

中条山地区武系地球化学特征与沉积环境研究

康建威^{1,2,3}, 牟传龙^{2,3}, 周恳恳^{2,3}, 王启宇^{2,3}, 陈小炜^{2,3}, 梁薇^{2,3}, 葛祥英^{2,3}

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081;

3. 国土资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 四川 成都 610081)

摘要:华北地区沉积岩石特征表明:早寒武世辛集期主要为潮间-潮下带沉积,馒头期海平面相对稳定,毛庄期—张夏期大量的潮下鲕粒滩发育,中寒武世张夏期为寒武纪最大海侵期。随后海平面下降,晚寒武世主要表现潮坪相的白云岩沉积。通过地球化学分析表明:碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 多数为 $-1.23 \sim 0.34$, 总体上反映相对水体较浅的环境。早寒武世 $\delta^{13}\text{C}$ 为负值,中寒武世逐渐正漂移,晚寒武世又逐渐负偏,表明该地区寒武纪海平面经历了由浅变深再变浅的变化过程,最大海侵面时期为中寒武世张夏期,与岩石特征所反映的结果一致;低负值的 $\delta^{18}\text{O}$ 说明该区域均为较为局限的海域。LREE/HREE 值反映了轻稀土富集、重稀土亏损,与碳酸盐岩球粒陨石标准化后的稀土元素配分曲线一致; δEu 和 δCe 异常、La/Yb 值显示早寒武世和晚寒武世海平面均发生过几次明显波动,表明寒武纪碳酸盐岩沉积时期,沉积水体经历了几次氧化-还原环境变化。

关键词:中条山;寒武纪;稀土元素;碳、氧同位素;

中图分类号:P595

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2015)01-0037-10

Geochemical Characteristics and Sedimentary Environment of the Cambrian Carbonates in Zhongtiaoshan Area

KANG Jianwei^{1,2,3}, MOU Chuanlong^{2,3}, ZHOU Kenken^{2,3}, WANG Qiyu^{2,3},
CHEN Xiaowei^{2,3}, LIANG Wei^{2,3}, GE Xiangying^{2,3}

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China; 3. Key Laboratory of Sedimentary Basin and Oil-gas Resources, Ministry of Land and Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The characteristics of sedimentary lithology in north China reveals that intertidal-subtidal deposition dominated the Xinji period of early Cambrian; while sea level was relatively stable during the Mantou period, large amount of subtidal oolitic shoals began to develop in the Maozhuang-Zhangxia period; in the early-middle Cambrian, Zhangxia period experienced the maximum transgression of this era; then with the fall of sea level, the tidal-facies dolostones were deposited during the late Cambrian. To discuss the redox environment of Cambrian deposition in north China, the Cambrian carbonate samples in Zhongtiaoshan mountain area are systematically collected, and geochemically analyzed. The geochemical research indicates that most $\delta^{13}\text{C}$ isotope

收稿日期: 2014-01-15; 修回日期: 2014-09-29

基金项目: 国家重大科技专项“全国油气基础地质编图”(2008ZX05043-005), 中国地质调查局项目“中国岩相古地理编图”(1212010916060)

作者简介: 康建威(1980-), 男, 在读博士, 工程师, 从事沉积与油气地质工作。E-mail: best_kang@163.com

of these carbonates are between -1.23 and 0.34 and reflect the relative shallow sedimentary environment; the negative $\delta^{13}\text{C}$ isotope during early Cambrian is changed step by step into a positive value during the middle of Cambrian, and become negative again in the end of the era, which demonstrate that the Cambrian sea level in this area had undergone a transition from shallow to deep, and then from deep to shallow. The maximum transgression took place in the mid-Cambrian Zhangxia period, which is consistent with the implications from lithological characteristics. The lower negative $\delta^{18}\text{O}$ value shows that the Zhongtiaoshan area used to situate in relatively restricted waters. LREE/HREE ratios indicating enrichment of the light REE and deficiency of the heavy REE agrees with the Chondrite-normalized pattern. The δEu , δCe and La/Yb ratios suggest that the sea level during early and late Cambrian have both experienced several obvious fluctuations, which indicates that the redox environment of the sedimentary water body might occur repeatedly during the Cambrian carbonate deposition.

Keywords: Zhongtiaoshan Mountains; Cambrian; REE; carbon and oxygen isotope

中条山位于山西省西南部芮城县北部,因居太行山及华山之间,山势狭长,故名中条。中条山构造上属中条背斜,主要出露岩层有太古宇片麻岩、元古宇石英岩、白云岩及火山岩系;南坡有下古生界石灰岩(山西省区域地质志,1989)。

中条山地区位于华北克拉通西南缘,与豫西地区属于同一构造相区内(河南省区域地质志,1989)。前人在寒武纪地层系统、岩石学特征、沉积成岩相、古地理等领域的研究取得了大量成果,积累了丰富资料(冯增昭,1989,1990;刘波,1999;刘德正 2002;张文堂,1980),为开展碳酸盐岩稳定同位素地球化学研究奠定了坚实的岩石学基础。

关于中条山地区古生界碳酸盐岩微量元素和 C、O 稳定同位素的系统研究,鲜见公开报道。通过在 中条山寒武系露头地层区采集的 40 余块样品,选取其中样品 14 块进行稀土、C、O 同位素测试分析,目的是通过对中条山地区寒武系碳酸盐岩地球化学特征研究,探讨该地区寒武纪氧化-还原环境的垂向上变化规律,这对更好地揭示华北南缘寒武纪沉积演化有着重要的意义。

1 区域地质背景

中条山地区寒武系自下而上共分为辛集组、毛庄组、徐庄组、张夏组、固山组、长山组和凤山组。该区位于华北克拉通盆地的南缘,在寒武纪华北属于陆表海沉积背景下(图 1),该区经历了早寒武纪的

