

文章编号:1671-4814(2014)02-106-08

贺兰山中段震旦系盖帽白云岩的沉积特征、 区域对比及意义*

蔡雄飞¹, 何文键², 杨捷³, 吴丽云¹, 曾佐勋¹, 顾延生¹

(1 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 武汉 430074;

中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

(2 广东省河源市核工业地质局二九二大队, 河源 51700)

(3 长江水利委员会三峡勘测研究院有限公司, 武汉 430074)

摘要:2011 年, 作者在贺兰山中段腰坝配件厂地区进行 1:5 万区域地质调查时发现了震旦系盖帽白云岩, 进而研究了其沉积特征、碳氧同位素组成和时代, 并与该区紫花沟兔儿坑组白云岩、华南和华北地台南缘相应地层进行对比。结果表明, 盖帽白云岩为含陆源细碎屑白云岩, 与兔儿坑组白云岩相近; 其 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-4.7\text{‰} \sim -0.79\text{‰}$, 且自下而上呈下降趋势; 其时代与华南震旦系下、中部相当, 与华北地台南缘震旦系罗圈组的沉积特征和古地理环境相近; 与全球 Gaskiers 冰期有相关性。这对华北地台的古构造、古地理、古气候及动物演化“源头”的研究有重要意义。

关键词:盖帽白云岩; 沉积特征; 区域对比; 震旦系; 贺兰山; 华北地台

中图分类号:P534.31

文献标识码:A

2011 年, 中国地质大学(武汉)宁夏队在贺兰山中段腰坝配件厂地区进行 1:5 万区域地质调查时, 在震旦系上部发现了盖帽白云岩(图 1)。所谓盖帽白云岩, 主要指紧靠兔儿坑组之下, 由白云岩、白云质(少量石英质)砾岩和含砾白云岩组成的岩层(正目观组)。研究发现, 盖帽白云岩为冰水沉积和暖水沉积、流水改造与重力流沉积于一体, 是含陆源碎屑白云岩; 其中巨砾角砾岩是其一部分还是孤立地质体, 在空间上是否有拓展性? 这些问题是贺兰山震旦系基础地质重大问题之一, 也是不少地质学者关注和研究的热点。作者研究了盖帽白云岩的沉积特征、碳氧同位素组成及其时代, 与该区紫花沟兔儿坑组白云岩、华北地台南缘震旦系上统罗圈组相对比, 并探讨与全球 Caskiers 冰期的相关性。现将研究结果分述于下:

1 贺兰山震旦系研究概述

《宁夏地质志》(1999)将贺兰山震旦系下部定为

为正目观组(Zz), 上部为兔儿坑组(Zt)^[1]。

20 世纪 80~90 年代, 是正目观组研究的鼎盛时期, 很多研究者对正目观组进行了深入研究, 发表了有关“冰川”成因的研究成果^[2,3]。顾锡昌从角砾和胶结物两方面, 认为“砾岩与胶结物存在不可解释的矛盾”其胶结物应为海相泥晶沉积^[2]。郑昭昌从沉积学、古生物、古地磁、地球化学等进行了系统研究, 于 1987 年提交了“贺兰山区震旦纪正目观组”专题研究报告, 提出正目观组具有一些重力流沉积特征^[4]。2011 年郑昭昌与笔者交谈认为, 正目观组角砾岩具有流水改造和重力流的沉积特征, 是复杂成因的产物。

兔儿坑组是从正目观组上部划分出来新建立的地层单位, 岩性为单一的变质粉砂岩。2011 年, 南京地质古生物所朱茂炎认为, 兔儿坑组所含大量“蠕虫”类为“Shaanxilites”, 常出现于扬子区震旦系上统灯影组中、下部^[5]。据此认为, 贺兰山正目观组和兔儿坑组应归属为震旦系。

* 收稿日期:2013-07-30 改回日期:2013-08-13 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“水磨沟等 5 幅 1:5 万; 腰坝等 4 幅 1:5 万”(项目编号 1212011120552)资助。

