗哈达组;岩石学特征;沉积环境

中图分类号:P534.46; P58; P512.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2011)06-0972-11

**Shi J Z, Chen G C, Li Y H, Jiang T. Petrologic characteristics and sedimentary environments of Permian Maihanhada Formation in Yagan area of Ejin Banner, western Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(6): 972-982**

**Abstract:** The authors studied petrologic characteristics of main rocks by such means as profile measurement of Permian Maihanhada Formation in Yagan area of Ejin Banner, thin section analysis, fossil identification and X-diffraction as well as trace element, clay mineral and heavy mineral analysis. The sedimentary environment of Maihanhada Formation was studied on the basis of lithologic characteristics, palaeophytic fossil, content and ratios of trace elements, and geochemical parameters of gas chromatography on saturated hydrocarbon. It is concluded that the environment of Permian Maihanhada Formation in Yagan area was an offshore to epeiric sea environment characterized by salt water and reduction.

**Key words:** Ejin Banner; Yagan area; Maihanhada Formation; petrologic characteristics; sedimentary environment

研究区位于内蒙古自治区西部,是中国中西部地区勘探程度低、面积大、油气地质条件较好的盆地。2007年中国地质调查局启动《西北地区中小盆地群油气资源远景调查》项目,开展以石炭系—二叠系为主要目的层的油气基础地质调查,发现多层厚度大、有机碳含量中等、演化程度适中的烃源岩<sup>[1-2]</sup>。埋汗哈达组为区内生烃条件较好的一套烃源岩,为了研究该组的烃源岩特征及形成环境,项目组在雅干地区实测了2条埋汗哈达组剖面,并采集了大量

的薄片、烃源岩、古生物化石、化学分析等样品。本文主要研究埋汗哈达组的岩石学特征并恢复其沉积环境,这将有助于研究额济纳旗及其邻区早—中二叠世的古地理特征。

## 1 地质背景

研究区位于华北板块与天山—兴安造山系的交切、复合地带,经历了变质结晶基底—褶皱基底形成、沉积盖层发育、板内伸展、陆内造山等不同阶段

收稿日期:2011-01-24;修订日期:2011-04-21

资助项目:中国地质调查局国土资源大调查项目《西北地区中小盆地群油气资源远景调查》(编号:1212010733506)

作者简介:史冀忠(1983-),男,助理工程师,从事石油天然气勘探与开发研究。E-mail:shijizhong0241@sina.com

的演化,形成了古生代与中生代的叠合盆地<sup>[3-4]</sup>。古生代石炭纪—二叠纪为裂谷(裂陷)盆地沉积。雅干地区位于额济纳旗东部,恩格尔乌苏断裂以北(图1),区内埋汗哈达组出露良好,化石丰富,是研究岩石学特征及沉积环境的理想剖面。

## 2 剖面岩性特征

项目组在杭乌拉和埋汗哈达实测了2条埋汗哈达组剖面(图1)。埋汗哈达组的主要岩性为砂砾岩、泥岩和碳酸盐岩(表1),局部发育有硅质岩和火山岩,碳酸盐岩横向不稳定,在杭乌拉发育282m,而埋汗哈达只有5.1m。现以杭乌拉剖面为例介绍埋汗哈达组的岩石学特征并分析其沉积环境。

杭乌拉剖面埋汗哈达组从岩性、岩相特征上可以分为3个岩性段(图2):下段碎屑岩段(第56~79层),主要由黑色、灰黑色泥岩、深灰色泥质粉砂岩、灰绿色细粒长石砂岩及少量灰色砾岩等组成;中段碳酸盐岩段(第29~55层),主要由灰色泥晶灰岩、海

百合灰岩、生物碎屑灰岩组成;上段碎屑岩段(第1~28层),主要由灰绿色泥质粉砂岩、中—细粒长石砂岩组成。

## 3 岩石学特征

为了研究埋汗哈达组泥岩、砂砾岩、碳酸盐岩和硅质岩的岩石学特征,利用X衍射和等离子光谱对泥岩的矿物成分和微量元素进行分析;对砂砾岩进行薄片鉴定、粘土矿物和人工重砂分析,并利用扫描电镜和铸体薄片观察矿物形态和结构构造特征;对碳酸盐岩进行薄片鉴定和古生物化石鉴定;对硅质岩主要进行薄片鉴定。

### 3.1 泥 岩

根据对杭乌拉剖面暗色泥岩样品进行X衍射分析的结果(表2,图3),主要矿物成分为石英、斜长石、方解石等碎屑矿物和粘土矿物伊蒙混层、蒙脱石、绿泥石,部分样品中有少量的石膏、赤铁矿、白云石。

表 1 雅干地区埋汗哈达组岩性组成

Table 1 Lithologic components of Maihanhada Formation in Yagan area

| 剖面名称 | 地层厚度/m | 各种岩性厚度 /m |       |      |      |      |
|------|--------|-----------|-------|------|------|------|
|      |        | 泥岩        | 砂砾岩   | 碳酸盐岩 | 硅质岩  | 火山岩  |
| 杭乌拉  | 760.4  | 160.1     | 289.6 | 282  | 28.7 |      |
| 埋汗哈达 | 658.9  | 312.5     | 317   | 5.1  |      | 24.3 |

注:地层厚度不包括第四系覆盖厚度

表 2 杭乌拉地区埋汗哈达组暗色泥岩矿物相对含量

Table 2 Relative content of minerals in dark mudstone of Maihanhada Formation in Hangwula area

| 样品编号                   | 矿 物 相 对 含 量 /w <sub>B</sub> % |   |   |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------------|-------------------------------|---|---|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                        | I/S                           | S | I | Ch | K | Q  | Pl | Cc | Ha | Pl | He | Fe | Do |
| 08HWD-14H <sub>1</sub> | 12                            | 5 |   | 8  |   | 42 | 15 | 14 |    | 2  |    |    |    |
| 08HWD-32H <sub>1</sub> | 4                             | 3 |   |    | 3 | 70 | 8  | 10 |    |    |    |    |    |
| 08HWD-32H <sub>2</sub> | 6                             |   |   |    | 3 | 72 |    | 10 |    | 2  |    | 3  | 2  |
| 08HWD-34H <sub>1</sub> | 7                             | 3 |   | 3  |   | 75 | 8  | 2  |    |    |    |    |    |
| 08HWD-35H <sub>1</sub> | 6                             | 4 |   | 3  |   | 75 | 8  | 2  |    |    |    |    |    |
| 08HWD-35H <sub>2</sub> |                               |   | 9 | 9  |   | 64 | 10 | 2  | 2  | 2  |    |    |    |
| 08HWD-35H <sub>3</sub> | 7                             | 3 |   | 3  |   | 71 | 10 | 4  |    |    |    |    |    |
| 08HWD-66H <sub>1</sub> | 7                             | 2 |   |    | 3 | 24 | 10 | 43 |    | 8  | 1  |    |    |
| 08HWD-89H <sub>1</sub> | 15                            | 4 |   | 5  |   | 58 | 11 |    |    | 4  | 1  |    |    |
| 08HWD-94H <sub>1</sub> | 16                            | 4 |   | 6  |   | 58 | 12 | 2  |    |    |    |    |    |