海侵-晚寒武纪的海退旋回,中条山地区位于华北克拉通盆地的南缘,更直接接受着来自秦岭洋方向的海侵-海退。通过对野外剖面的综合观测,该区主要沉积岩相特征如下。

辛集组:底部与罗圈组砂砾岩呈不整合接触,底部见厚 1.6 m 的灰黑色胶磷矿粘结砾岩;砾石成分主要有:白云岩、石英砂岩、泥岩等,分选较差,粒径约为 0.5~5 cm,磨圆较好,为次圆状,长轴方向顺层排列。该含磷砾岩沉积代表华北寒武系最初为海侵产物(图 2A)。该组下部为黄灰色中厚层砂质白云岩,局部可见含砾白云质砂岩。中上部为中-厚状灰质白云岩,顶部见灰黑色燧石条带。总体上,该组反映了该地区由滨岸到潮坪相沉积特征。

馒头组:与辛集组整合接触,底部见厚约 30 cm 的含砾砂岩;砾石主要成分为:白云石、石英岩。该组整体主要为潮坪相的暗紫红色薄板状钙质页岩与薄板状泥质灰岩呈现韵律互层沉积,见透镜状层理(图 2B)和脉状层理发育。

毛庄组:与馒头组整合接触,下部中层状泥质灰岩覆盖于馒头组钙质页岩之上。总体为中层状泥质灰岩,局部夹核型石灰岩、砂屑灰岩、鲕粒灰岩(图 2C)。主要为潮下浅滩沉积。

徐庄组:主要为厚层-块状鲕粒灰岩(图 2D)夹泥质灰岩,顶部见豆粒灰岩发育。从该组开始,预示着寒武纪开始进入大规模潮下滩相发育阶段。

张夏组:该组主要为厚层状砂屑鲕粒灰岩(图 2E),鲕粒类型可见单鲕、复鲕、偏心鲕等;粒径分选

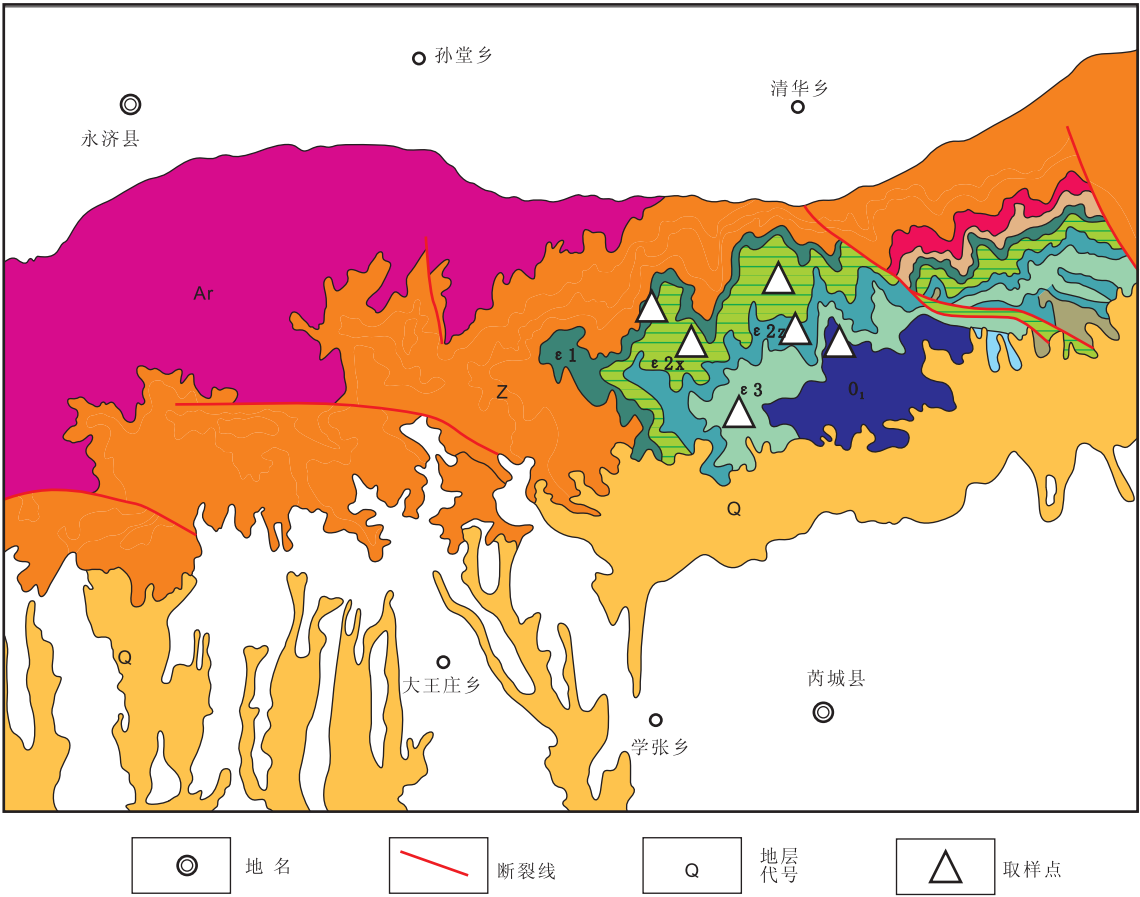


图 1 华北南缘芮城地区地质简图及取样点图

Fig. 1 Geological map of Ruicheng area in north Chinashowing sample locations

一般,同时可见含鲕粒泥质条带不规则分布;局部虫迹发育,可见水平、垂向多个方向发育;总体显示为潮间-潮下浅滩相发育特征。

固山凤山组:总体为厚层块状粉晶晶白云岩沉积、砂屑白云岩(图 2F),见不规则溶蚀孔发育,局部可以见岩溶角砾岩层;该组主要为瀉湖相沉积。与上覆奥陶系地层为整合接触。

