

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.135

引用格式: 舒想清,高宝龙,杨育振,等. 新疆哈拉阿拉特山太勒古拉组黑色页岩构造背景及物源分析[J]. 中国地质调查, 2024,11(6): 44–53. (Shu X Q, Gao B L, Yang Y Z, et al. Tectonic setting and provenance analysis for Tailegula Formation black shales in Hala-alat Mountain of Xinjiang[J]. Geological Survey of China, 2024,11(6): 44–53.)

# 新疆哈拉阿拉特山太勒古拉组黑色页岩构造背景及物源分析

舒想清<sup>1,2</sup>, 高宝龙<sup>1,2</sup>, 杨育振<sup>1,2</sup>, 邹璇<sup>1,2</sup>, 袁雄<sup>1,2</sup>, 闵丹<sup>1,2</sup>

(1. 中国冶金地质总局中南地质调查院, 湖北 武汉 430081; 2. 中国冶金地质总局矿产资源研究院, 北京 101300)

**摘要:** 新疆哈拉阿拉特山地区(简称哈山地区)在晚石炭世为沟弧盆体系下岛弧较发育的构造格局,上石炭统太勒古拉组黑色页岩被认为是岛弧作用相对减弱时期海沟和弧前盆地深水沉积的产物,但尚缺乏地球化学依据。对哈山地区太勒古拉组黑色页岩开展探槽施工并进行采样分析,结果表明:黑色页岩具有富 MgO 和 Na<sub>2</sub>O, 贫 TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及 CaO、SiO<sub>2</sub> 含量适中,大离子亲石元素相对贫乏,轻稀土相对富集,重稀土相对亏损,负 Eu 异常的特征,与上地壳稀土元素配分模式相近;哈山地区太勒古拉组黑色页岩的构造背景主要为大陆岛弧,母岩属于中酸性-长英质物源,主要来自上地壳,物源区可能为北部的塔尔巴哈台-纳尔曼得早古生代沟弧带和谢米斯台-东泉晚古生代岛弧带。研究可为哈山地区巨厚页岩的物质来源提供参考。

**关键词:** 太勒古拉组; 黑色页岩; 构造背景; 物源

**中图分类号:** P595

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8706(2024)06-0044-10

## 0 引言

黑色页岩作为一种富含有机质的细粒沉积岩,其形成过程明显受构造背景和母岩属性的控制<sup>[1]</sup>,国内外学者已建立了一系列利用地球化学数据判别沉积物构造背景和物源的方法,并取得了良好的实际应用效果<sup>[2-7]</sup>。前人对新疆哈拉阿拉特山地区(简称哈山地区)太勒古拉组黑色页岩的研究主要集中在有机质特征、储层特征及含气性、生烃潜力等方面,如马风华<sup>[8]</sup>的测试数据显示黑色页岩的有机质类型为Ⅲ型,属较好级别烃源岩;马小平等<sup>[9]</sup>认为黑色页岩具有孔隙类型优、孔隙连通性较好、易于储层压裂改造的矿物组合特征;梁斌等<sup>[10]</sup>的研究表明这套黑色页岩为低-特低孔隙度、特低渗透率储层,现场解吸总含气量最高为 1.11 m<sup>3</sup>/t,具有很好的页岩气资源潜

力。然而,目前太勒古拉组黑色页岩的物质来源及构造背景尚不明确。

本文对哈山地区太勒古拉组黑色页岩的地球化学元素和重矿物特征开展研究,归纳黑色页岩的构造背景及物源分配模式,可为该区巨厚页岩的成因和物质来源提供依据。

## 1 地质背景

石炭纪准噶尔地块西部的构造格局为南部和北部发育地槽,中部为陆缘碎屑岩建造区<sup>[11]</sup>。太勒古拉组巨厚页岩即发育于南部海沟区域的哈山地区。霍有光<sup>[12]</sup>对准噶尔和布克塞尔地区泥盆系的地球化学研究显示沙尔布提山与萨吾尔山之间为泥盆纪弧后盆地,盆地南侧发育洪古勒楞蛇绿岩带,北侧萨吾尔山为大洋岛弧带。晚石炭世之后,弧后盆地逐渐消亡,沙尔布尔提山和萨吾尔山隆升

成陆,向北增生的塔里木陆块和向南增生的西伯利亚陆块最终缝合,准噶尔地块至此结束大洋发展阶段,进入陆内造山阶段<sup>[11-12]</sup>。

泥盆纪—石炭纪,准噶尔西部以南部和北部的地槽区为特征,中部沙尔布提山—萨吾尔山在垂向上由岛弧向隆起区陆源碎屑建造演变,侧向火山喷发中心自南向北迁移,泥盆纪弧后盆地(沙尔布提山—萨吾尔山)逐渐北迁于额尔齐斯河构造带以南

的吉木乃—富蕴南扎河坝一线向东的萨吾尔—二台淖毛湖石炭纪弧后盆地(即萨吾尔—二台淖毛湖古生代弧后盆地)。据此可重新厘定新疆北部石炭纪沟弧盆体系的主要大地构造单元为:石炭纪沟弧带,即达拉布特—卡拉麦里晚古生代沟弧带;石炭纪岛弧带,即谢米斯台—东泉晚古生代岛弧带及塔尔巴哈台—纳尔曼得早古生代沟弧;弧后盆地,即萨吾尔—二台淖毛湖古生代弧后盆地(图 1)。

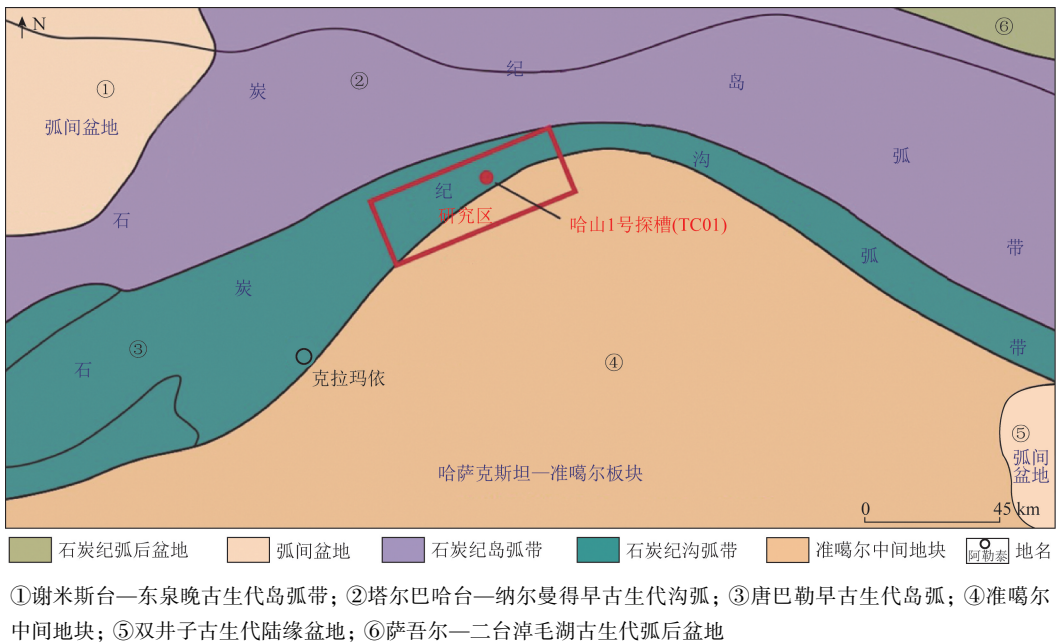


图 1 新疆北部石炭纪原型盆地(据文献[11]修改)