注:西安地质矿产研究所实验测试中心2009年测试,仪器型号为D/max-2500,实验条件为40kV、200mA;I/S—伊蒙混层,S—蒙脱石,I—伊利石,Ch—绿泥石,K—高岭石,Q—石英,Pl—斜长石,Cc—方解石,Ha—石盐,Pl—石膏,He—赤铁矿,Fe—长石,Do—铁白云石

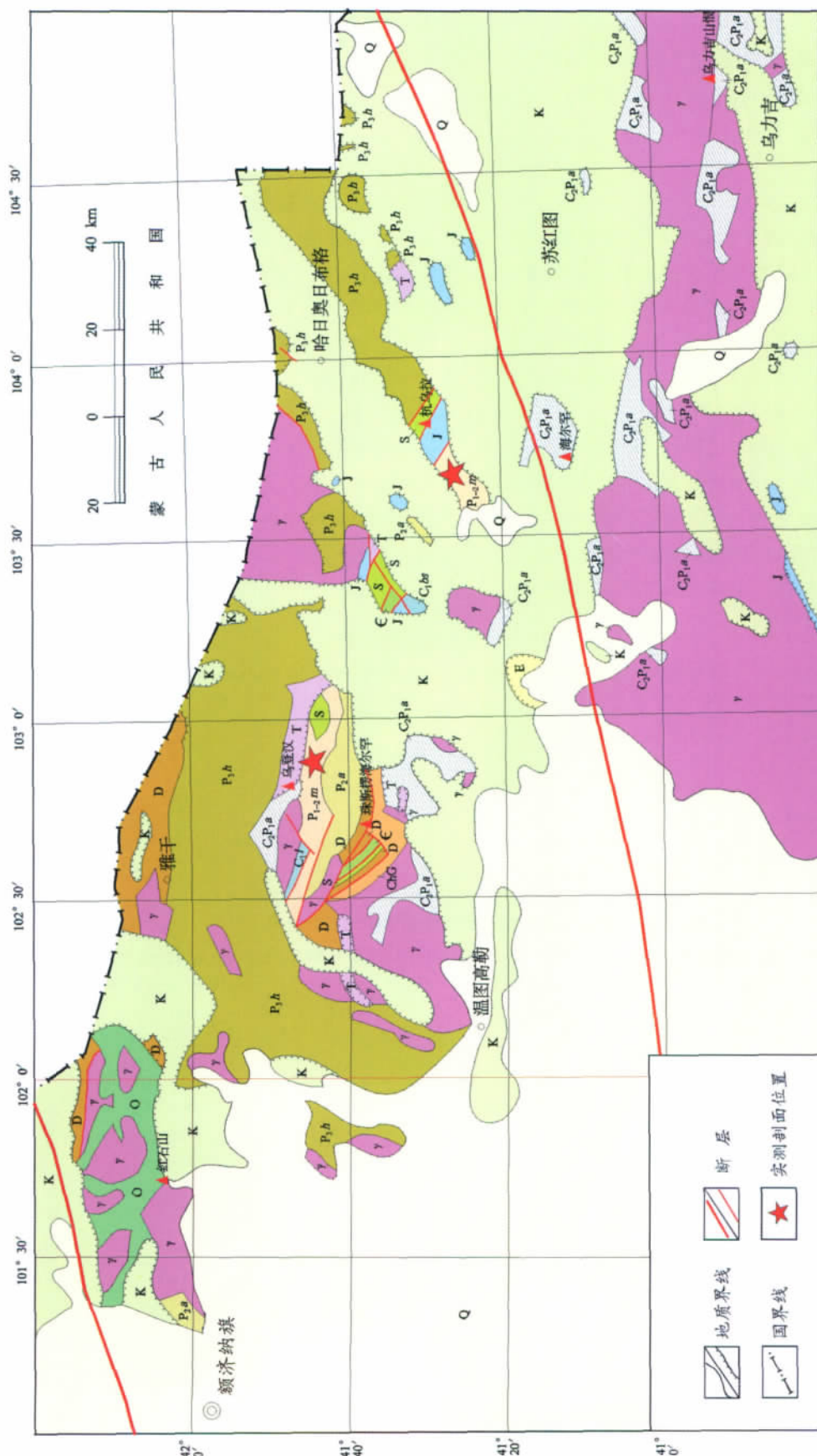


图1 额济纳旗雅干地区地质简图

Fig. 1 Generalized geological map of Yagan area in Ejin Banner

Q—第四系; E—古近系; K—白垩系; J—侏罗系; T—三叠系; P<sub>1h</sub>—上二叠统阿其德组; P<sub>2a</sub>—中二叠统埋汗哈达组;  
C<sub>1a</sub>—石炭系—二叠系阿木山组; C<sub>1bs</sub>—早石炭世白山组; C<sub>1l</sub>—早石炭世绿条山组; D—泥盆系; S—志留系; O—奥陶系; ε—寒武系; ChG—古铜井群