2 采样及分析结果

通过选取芮城县水峪地区剖面分析研究,对不同层位进行了取样,共 14 件。在中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院分析实验中心进行测试分析。在高分辨等离子质谱仪(Element2)进行分析,检测方法:DZ/T0223-2001。在 MAT-253 质谱仪上测试 C、O 同位素组成。分析结果采用 PDB 标准,测试精度为 0.1‰。结果显示:碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 多数为 $-1.23 \sim +0.34$, 总体上反映相对水体较浅的

环境。早寒武世 $\delta^{13}\text{C}$ 为负值,中寒武世逐渐正漂移,晚寒武世又逐渐负偏。LREE/HREE 值反映了轻稀土富集、重稀土亏损,与碳酸盐岩球粒陨石标准化后的稀土元素配分曲线一致; δEu 和 δCe 异常、 La/Yb 值显示早寒武世和晚寒武世海平面均发生过几次明显波动。

3 分析及讨论

3.1 样品可靠性分析

一般比较古老的地层其 O、C 同位素值容易受到后期大气水参与的成岩作用影响。对于 O、C 同位素数值是否受到后期成岩作用的改造,一个方法是对其相关性进行分析。如果 O、C 同位素数值不具有明显的相关性(即离散)以及其对应地层曲线不具正相关性,则反映海相碳酸盐岩的 O、C 同位素组成基本没有受到大气水作用的影响(Qing et al., 1994; Veizer et al., 1999; 郭福生等, 2003, 2004; Guo et al., 2005)。

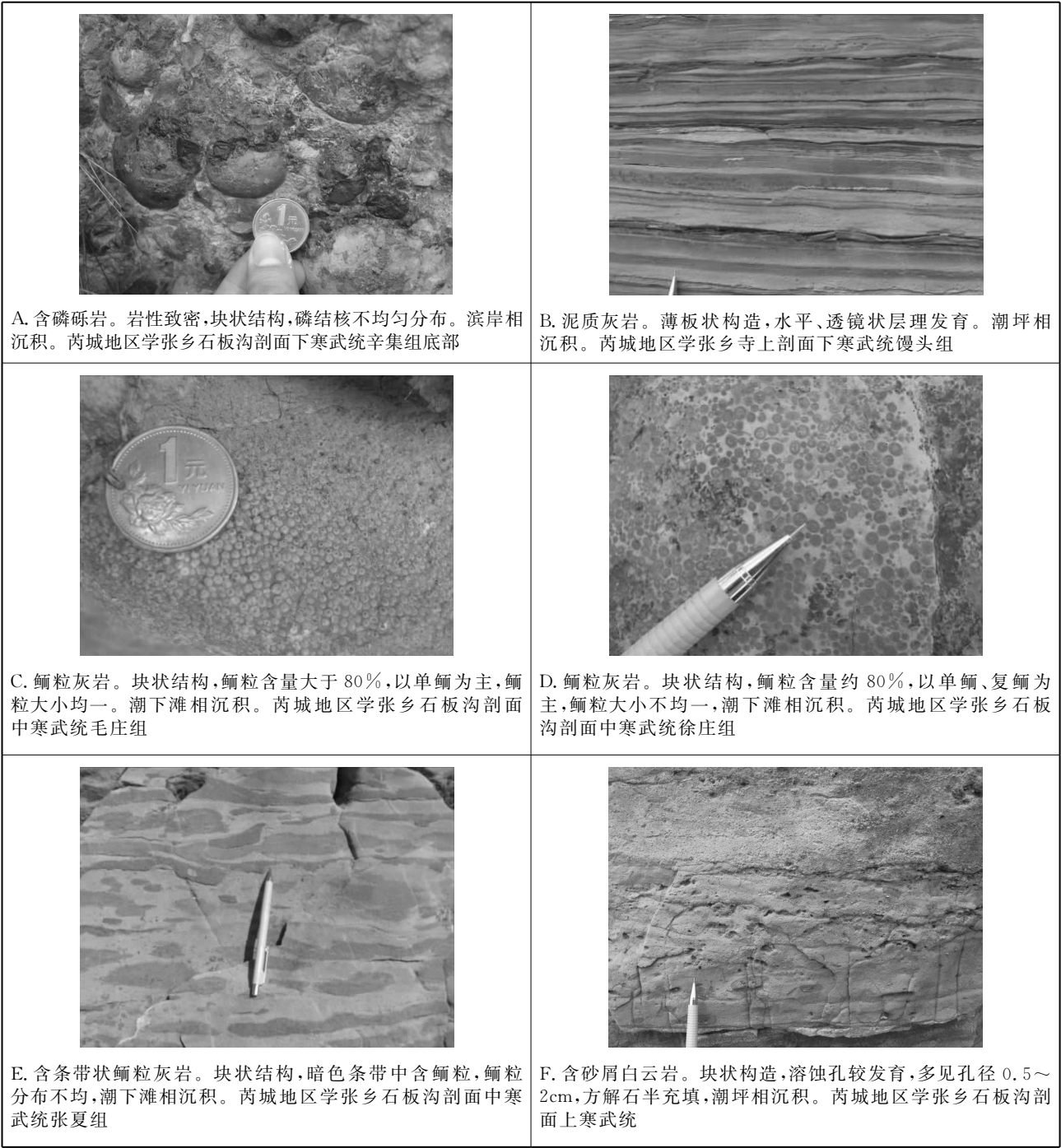


图 2 中条山地区寒武系沉积岩相特征图

Fig. 2 Cambrian Sedimentary facies characteristics of Zhongtiaao Mountains are

同时由于沉积期后特别是大气水循环的影响,碳酸盐岩易发生 Sr 的损失和 Mn 的加入。因此,常将 $(Mn / Sr) < 10$ 作为碳酸盐岩保留了原始同位素的判别标志 (Kaufman A J, 1997, 1995; 杨遵仪, 197; Veizer J, 1983; Derry L A, Keto L L, 1989;