第一作者简介:蔡雄飞, 1952 年生, 男, 研究员, 从事地层和沉积学研究。Email:caixiongfei1952@163.com。

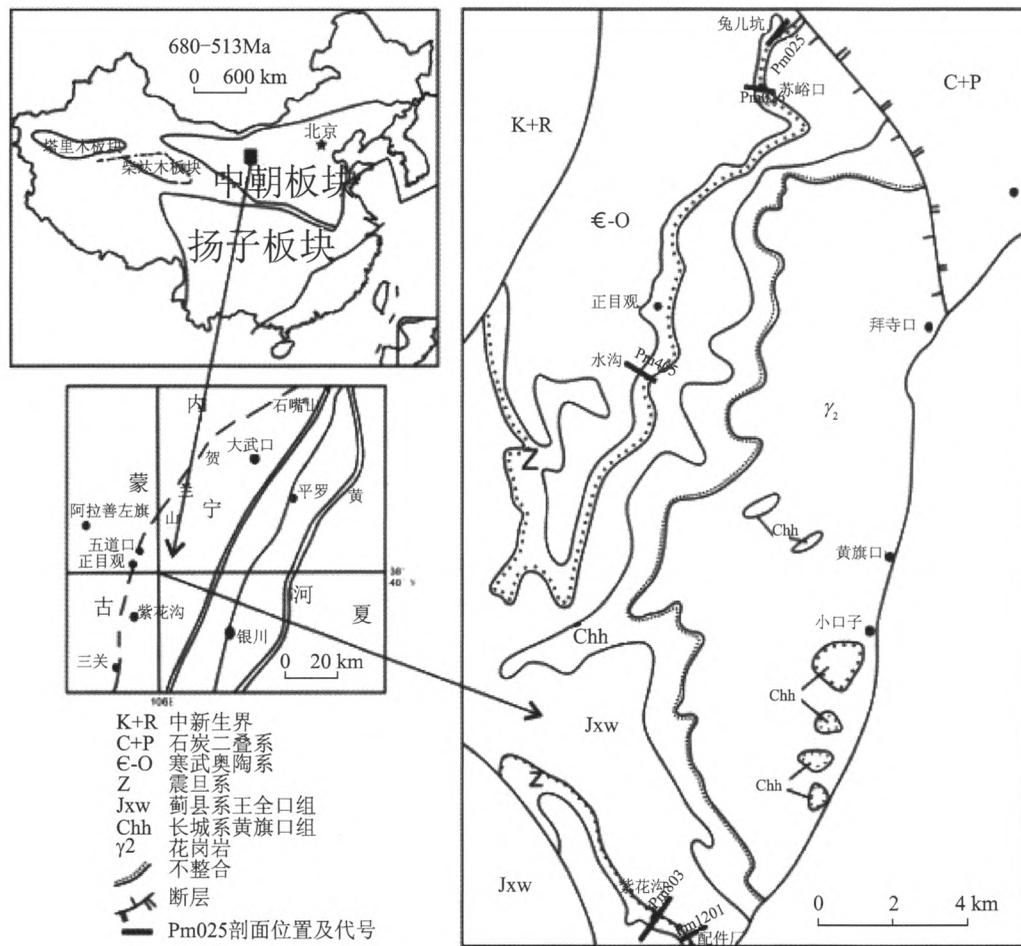


图 1 贺兰山震旦系分布和剖面位置图(据文献[4]修编)

Fig. 1 Geological map showing distribution of the Sinian in the Helan Mountain

贺兰山正目观组主要分布在北部冰沟、配件厂和紫花沟一带(图 1)。沉积类型可以划分为两类:一类与苏峪口地区正目观组沉积类型相同,以灰质角砾岩为主;另一类以配件厂为代表,下、中部为灰质角砾岩、砾质白云岩,上部为纹层状白云岩、块状白云岩。配件厂震旦系正目观组上部盖帽白云岩的发现,打破了正目观组为单一“冰川成因”的观点,而是由冰水和暖水、流水和重力流沉积形成的“角砾岩和蒸发岩共生”的复成因沉积的新类型^[5]。

2 配件厂盖帽白云岩剖面及年代

2.1 配件厂正目观组盖帽白云岩剖面

配件厂正目观组盖帽白云岩剖面(地理坐标: X:577675.00 Y:4255006.00 H:1460.00)(图 1)位于腰坝地区最南部的配件厂,出露较完整,顶、底齐全,地层序列连续。

兔儿坑组(Z₂t):

8. 灰色板劈理化变质粉砂岩。板劈理发育,与

层理面一致,粉砂岩呈微粒状。由灰、浅色相间组成的韵律层理,韵律宽 1~2 mm。其中产 Shaanxilites。

3.57 m

———整合———

正目观组(Zz): 总厚 11.14 m

7. 灰色厚层白云岩。单层厚<70 cm,呈致密块状,微晶结构。

1.17 m

6. 灰色厚层纹层状白云岩。单层厚 42 cm,内部纹层发育。

0.23 m

5. 灰色巨厚层-厚层白云质砾岩。单层厚 56~100 cm,砾石含量 20~30%,砾径 2~40 cm,砾石成分主要为白云岩,次为石英岩,呈次圆状-次棱角状。砾石长轴方向顺层理面排列,少数垂直层理面。东侧岩性变为灰色厚-中厚层纹层状白云岩。

3.62 m

4. 浅灰色薄-厚层含砾白云岩。单层厚 4~40 cm,砾石含量 3~5%,砾径 0.2~4 cm,以白云岩为主,次为石英岩,以次棱角状为主。呈微晶结构,浅、灰相间的韵律层理,韵律宽 0.7 cm。

2.72 m

3. 浅灰色巨厚层-厚层含砾白云岩。单层厚50~70 cm,砾石含量10%,砾径0.2~10 cm,砾石成分主要为白云岩,次为石英岩,以次棱角状为主。砾石内部可见类似王全口组的硅质条带状构造。

1.36 m

2. 浅灰色巨厚层白云质砾岩。单层1.4 m,砾石含量10%~20%,砾径0.2~25 cm,砾石成分为白云岩,次为石英岩,以次棱角状为主,从下向上,砾石由小变大。