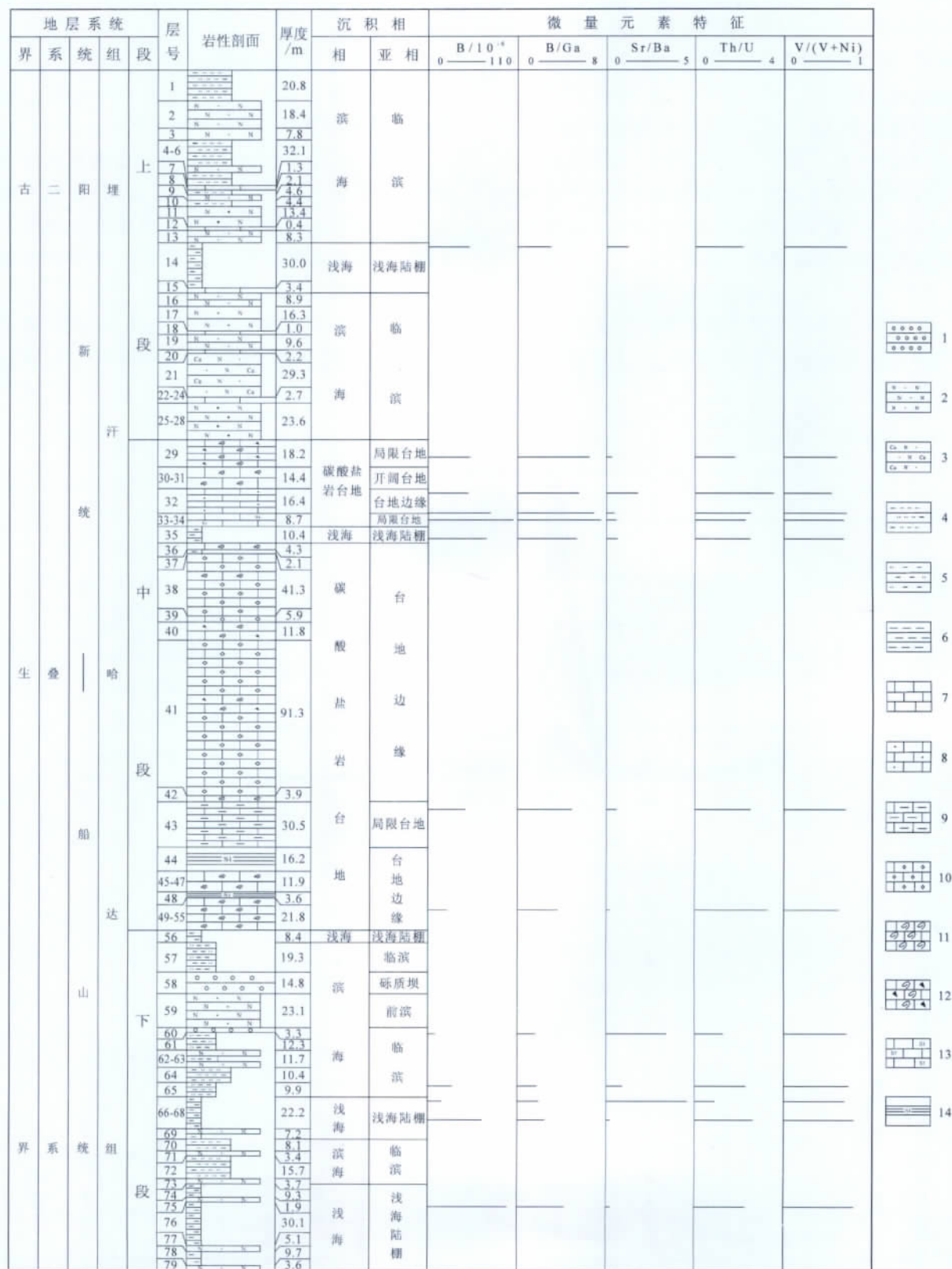


图 2 杭乌拉地区埋汗哈达组实测剖面综合柱状图

Fig. 2 Composite column of Maihanhada Formation in Hangwula area

1—细砾岩;2—长石砂岩;3—钙质长石砂岩;4—泥质粉砂岩;5—粉砂质泥岩;6—泥岩;7—灰岩;8—砂质灰岩;  
9—泥质灰岩;10—结晶灰岩;11—生物灰岩;12—生屑灰岩;13—硅化灰岩;14—硅质岩



杭乌拉剖面埋汗哈达组暗色泥岩样品微量元素分析结果见表 3, 同时与地壳中微量元素平均值和北美页岩的微量元素进行了对比(图 4)。与地壳中微量元素含量对比发现(图 4-a), B 和 Sr 元素较地壳中明显富集, Ga、Ba、Th、U 富集程度与地壳中相当, V、Co、Ni 则表现为一定的亏损。北美页岩是世界上的标准页岩, 与北美页岩微量元素的对比发现(图 4-b), 只有个别样品中 V、Sr 和 U 元素较北美页岩富集, 其余都表现为一定的亏损。

### 3.2 砂岩

共采集 13 件砂岩样品进行薄片鉴定, 将鉴定结果投影到砂岩成分分类图(图 5)上, 主要岩性为长

石岩屑砂岩、长石杂砂岩、岩屑杂砂岩等, 都为砂状结构, 块状构造。

#### 3.2.1 碎屑骨架组分特征

岩石中碎屑物主要由石英、长石和岩屑组成, 个别样品中有少量云母和碳酸盐岩碎屑。

石英: 含量为 18%~48%, 形态多为次圆状或次棱角状, 粒径一般在 0.2~0.5mm 之间, 表面一般较为干净。长石杂砂岩中形态多为次棱角状, 颗粒大小不等, 说明磨圆度较低, 分选程度差, 表明成岩过程中成熟度较低。

长石: 含量为 5%~45%, 主要为斜长石, 碱性长石少量, 斜长石有风化蚀变型 and 新鲜型 2 种。风化蚀

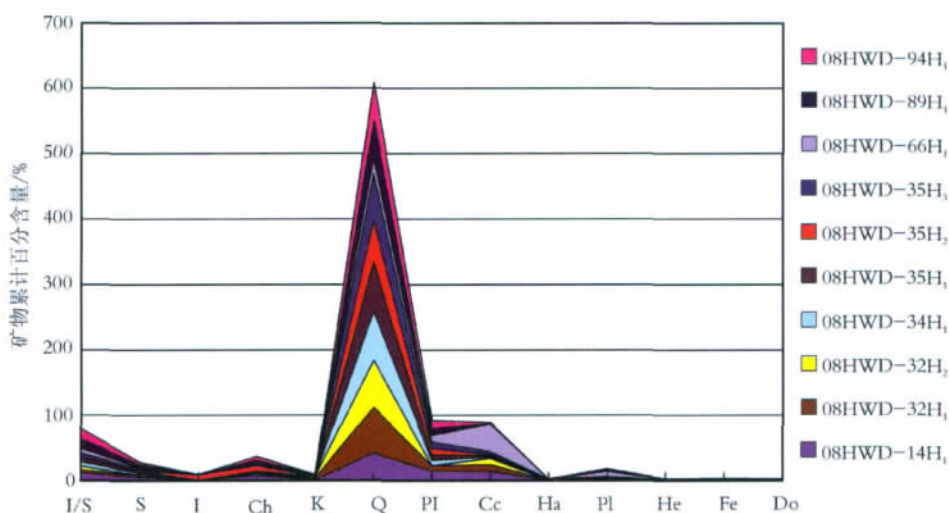


图 3 杭乌拉地区埋汗哈达组暗色泥岩矿物分布图

Fig. 3 Distribution of minerals in dark mudstone of Maihanhada Formation in Hangwula area