Derry L A, Brasier M D, 1998)。一般情况下, $(Mn/ Sr) < 10$ (图 3)的碳酸盐岩未遭受强烈的蚀变,其同位素组成可以代表原始沉积记录, $(Mn/ Sr) < 2\sim 3$ 表示样品很好地保持了原始海水的同位素组成。当样品的 $(Sr/ Mn) > 2.0, Mn < 300 \times$

10^{-6} 时最完整地保存原始海水的同位素比值。本次 14 件样品的 Mn/Sr 值范围介于 1.01~2.5(图 3), O、C 同位素呈正相关(图 4), $\delta^{18}\text{O}$ 变化范围为 $-14.35 < \delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} < -5.88$, 多数为 $-9.51 \sim -7.44$ 。这些数据均表明该区碳酸盐岩未遭受强烈的蚀变和大气水作用的影响, 数据可用。

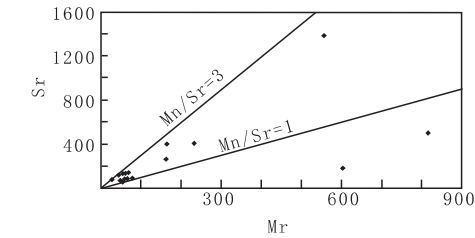


图 3 Mn/sr 值曲线图

Fig. 3 Graph Showing Characteristics of Mn/Sr

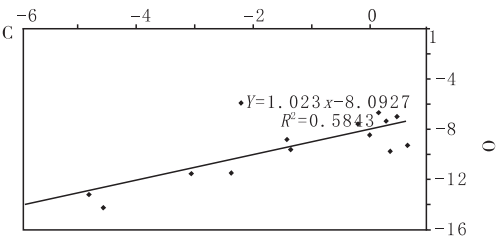


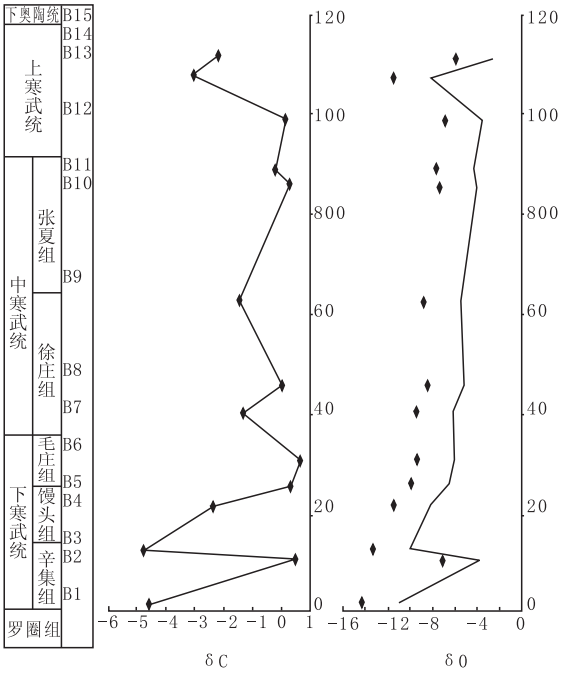
图 4 碳-氧同位素相关性曲线图

Fig. 4 Relationship between carbon-oxygen isotopes

3.2 O、C 同位素特征

碳酸盐岩中 C 同位素与生物繁盛有关, 常作为沉积水体生物产率的指标(Bosilika G, 1998; William D F, 1988)。这是因为自然界中碳库有 2 种存在状态, 即 ^{13}C 和 ^{12}C , 其中 ^{12}C 为主要组成部分, 并且多赋存于生物和大气水中。当生物死亡后, ^{12}C 随碳酸盐岩一起沉积下来, 沉积岩中 ^{12}C 含量增加, 导致 ^{13}C 含量减少, 引起碳酸盐岩 ^{13}C 负漂移; 随着生物逐渐复苏, 光合作用将更多地 ^{12}C 固结在生物体内, 随碳酸盐岩沉积的 ^{12}C 含量减少, ^{13}C 逐渐发生正向漂移。

中条山地区寒武系碳酸盐岩 C、O 同位素特征见表 1、图 5。表 1 中显示样品中 $\delta^{13}\text{C}$ 范围为: $-4.58 < \delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} < 0.66$, 多数为 $-1.23 \sim +0.34$, 平均值为 -1.23 。 $\delta^{18}\text{O}$ 范围为: $-14.35 < \delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} < -5.88$, 多数为 $-9.51 \sim -7.44$, 平均值为 -1.23 。图 5 中可以看出, 碳酸盐岩的 C、O 同位素曲线显示了正相关关系, 早寒武世和晚寒武世碳酸盐岩 C 同位素明显为负值, 而中寒武世 C 同位素发生正漂移, 整个寒武纪自下而上碳酸盐岩 C 同位素表现为



X 代表 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$, Y 代表样品位置

图 5 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 演化曲线图

Fig. 5 Variations of both $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values through geological time

负—正—负变化过程, 表明有机 C 产率由弱变强再变弱, 这与寒武系沉积水体变化有关(田景春, 19995; 沈渭洲, 1997), 即寒武纪发生了由深变浅再变深的海平面升降变化。

根据岩石地层 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线分析, 华北地区最大海侵面为张夏期, 与岩石地层分析结果一致。同时低负值的 $\delta^{18}\text{O}$ 说明该区域均为较为局限的海域。 $\delta^{13}\text{C}$ 多数为 $-1.23 \sim +0.34$ 更多的反映出相对水体较浅的环境。但是在中寒武世徐庄—张夏期明显进入了海平面相对稳定的阶段, 由于稳定的海平面对滩相发育有着比较好的条件, 所以在华北地区该期为典型的鲕粒滩相发育的阶段。