2.04 m

~~~~~角度不整合~~~~~

王全口组(Chw):

1. 浅灰色厚层硅质条带状白云岩。 1.26 m

该剖面分为3个沉积序列(图2):下部由浅灰色巨厚层白云质砾岩与浅灰色薄-厚层含砾白云岩组成。白云质砾岩中可见中细砾→中粗砾→白云岩透镜体序列,砾石长轴具定向性;含砾白云岩中下部为纹层状白云岩,砾石含量急剧减少;其上为含砾白云岩,不具纹层状,二者组成较好的旋回,总体向上变薄变粗。组内发育反递变层理、纹层状构造及白云岩透镜体。白云岩透镜体反应沉积过程中流速较低(图2)。中部为灰色巨厚层-厚层白云质砾岩,砾石含量较高,约20%~30%,粒径0.2~40 cm,磨圆度为次圆-次棱角状,砾石长轴具定向性,顺层理面排列,少数垂直层理。砾石自下而上,由小变大,由大变小,再由小变大。单层砾石粒径变化:0~30 cm,砾石粒径0.2~14 cm;30~58 cm,砾石粒径7~40 cm;58~87 cm,砾石粒径0.2~5 cm;87~107 cm,砾石粒径2~20 cm。正、反递变层理发育显著。上部沉积序列由纹层状微晶质白云岩组成。上为灰色厚层白云岩,下段为灰色厚层纹层状白云岩,微晶白云岩含细粒石英砂,砂粒磨圆度以次棱角状为主,少数为次圆状。砂粒分选性稍差,大的粒径宽约0.13~0.15 mm,小的粒径约为0.03 mm。

下部沉积序列由白云质砾石和白云岩透镜体组

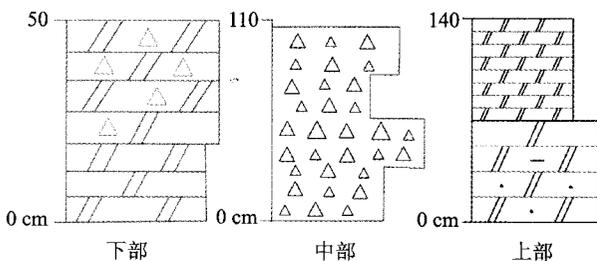


图2 配件厂地区正目观组沉积序列(注:50 cm, 110 cm,140 cm代表纵向厚度)

Fig.2 Sedimentary sequence of the Zhengmuguan Formation in the Peijianchang region

成,砾石具一定定向性,有重力流分选特征。向上重力流特征减弱,为含砾白云岩,表明小规模重力流被大量静水、低能流水沉积代替。中部沉积序列,砾石磨圆度较好,具正反递变层理,斜坡重力流沉积的特征,主要为“冰水”沉积。上部沉积序列为“盖帽碳酸盐”沉积,为温暖气候条件下低能且为静水的浅海相沉积。

正目观组角砾岩的少量砾石有压坑、刻痕、擦痕,以次棱角状为主,表明其应是冰川堆积。

2.2 配件厂盖帽白云岩碳氧同位素特征

正目观组的成因争议点是形成时的古气候条件。为此,项目组在研究配件厂盖帽白云岩剖面时,精挑了正目观组典型的46块碳酸盐标本,尤其在上部两套“盖帽白云岩”加大采样密度,对胶结物灰泥组分进行碳氧同位素组成测试(表1)。所有样品在中科院广州地球化学研究所的连续流-稳定同位素质谱仪(CF-IRMS)上完成。

配件厂盖帽白云岩剖面的 $\delta^{13}C$ 值变化范围为-4.72‰~-0.79‰,平均值为-2.71‰,自下向上总体呈下降趋势(图3,表1)。王全口组 $\delta^{13}C$ 值为-1.36‰,正目观组底部 $\delta^{13}C$ 值为-1.04‰,往上下下降到-1.10‰,第4层 $\delta^{13}C$ 值小幅度正向漂移达最大值-0.79‰,然后持续下降,至正目观组顶部 $\delta^{13}C$ 值达本剖面最低值-4.72‰(图3)。

配件厂盖帽白云岩剖面的 $\delta^{18}O$ 值变化范围为-10.91‰~-7.73‰,平均值为-9.45‰(图3,表1)。由下而上:王全口组 $\delta^{18}O$ 为-10.91‰,正目观组底部 $\delta^{18}O$ 值为-8.94‰,第4层正向漂移达剖面最大值-7.73‰。

在正目观组盖帽白云岩中(图4a-b段) $\delta^{13}C$ 值变化范围为-4.72‰~-1.77‰,有小幅震荡,但总体呈由底到顶逐渐降低趋势: $\delta^{13}C$ 值由第6层底部-1.94‰逐渐下降到第7层顶部的-4.67‰,第6层 $\delta^{13}C$ 平均值为-2.18‰,第7层 $\delta^{13}C$ 平均值为-3.94‰,下降趋势比较明显。盖帽白云岩中第6层 $\delta^{18}O$ 值(-10.77‰~-9.08‰)的震荡幅度较第7层大,第6层 $\delta^{18}O$ 平均值为-9.51‰,第7层 $\delta^{18}O$ 平均值为-9.45‰,两者较接近。

2.3 配件厂正目观组盖帽白云岩时代

正目观组无化石,但与其呈整合接触的上覆兔儿坑组变质粉砂岩中出现大量弯曲状“蠕虫”。在相变带的白云岩中也有“蠕虫”类,但远不如变质粉砂岩中“蠕虫”那样复杂,说明“蠕虫”形状的变化受环境影响,而与变质粉砂岩没有特定相关性。蠕虫

表 1 配件厂地区“盖帽白云岩”碳氧同位素组成  
Table 1  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  Isotopic compositions of the cap dolomite of the Peijianchang section region

| 时代  | 样品号       | 采样位置 <sup>b</sup> /m | 岩性    | $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$<br>(-VPDB) | $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$<br>(-VPDB) |
|-----|-----------|----------------------|-------|------------------------------------------|------------------------------------------|
| Jxw | 1201-1    | 1.26                 | 微晶灰岩  | -1.36                                    | -10.91                                   |
| Zz  | 1201-2    | 3.30                 | 微晶灰岩  | -1.04                                    | -8.94                                    |
| Zz  | 1201-3    | 4.66                 | 细晶灰岩  | -1.10                                    | -9.66                                    |
| Zz  | 1201-4    | 7.38                 | 细晶灰岩  | -0.79                                    | -7.73                                    |
| Zz  | 1201-5    | 11.00                | 微晶灰岩  | -1.85                                    | -8.27                                    |
| Zz  | 1201-6-1  | 11.04                | 纹层白云岩 | -1.94                                    | -10.15                                   |