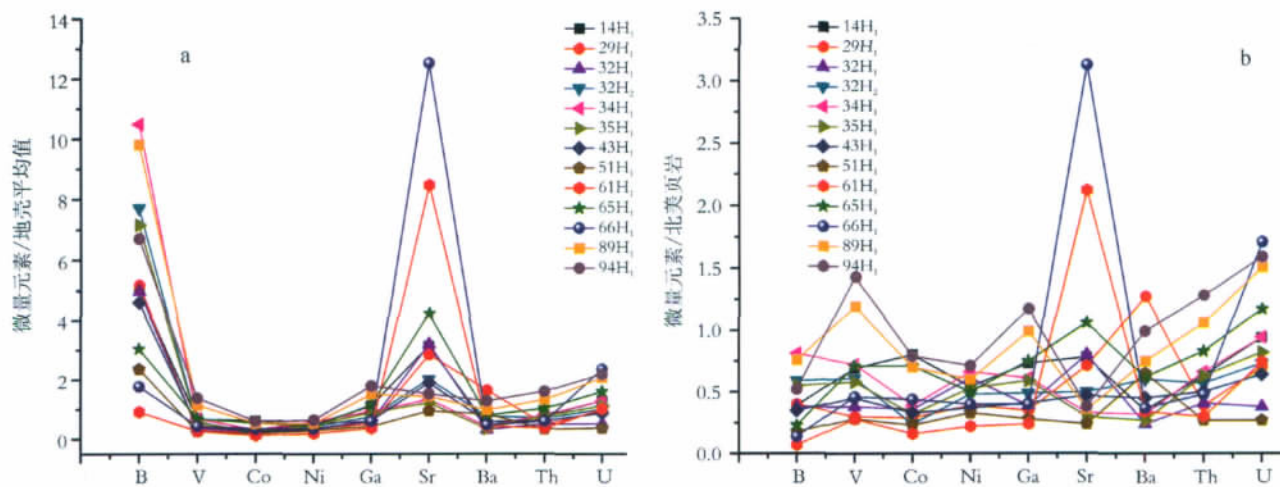


图 4 暗色泥岩微量元素与地壳平均值、北美页岩对比

Fig. 4 Comparison of trace elements between dark mudstone, the earth's crust and NASC

表 3 杭乌拉地区埋汗哈达组暗色泥岩微量元素含量及其比值  
Table 3 Content and ratios of trace elements in dark mudstone  
of Maihanhada Formation in Hangwula area

| 样品编号                   | B    | V    | Co   | Ni   | Ga   | Sr   | Ba  | Th   | U    | B/Ga | Sr/Ba | Th/U | V/V+Ni |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-------|------|--------|
| 08HWD-14H <sub>1</sub> | 50.5 | 90.1 | 15.3 | 36.9 | 16.9 | 234  | 191 | 7.56 | 3.49 | 2.99 | 1.23  | 2.16 | 0.71   |
| 08HWD-29H <sub>1</sub> | 51.7 | 39.4 | 5.57 | 26.4 | 8.00 | 213  | 696 | 4.66 | 2.59 | 6.46 | 0.31  | 1.80 | 0.60   |
| 08HWD-32H <sub>1</sub> | 49.8 | 49.2 | 6.86 | 41.3 | 9.02 | 239  | 135 | 4.94 | 1.40 | 5.52 | 1.78  | 3.54 | 0.54   |
| 08HWD-32H <sub>2</sub> | 77.1 | 79.3 | 4.57 | 32.3 | 11.2 | 151  | 328 | 6.84 | 2.72 | 6.89 | 0.46  | 2.52 | 0.71   |
| 08HWD-34H <sub>1</sub> | 105  | 93.8 | 7.47 | 44.8 | 14.0 | 100  | 179 | 7.87 | 3.48 | 7.48 | 0.56  | 2.26 | 0.68   |
| 08HWD-35H <sub>1</sub> | 71.6 | 75.5 | 6.11 | 36.3 | 13.5 | 91.1 | 148 | 7.51 | 3.04 | 5.33 | 0.62  | 2.48 | 0.68   |
| 08HWD-43H <sub>1</sub> | 45.9 | 58.6 | 6.31 | 24.9 | 9.38 | 142  | 249 | 5.97 | 2.38 | 4.89 | 0.57  | 2.50 | 0.70   |
| 08HWD-51H <sub>1</sub> | 23.6 | 36.4 | 4.41 | 22.3 | 6.49 | 71.1 | 357 | 3.26 | 1.00 | 3.63 | 0.20  | 3.28 | 0.62   |
| 08HWD-61H <sub>1</sub> | 9.20 | 36.6 | 3.11 | 14.6 | 5.62 | 635  | 186 | 3.54 | 2.74 | 1.64 | 3.41  | 1.29 | 0.71   |
| 08HWD-65H <sub>1</sub> | 30.4 | 92.8 | 13.6 | 34.0 | 17.2 | 317  | 341 | 9.93 | 4.33 | 1.77 | 0.93  | 2.29 | 0.73   |
| 08HWD-66H <sub>1</sub> | 17.7 | 59.8 | 8.40 | 27.0 | 9.13 | 940  | 204 | 5.72 | 6.34 | 1.94 | 4.61  | 0.90 | 0.69   |
| 08HWD-89H <sub>1</sub> | 98.2 | 155  | 13.2 | 40.6 | 22.8 | 108  | 415 | 12.8 | 5.58 | 4.30 | 0.26  | 2.28 | 0.79   |
| 08HWD-94H <sub>1</sub> | 67.0 | 186  | 15.0 | 48.3 | 26.9 | 114  | 546 | 15.4 | 5.88 | 2.49 | 0.21  | 2.62 | 0.79   |
| 平均值                    | 53.7 | 80.9 | 8.45 | 33.0 | 13.1 | 258  | 306 | 7.38 | 3.46 | 4.26 | 1.16  | 2.30 | 0.69   |

注:西安地质矿产研究所实验测试中心 2008 年测试,仪器名称及型号为全谱直读等离子体光谱仪 IRIS Intrepid-Ⅱ  
XSP;元素含量 10<sup>-6</sup>