Fig.1 Prototype basin of Carboniferous Period in northern Xinjiang (modified after reference[11])

Chen 等<sup>[13]</sup>根据准噶尔西北部岩体锆石 U-Pb 测年数据将该地区的准噶尔西部古生代岩体划分为 3 个主要侵入期次:第一期为晚志留世—早泥盆世,仅分布于谢米斯台山—赛尔山一带,岩体岩性主要为闪长岩、钾长花岗岩和碱性花岗岩;第二期为早石炭世,主要分布于塔尔巴哈台—萨吾尔晚古生代岛弧带内,岩体岩性主要为辉石闪长岩、二长闪长岩、花岗闪长岩等中酸性侵入岩;第三期为晚石炭世—中二叠世,遍布整个研究区及邻区,岩性主要为钾长花岗岩(图 2)。结合区域上广泛发育的沟弧盆体系可推断,二叠纪之前侵入的岩体(即第一期和二期侵入岩)主要分布在塔尔巴哈台—纳尔曼得早古生代沟弧带和谢米斯台—东泉晚古生代岛弧带内,共同构成一个大规模石炭纪岛弧带(图 1),其可向南部(石炭纪沟弧带)和北部(石炭纪弧后盆地)分别提供物源,从构造格局层面说明了研究区黑色

页岩可能主要属于中酸性—长英质物源。

事实上,对于研究区“火山碎屑岩+页岩+碳酸盐岩”页岩层系的成因,孟祥化<sup>[14]</sup>在 1983 年就已指出该类岩系形成于弧后盆地、俯冲岛弧等非稳定的火山碎屑沉积建造。Li<sup>[15]</sup>结合研究区沟弧盆体系的大地构造背景,将研究区沟弧盆体系页岩沉积建造抽提为图 3 模式,该模式指出了沟弧盆体系中页岩发育及保存的具体位置。

(1) 沟弧盆体系发育早期。该阶段洋壳俯冲消减并形成增生楔,岛弧初具规模,岩浆沿洋壳俯冲部位上涌,在海沟及弧前盆地沉积了热液(火山岩)沉积建造,在弧后盆地则以正常碎屑沉积为主。海沟上涌的热液在沉积了底部火山岩沉积建造的同时,带入大量生物生长所需营养元素及矿物,造成生物繁盛、有机质生产速率极高的特点,为页岩沉积创造了物质条件<sup>[16]</sup>。

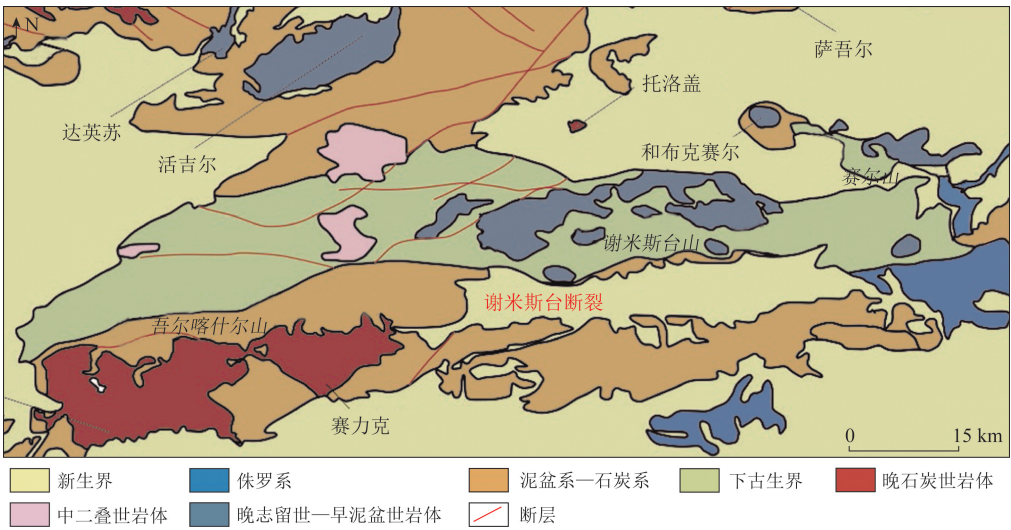


图2 准噶尔西北部岩体分布 (据文献[13]修改)

Fig.2 Rock mass distribution in the northwestern Junggar (modified after reference[13])

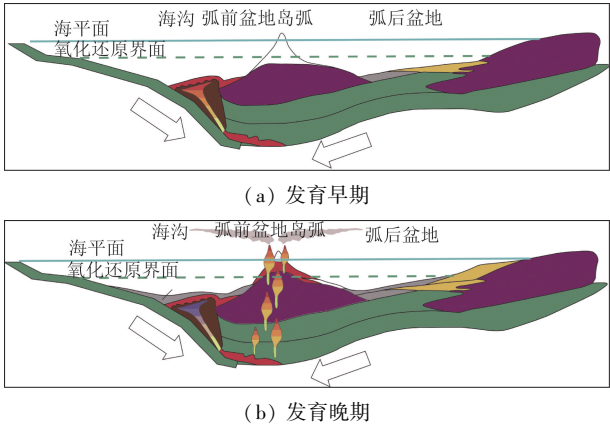


图3 研究区沟弧盆体系页岩沉积构造模式 (据文献[15]修改)

Fig.3 Deposition and tectonic pattern for shale under trench – arc – basin system in the study area (modified after reference[15])

(2) 沟弧盆体系发育晚期。该阶段沟弧盆体系已经形成,生物繁盛大量消耗水体中的氧气,导致海沟地区水体逐渐趋于还原环境,为有机质的保存提供了良好条件,岛弧火山的小规模间歇喷发所产生的火山灰及黏土矿物落入水中,经水解等作用产生生物生长所需的营养物质,保证了长期稳定的高有机质生产率和良好的有机质保存条件,从而形成,研究区现今厚度巨大、有机碳含量可观 (TOC 含量 0.57% ~1.12%, 平均 0.85%, 未发表) 的黑色页岩及硅质页岩,并夹有火山灰及碳酸盐岩的特殊复合页岩层系,而弧后盆地在这一演化过程中则处于相对

孤立、稳定的状态,具备富有机质页岩的沉积条件。

2 样品采集

哈山 1 号探槽 (TC01) 位于哈拉阿拉特山乌和公路西侧 (图 1), 全长约 2 km, 探槽控制太勒古拉组黑色页岩厚度 960 m, 页岩呈灰黑色, 薄—厚层状, 页理极发育, 含少量生物碎屑, 中间夹有数层厚约 10 ~ 30 cm 的灰岩条带和砂岩薄层, 并见深水遗迹化石。