3.3 稀土元素特征

ΣREE (图 6) 具有随海水深度的增加而升高的特点(杨兴莲等, 2008), 因而 REE 总量的大小能够反应古海洋海水深度的大小。

碳酸盐岩中 ΣREE 变化范围为 4.8~75.32, 平均值为 25.04, 总体上处于正常碳酸盐岩 ΣREE 范围之内, 中寒武世和晚寒武世晚期出现了 ΣREE 波动, 超出了正常碳酸盐岩 ΣREE , 可能是由于样品为

表 1 稀土元素测定表
Tab.1 Detailed information of REE measurement

样品编号 及岩性	B15 泥质泥 晶白云 岩	B14 泥质泥 晶白云 岩	B13 粉晶白 云岩	B12 鲕粒白 云岩	B11 粉晶 灰岩	B10 砂屑 灰岩	B9 鲕粒 灰岩	B8 豆粒鲕 粒灰岩	B7 生屑 灰岩	B6 砂屑 灰岩	B5 鲕粒 灰岩	B4 泥晶 灰岩	B3 砂屑 灰岩	B2 白云质 灰岩	B1 白云质 灰岩
La	5.83	15	1.28	3.33	2.36	1.73	4.06	9.98	15.2	4.25	5.34	4.79	1.65	0.74	2.4
Ce	8.96	22.6	2.74	12.1	4.8	3.57	7.46	18.7	28.1	12.9	10.3	7.8	2.85	2.11	4.61
Pr	1.16	3.09	0.34	0.84	0.61	0.36	0.88	2.37	3.63	1.05	1.31	0.9	0.3	0.18	0.56
Nd	4.12	10.9	1.33	3.9	2.31	1.39	3.25	8.85	13.7	4.56	5.14	3.3	1.07	0.75	2.07
Sm	0.79	2.12	0.26	0.7	0.45	0.28	0.67	1.9	2.99	0.97	1.18	0.65	0.17	0.15	0.39
Eu	0.16	0.4	0.06	0.13	0.08	0.06	0.13	0.4	0.63	0.21	0.24	0.15	0.045	0.049	0.095
Gd	0.75	1.95	0.25	0.71	0.43	0.28	0.65	1.8	3.05	0.98	1.18	0.74	0.18	0.17	0.36
Tb	0.12	0.32	0.04	0.12	0.07	0.05	0.1	0.3	0.53	0.18	0.21	0.11	0.026	0.042	0.058
Dy	0.71	1.83	0.21	0.66	0.37	0.24	0.58	1.66	3.09	1.03	1.28	0.59	0.11	0.22	0.26
Ho	0.13	0.33	0.04	0.12	0.07	0.05	0.1	0.3	0.58	0.19	0.24	0.1	0.023	0.057	0.05
Er	0.44	1.04	0.12	0.54	0.22	0.16	0.33	0.87	1.7	0.68	0.72	0.31	0.071	0.15	0.15
Tm	0.07	0.16	0.02	0.06	0.03	0.03	0.05	0.13	0.27	0.089	0.11	0.043	0.014	0.036	0.025

注:本次测试由国土资源部西南矿产资源监督检测中心完成,采用高分辨等离子质谱仪(Element2)进行分析,检测方法:DZ/T0223-2001,单位含量为 $\times 10^{-6}$ 。C、O测试在中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院分析实验中心 MAT252 气体同位素质谱仪上进行,依据 SY/T 5238-2008,单位含量为‰。

泥质灰岩或泥灰岩。因为 Σ REE 含量与岩性有关,砂、泥岩 Σ REE 明显要高于碳酸盐岩。LREE/HREE 值反映了轻重稀土的分馏程度,与图 6 所显示的碳酸盐岩球粒陨石标准化后的稀土元素配分曲线一致,为向右倾斜的轻稀土富集曲线。

Ce 和 Eu 能够从微观方面反映一个地质体系内部的地球化学状态,它们是较为灵敏的参数,可以用来判定成岩物质的来源和沉积环境,是良好的地球化学示踪剂。尤其 Ce 异常值常被用来解释古海洋氧化-还原条件,现在已经被越来越多的人所重视(涂光炽等,1998;陈兰,2005;杨兴莲等,2008)。对于沉积物中的 Ce 来说,Ce 负异常现象($Ce<1$)主要是因为含金属氧化物沉淀时 Ce 发生亏损或者分馏,因此指示缺氧还原环境,而正 Ce 异常现象($Ce>1$)表明 Ce 富集,没有发生分馏,反映海水处于氧化环境中(陈兰,2005;杨兴莲等,2008)。综上分析可见,对于沉积物中的 Eu 和 Ce 来说,Eu 正异常($\delta Eu>$)而 Ce 负异常($\delta Ce<1$)反映海水处于缺氧还原环境,Eu 负异常(δEu

<1)而 Ce 正异常($\delta Ce>1$)反映海水处于氧化环境中。因此,Ce 和 Eu 值沿剖面自下而上的系统变化能够指示古沉积还原-氧化环境的变化过程,其中 $\delta Ce = 0.78$ 是划分氧化还原环境的参考界限值(Wright et al.,1987)。

中条山地区 Eu 和 Ce 异常与沉积时底层水体氧化-还原程度有关(Berry,1994)。中条山地区 Eu 和 Ce 异常见表 1、图 7,Eu 异常变化范围为 4.8~60.89,平均值为 25.04;Ce 异常介于 2.11~28.1,平均值为 9.97。总体上,图中反映出中条山地区寒武纪 Eu 和 Ce 异常逐渐减少,晚寒武世略微增大,但早寒武世(如样品 B2、B6)和晚寒武世(样品 B15)两者均发生过几次明显波动,这与图中稀土元素球粒陨石标准化配分模式结果显示一致,表明底层水体发生了氧化-还原环境的转变过程,这一结果也得到了对 C、O 同位素研究结果的验证。馒头组的紫红色页岩也显示为较强的氧化环境的沉积,而到晚寒武世白云岩的沉积更显示为氧化环境的沉积。