变型多为次圆状,新鲜者则为次棱角状,粒径一般在 0.2~0.5mm 之间,新鲜者可见双晶。碱性长石以微斜长石为主。

岩屑:含量为 5%~48%,种类较多,主要为各类火山岩,有基性火山岩(玄武岩等)、中性火山岩(安山岩、英安岩)、中酸性火山岩和酸性火山岩(流纹岩),还有少量花岗岩、硅质岩、碳酸盐岩和变质岩岩屑。形态多为不规则状或次圆状,粒径在 0.2~0.4mm 之间,少数达 0.6mm。

### 3.2.2 胶结物和胶结方式

胶结物主要为钙质、泥质和铁质,胶结物含量为 2%~18%。钙质胶结物多结晶成亮晶(方解石)(图版 -a),泥质、铁质胶结物则蚀变成黑云母和白云母。胶结方式为孔隙胶结(图版 -b)。

### 3.2.3 重矿物特征

重矿物主要为锆石、金红石、磷灰石、石榴子石、电气石,还有少量的赤褐铁矿、白钛石、锐钛矿、钛铁矿、铬铁矿、海绿石、绿帘石及蚀变矿物等。锆石含量为 2.84%~16.93%,分 2 种,一种为粉黄色,磨圆度较低,分选性好,搬运痕迹不大明显,推测该类锆石距母岩区较近,占锆石总量的 85%~97%;另一种为玫瑰色,磨圆度较高,分选性好,搬运痕迹略显,推测该

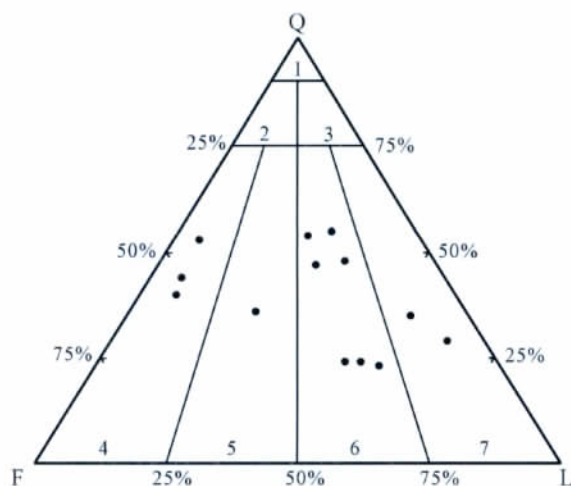


图 5 杭乌拉地区埋汗哈达组砂岩成分分类

Fig. 5 Composition classification of sandstones of Maihanhada Formation in Hangwula area

Q—石英;F—长石;L—岩屑;1—石英砂岩;2—长石石英砂岩;  
3—岩屑石英砂岩;4—长石砂岩;5—岩屑长石砂岩;  
6—长石岩屑砂岩;7—岩屑砂岩

类锆石略经搬运而来,占锆石总量的 3%~15%。金红石含量为 0.08%~0.99%,磷灰石含量为 2.02%~5.11%,石榴子石含量为 0.03%~12.95%,电气石含量为 0.74%~6.81%(图 6)。

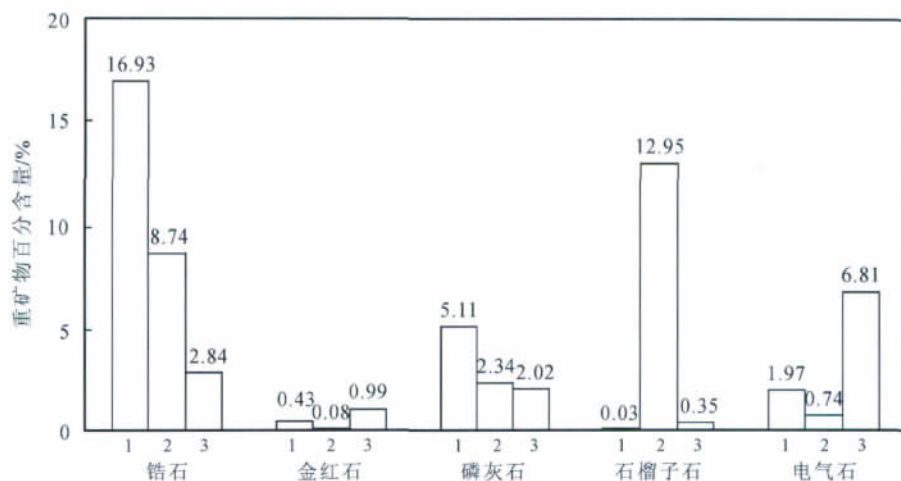


图6 杭乌拉地区埋汗哈达组重矿物含量

Fig. 6 Percentages of heavy minerals in Maihanhada Formation of Hangwula area

1—10HWL-3ZS1; 2—10HWL-25ZS1; 3—10HWL-59ZS1

表4 杭乌拉地区埋汗哈达组粘土矿物含量

Table 4 Content of clay minerals in Maihanhada Formation of Hangwula area

| 样号                      | 粘土总量/% | 伊/蒙间层(I/S)/% |      | 伊利石(I)/% |      | 高岭石(K)/% |      | 绿泥石(C)/% |      | 层间比/%<br>I/S |
|-------------------------|--------|--------------|------|----------|------|----------|------|----------|------|--------------|
|                         |        | 相对           | 绝对   | 相对       | 绝对   | 相对       | 绝对   | 相对       | 绝对   |              |
| 08HWD-3b <sub>1</sub>   | 7.06   | 25           | 1.77 | 21       | 1.48 |          |      | 54       | 3.81 | 20           |
| 08HWD-17b <sub>1</sub>  | 5.71   | 14           | 0.80 | 12       | 0.69 |          |      | 74       | 4.23 | 20           |
| 08HWD-21b <sub>1</sub>  | 3.32   | 16           | 0.53 | 11       | 0.37 |          |      | 73       | 2.42 | 20           |
| 08HWD-25b <sub>1</sub>  | 5.05   | 13           | 0.66 | 12       | 0.61 |          |      | 75       | 3.79 | 20           |
| 08HWD-57b <sub>1</sub>  | 6.45   | 30           | 1.94 | 26       | 1.68 | 6        | 0.39 | 38       | 2.45 | 30           |
| 08HWD-83b <sub>1</sub>  | 8.55   | 33           | 2.82 | 32       | 2.74 | 7        | 0.60 | 28       | 2.40 | 30           |
| 08HWD-83b <sub>2</sub>  | 8.76   | 29           | 2.54 | 28       | 2.45 | 6        | 0.53 | 37       | 3.24 | 30           |
| 08HWD-100b <sub>1</sub> | 5.23   | 25           | 1.31 | 26       | 1.36 | 7        | 0.37 | 42       | 2.20 | 30           |
| 08HWD-112b <sub>1</sub> | 8.87   | 48           | 4.26 | 52       | 4.61 |          |      |          |      | 15           |