| Zz  | 1201-6-2  | 11.08                | 纹层白云岩 | -1.88                                    | -10.77                                   |
| Zz  | 1201-6-4  | 11.12                | 纹层白云岩 | -2.01                                    | -9.31                                    |
| Zz  | 1201-6-5  | 11.16                | 纹层白云岩 | -1.77                                    | -8.24                                    |
| Zz  | 1201-6-6  | 11.20                | 纹层白云岩 | -2.11                                    | -9.15                                    |
| Zz  | 1201-6-7  | 11.24                | 纹层白云岩 | -1.87                                    | -8.95                                    |
| Zz  | 1201-6-8  | 11.28                | 纹层白云岩 | -2.07                                    | -9.14                                    |
| Zz  | 1201-6-9  | 11.32                | 纹层白云岩 | -2.16                                    | -9.25                                    |
| Zz  | 1201-6-10 | 11.36                | 纹层白云岩 | -2.06                                    | -9.42                                    |
| Zz  | 1201-6-11 | 11.40                | 纹层白云岩 | -2.07                                    | -9.26                                    |
| Zz  | 1201-6-12 | 11.44                | 纹层白云岩 | -2.10                                    | -10.01                                   |
| Zz  | 1201-6-13 | 11.48                | 纹层白云岩 | -2.26                                    | -9.62                                    |
| Zz  | 1201-6-14 | 11.52                | 纹层白云岩 | -2.08                                    | -8.76                                    |
| Zz  | 1201-6-15 | 11.56                | 纹层白云岩 | -2.38                                    | -9.18                                    |
| Zz  | 1201-6-16 | 11.60                | 纹层白云岩 | -2.39                                    | -9.83                                    |
| Zz  | 1201-6-17 | 11.64                | 纹层白云岩 | -2.31                                    | -9.18                                    |
| Zz  | 1201-6-18 | 11.68                | 纹层白云岩 | -2.36                                    | -9.60                                    |
| Zz  | 1201-6-19 | 11.72                | 纹层白云岩 | -2.28                                    | -9.80                                    |
| Zz  | 1201-6-20 | 11.76                | 纹层白云岩 | -2.55                                    | -9.55                                    |
| Zz  | 1201-6-21 | 11.80                | 纹层白云岩 | -2.31                                    | -9.80                                    |
| Zz  | 1201-6-22 | 11.84                | 纹层白云岩 | -2.44                                    | -10.33                                   |
| Zz  | 1201-6-23 | 11.88                | 纹层白云岩 | -2.37                                    | -9.99                                    |
| Zz  | 1201-6-24 | 11.92                | 纹层白云岩 | -2.31                                    | -9.92                                    |
| Zz  | 1201-6-25 | 11.96                | 纹层白云岩 | -2.40                                    | -9.21                                    |
| Zz  | 1201-7-1  | 12.00                | 厚层白云岩 | -2.83                                    | -9.80                                    |
| Zz  | 1201-7-2  | 12.04                | 厚层白云岩 | -2.83                                    | -9.41                                    |