本次研究的页岩样品采自 TC01 上石炭统太勒古拉组, 自下至上连续采集 10 个样品, 岩性均为黑色硅质页岩。主量元素含量采用荷兰 PANalytical Magix Fast X 荧光光谱仪 (XRF) 测定, 分析误差小于 2%。微量元素和稀土元素含量采用美国 Perkin Elmer Elan 9000 电感耦合等离子体质谱仪 (ICP – MS) 测定, 分析误差小于 10%。所有地球化学元素测试分析均由澳实分析检测 (广州) 有限公司完成。

3 地球化学特征与构造背景

哈山地区太勒古拉组黑色页岩的地球化学元素含量见表 1。研究区黑色页岩具有富 MgO、Na<sub>2</sub>O, 贫 TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 CaO, SiO<sub>2</sub> 含量适中, 大离子亲石元素 (如 Rb、Ba、K、Cs 等) 相对贫乏, 轻稀土 (LREE) 相对富集, 重稀土 (HREE) 相对亏损, 负 Eu 异常的特征。

表 1 哈山一号探槽太勒古拉组黑色页岩地球化学元素含量

Tab.1 Geochemical element content of Tailegula Formation black shales from No.1 prospecting trench in Hala –alate Mountain

| 样品编号    | 主量元素含量/%         |                  |                                |                                |      |                   |                  |                               |      |      |      |                               | 微量元素含量/10 <sup>-6</sup> |       |
|---------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|------|------|-------------------------------|-------------------------|-------|
|         | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | BaO  | CaO  | MgO  | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Sc                      | V     |
| TC01-35 | 64.3             | 0.67             | 14.65                          | 6.00                           | 0.07 | 2.91              | 2.69             | 0.19                          | 0.04 | 0.98 | 3.46 | 0.02                          | 14.0                    | 115.0 |
| TC01-45 | 60.8             | 0.79             | 15.90                          | 6.10                           | 0.07 | 2.98              | 3.39             | 0.16                          | 0.04 | 0.85 | 4.37 | 0.02                          | 17.0                    | 153.0 |
| TC01-49 | 60.6             | 0.75             | 15.60                          | 6.55                           | 0.08 | 2.60              | 3.90             | 0.19                          | 0.06 | 1.12 | 4.35 | 0.02                          | 16.0                    | 138.0 |
| TC01-52 | 60.9             | 0.80             | 15.95                          | 6.51                           | 0.07 | 3.64              | 2.94             | 0.16                          | 0.04 | 1.08 | 3.99 | 0.02                          | 16.0                    | 143.0 |
| TC01-54 | 62.4             | 0.73             | 14.80                          | 6.13                           | 0.07 | 3.10              | 3.04             | 0.17                          | 0.05 | 0.98 | 4.34 | 0.02                          | 16.0                    | 132.0 |
| TC01-56 | 62.4             | 0.72             | 15.25                          | 6.14                           | 0.06 | 3.15              | 3.29             | 0.16                          | 0.05 | 1.02 | 3.62 | 0.02                          | 15.0                    | 142.0 |
| TC01-57 | 62.0             | 0.73             | 15.35                          | 6.19                           | 0.08 | 3.01              | 3.42             | 0.19                          | 0.05 | 1.00 | 4.00 | 0.02                          | 15.0                    | 139.0 |
| TC01-76 | 62.4             | 0.75             | 15.50                          | 6.32                           | 0.07 | 2.74              | 3.61             | 0.17                          | 0.06 | 0.87 | 3.45 | 0.02                          | 15.0                    | 140.0 |
| TC01-87 | 65.2             | 0.63             | 14.15                          | 5.29                           | 0.08 | 3.53              | 2.72             | 0.15                          | 0.04 | 1.38 | 3.70 | 0.02                          | 13.0                    | 110.0 |
| TC01-95 | 67.8             | 0.45             | 11.70                          | 4.50                           | 0.06 | 2.45              | 2.65             | 0.12                          | 0.05 | 2.21 | 3.16 | 0.01                          | 9.0                     | 75.0  |
| 平均值     | 62.9             | 0.70             | 14.89                          | 5.97                           | 0.07 | 3.01              | 3.17             | 0.17                          | 0.05 | 1.15 | 3.84 | 0.02                          | 14.6                    | 128.7 |

| 样品编号    | 微量元素含量/10 <sup>-6</sup> |      |      |      |     |      |      |      |      |       |      |      |      |      |
|---------|-------------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
|         | Cr                      | Ni   | Zn   | Rb   | Sr  | Y    | Zr   | Nb   | Cs   | Ba    | Hf   | Ta   | Pb   | Th   |
| TC01-35 | 90                      | 7.81 | 8.02 | 60.8 | 268 | 23.4 | 14.8 | 6.70 | 2.10 | 364.0 | 4.20 | 0.80 | 9.28 | 4.93 |
| TC01-45 | 150                     | 7.81 | 8.02 | 82.3 | 266 | 23.7 | 14.8 | 8.30 | 2.99 | 401.0 | 4.90 | 0.70 | 9.28 | 6.02 |
| TC01-49 | 120                     | 7.81 | 8.02 | 86.4 | 329 | 26.8 | 14.8 | 7.90 | 3.09 | 526.0 | 5.00 | 0.60 | 9.28 | 5.78 |
| TC01-52 | 120                     | 7.81 | 8.02 | 65.7 | 278 | 25.4 | 14.8 | 8.20 | 2.59 | 330.0 | 5.00 | 0.60 | 9.28 | 5.88 |
| TC01-54 | 130                     | 7.81 | 8.02 | 64.4 | 286 | 25.4 | 14.8 | 8.80 | 2.22 | 381.0 | 4.70 | 0.60 | 9.28 | 5.57 |
| TC01-56 | 140                     | 7.81 | 8.02 | 73.4 | 288 | 24.4 | 14.8 | 7.30 | 3.04 | 409.0 | 4.70 | 0.50 | 9.28 | 5.42 |
| TC01-57 | 130                     | 7.81 | 8.02 | 78.0 | 287 | 23.5 | 14.8 | 7.70 | 3.02 | 405.0 | 4.60 | 0.50 | 9.28 | 5.35 |
| TC01-76 | 70                      | 7.81 | 8.02 | 82.2 | 289 | 24.0 | 14.8 | 8.10 | 3.64 | 490.0 | 4.80 | 0.50 | 9.28 | 5.94 |
| TC01-87 | 210                     | 7.81 | 8.02 | 55.9 | 292 | 22.8 | 14.8 | 6.60 | 1.65 | 367.0 | 3.90 | 0.40 | 9.28 | 4.34 |
| TC01-95 | 230                     | 7.81 | 8.02 | 55.2 | 278 | 16.6 | 14.8 | 4.50 | 1.76 | 398.0 | 2.80 | 0.30 | 9.28 | 2.82 |
| 平均值     | 139                     | 7.81 | 8.02 | 70.4 | 286 | 23.6 | 7.4  | 7.41 | 2.61 | 407.1 | 4.46 | 0.55 | 9.28 | 5.21 |