注:中国石化江汉油田分公司勘探开发研究院石油地质测试中心 2008 年测试,仪器型号为 XD-2 型 X 射线衍射仪

### 3.2.4 成岩作用

粘土矿物 I/S 层间比可以用来划分成岩作用阶段<sup>[5]</sup>,早成岩作用阶段 A 期 I/S 层间比  $S > 70\%$ ;早成岩作用阶段 B 期 I/S 层间比  $S$  为  $50\% \sim 70\%$ ;中成岩作用阶段 A 期 I/S 层间比  $S$  为  $15\% \sim 50\%$ ;中成岩作用阶段 B 期 I/S 层间比  $S < 15\%$ ,高岭石的消失也是中成岩作用阶段的标志;晚成岩作用阶段 I/S 层间比  $S$  消失。杭乌拉埋汗哈达组砂岩 I/S 层间比  $S$  为  $15\% \sim 20\%$ (表 4),说明成岩作用阶段为中成岩 A 期。

### 3.3 碳酸盐岩

主要为生物碎屑灰岩,岩石的物质成分由生物

碎屑和泥晶—细晶胶结物组成。生物碎屑种类有珊瑚、海绵骨针、有孔虫、海百合茎、头足类、菊石、棘皮类等,珊瑚和海绵骨针碎屑含量最高(图版 1-c、d)。碎屑物粒径各不相同,一般在  $0.20 \sim 0.75\text{mm}$  之间。胶结物多为泥晶,有些重结晶为细晶。

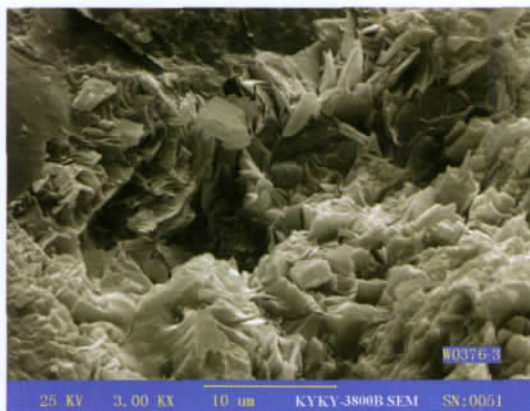
中国地质大学(武汉)李志明教授和吴顺宝教授分别对珊瑚、腕足化石进行了详细鉴定:

(1)在第 35 层、36 层、39 层、54 层样品中鉴定出珊瑚化石,为 *Tachylasma regulare*, *Tachylasma magnum*, *Paracania sinensis*, *Soshkineophyllum artiense*, *Allotropiophyllum hunanense*, *Verbeekiella*。

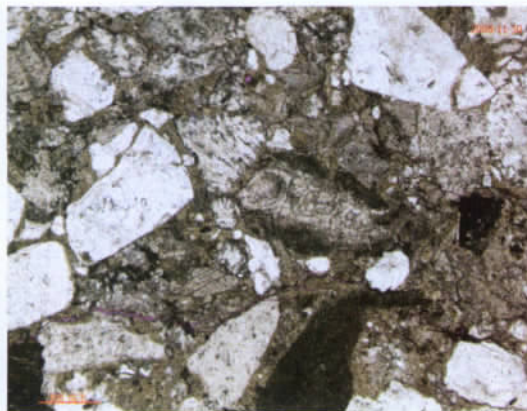
(2)在第 34 层、35 层、36 层、37 层、38 层、40 层、



图版 I Plate I



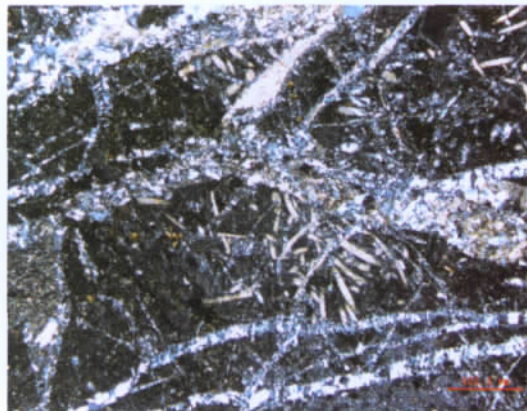
a. 颗粒间充填泥晶方解石及片状粘土质(×3000)



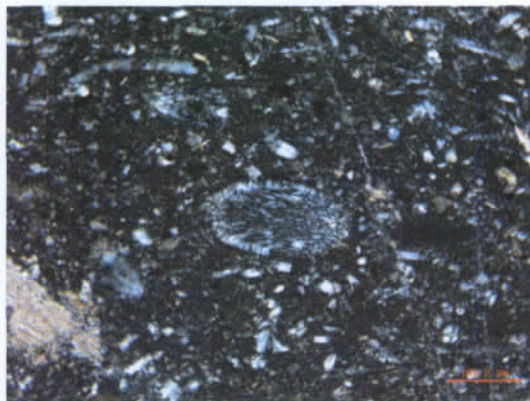
b. 孔隙胶结(×50)



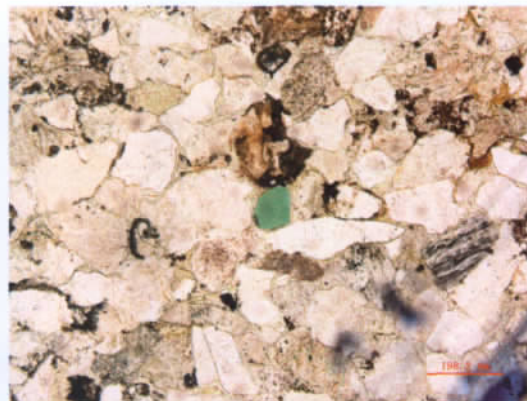
c. 珊瑚(×50)



d. 海绵骨针(×50)



e. 放射虫(×100)



f. 海绿石(单偏光,×100)