| Zz  | 1201-7-3  | 12.08                | 厚层白云岩 | -3.29                                    | -9.26                                    |
| Zz  | 1201-7-4  | 12.12                | 厚层白云岩 | -3.27                                    | -9.29                                    |
| Zz  | 1201-7-5  | 12.16                | 厚层白云岩 | -3.43                                    | -9.87                                    |
| Zz  | 1201-7-6  | 12.20                | 厚层白云岩 | -3.67                                    | -9.20                                    |
| Zz  | 1201-7-7  | 12.24                | 厚层白云岩 | -3.78                                    | -9.63                                    |
| Zz  | 1201-7-8  | 12.28                | 厚层白云岩 | -3.70                                    | -9.08                                    |
| Zz  | 1201-7-9  | 12.32                | 厚层白云岩 | -3.84                                    | -9.19                                    |
| Zz  | 1201-7-10 | 12.36                | 厚层白云岩 | -4.51                                    | -9.56                                    |
| Zz  | 1201-7-11 | 12.40                | 厚层白云岩 | -4.58                                    | -9.59                                    |
| Zz  | 1201-7-12 | 12.44                | 厚层白云岩 | -4.62                                    | -9.30                                    |
| Zz  | 1201-7-13 | 12.48                | 厚层白云岩 | -4.71                                    | -9.94                                    |
| Zz  | 1201-7-14 | 12.52                | 厚层白云岩 | -4.65                                    | -9.44                                    |
| Zz  | 1201-7-15 | 12.56                | 厚层白云岩 | -4.72                                    | -9.52                                    |
| Zz  | 1201-7-16 | 12.60                | 厚层白云岩 | -4.67                                    | -9.11                                    |

测试单位:中科院广州地球化学研究所

经南京地质古生物研究所朱茂炎鉴定认为,兔儿坑组所含“蠕虫”类属于“*Shaanxilites*”,在扬子地台震旦系统灯影组中下部常见到此化石<sup>[5]</sup>。

该区兔儿坑组变质粉砂岩中的 *Shaanxilites* 呈长带状(图 4),宽约 1~6 mm、长 25~65 mm,表面具密集排列的横向脊纹,其共同特点为:完整的个体,一般呈长带状,不分枝,在层面上分布,粗细不均,边缘不平整,虽有粗细变化,但横纹常呈同心状分布,类似叠层状构造。个体间可相互叠覆,但无明显穿插,化石为异地埋藏(明显的破碎及搬运迹象)或近地堆积(保存相对完整,个体边缘无明显磨蚀现象),不同大小的碎片共同叠覆形成厚达数十厘米的生物层。可见,该区兔儿坑组变质粉砂岩中的 *Shaanxilites* 与遗迹化石有较大差别,基本可排除其为遗迹化石的可能。其最早在陕南震旦系灯影组高家山段中发现,被当作蠕形动物实体化石,并与俄罗斯文德系中的 *Sabellidites* 进行比较。

根据兔儿坑组产“蠕虫”化石(*Shaanxilites*),其时代相当于扬子地台震旦系上统灯影组中、下部。兔儿坑组与紧靠其下的盖帽白云岩(正目观组)呈整合接触,后者紧覆前者之下且连续沉积;盖帽白云岩与区域灯影组岩性相同,同为白云岩。据此表明,紧靠兔儿坑组之下的盖帽白云岩(正目观组)时代应为震旦系中、下部,相当于华北地台南缘震旦系下、中部罗圈组,这就为华北地台盖帽白云岩时代、寒武纪至震旦纪生物演化的连续性和“源头”追溯提供了重要时代依据。

### 3 区域对比

#### 3.1 区内对比

根据盖帽白云岩的沉积、碳氧同位素组成及上部兔儿坑组含“蠕虫”类化石等特征,与配件厂西北 2~3 km 处的紫花沟剖面进行对比。紫花沟剖面也出现一套角砾岩与白云岩共生类型剖面。下部为角砾岩,上部为含细碎屑白云岩(地理坐标: X: 577544.00 Y: 4266748.00 H: 1941.00)(图 1)。由上而下为:

苏峪口组( $\epsilon_2s$ ):

6. 灰色、灰绿色薄-中厚层细、粉砂岩。层面可见长 5~6 cm、直径<1 cm 的蠕虫。

——平行不整合——

兔儿坑组(Zt): 总厚 8.4 m

5. 灰色厚-中厚层含生物碎屑及粉砂质白云岩。单层厚 20~40 cm,岩性不均一,层面上可见密集的浅色小虫管。小虫管大小(1~2 cm)×(1~2 mm),

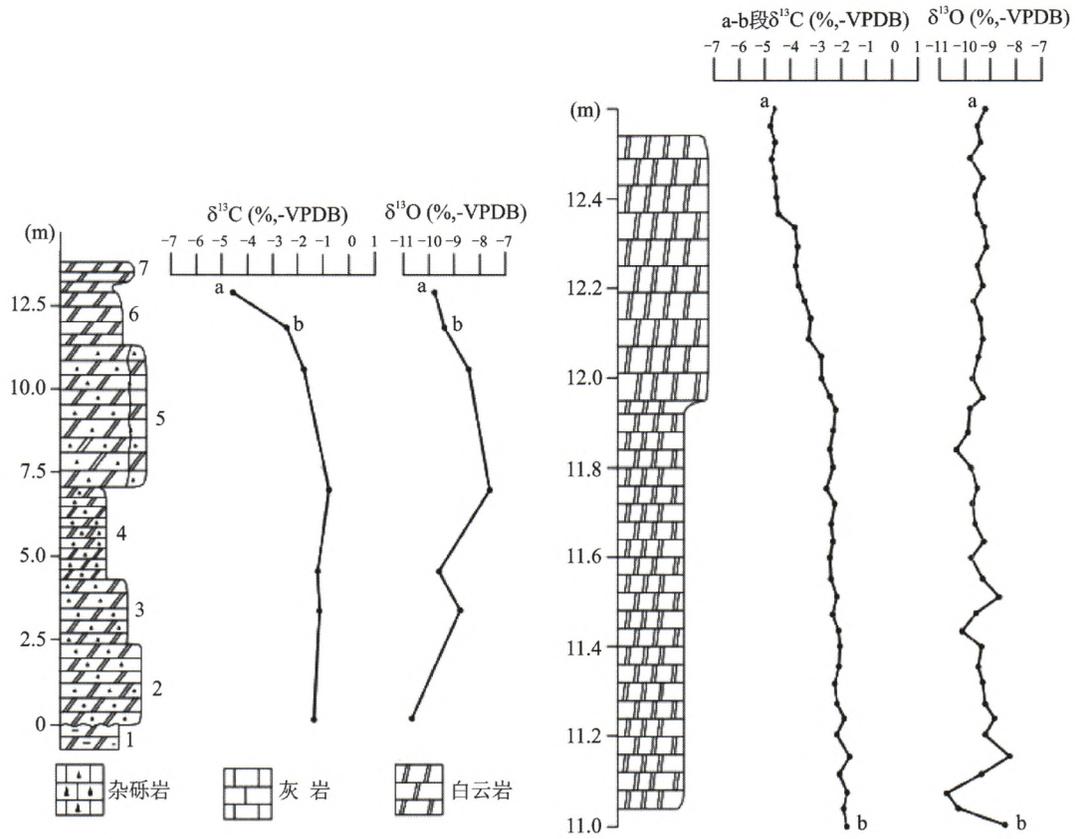


图3 配件厂地区剖面白云岩自底至顶碳氧同位素值变化趋势图

Fig. 3 Diagrams showing variation trends of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  from bottom to top for the dolomites in the section of the Peijianchang region

呈直线状或弯曲状, 杂乱分布。 2 m  
 4. 紫色块状细砂质-微晶白云岩。单层厚 2 m,