| 样品编号    | 稀土元素含量/10 <sup>-6</sup> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         | La                      | Ce   | Pr   | Nd   | Sm   | Eu   | Gd   | Tb   | Dy   | Ho   | Er   | Tm   | Yb   | Lu   |
| TC01-35 | 18.4                    | 38.6 | 5.17 | 18.1 | 4.53 | 1.19 | 4.57 | 0.72 | 4.17 | 0.91 | 2.64 | 0.43 | 2.51 | 0.41 |
| TC01-45 | 16.8                    | 37.1 | 4.85 | 17.3 | 4.33 | 1.26 | 4.35 | 0.67 | 4.09 | 0.94 | 2.95 | 0.45 | 2.92 | 0.45 |
| TC01-49 | 20.8                    | 45.2 | 5.89 | 21.6 | 5.29 | 1.36 | 5.43 | 0.83 | 4.81 | 1.03 | 3.06 | 0.48 | 3.20 | 0.51 |
| TC01-52 | 18.4                    | 38.7 | 4.98 | 17.6 | 4.59 | 1.24 | 4.38 | 0.77 | 4.39 | 1.00 | 3.07 | 0.45 | 2.97 | 0.42 |
| TC01-54 | 20.5                    | 44.1 | 5.59 | 19.7 | 4.95 | 1.21 | 4.61 | 0.77 | 4.48 | 0.95 | 2.93 | 0.42 | 2.82 | 0.40 |
| TC01-56 | 20.4                    | 42.2 | 5.42 | 19.8 | 5.06 | 1.25 | 5.02 | 0.80 | 4.35 | 1.01 | 2.86 | 0.44 | 2.93 | 0.43 |
| TC01-57 | 21.0                    | 42.3 | 5.38 | 19.5 | 4.73 | 1.21 | 4.29 | 0.71 | 4.05 | 0.90 | 2.59 | 0.39 | 2.85 | 0.41 |
| TC01-76 | 20.6                    | 43.0 | 5.41 | 19.6 | 4.72 | 1.43 | 4.51 | 0.70 | 4.11 | 0.94 | 2.70 | 0.43 | 2.71 | 0.40 |
| TC01-87 | 16.8                    | 36.7 | 4.77 | 17.2 | 4.20 | 1.03 | 4.39 | 0.63 | 4.03 | 0.84 | 2.56 | 0.41 | 2.47 | 0.39 |
| TC01-95 | 13.4                    | 27.6 | 3.55 | 12.8 | 3.19 | 0.76 | 3.40 | 0.52 | 3.06 | 0.65 | 1.96 | 0.29 | 1.90 | 0.26 |
| 平均值     | 18.7                    | 39.6 | 5.10 | 18.3 | 4.56 | 1.19 | 4.50 | 0.71 | 4.15 | 0.92 | 2.73 | 0.42 | 2.73 | 0.41 |

根据 Roser 等<sup>[4]</sup>提出的 SiO<sub>2</sub> – K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 构造背景判别图解(图 4(a)),哈山 1 号探槽所有样品均落入活动大陆边缘。Bhatia 等<sup>[17]</sup>通过对澳大利亚东部杂砂岩的研究,得出一系列判别构造背景的微量元素特征值和图解,如 La – Th – Sc、Th – Sc – Zr/10、Th – Co – Zr/10 等三角判别图解,并利用其判别澳大利亚东部杂砂岩的构造背景<sup>[17]</sup>,国内学者也利用这些图解判别泥页岩的构造背景,并取得了良好的实际应用效果<sup>[18-20]</sup>。在非迁移性微量元素元素 La – Th – Sc(图 4(b))和 Th – Sc – Zr/10(图 4(c))组成的构造背景判别图解上,所有样品

都落在大陆岛弧区域,个别落在大洋岛弧区域,均显著区别于被动大陆边缘环境。

太勒古拉组黑色页岩样品轻稀土(LREE)平均含量为 87.4 × 10<sup>-6</sup>,重稀土(HREE)平均含量为 16.6 × 10<sup>-6</sup>,指示轻重稀土分异度的(La/Yb)<sub>N</sub>值为 4.64,指示轻稀土分异度的(La/Sm)<sub>N</sub>值为 2.58,指示重稀土分异度的(Gd/Yb)<sub>N</sub>值为 1.33,表明太勒古拉组黑色页岩具有 LREE 相对富集, HREE 相对亏损的特征。

Bhatia<sup>[21]</sup>以澳大利亚东部古生界杂砂岩和泥岩资料为基础,总结了判别沉积盆地构造环境的稀

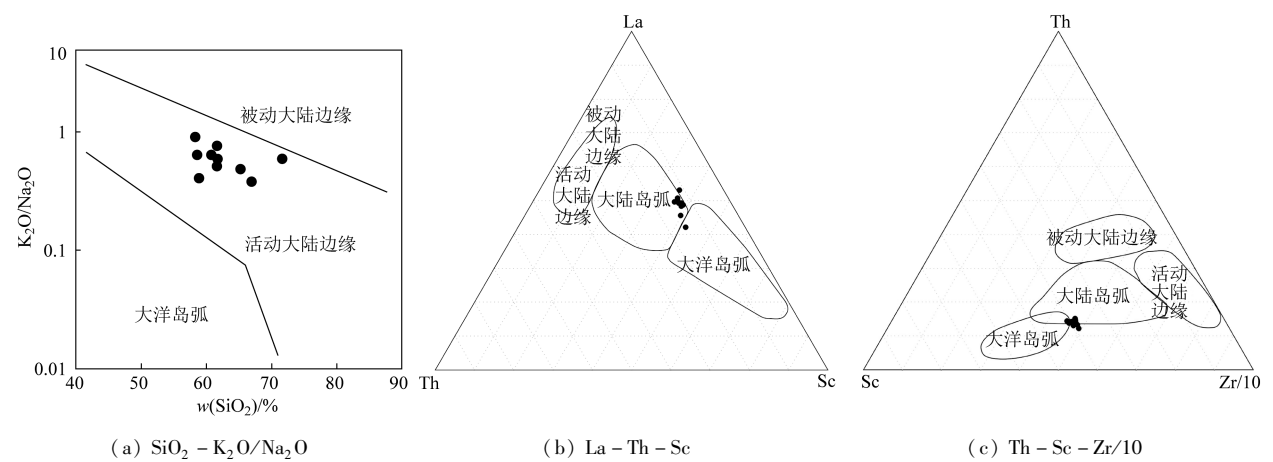


图 4 哈山 1 号探槽太勒古拉组黑色页岩主微量元素构造背景判别图解<sup>[4,12,17]</sup>

Fig. 4 Major and trace elements tectonic setting discrimination diagram of Tailegula Formation black shales from No. 1 prospecting trench in Hala – alate Mountain<sup>[4,12,17]</sup>

土元素特征(表 2),认为来自大洋岛弧构造背景、源区为未被切割岩浆弧的沉积物具有稀土总量低、轻稀土弱富集和基本无负 Eu 异常的特征;来自大陆岛弧构造背景、源区为切割岩浆弧的沉积物有较高的

稀土总量和中等的轻稀土富集,以及弱的负 Eu 异常<sup>[21]</sup>。通过比较研究区黑色页岩样品稀土元素和代表不同构造背景的参数特征值,本区样品各参数均值介于大陆岛弧或大洋岛弧之间,且更接近大陆岛弧。