53 层中鉴定出大量的腕足类化石, 有 *Marginifera dieneri*, *Marginifera*, *Yakovlevia xiuqiensis*, *Alispiriferella sinensis*, *Lamnimargus peregrina*, *Waagenoconcha xiuqumqinensis* 等。

### 3.4 硅质岩

剖面中有 2 层硅质岩, 分别为第 44 层和 48 层。

岩石的物质成分主要由生物碎屑、硅质矿物玉髓、石英组成, 碳酸盐岩、铁质少量。生物碎屑以硅质海绵骨针为主, 占 35%~40%, 钙质海绵骨针约占 5%, 二者混杂分布, 生物的纵切面为针状, 横切面为圆形, 常呈放射状结构, 有些也呈圆点状。在等 48 层样品中发现有放射虫化石(图版 I-e)。胶结物主要为硅



质,钙质少量,大部分硅质胶结物呈隐晶状态,一部分结晶出细小的鳞片状玉髓。

#### 4 沉积环境分析

沉积环境是形成沉积岩特征的决定因素,沉积岩的特征则是沉积环境的物质表现<sup>[6]</sup>。沉积岩的岩性特征、古生物特征、地球化学特征等,是相应各种环境条件的物质记录,可以反映当时的沉积环境。

##### 4.1 海相指示矿物

海绿石是大陆架上广泛分布的矿物,具有指相性<sup>[7]</sup>。海绿石形成于同生成岩阶段,由铁镁矿物海解作用生成,是在  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  保持一定的比值、 $\text{pH}=7\sim 8$ 、 $E_h=0\sim 100\text{mV}$  缓慢沉积的条件下生成的。现代形成海绿石的海底水温为  $15^\circ\text{C}$ ,认为海绿石是在  $5\sim 25^\circ\text{C}$  之间较冷水的水温条件下形成的<sup>[6]</sup>。经薄片鉴定,在第 3 层、21 层中有海绿石存在(图版 -f),为鲜绿色,粒径在  $0.06\sim 0.14\text{mm}$  之间,说明沉积环境应为浅海相沉积。

##### 4.2 古生物化石

生物与其生活的环境是不可分割的统一体。不同的生物群落或化石组合面貌,大致可以表明其所属的生活环境或沉积相<sup>[6]</sup>。

经薄片鉴定和化石鉴定,在埋汗哈达组中发现大量的古生物化石:珊瑚、海绵骨针、海百合茎、有孔虫、放射虫、腕足类、头足类、菊石、棘皮等,都为正常浅海相生物,海水盐度比较正常。

##### 4.3 微量元素

微量元素对古沉积环境的指示具有重要意义,前人通过大量的研究得出系列用微量元素及其比值判别沉积环境的指标<sup>[8-11]</sup>,常用 B 元素含量、 $\text{Sr}/\text{Ba}$  比值、 $\text{B}/\text{Ga}$  比值来恢复沉积介质的古盐度条件;用  $\text{Th}/\text{U}$  值来区分海相与陆相沉积环境;用  $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})$

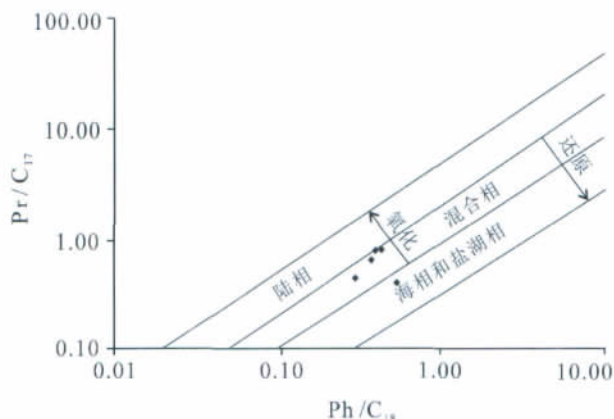


图 7 杭乌拉地区埋汗哈达组烃源岩  $\text{Pr}/\text{C}_{17}-\text{Ph}/\text{C}_{18}$  图

Fig. 7 Diagram of  $\text{Pr}/\text{C}_{17}-\text{Ph}/\text{C}_{18}$  of source rocks of Maihanhada Formation in Hangwula area

比值来确定沉积介质的氧化还原条件。

(1) 硼含量  $w(\text{B})$ 。硼含量是判断沉积物沉积介质含盐度比较有效的指标之一。一般认为海水沉积物中  $w(\text{B})$  的含量高,通常大于  $100\times 10^{-6}$ ,淡水沉积物中  $w(\text{B})$  较低,一般小于  $100\times 10^{-6}$ 。同济大学对现代沉积物的研究表明,淡水  $w(\text{B}) < 44\times 10^{-6}$ ,半咸水介于  $(44\sim 92)\times 10^{-6}$  之间,正常海水大于  $92\times 10^{-6}$ <sup>[9]</sup>。研究区  $w(\text{B})$  介于  $(9.20\sim 105)\times 10^{-6}$  之间,平均值为  $53.7\times 10^{-6}$ (表 3,图 2),主要为半咸水沉积。

(2)  $\text{B}/\text{Ga}$  比值。通常认为, $\text{B}/\text{Ga} > 4.5$  为咸水沉积, $\text{B}/\text{Ga} < 3.3$  为淡水沉积,其间为过渡相<sup>[10]</sup>。研究区  $\text{B}/\text{Ga}$  比值的变化与  $w(\text{B})$  变化相似, $\text{B}/\text{Ga}$  比值介于  $1.77\sim 7.48$  之间,平均值为  $4.26$ (表 3,图 2),主要为半咸水沉积。

(3)  $\text{Sr}/\text{Ba}$  比值。 $\text{Sr}/\text{Ba}$  比值也常用来指示古水介质的含盐度。一般认为  $\text{Sr}/\text{Ba} < 0.6$  为淡水, $\text{Sr}/\text{Ba} > 1$  为咸水,介于  $0.6\sim 1$  为过渡相<sup>[10]</sup>。研究区  $\text{Sr}/\text{Ba}$  比