图4 兔儿坑组“蠕虫”类的 *Shaanxilites* (浅色弯曲状)  
 Fig. 4 *Shaanxilites* of “worm” category from the Tuerken Formation

岩性均一。 2.1 m  
 3. 灰白色中-厚层含粉砂细晶白云岩。单层厚 10~28 cm, 岩性均一, 内部可见不清晰纹理。 1.8 m  
 2. 紫色中-厚层泥质白云岩。单层厚 12~60 cm, 肉眼可见颗粒状。该层底部界面呈波状起伏。 2.5 m

— 整合 —

正目观组 (Zz):

1. 厚层白云质角砾岩

紫花沟剖面以紫红色不纯白云岩为特征 (表 2), 由底部含泥质往上变为含石英质的粗、细粉砂质白云岩, 含量由多变少, 反映沉积环境由滨岸向浅水演化。其上部出现含“蠕虫”类化石及生物碎屑, 与配件厂不纯白云岩基本一致。虽然其时代现暂称为兔儿坑组, 但实际与紫花沟正目观组是不可分的紧密下、上层关系。因此, 配件厂不纯白云岩可与之对比, 为贺兰山正目观组“盖帽白云岩”发现的第 2 个地区。

紫花沟不纯白云岩碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  值为

-1.51%~-0.77%,出现了负偏,且自下而上降低(表 3),与配件厂盖帽白云岩下部的纹层状白云岩负偏值基本相似,但未达到配件厂盖帽白云岩上部厚层白云岩负偏值。

表 2 紫花沟地区兔儿坑组白云岩矿物成分变化特征(%)<sup>[9]</sup>

| 样品      | 成分 |         |     |     |
|---------|----|---------|-----|-----|
|         | 泥质 | 石英粗、细粉砂 | 黄铁矿 | 白云石 |
| 803-5-1 |    | 7       |     | 93  |
| 803-4-1 |    | 4       | 2   | 94  |
| 803-3-1 |    | 4       |     | 96  |
| 803-2-1 | 18 |         |     | 88  |

表 3 紫花沟地区兔儿坑组白云岩剖面同位素组成

Table 3  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  isotopic compositions of dolomites from the Tuerken Formation in the section of the Zihuagou region

| 样品号   | 采样位置 <sup>b</sup> /m | 岩性    | $\delta^{13}\text{C}\%$<br>(-VPDB) | $\delta^{18}\text{O}\%$<br>(-VPDB) |
|-------|----------------------|-------|------------------------------------|------------------------------------|
| 803-4 | 6.4                  | 细砂白云岩 | -0.77                              | -8.65                              |
| 803-5 | 8.4                  | 粉砂白云岩 | -1.26                              | -9.07                              |
| 803-6 | 9.8                  | 泥质白云岩 | -1.51                              | -10.49                             |

测试单位:中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室

### 3.2 与华北地台对比

震旦系广泛分布于华北地块南缘,西延至青海省、新疆维吾尔自治区境内。它产在含小壳化石的下寒武统之下,河南豫西地区称之为“罗圈组”。豫西地区罗圈组之上的东坡组为一套灰绿、紫红色粉砂质页岩、页岩夹少量海绿石砂岩<sup>[9]</sup>。下部以粉砂质页岩为主,与罗圈组整合过渡;上部页岩消失,与寒武系辛集组含磷砂岩平行不整合接触。该组岩性较稳定,厚度变化不大,局部变为白云岩透镜体及白云质粉砂岩、砂岩。除山西省永济县水幽、河南省宜阳、偃师、登封一带缺失沉积之外,其他地区一般厚 40~140m,与宁夏贺兰山兔儿坑组岩性、层位、沉积特征几乎一样。值得注意的是,配件厂盖帽白云岩的  $\delta^{13}\text{C}$  值与东坡组的  $\delta^{13}\text{C}$  值<sup>[10]</sup> 非常接近,且都以负值为主,反映它们都是间冰期的沉积产物。

### 3.3 与全球 Gaskiers 冰期对比

在新元古代地层对比中,综合了纳米比亚、阿曼、澳大利亚、加拿大、挪威等地的资料,认为在埃迪卡拉纪地层中共发育 3 次显著的  $\delta^{13}\text{C}$  负漂移:第一次  $\delta^{13}\text{C}$  负漂移发生在 Marinoan 冰期之后;第二次  $\delta^{13}\text{C}$  负漂移发生在 Gasikers 冰期之后;第三次  $\delta^{13}\text{C}$

负漂移发生在埃迪卡拉系与寒武系交界之处<sup>[11-12]</sup>。典型的 Gasikers 冰期沉积发育在纽芬兰东部、挪威北部、阿曼南部等地。Gasikers 冰期是新元古代发生的一次区域性冰川沉积,这次冰期对全球气候变化和生物演化具有重要影响。

根据野外地层特征与区域对比分析,我们认为,贺兰山地区出露的冰川沉积可能记录了 Gaskiers 冰期在华北板块南部及西部的一次沉积。由于全球性的 Gasikers 冰期对比比较困难,因此在研究中一般通过碳氧同位素资料限定 Gasikers 冰期的时限。徐备等(2002)<sup>[13]</sup> 测得汉克尔乔克组的大部分  $\delta^{13}\text{C}$  值范围在 -3.7‰~-0.5‰;张同刚等(2003)<sup>[14]</sup> 在三峡地区测得陡山沱组的陡三段顶部与陡四段的  $\delta^{13}\text{C}$  值在 -3.2‰~-4.6‰;Akihiro 等<sup>[15]</sup> 测得湖南东北部王昌剖面陡山沱组顶部 580Ma~550Ma 年龄段的  $\delta^{13}\text{C}$  值大部分在 -2.3‰~-5.5‰<sup>[13]</sup>;Jiang 等(2003)<sup>[16]</sup> 测得陡山沱组上部介于 595 Ma~585 Ma 之间的  $\delta^{13}\text{C}$  值大部分在 -5.3‰~-0.2‰之间;Zhou et al(2007)<sup>[17]</sup> 在贵州瓮安测得陡山沱组  $\delta^{13}\text{C}$  值变化范围为 -3‰~-2.6‰;张良等(2008)<sup>[10]</sup> 在河南汝州、鲁山一带震旦系白云岩测得的  $\delta^{13}\text{C}$  值为 -4.97‰~-0.95‰。将本文测试的配件厂正目观组  $\delta^{13}\text{C}$  值与以上报道过的 Gaskiers 冰期  $\delta^{13}\text{C}$  值进行投图对比(图 5)发现:这些数据与本文配件厂正目观组测得的  $\delta^{13}\text{C}$  值相近,在图 5 中的投点分布位置也相似。