表 2 太勒古拉组黑色页岩与不同构造背景沉积盆地稀土元素特征对比<sup>[21]</sup>

| Tab. 2 REE comparison of Tailegula Formation black shales and sedimentary basins under different tectonic settings <sup>[21]</sup> |         |                        |                        |                           |                 |                 |                           |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-------------------|
| 构造背景                                                                                                                               | 源区类型    | $w(\text{La})/10^{-6}$ | $w(\text{Ce})/10^{-6}$ | $\sum \text{REE}/10^{-6}$ | La/Yb           | LREE/HREE       | $(\text{La}/\text{Yb})_N$ | $\delta\text{Eu}$ |
| 大洋岛弧                                                                                                                               | 未被切割岩浆弧 | $(8 \pm 1.7)$          | $(19 \pm 3.7)$         | $(58 \pm 10)$             | $(4.2 \pm 1.3)$ | $(3.8 \pm 0.9)$ | $(2.8 \pm 0.9)$           | $(1.04 \pm 0.11)$ |
| 大陆岛弧                                                                                                                               | 被切割岩浆弧  | $(27 \pm 4.5)$         | $(59 \pm 8.8)$         | $(146 \pm 20)$            | $(11 \pm 3.6)$  | $(7.7 \pm 1.7)$ | $(7.5 \pm 2.5)$           | $(0.79 \pm 0.13)$ |
| 太勒古拉组样品均值                                                                                                                          | 无       | 18.7                   | 39.6                   | 104                       | 6.88            | 5.28            | 4.64                      | 0.8               |

此外,可以利用 La/Y – Sc/Cr、Th – La 等判别图解对源区构造背景进行判别<sup>[5,17]</sup>。通过投点发现,在 La/Y – Sc/Cr 判别图解(图 5(a))上,页岩样品基本都位于大陆岛弧区域附近;在 Th – La 判别图解(图 5(b))上,几乎所有点都落在大陆岛弧区域。

Bhatia<sup>[21]</sup>归纳总结的不同构造背景下沉积物稀土元素富集特征和标准化曲线(图 6)被广泛应用于物源区的构造背景分析。在球粒陨石标准化(panasqueira average abundance standard, PAAS)曲线上(图 6),本区样

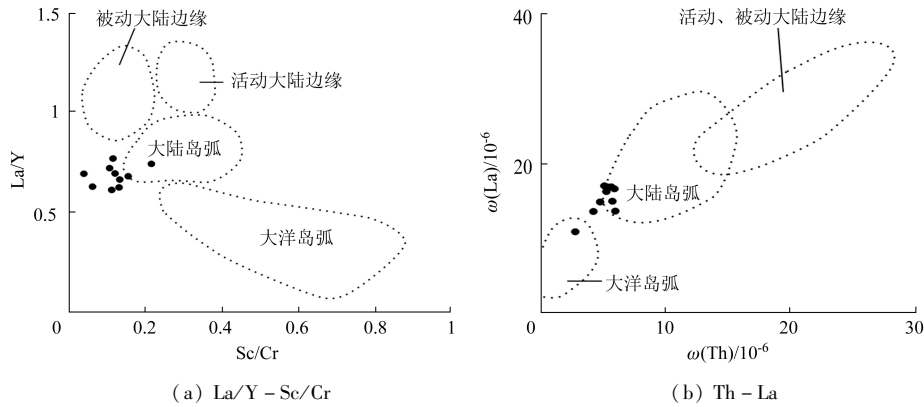


图 5 哈山 1 号探槽太勒古拉组黑色页岩稀土元素构造背景判别图解

Fig. 5 REE tectonic setting discrimination diagram of Tailegula Formation black shales from No. 1 prospecting trench in Hala – alte Mountain

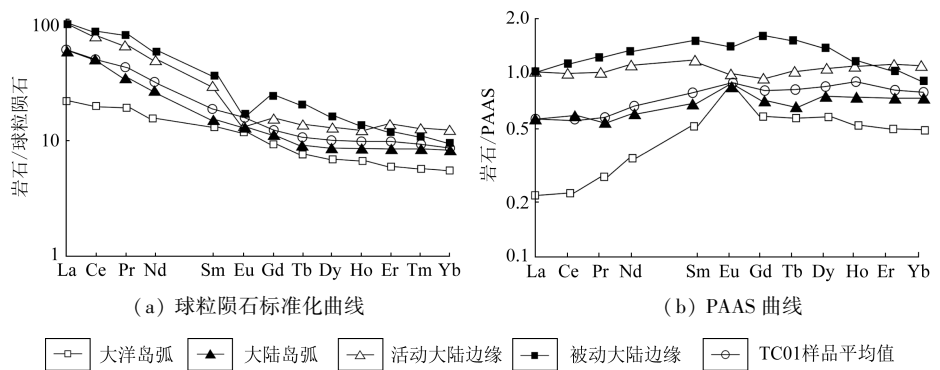


图 6 哈山 1 号探槽太勒古拉组页岩稀土元素标准化曲线

Fig. 6 REE standardized curve of Tailegula Formation shales from No. 1 prospecting trench in Hala – alate Mountains

品的稀土元素均值配分模式都与大陆岛弧相近。

总体上,研究区晚石炭世构造活动较活跃,在正常沉积的同时伴随着大陆火山岛弧的频繁喷发,间接指示了准噶尔地块西北缘古生代不同时期的洋盆向准噶尔地块俯冲消减,以及晚古生代后期碰撞褶皱发展为准噶尔西部山系的构造活动背景。

4 重矿物特征

碎屑岩中相对密度大于 2.86 g/cm<sup>3</sup> 的矿物被称为重矿物,它们在岩石中的含量很低,一般不超过 1%。重矿物具有耐磨、强稳定性、继承源岩特性的特点<sup>[22]</sup>。不同类型母岩碎屑沉积物中的重矿物组分及含量存在差异。一般来说,母岩为酸性岩的区域富集晶型完好的榍石、锆石、黑云母、磷灰石、电气石、锡石

等;母岩为基性岩的区域发育有大量磁铁矿,少量钛铁矿、辉石和角闪石;母岩为变质岩的区域富集蓝晶石、夕线石、石榴石、绿帘石、十字石。在沉积岩中富集磨圆较好的锆石、金红石、石榴石和电气石<sup>[23]</sup>。

本研究的重矿物样品均采自哈山 1 号探槽 (TC01),共 30 个,粉碎至 200 目以下,淘洗后烘干,磁选之后放在双目镜下进行人工挑选。由于页岩中重矿物含量极少,从 30 个样品仅挑选出极少量重矿物,包括电气石、独居石、钛铁矿等较稳定矿物,总含量不超过 0.1%。其中,独居石磨圆较好,表面有撞蚀坑,表明其经过长距离搬运,重矿物中稳定矿物占绝对优势,指示了搬运距离较长的远源沉积,其电气石+独居石+石榴石+钛铁矿+磷灰石(图 7)的重矿物组合也反映了其母岩性质为沉积岩+中酸性岩浆岩的混合物源。

