

塔里木盆地阿克苏—柯坪地区 寒武系—奥陶系的沉积环境

朱莲芳 马宝林

(中国科学院兰州地质研究所)

摘要 本文讨论了塔里木西北缘厚一千余米的寒武系—奥陶系暗色碳酸盐岩夹细碎屑岩系的沉积环境。寒武系以粉—细晶白云岩、微晶叠层石白云岩夹细碎屑岩为主;奥陶系以含硅粉—细晶白云岩、内碎屑岩、细碎屑岩与灰岩的混合岩互层为主。

根据矿物成分、生物化石、结构构造、岩石的元素、稳定同位素、矿物组合等判断,其沉积环境为半封闭的潮坪环境至开阔的陆棚沉积环境。

主题词 寒武系—奥陶系 潮坪 沉积环境 白云岩 碎屑岩 阿克苏—柯坪

第一作者简介 朱莲芳 女 60 岁 研究员 沉积学和沉积岩石学

阿克苏—柯坪地区位于塔里木盆地西北缘。下古生界寒武系、奥陶系连续沉积,地层出露较全,仅缺失上奥陶统。本文以阿克苏西南至柯坪的剖面为基础讨论它们的沉积环境。

寒武系和奥陶系是一套暗色碳酸盐岩夹细碎屑岩建造,厚 1341m。寒武系以暗色白云岩为主,夹灰岩、粉砂岩和泥岩,厚 541m。奥陶系下部为块状含硅白云岩;上部为生物灰岩、藻灰岩、瘤状灰岩和内碎屑灰岩与粉砂岩、泥岩互层,总厚约 800m,底与寒武系为整合接触。

一、寒武系—奥陶系沉积层特征

寒武系—奥陶系按其岩石特征、生物状况、结构构造,由下至上分为八个层段,各层段的特征,反映出原始沉积环境。

I. 藻灰岩、含泥白云质灰岩及细砂岩,厚 20m

灰岩中含磷结核,并含有葛万藻(图版 I, 1),由园—次园状方解石组成,晶粒间有残余的含泥白云石。由于强烈的方解石化和重结晶作用不显任何结构。红褐色细砂岩的胶结物中为菱形假晶方解石,并含少量海绿石,为潮下至浅海环境。

II. 粉—细晶白云岩夹砂、粉砂岩,砾屑白云岩,厚 172m。

黑灰色粉—细晶白云岩,薄层。砾屑白云岩外貌呈疙瘩状、眼球状;砾石分选极差,未经磨蚀;80%为半自形细晶,胶结物为方解石、白云石。个别层为白云石化的粉—微晶灰质白云岩,白云岩中无生物结构,含 1%陆源石英屑,并含泥屑、藻屑,具泥纹。沉积环境

为潮间带, 属半封闭的碳酸盐台地潮坪环境。

III. 云质灰岩, 泥—微晶白云岩, 上部砂、粉砂岩, 厚 40m。

薄层, 以岩性变化大为特征。云质灰岩为强烈去白云石化结果。个别层白云岩中可有 15% 陆源石英碎屑, 含有似核形石生物。沉积环境为以灰岩沉积为主的潮下高能带。

以上三层组为寒武系下统。

IV. 砾屑灰质白云岩, 生物碎屑泥晶灰岩, 厚 25m。

底部沉积环境特殊。野外观察为灰色砾屑白云岩, 镜下观察砾屑为细晶白云岩, 砾屑中有方解石化溶蚀交代而形成的假砾屑。砾屑和胶结物成分都是白云石, 只发生方解石化。上部为泥晶灰岩, 含 80% 生物碎屑。该层可能为古风化壳的潮间沉积环境。

V. 微晶叠层石白云岩, 微晶白云岩和砖红色砂质泥岩薄层的互层, 厚 284m。

厚层白云岩层中发育叠层石, 形态为平顶穹窿, 含具泥裂的泥质白云岩 (图版 I, 2, 3)。中下部夹粉砂岩、泥岩, 顶部深灰色叠层石白云岩和瘤状白云岩最发育 (图版 I, 6), 主要为稳定的潮间上带沉积环境。

以上为中上寒武统沉积。

VI. 含硅粉—细晶白云岩, 厚 400m

灰黑色—深灰色块状粉、细晶白云岩, 含硅质条带或结核。上部为中晶白云岩。此层段为中上寒武统上部至下奥陶统。本层下部为藻白云岩、叠层石白云岩、条纹白云岩、豆石白云岩, 硅化作用强烈; 中上部大套含硅白云岩。主要属潮间带沉积。