此外,国外也发现一些区域性 Gasikers 冰川沉积。Prave 等<sup>[18]</sup> 对苏格兰和爱尔兰地区的新元古代 Aalradian 群进行地球化学分析,分别研究了(800 Ma,635 Ma 和 600~551 Ma)与环境变化有关的沉积事件,其中 582Ma 的 Gaskiers 冰川沉积物的  $\delta^{13}\text{C}$  值为 -2.9‰~-0.5‰;阿曼南部 Nafun 群 Huqf 亚群 Sharan 顶部火山岩中锆石 U-Pb 年龄为  $574\pm 5$  Ma,Guerrou L E(2007)<sup>[19]</sup> 在 Huqf 亚群测试  $\delta^{13}\text{C}$  值,大部分数据集中在 -4.16‰~0.71‰之间,其分布规律与配件厂盖帽白云岩剖面测得的数据一致。乌拉圭 Polanco Limestones 组是研究程度较高的埃迪卡拉冰川沉积<sup>[20-22]</sup>,结果表明其年龄介于 590~560Ma,与 Gaskiers 冰期时间一致,而 Nattlie 等<sup>[23]</sup> 在该地区进行研究表明,其白云岩  $\delta^{13}\text{C}$  值为 -2.7‰~0.2‰,灰岩  $\delta^{13}\text{C}$  值位于 -3.1‰~-0.4‰,二者与配件厂盖帽白云岩剖面的  $\delta^{13}\text{C}$  值吻合(图 5)。以上证据表明,配件厂盖帽白云岩与 Gaskiers 冰期具紧密的相关性。

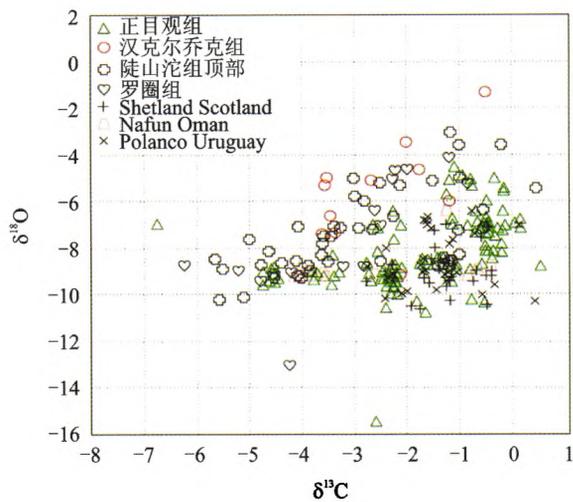


图5 研究区正目观组与全球同期地层碳-氧同位素分布对比图

Fig. 5 Diagram showing  $\delta^{13}\text{C}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  distribution patterns of dolomites from the Sinian zhengmuguan Formation in the studied area in comparison with those from the global contemporaneous strata. 正目观组数据为本文实测数据;汉克尔乔克组数据引自文献[13];陡山沱组数据引自文献[15];罗圈组数据引自文献[10];苏格兰 Scotland 数据引自文献[18];阿曼 Nafun 组数据引自文献[19];乌拉圭 Polanco Uruguay 组数据引自文献[23]。

#### 4 研究意义

综合上述,盖帽白云岩的研究有如下意义:

贺兰山中段腰坝配件厂震旦系盖帽白云岩的出现,不是孤立的,在其西北、相距 2~3 km 的紫花沟兔儿坑组白云岩,通过对比研究,认为是盖帽白云岩分布的另一个地区。表明其在空间延伸上有拓展性。

与配件厂盖帽白云岩呈整合的上覆兔儿坑组变质粉砂岩产有“*Shaanxilite*”“蠕虫”化石,在扬子地台常见于震旦系上统灯影组中、下部,表明紧靠其下的盖帽白云岩时代应为震旦系中、下部,相当于华北地台南缘震旦系下、中部罗圈组,这就为华北地台盖帽白云岩时代、寒武纪至震旦纪生物演化的连续性和“源头”追溯提供了重要时代依据。

盖帽白云岩(正目观组)是由白云岩、白云质(少量石英质)砾岩和含砾白云岩组成的岩层。依据其沉积和岩相特征,显示其有冰水和暖水,静水、流水和重力流多成因叠合的沉积;依据沉积时代和碳氧同位素组成,并与世界若干相同时代冰川沉积相对比,盖帽白云岩可能是 Gaskiers 冰期在华北地台南

缘和西部的一次冰期沉积记录。

盖帽白云岩与华北地台南缘震旦系上统罗圈组的沉积岩相和古地理环境的对比,认为两者具有相似性。反映埃迪卡拉纪在华北地台发生冰期事件和之后的生物兴起,古海洋、古气候及古沉积环境的变化。这对华北地台南缘乃至地台西部的古构造、古地理、古气候、古环境以及古生物演化“源头”追溯研究,均有重要意义。

#### 参考文献

- [1] 宁夏地质勘探局. 宁夏地质志[M]. 北京:地质出版社, 1990:38-42.
- [2] 顾其昌. 贺兰山晚前寒武纪冰碳层[J]. 地层学杂志, 1982,6(2):156-157.
- [3] 张抗. 鄂尔多斯盆地边缘沉积盖层底部类冰债岩的讨论[J]. 中国区域地质,1991,1:79-85.
- [4] 郑昭昌,李玉珍,陆松年,等. 贺兰山区震旦纪正目观组研究报告[R]. 1987.
- [5] 华洪,成哲,张录易. Shaanxilithes 在贵州的发现及其意义[J]. 地层学杂志,2007,28(3):265-269.
- [6] Kurtz D, Anderson J B. Recognition and sedimentologic description of recent debris flow deposits from the Ross and Weddell Sea[J]. Antarctic. Journal of Sedimentary Research, 1979,49(4):1159-1169.
- [7] Gravenor C P, Vonbrunn V, Dreimanis A. Nature and classification of waterlain glaciogenic sediments, exemplified by Pleistocene, Late Paleozoic and Late Precambrian deposits[J]. Earth-Science Reviews, 1984, 20(2):105-166.
- [8] 蔡雄飞,杨捷,何文键,等. 贺兰山震旦系研究的新进展-对正目观组、兔儿坑组的再认识[J]. 地层学杂志, 2013,37(3):377-386.
- [9] 吴瑞棠,关保德. 论罗圈组的冰成特征及重力流改造[J]. 地质学报,1988,62(1):78-89.
- [10] 张良,杜远生,左景勋,等. 河南汝州-鲁山一带震旦系东坡组碳酸盐沉积的碳同位素负偏及其地质意义[J]. 地球科学-中国地质大学学报,2008,33(4):523-530.
- [11] 陈寿铭,尹崇玉,刘鹏举,等. 峡东地区埃迪卡拉系陡山沱组碳同位素特征研究进展与国内外对比[J]. 地球学报,2009,30(4):475-486.
- [12] 冯东,陈多福,刘芊,等. 新元古代晚期盖帽碳酸盐岩的成因与“雪球地球”的终结机制[J]. 沉积学报,2006, 24(2):235-241.
- [13] 徐备,郑海飞,姚海涛,等. 塔里木板块震旦系碳同位素组成及其意义[J]. 科学通报,2002,47(22):1740-1744.
- [14] 张同刚,储雪蕾,张启锐,等. 陡山沱期古海水的硫和碳同位素变化[J]. 科学通报,2003,48(8):850-855.

- [15] Akihiro K, Yoko K, Tetsuhiro T, et al. Evolution of animal multicellularity stimulated by dissolved organic carbon in early Ediacaran ocean: DOXAM hypothesis [J]. *Island Arc*, 2011,20:280-293.