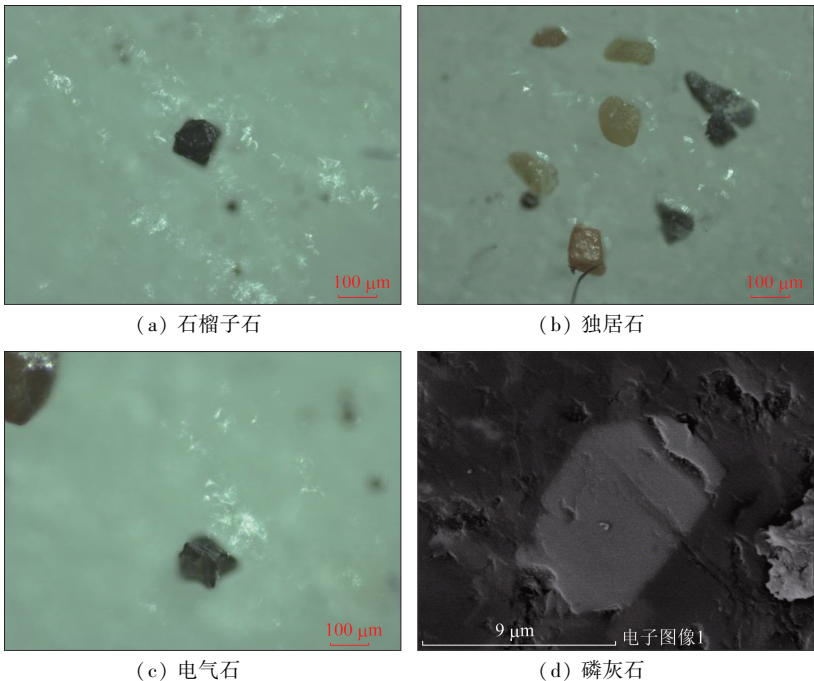


图 7 哈山 1 号探槽太勒古拉组页岩重矿物图版

Fig. 7 Heavy mineral plate of Tailegula Formation black shales from No. 1 prospecting trench in Hala – alate Mountain

5 物源分析

大量研究表明,碎屑岩的元素地球化学特征可以被用于判别沉积岩物源及其风化作用的研究。相对于其他碎屑岩,页岩的化学组成更接近母岩<sup>[5,24-28]</sup>,因此利用地球化学方法追踪页岩的物源要比其他方法更加准确。

Al 和 Ti 在搬运和风化过程中不易溶解,因此页岩中的  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  值可以表征源区 Al、Ti 的相对含量<sup>[29-30]</sup>。本研究 10 个样品的  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  值为 19.9~26.0,平均 22.2,说明其母岩可能为中性-长英质物源。

相对于基性岩,长英质岩石中的 La 和 Th 含量较高,而 Co、Sc 和 Cr 则含量相对偏低。由于这些元素在风化过程中相对稳定,其比值能指示物源的组成<sup>[17,26]</sup>。大陆上地壳的 La/Sc 值、Th/Sc 值、Th/Cr 值分别为 2.21、0.75、0.11,大陆中地壳的 La/Sc 值、Th/Sc 值和 Th/Cr 值分别为 1.26、0.34、0.09<sup>[29]</sup>,本研究样品中 La/Sc 值平均为 1.28, Th/Sc 值平均为 0.36, Th/Cr 值平均为 0.04,均介于上地壳与中地壳之间,指示了上地壳+中地壳的混合物源。Hf-La/Th 物源属性判别图解(图 8)显示,绝大多数样品落在长英质物源区,接近上地壳成分。

在指示沉积物源区的指标中,稀土元素对母岩

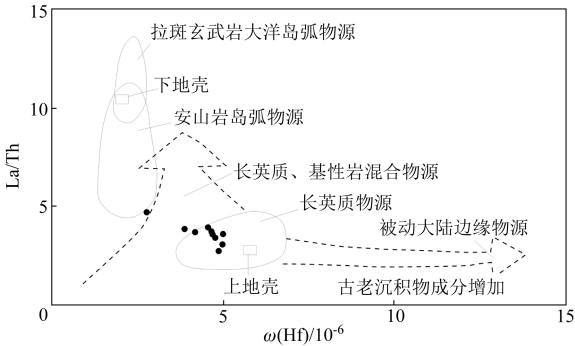


图 8 哈山 1 号探槽太勒古拉组黑色页岩 Hf-La/Th 物源属性判别图解<sup>[30]</sup>

Fig. 8 Hf-La/Th discrimination diagram for provenance attribute of Tailegula Formation black shales from No. 1 prospecting trench in Hala-alate Mountain<sup>[30]</sup>

有很好的继承性,在后期搬运成岩过程中不易发生改变,且易在细粒沉积物中富集,因此对于细粒沉积物(如泥岩、页岩)而言,稀土元素的配分模式是最可靠的指标之一<sup>[17,24]</sup>。源自上地壳的稀土元素具有轻稀土元素富集、重稀土元素含量稳定和负 Eu 异常等特征;源自中地壳的稀土元素具有轻稀土元素弱富集,重稀土元素相对增加和无 Eu 异常等特征。研究区所有页岩样品呈明显的负 Eu 异常,与上地壳特征一致。轻稀土元素含量较上地壳、中地壳、PAAS 更低,重稀土元素与三者基本持平,且更接近上地壳的稀土元素分配模式(表 3)。