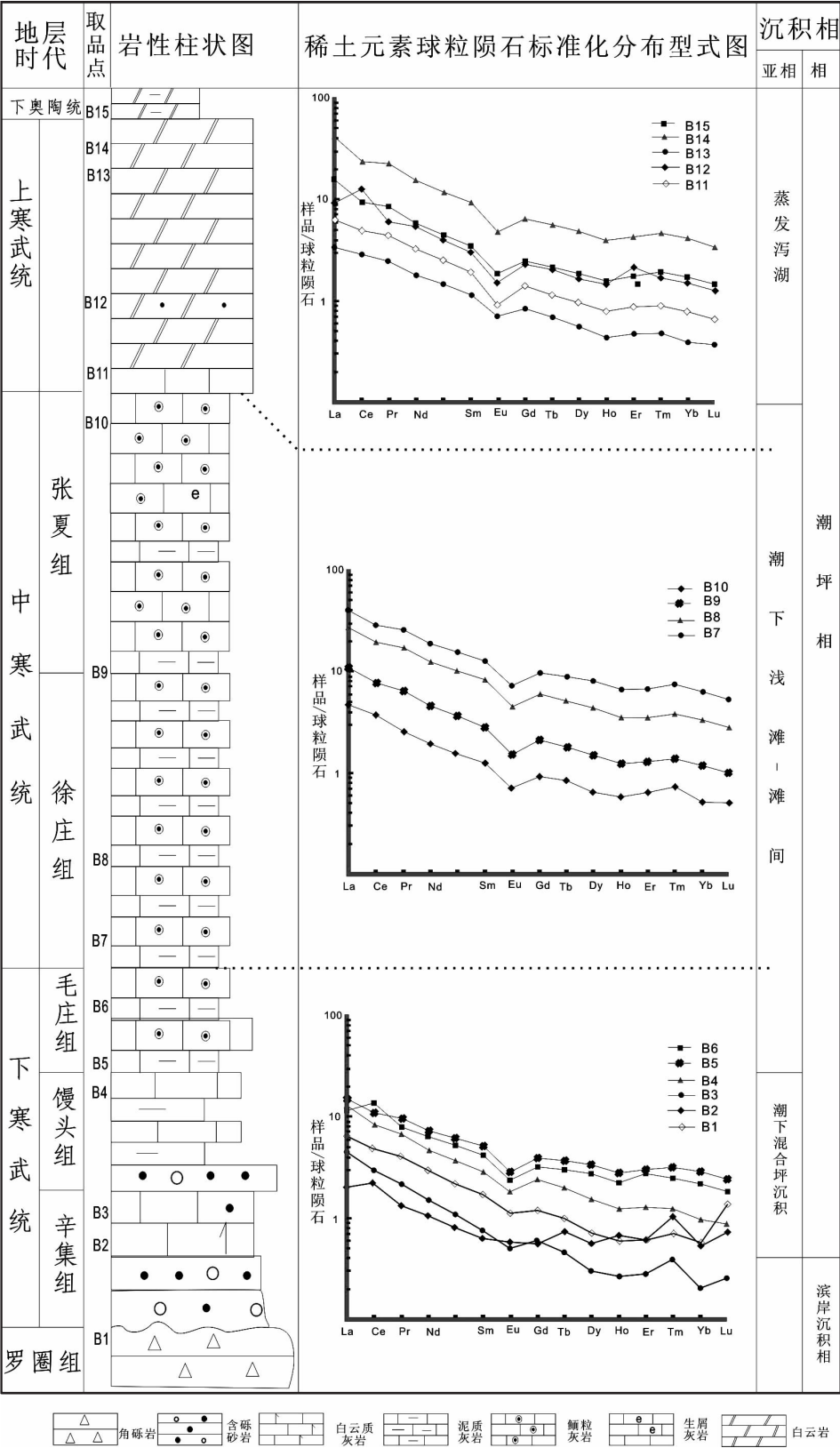


图 6 稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

Fig. 6 Sedimentary log and chondrite standardized distribution of REE

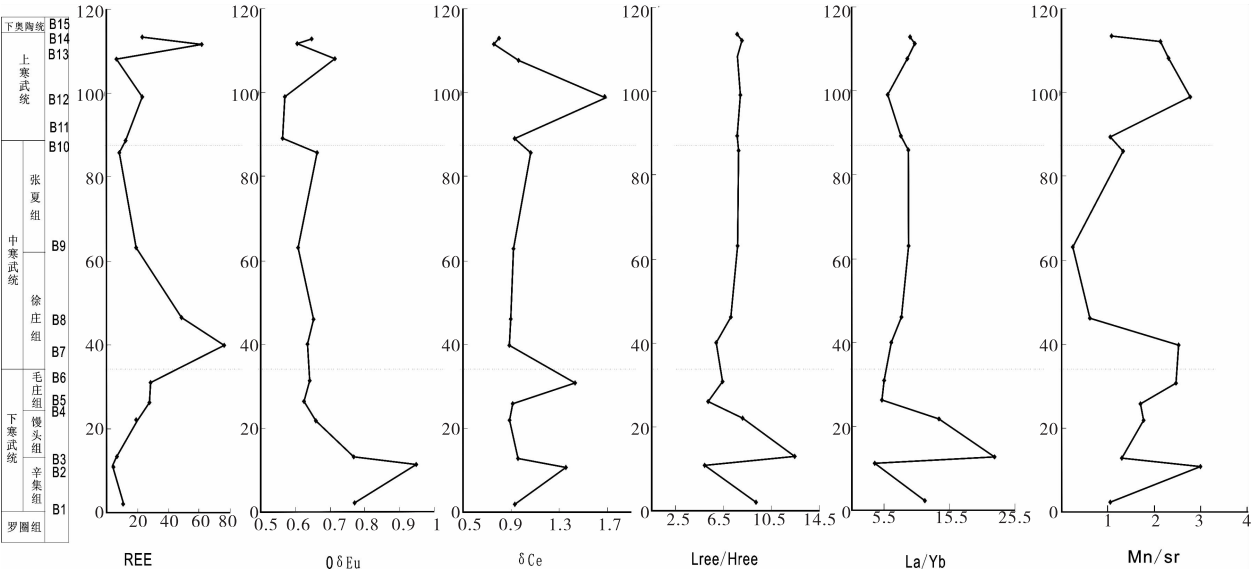


图 7 稀土元素剖面垂向变化趋势图

Fig. 7 Variations of REE through geological time

4 油气意义

在海平面最大的沉积背景下沉积的中统鲕粒滩相为华北地区典型特征,对该区域内样品研究表明,中寒武统主要为鲕粒灰岩沉积,白云石化不明显,多见残余粒间孔、粒内溶孔和粒间溶孔,面孔率为0.625%~12.75%,可作为重要的储集体。随着海平面的变浅上统粉晶白云岩接受了晚寒武世构造运动的影响,进而形成了原生空隙和后生岩溶空隙、裂缝多重叠加的高渗透、多空隙度特点(面孔率最高为16%,孔隙度最高为0.91%~9.32%。渗透率为 $0.2 \times 10^{-3} \sim 2.44 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。因此,可以作为有效储层来加以重视。

5 结论

(1)沉积特征表明,馒头期海平面的相对稳定,毛庄期—张夏期大量的潮下鲕粒滩发育,张夏期为最大海侵。随着海平面下降,晚寒武世主要表现潮坪相的白云岩沉积,表明寒武纪时期海平面经历了上升到下降的完整变化过程。