- [16] Jiang G, Sohl L E, Christie B N. Neoproterozoic stratigraphic comparison of the Lesser Himalaya (India) and Yangtze Block (South China) : paleogeographic implications[J]. *Geology*, 2003,31:917-920.
- [17] Zhou C, Xie G, Mcfadden K, et al. The diversification and extinction of Doushantuo-Pertatataka acritarchs in South China: Causes and biostratigraphic significance [J]. *Geological Journal*, 2007,42:229-62.
- [18] Prave A R, Strachan R A, Fallick A E. Global C cycle perturbations recorded in marbles: a record of Neoproterozoic Earth history within the Dalradian succession of the Shetland Islands, Scotland[J]. *Journal of the Geological Society*, 2009,166:129-135.
- [19] Guerrou L E, Allen P A, Cozzi A. Erratum to chemostratigraphic and sedimentological framework of the largest negative carbon isotopic excursion in earth history: The Neoproterozoic Shuram Formation (Nafun Group, Oman) [J]. *Precambrian Research*, 2007, 153:262-265.
- [20] Gaucher C, Sial A N, Blanco G, et al. Chemostratigraphy of the lower Arroyo del Soldado Group (Vendian, Uruguay) and paleoclimatic implications [J]. *Gondwana research*, 2004,7:715-30.
- [21] Blanco G, Rajesh, H M, Gaucher C, et al. Provenance of the Arroyo del Soldado Group (Ediacaran to Cambrian, Uruguay): implications for the paleogeographic evolution of southwestern Gondwana [J]. *Precambrian Research*, 2009,171:57-73.
- [22] Pecoits E, Gingras M, Aubet, et al. Ediacaran in Uruguay: palaeoclimatic and palaeobiological implications [J]. *Sedimentology*, 2008,55:689-719.
- [23] Natalie R A, Ernesto P, Andrey B, et al. Chemostratigraphic constraints on early Ediacaran carbonate ramp dynamics, Río de la Plata craton, Uruguay [J]. *Gondwana Research*, 2012,22:1073-1090.

## Sedimentary characteristics, regional comparison and implication of the Sinian cap dolomites in the middle Helan Mountain

CAI Xiong-fei<sup>1</sup>, HE Wen-jian<sup>2</sup>, YANG Jie<sup>3</sup>, WU li-yun<sup>1</sup>, ZENG Zuo-xun<sup>1</sup>, GU Yan-sheng<sup>1</sup>

(1 *State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*)

(2 *292 Brigade, Nuclear Industry Geological Bureau in Heyuan City, Heyuan 51700, China*)

(3 *Three Gorges Geotechnical Consultants Co., Ltd., Wuhan 430074, China*)

**Abstract:** Sinian cap dolomites have been found in Peijianchang area, Helanshan Mountain, when performing the 1:50 000 geological survey in 2011. The sedimentary characteristics, C-O isotopes, compositions and age of the dolomites were studied, and correlated with the contemporaneous dolomites from Zihuagou area and correspondent strata from the south margins of, South China and North China Platforms. The dolomites in the studied area belong to terrigenous clastic dolomites, which resemble that of Tuerken formation, Zihuagou area. The  $\delta^{13}\text{C}$  values range from  $-4.7\text{‰}$  to  $-0.79\text{‰}$ , and decrease with the ascending order. The carbonates share the similar sedimentary characteristics and palaeogeographic environments with the lower-upper Sinian in South China and the Sinian Luoquan Formation in the south margins of North China platform. Thus, this study could be contributed to the study on the palaeotectonics, palaeogeography and palaeoclimatology of North China platform, and the evolution of invertebrates.

**Key words:** cap dolomite; sedimentary characteristics; regional comparison; Sinian; Helan Mountain; North China platform