表 3 哈山 1 号探槽太勒古拉组黑色页岩稀土元素球粒陨石标准化后与各推荐数值对比<sup>[5,27]</sup>

| Tab. 3 Comparison between recommended values and REE chondrite-normalized values for Tailegula Formation black shales from No. 1 prospecting trench in Hala-alate Mountain <sup>[5,27]</sup> |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--|
| 样品                                                                                                                                                                                           | La     | Ce    | Pr    | Nd    | Sm    | Eu    | Gd    | Tb    | Dy    | Ho    | Er    | Tm    | Yb    | Lu    | δCe  | δEu  |  |
| TC01-35                                                                                                                                                                                      | 59.35  | 47.77 | 42.38 | 30.17 | 23.23 | 16.19 | 17.64 | 15.32 | 12.95 | 12.67 | 12.57 | 13.27 | 12.01 | 12.73 | 0.95 | 0.80 |  |
| TC01-45                                                                                                                                                                                      | 54.19  | 45.92 | 39.75 | 28.83 | 22.21 | 17.14 | 16.80 | 14.26 | 12.70 | 13.09 | 14.05 | 13.89 | 13.97 | 13.98 | 0.99 | 0.89 |  |
| TC01-49                                                                                                                                                                                      | 67.10  | 55.94 | 48.28 | 36.00 | 27.13 | 18.50 | 20.97 | 17.66 | 14.94 | 14.35 | 14.57 | 14.81 | 15.31 | 15.84 | 0.98 | 0.78 |  |
| TC01-52                                                                                                                                                                                      | 59.35  | 47.90 | 40.82 | 29.33 | 23.54 | 16.87 | 16.91 | 16.38 | 13.63 | 13.93 | 14.62 | 13.89 | 14.21 | 13.04 | 0.97 | 0.85 |  |
| TC01-54                                                                                                                                                                                      | 66.13  | 54.58 | 45.82 | 32.83 | 25.38 | 16.46 | 17.80 | 16.38 | 13.91 | 13.23 | 13.95 | 12.96 | 13.49 | 12.42 | 0.99 | 0.77 |  |
| TC01-56                                                                                                                                                                                      | 65.81  | 52.23 | 44.43 | 33.00 | 25.95 | 17.01 | 19.38 | 17.02 | 13.51 | 14.07 | 13.62 | 13.58 | 14.02 | 13.35 | 0.97 | 0.76 |  |
| TC01-57                                                                                                                                                                                      | 67.74  | 52.35 | 44.10 | 32.50 | 24.26 | 16.46 | 16.56 | 15.11 | 12.58 | 12.53 | 12.33 | 12.04 | 13.64 | 12.73 | 0.96 | 0.82 |  |
| TC01-76                                                                                                                                                                                      | 66.45  | 53.22 | 44.34 | 32.67 | 24.21 | 19.46 | 17.41 | 14.89 | 12.76 | 13.09 | 12.86 | 13.27 | 12.97 | 12.42 | 0.98 | 0.95 |  |
| TC01-87                                                                                                                                                                                      | 54.19  | 45.42 | 39.10 | 28.67 | 21.54 | 14.01 | 16.95 | 13.40 | 12.52 | 11.70 | 12.19 | 12.65 | 11.82 | 12.11 | 0.99 | 0.73 |  |
| TC01-95                                                                                                                                                                                      | 43.23  | 34.16 | 29.10 | 21.33 | 16.36 | 10.34 | 13.13 | 11.06 | 9.50  | 9.05  | 9.33  | 8.95  | 9.09  | 8.07  | 0.96 | 0.71 |  |
| PAAS                                                                                                                                                                                         | 123.23 | 98.51 | 72.38 | 56.50 | 28.46 | 14.69 | 17.99 | 16.38 | 14.53 | 13.79 | 13.57 | 12.65 | 13.49 | 13.35 | 1.04 | 0.65 |  |
| 上地壳 <sup>[29]</sup>                                                                                                                                                                          | 100.00 | 77.97 | 58.20 | 45.00 | 24.10 | 13.61 | 15.44 | 14.89 | 12.11 | 11.56 | 10.95 | 9.26  | 9.38  | 9.63  | 1.02 | 0.71 |  |
| 中地壳 <sup>[29]</sup>                                                                                                                                                                          | 77.42  | 65.59 | 47.54 | 41.67 | 23.59 | 19.05 | 15.44 | 14.89 | 11.80 | 11.42 | 10.95 | 9.88  | 10.53 | 12.42 | 1.08 | 1.00 |  |

从样品球粒陨石标准化曲线(图6(a))看,与PAAS曲线(图6(b))相比,研究区太勒古拉组黑色页岩的轻稀土含量明显偏低,重稀土元素基本持平, $\delta\text{Ce}$ 、 $\delta\text{Eu}$ 的异常特征基本一致, $\delta\text{Eu}$ 值表现出明显的负异常,其曲线形态表现为从La到Eu的连续型斜坡下降,Gd到Lu呈直线延伸,太勒古拉组黑色页岩的 $\delta\text{Ce}$ 值为0.97,呈弱负异常, $\delta\text{Eu}$ 值为0.80,为明显的负异常,且表现出轻稀土轻微富集,重稀土相对亏损的特征,这是上地壳稀土元素的典型特征,表明其物源应该来自上地壳。

需要说明的是,地壳对页岩物源的贡献并不是直接供给,而是在页岩沉积之前,由火山活动或岩浆侵入形成基岩供给,这类基岩岩体主要源于上地壳,少量源于中地壳。在页岩沉积时期,这些基岩遭受剥蚀,成为研究区黑色页岩的主要供源岩,而上地壳和中地壳的贡献率主要受制于这些基岩的来源,即基岩组成中来自于上地壳和中地壳的比例。

## 6 结论

(1)上石炭统太勒古拉组主量元素结果指示了活动大陆边缘,微量元素和稀土元素结果指示了大陆岛弧,显示出较好的一致性,结合区域上广泛发育的沟弧盆体系,页岩沉积时或沉积前的构造环境为洋壳和陆壳俯冲背景,由此造成的频繁火山喷发为页岩沉积提供了良好的构造和物源条件。

(2)哈山地区太勒古拉组黑色页岩的母岩属于中酸性—长英质物源,大部分源自上地壳,少部分源于中地壳。物源区可能为北部的塔尔巴哈台—纳尔曼得早古生代沟弧带和谢米斯台—东泉晚古生代岛弧带。

## 参考文献(References):

[1] 于炳松,樊太亮.塔里木盆地寒武系—奥陶系泥质烃源岩发育的构造和沉积背景控制[J].现代地质,2008,22(4):534–540.  
Yu B S, Fan T L. Sedimentary – tectonic control on the development of muddy hydrocarbon source rocks of Cambrian – Ordovician from Tarim Basin[J]. Geoscience, 2008, 22(4): 534 – 540.  
[2] Dickinson W R, Suczek C A. Plate tectonics and sandstone compositions[J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(2): 2164 – 2182.  
[3] Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. The Journal of Geology, 1983, 91(6): 611 – 627.  
[4] Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sand-

stone – mudstone suites using  $\text{SiO}_2$  content and  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  ratio[J]. The Journal of Geology, 1986, 94(5): 635 – 650.  
[5] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. Oxford: Blackwell, 1985.  
[6] 龙建喜,周琦,张遂,等.黔东南松桃高地南华系铁丝垌组 and 两界河组碎屑组分及源区背景[J].中国地质调查,2024, 11(4): 42 – 49.  
Long J X, Zhou Q, Zhang S, et al. Detrital composition of Tiesiao Formation and Liangjiehe Formation of Nanhua System in Songtao Highland of the northeastern Guizhou Province and tectonic setting of its source regions[J]. Geological Survey of China, 2024, 11(4): 42 – 49.  
[7] 熊苗,邹光均,张晓阳,等.湘西北永顺地区志留系砂岩稀土元素地球化学特征及其地质意义[J].中国地质调查,2023, 10(3): 67 – 74.  
Xiong M, Zou G J, Zhang X Y, et al. REE geochemical characteristics and geological significance of Silurian sandstone in Yongshun area of Northwestern Hunan[J]. Geological Survey of China, 2023, 10(3): 67 – 74.  
[8] 马风华.哈山上石炭统太勒古拉组黑色页岩地球化学及有机质特征[J].新疆地质,2018,36(4):507–512.  
Ma F H. Geochemical and organic features of black shale in Tailegula Formation within upper carboniferous, Halaalate mountain[J]. Xinjiang Geology, 2018, 36(4): 507 – 512.  
[9] 马小平,雷国明,肖鸿.准噶尔盆地西北缘晚石炭统泥页岩地球化学特征及生烃潜力评价[J].西部探矿工程,2022, 34(6): 167 – 170, 173.  
Ma X P, Lei G M, Xiao H. Geochemical characteristics and hydrocarbon generation potential evaluation of late Carboniferous mud shale in the northwest margin of the Junggar Basin[J]. West – China Exploration Engineering, 2022, 34(6): 167 – 170, 173.  
[10] 梁斌,史美超,白洪海,等.新疆和什托洛盖盆地石炭系太勒古拉组泥页岩储层特征及含气性[J].新疆地质,2020, 38(2): 232 – 236.  
Liang B, Shi M C, Bai H H, et al. The reservoir feature and gas content of carbonaceous Tailugula Formation mud shale in Hoxtolgay Basin[J]. Xinjiang Geology, 2020, 38(2): 232 – 236.  
[11] 朱宝清,冯益民.新疆西准噶尔板块构造及演化[J].新疆地质,1994,12(2):91–105.  
Zhu B Q, Feng Y M. Plate tectonics and evolution in West Junggar of Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 1994, 12(2): 91 – 105.  
[12] 霍有光.西准噶尔的放射虫硅质岩[J].西北地质,1987(3): 15 – 21.  
Huo Y G. Radiolarian siliceous rocks in West Junggar[J]. Northwestern Geology, 1987(3): 15 – 21.  
[13] Chen J F, Han B F, Ji J Q, et al. Zircon U – Pb ages and tectonic implications of Paleozoic plutons in northern West Junggar, North Xinjiang, China[J]. Lithos, 2010, 115(1/2/3/4): 137 – 152.  
[14] 孟祥化.中国东部晚震旦—早寒武世含磷建造分析和聚磷沉积模式[J].沉积学报,1983,1(2):31–46.  
Meng X H. Analysis of phosphatic formation and sedimentary