(2)碳酸盐岩球粒陨石标准化后的稀土元素

配分模式、LREE/HREE 值及 La/Yb 值均反映了轻稀土富集、重稀土亏损;早寒武世和晚寒武世 Eu 和 Ce 异常均发生过几次明显波动,表明底层水体发生了氧化-还原环境的转变过程。

(3)显示样品中 $\delta_{13}\text{C}$ 范围为: $-4.58 < \delta_{13}\text{C}_{\text{PDB}} < 0.66$,多数为 $-1.23 \sim 0.34$,平均值为 -1.23 。 $\delta_{18}\text{O}$ 范围为: $-14.35 < \delta_{18}\text{O}_{\text{PDB}} < -5.88$,多数为 $-9.51 \sim 7.44$,平均值为 -1.23 。显示寒武纪发生了由深—浅—深—浅的海平面多个旋回的升降变化。

(4)通过对中寒武统鲕粒灰岩和上统白云岩孔隙度特征研究表明,该段可做有效储层进行深入研究。

致谢: 特别感谢郑尚均、闫剑飞高级工程师对本次野外取样工作的指导,本文撰写过程中,熊国庆高级工程师对本文进行了倾心指导,在此表示感谢!

参考文献(References):

山西省地质矿产局. 山西省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1989. 21-55.
Bureau of geology exploration shanxi province. Regional geology of Shanxi Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 21-55.