表 5 杭乌拉地区埋汗哈达组烃源岩饱和烃气相色谱地球化学参数

Table 5 Geochemical parameters of gas chromatography for saturated hydrocarbon in source rocks of Maihanhada Formation in Hangwula area

| 样品号                     | CPI  | OEP  | $\frac{\sum n\text{C}_{21}}{\sum n\text{C}_{22}}$ | $\frac{(n\text{C}_{21}+n\text{C}_{22})}{(n\text{C}_{28}+n\text{C}_{29})}$ | $\frac{\text{Pr}}{n\text{C}_{17}}$ | $\frac{\text{Ph}}{n\text{C}_{18}}$ | $\frac{\text{Pr}}{\text{Ph}}$ | 主峰碳数            |
|-------------------------|------|------|---|---|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| HWL-P1m-S <sub>3</sub>  | 1.22 | 0.62 | 1.34  | 2.36  | 0.41                               | 0.53                               | 0.42                          | C <sub>18</sub> |
| HWL-P1m-S <sub>8</sub>  | 1.16 | 0.88 | 0.64  | 2.12  | 0.45                               | 0.30                               | 0.51                          | C <sub>22</sub> |
| HWL-P1m-S <sub>12</sub> | 1.16 | 1.11 | 0.16  | 0.49  | 0.66                               | 0.38                               | 0.47                          | C <sub>27</sub> |
| HWL-P1m-S <sub>22</sub> | 1.16 | 1.03 | 0.23  | 0.74  | 0.81                               | 0.43                               | 0.45                          | C <sub>25</sub> |
| HWL-P1m-S <sub>33</sub> | 1.15 | 1.05 | 0.15  | 0.46  | 0.81                               | 0.40                               | 0.56                          | C <sub>25</sub> |





值介于 0.20~4.61 之间,平均值为 1.16(表 3,图 2),为咸水沉积。

(4)Th/U 比值。现在大都以 Th/U 比值等于 7 为界来判断海陆相地层,小于 7 的为海相沉积,大于 7 的为陆相淡水沉积<sup>[8]</sup>。研究区 Th/U 比值介于 0.90~3.54 之间,平均值为 2.30(表 3,图 2),说明杭乌拉埋汗哈达组属海相沉积地层。

(5)V/(V+Ni)比值。V/(V+Ni)常用来研究沉积水体的氧化还原条件。高 V/(V+Ni)值(0.84~0.89)反映水体分层,底层水体中出现 H<sub>2</sub>S 的厌氧环境;中等比值(0.54~0.82)为水体分层不强的厌氧环境;低值(0.46~0.60)为水体分层弱的贫氧环境<sup>[11]</sup>。研究区 V/(V+Ni)比值介于 0.54~0.79 之间,平均值为 0.69(表 3,图 2),说明杭乌拉埋汗哈达组形成于水体分层不强的厌氧环境。

虽然前人得出大量用微量元素比值判别沉积环境的指标,但对本地区的研究结果显示不同元素比值得出的结果不尽相同。这可能是由于所取样品为地表样品,风化严重,导致不同元素流失情况不同,也可能是因为对不同地区不同地质时代地层并不能用统一的标准,应区别对待。

#### 4.4 饱和烃气相色谱

姥鲛烷、植烷及其比值(Pr/Ph)常用来判断原始沉积环境的氧化条件和介质酸碱度。一般认为<sup>[6]</sup>,Pr/Ph 比值介于 0.2~0.8 为强还原环境,介于 0.8~2.8 为还原环境,介于 2.8~4.0 为弱氧化弱还原环境。所取样品分析结果 Pr/Ph 比值介于 0.42~0.56 之间(表 5),说明埋汗哈达组的沉积环境为强还原环境。

Pr/nC<sub>17</sub> 值与 Ph/nC<sub>18</sub> 值分布范围分别为 0.41~0.81 和 0.30~0.53(表 5、图 7),埋汗哈达组样品位于混合区域,形成于弱氧化弱还原环境。

#### 4.5 沉积相分析

沉积相为沉积环境及在该环境中形成的沉积岩特征的综合<sup>[6]</sup>。根据杭乌拉埋汗哈达组的岩性组成,并结合古生物和微量元素的特征,综合分析认为杭乌拉埋汗哈达组下段和上段为滨海—浅海相,中段为碳酸盐台地相(图 2)。结合研究区 1:20 万地质资料,认为埋汗哈达组沉积时期巴丹吉林裂谷盆

地主要发育滨海相和浅海相碎屑岩,个别地方发育碳酸盐岩和火山岩,说明当时地壳不稳定,大范围滨海—浅海相沉积的同时伴随有局部的火山喷发。另外从沉积岩厚度等值线和砂地比等值线图可以看出,研究区有 2 个沉积中心,北部在雅干地区,南部在红柳井—古硐井地区(图 8)。

## 5 结 论

研究区二叠系埋汗哈达组形成于半咸水的滨海—浅海的还原环境。埋汗哈达组沉积时期巴丹吉林裂谷盆地主要为大范围的滨海—浅海沉积环境,地壳不稳定,局部有火山喷发,有 2 个沉积中心,北部在雅干地区,南部在红柳井—古硐井地区。

致谢:在论文写作过程中得到西安地质矿产研究所卢进才教授级高级工程师、叶芳老师、魏建设工程师、李金超工程师、韩伟工程师、李渭工程师等的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

## 参考文献

- [1]卢进才,魏仙样,魏建设,等.内蒙古西部额济纳旗雅干地区二叠系埋汗哈达组烃源岩的特征[J].地质通报,2010,29(2/3): 341-345.
- [2]卢进才,魏仙样,魏建设,等.内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系—二叠系油气地质条件初探[J].地质通报,2010,29(2/3): 330-340.
- [3]夏林圻,夏祖春,徐学义,等.天山及邻区石炭纪—早二叠世裂谷火山岩岩石成因[J].西北地质,2008,41(4):1-68.
- [4]卢进才,魏仙样,李玉宏,等.额济纳旗地区土壤油气地球化学特征及其意义[J].新疆石油地质,2009,30(1):6-8.
- [5]应凤祥,罗平,何东博,等.中国含油气盆地碎屑岩储集层成岩作用与成岩数值模拟[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [6]姜在兴.沉积学[M].北京:石油工业出版社,2003.
- [7]朱而勤,王琦.海洋自生矿物[M].北京:海洋出版社,1988.
- [8]陶树,汤达祯,周传祯,等.川东南—黔中及其周边地区下组合烃源岩元素地球化学特征及沉积环境意义[J].中国地质,2009,36(2): 397-403.
- [9]同济大学海洋地质系.海陆相地层辨认标志[M].北京:科学出版社,1980:155-186.
- [10]金建华,米家榕.辽宁本溪田师傅早中石炭世沉积环境分析[J].中山大学学报(自然科学版),1999,38(5):98-103.
- [11]苗建宇,周立发,张宏福,等.新疆北部中二叠统烃源岩地球化学特征与沉积环境[J].地质学报,2004,(4):534-540.