- model of phosphatic accumulation of upper Sinian – lower cambrian system in china[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1983, 1(2): 31 – 46.
- [15] Li S H. Non – periodicity of base – level curve and a partial suggestion of standardization of sequence stratigraphy[C]//Proceedings of the International Workshop on Sequence Stratigraphy. Beijing: China University of Geosciences, 2011: 94 – 96.
- [16] 吉利明, 邱军利, 夏燕青, 等. 常见黏土矿物电镜扫描微孔隙特征与甲烷吸附性[J]. *石油学报*, 2012, 33(2): 249 – 256.
- Ji L M, Qiu J L, Xia Y Q, et al. Micro – pore characteristics and methane adsorption properties of common clay minerals by electron microscope scanning[J]. *Acta Petroli Sinica*, 2012, 33(2): 249 – 256.
- [17] Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1986, 92(2): 181 – 193.
- [18] 毛光周, 刘池洋. 地球化学在物源及沉积背景分析中的应用[J]. *地球科学与环境学报*, 2011, 33(4): 337 – 348.
- Mao G Z, Liu C Y. Application of geochemistry in provenance and depositional setting analysis[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2011, 33(4): 337 – 348.
- [19] 李双建, 王清晨. 库车坳陷第三系泥岩地球化学特征及其对构造背景和物源属性的指示[J]. *岩石矿物学杂志*, 2006, 25(3): 219 – 229.
- Li S J, Wang Q C. Geochemical characteristics of Tertiary mudstones in Kuqa depression and their implications to tectonic setting and provenance attribute[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2006, 25(3): 219 – 229.
- [20] 李娟, 于炳松, 郭峰. 黔北地区下寒武统底部黑色页岩沉积环境条件与源区构造背景分析[J]. *沉积学报*, 2013, 31(1): 20 – 31.
- Li J, Yu B S, Guo F. Depositional setting and tectonic background analysis on lower Cambrian black shales in the North of Guizhou Province[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2013, 31(1): 20 – 31.
- [21] Bhatia M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: provenance and tectonic control[J]. *Sedimentary Geology*, 1985, 45(1/2): 97 – 113.
- [22] 岳艳. 浅谈重矿物物源分析方法[J]. *科技情报开发与经济*, 2010, 20(12): 138 – 139, 146.
- Yue Y. Introduction of the provenance analysis of heavy mineral[J]. *Sci – Tech Information Development & Economy*, 2010, 20(12): 138 – 139, 146.
- [23] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 4 版. 北京: 石油工业出版社, 2008: 1 – 483.
- Zhu X M. *Sedimentary Petrology* [M]. 4th ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 1 – 483.
- [24] Cullers R L, Chaudhuri S, Arnold B, et al. Rare earth distributions in clay minerals and in the clay – sized fraction of the Lower Permian Havensville and Eskridge shales of Kansas and Oklahoma[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1975, 39(12): 1691 – 1703.
- [25] McCulloch M T, Wasserburg G J. Sm – Nd and Rb – Sr chronology of continental crust formation[J]. *Science*, 1978, 200(4345): 1003 – 1011.
- [26] Cullers R. Mineralogical and chemical changes of soil and stream sediment formed by intense weathering of the Danburg granite, Georgia, U. S. A. [J]. *Lithos*, 1988, 21(4): 301 – 314.
- [27] Schieber J. A combined petrographical – geochemical provenance study of the Newland Formation, Mid – Proterozoic of Montana[J]. *Geological Magazine*, 1992, 129(2): 223 – 237.
- [28] Paikaray S, Banerjee S, Mukherji S. Geochemistry of shales from the Paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan Supergroup: implications on provenance, tectonics and paleoweathering[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32(1): 34 – 48.
- [29] Rudnick R L, Gao S. Composition of the continental crust[J]. *Treatise on Geochemistry*, 2003, 3: 1 – 64.
- [30] Floyd P A, Leveridge B E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones[J]. *Journal of the Geological Society*, 1987, 144(4): 531 – 542.

## Tectonic setting and provenance analysis for Tailegula Formation black shales in Hala – alat Mountain of Xinjiang

SHU Xiangqing<sup>1,2</sup>, GAO Baolong<sup>1,2</sup>, YANG Yuzhen<sup>1,2</sup>, ZOU Xuan<sup>1,2</sup>, YUAN Xiong<sup>1,2</sup>, MIN Dan<sup>1,2</sup>

(1. Central South Geo – Exploration Institute, China Metallurgical Geology Bureau, Hubei Wuhan 430081, China; 2. Institute of Mineral Resources Research, China Metallurgical Geology Bureau, Beijing 101300, China)

**Abstract:** The tectonic framework in Hala – alat Mountain area of Xinjiang at the Late Carboniferous is island arc developed under trench – arc – basin system, and the Upper Carboniferous Tailegula Formation black shale is considered to be a product of deep – water deposition in the trench and forearc basin during the period of island arc effect being relatively weakened, but with a lack of geochemical evidence. Trench exploration and sampling analysis were conducted on the black shales of Tailegula Formation in the study area. The results show that the black

shale of Tailegula Formation in the study area is rich in MgO and Na<sub>2</sub>O, poor in TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CaO<sub>2</sub>, and moderate in SiO<sub>2</sub>. The large ion lithophile element is relatively poor, and light rare earth element is relatively rich. The heavy rare earth element is relatively loss, and the  $\delta\text{Eu}$  has negative anomaly, indicating similar distribution pattern with rare earth element in the upper crust. The tectonic setting of Tailegula Formation black shale in Hala – alate Mountain is mainly the continental island arc. The source rock belongs to intermediate to acid and felsic provenance, and it mainly originates from upper continental crust. The source region is probably Early Paleozoic trench – arc of Tarbagatay – Narmande and Late Paleozoic island arc of Xiemisitai – Dongquan in the north. This study could provide some references for the provenance analysis of the giant thick shales in Hala – alate Mountain area.

**Keywords:** Tailegula Formation; black shale; tectonic setting; provenance

(责任编辑: 魏昊明)