- 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1989,1-80.
- Bureau of geology exploration henan province[M]. Beijing: Regional geology of henan Province, Geological Publishing House,1989,21-55.
- 冯增昭. 碳酸盐岩岩相古地理学[M]. 北京:石油工业出版社,1989,84-139.
- FENG Zengzao. Carbonate rock lithofacies paleogeography [M]. Beijing: Petroleum Industrial Publishing House, 1989,84-139.
- 冯增昭. 华北地台早古生代岩相古地理[M]. 北京:地质出版社,1990,75-81.
- FENG Zengzao. Early Paleozoic in north China platform lithofacies palaeogeography [M]. Beijing: Geological Publishing House,1990,75-81
- 刘波,钱祥麟,王英华,等. 华北板块早古生代构造-沉积演化[J]. 地质科学,1999,34(3):347-356.
- LIU Bo, QIAN Xianglin, WANG Yinghua, et al. Tectone-sedimentary evolution of north China plate in early Palaeozoic[J]. Scientia Geologica Sinica, 1999, 34(3): 347-356.
- 刘德正. 华北地层大区寒武纪早期地层统一划分与对比问题[J]. 安徽地质,2002,12(1):1-23
- LIU Dezheng. On Unified Division And Correlation Of the early Cambrian strata in the north china stratigraphic province[J]. Geology of Anhui, 2002,12(1):1-23.
- 郭福生,潘家永,刘林清,等. 浙江江山石炭—二叠系碳酸盐岩碳氧同位素特征研究[J]. 地球化学,2004,33(1):1-8.
- GUO Fusheng, PAN Jiayong, LIU Linqing, et al. Carbon and oxygen isotopic characteristics of carbonate rocks of carboniferous-permian in jiangshan, Zhejiang province [J]. Geochimica, 2004,33(1):1-8.
- 郭福生,彭花明,潘家永,等. 浙江江山寒武系碳酸盐岩碳氧同位素特征及其古环境意义探讨[J]. 地层学杂志,2003,27:289-297.
- GUO Fusheng, PENG Huaming, PAN Jiayong, et al. A probe into the carbon and oxygen isotopic characteristics of the Cambrian carbonate rocks in jiangshan, Zhejiang and its paleo-environment significance[J]. Journal of Stratigraphy, 2003, 27:289-297.
- 田景春,曾允孚. 贵州二叠纪海相碳酸盐岩碳、氧同位素地球化学演化规律[J]. 成都理工学院学报,1995,(1):78-82.
- TIAN Jingchun, ZENG Yunfu. The evolution pattern of the carbon and oxygen isotopes in the Permian marine carbonate Rocks[J]. Journal of Chengdu Institute of Technology, 1995,(1):78-82.
- 沈渭洲,方一亭,倪琦生,等. 中国东部寒武系与奥陶系界线地层的碳氧同位素研究[J]. 沉积学报,1997,15(4):38-47.
- SHEN Weizhou, FANG Yiting, NI Qisheng, et al. Carbon and Oxygen Isotopic Study across the Cambrian-Ordovician Boundary Strata in East China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(4):38-47.
- 杨兴莲,朱茂炎,赵元龙,等. 黔东震旦系-下寒武统黑色岩系稀土元素地球化学特征[J]. 地质论评,2008,54(1):3-15
- YANG Xinglian, ZHU Maoyan, ZHAO Yuanlong, et al. REE Geochemical Characteristics of the Ediacaran-Lower Cambrian Black Rock Series in Eastern Guizhou[J]. Geological Review, 2008,54(1):3-15.
- 杨瑞东,罗新荣,张传林,等. 新疆库鲁克塔格地区晚古元古代兴地塔格群沉积特征及其碳同位素研究[J]. 西北地质,2010,43(1):37-43
- YANG Ruidong, LUO Xinrong, ZHANG Chuanlin, et al. Sedimentation Characteristic and Carbon Isotope Composition in Late Paleoproterozoic Xingditage Group in Quruqtagh Region of Xinjiang, China [J]. Northwestern Geology, 2010,43(1):37-43.
- 涂光炽. 低温地球化学[M]. 北京:科学出版社,1998,1-267.
- TU Guangchi. Low temperature geochemical[M]. Beijing: Science Press, 1998,1-267.
- 陈兰,钟宏,胡瑞忠,等. 湘黔地区早寒武世黑色页岩有机碳同位素组成变化及其意义[J]. 矿物岩石,2006,26(1):83-85.
- CHEN Lan, ZHONG Hong, HU Ruizhong, et al. Composition of Organic Carbon isotope of early Cambrian black shale in the Xiang-qian Area and its significances[J]. Minerals and rocks, 2006,26(1):83-85.
- QING H, VEIZER J. Oxygen and carbon isotopic composition of Ordovician brachiopods: Implications for coeval seawater[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1994, 58(20):4429-4442.
- VEIZER J, ALA D, AZMY K. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater. Chemical Geology, 1999,161:59-88.
- KAUFMAN AJ, JACOBSEN S B, KNOLL A H. The vendian record of Sr and C isotopic variations in seawater, implications for tectonics and paleoclimate[M]. Earth and Planetary Science Letters, 1993, 120: 409-430.
- VEIZER J. Chemical diagenesis of carbonate rocks: theory

- and application of trace element technique. In: Arthur M A, Anderson T F, Kaplan I R, et al. Stable Isotopes in Sedimentary Geology. 1983, III/ 1 - III/ 100. short Course Notes 10, SEPM.
- KAUFMAN A J, KNOLL A H. Neoproterozoic variations in the C isotope composition of seawater: stratigraphic and geochemical implications [J]. Precambrian Res, 1995, 73: 27-49.
- KAUFMAN A J, KNOLL A H, NARBONNE G M. Isotopes, ice ages and terminal Proterozoic earth history [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1997, 95: 6600-6605.
- DERRY L A, KETO L L, JACOBSEN S, et al. Sr isotopic variations of Upper Proterozoic carbonates from East Greenland and Scotland [J]. Geochimica Cosmochimica Acta, 1989, 53: 2312-2339.
- DERRY L A, BRASIER M D, CORFIELD R M, et al. Sr and C isotopic in Lower Cambrian carbonates from the Siberian craton. A paleoenvironmental record during the Cambrian explosion [J]. Earth Planet. Sci. Lett. 1994, 128: 671-681.
- BOSILIK A G, KENNETH R W. Late Cambrian Positive Carbon Isotope Excursion in the Southern Appalachians: Relation to Biostratigraphy, Sequence Stratigraphy, Environments of Deposition and Diagenesis [J]. Journal of Sedimentary Research, 1998, 68 (6): 121-222.
- WILLIAM D F. Evidence for and against Sea Level Changes from the Stable Isotopic Record of the Cenozoic [J]. Soc Econ. Palaeontol, Mineral Spec Publ, 1988, 42: 312-316.
- HOGDAHL O T, MELSON S and BOWEN V T. Neutron activation analysis of lanthanide elements in seawater [J]. Advances in Chemistry, 1968, 73: 308-325.

《西北地质》喜获第三届陕西省优秀科技期刊奖

2014 年 11 月 20 日, 陕西省科技期刊编辑学会在西安召开了第三届陕西省科技期刊评优活动的评审会。《西北地质》荣获第三届陕西省优秀科技期刊奖, 并于 2015 年 1 月 27 日在陕西省科技期刊编辑学会成立三十周年庆祝大会暨 2014 年学术年会上进行表彰颁奖。

《西北地质》从 1990 年荣获了首届陕西省优秀科技期刊奖以后, 陆陆续续荣获了多项奖项, 在 2011 年又获第二届陕西省优秀科技期刊奖, 2014 年再获第三届陕西省优秀科技期刊奖。1990 年开始第一届期刊评优, 中间暂停期刊评优, 从 2011 年开始, 每两年举办一次。本次科技期刊奖评比采取学术质量和编辑出版质量综合评比的办法, 经过全体评委认真评议、打分, 产生了评比结果, 并在网上公示。

《西北地质》杂志自 1964 年创刊以来, 一直注重期刊学术质量。连续三届被评为陕西省优秀科技期刊, 是对《西北地质》近年来所取得成绩的肯定。

《西北地质》编辑部