VII. 藻球粒、凝块石、藻屑灰岩和直角石灰岩, 厚 155m。

藻球粒常和团块共生, 藻屑常和凝块石共生。藻球粒为 0.05mm 均匀的球粒 (图版 I, 4)。泥晶灰岩团块和藻球粒同层混生。藻屑较藻球粒稍大 (0.1mm), 没有明显的藻球粒结构, 而凝块石包容的都是清楚的藻球粒。所有的藻球粒、团块、凝块石都是在相同的环境下经动荡的水力冲刷形成的。下部灰岩有大直角石和菊石。沉积环境为浅海—潮下高能带。

VIII. 生物碎屑、内碎屑灰岩、瘤状灰岩与粉砂岩、泥岩薄互层, 顶部和底部为厚层黑色页岩和泥岩。厚 245m。

灰岩为泥晶—微晶, 含三叶虫、头足类和牙形刺及少量其它生物碎屑和陆源石英。薄层瘤状灰岩之下为黑色页岩; 其上为碳酸盐岩与碎屑岩的混层。该层上部含大量砂屑 (粉屑) 的内碎屑灰岩 (图版 I, 5), 灰岩和页岩中普遍有黄铁矿结核和斑块。本层沉积环境变化大, 水动力强, 形成巨型流水波痕, 沉积环境为正常浅海和短期局限洼地。

二、沉积环境的发展演化

阿克苏—柯坪地区的寒武系—奥陶系属半封闭局限盆地向陆棚浅海发展的碳酸盐台地沉积, 潮坪环境中潮下带、潮间带至潮上带频繁交替, 最后发展为浅海陆棚环境。总体看来, 海进过程中寒武纪经历了两次小的海退旋回变化, 至奥陶纪发展为一次大的海进。寒武纪—奥陶纪的发展可分为二个阶段:

1. 下寒武统一奥陶统的白云岩潮坪环境 (I—VI 层段)

大套白云岩夹灰岩、细碎屑岩的半封闭的潮坪环境。寒武纪曾受到几次小的海侵和海退, 海侵是短暂的, 封闭式海退则是较长期的。海水的进退旋回发展造成的层序是: 灰岩、

白云岩、微晶叠层石白云岩和红色细碎屑或碎屑和碳酸盐的混合交替。

潮坪沉积环境模式和层序特征见图 1。

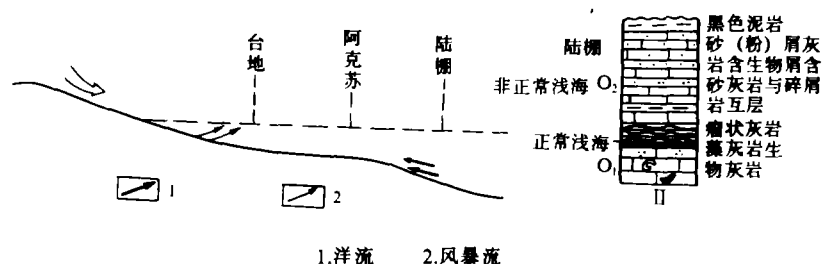


图 1 阿克苏—柯坪地区寒武系—下奥陶统上部 (I—VI 层) 沉积模式及层序

Fig.1 The sequences and sedimentary models of Cambrian—Lower Ordovician (strata I—VI) in Aksu—Keping region

2. 下奥陶统上部—中奥陶统浅海陆棚沉积环境 (VII—VIII 层段)

早奥陶世晚期, 半封闭的碳酸盐局限盆地结束, 浅海陆棚沉积环境开始, 以正常和非正常浅海为特征。早期以浅海含生物灰岩、藻灰岩最后为局限洼地的黑色页岩和瘤状灰岩。晚期为陆棚环境, 碎屑岩和碳酸盐与碎屑的混合岩的薄互层, 沉积模式和层序特征见图 2。

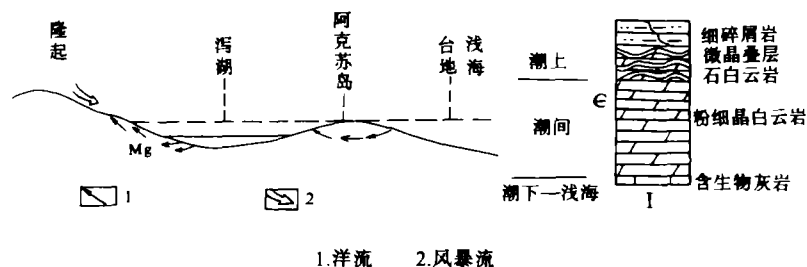


图 2 阿克苏—柯坪地区下奥陶统上部—中奥陶统 (VII—VIII 层) 沉积模式及层序

Fig.2 The sequences and sedimentary models of lower Middle Ordovician (strata VII—VIII)

三、元素、稳定同位素与沉积环境的关系

岩石中的某些元素及其比值常可代表沉积时的水介质条件, 比较两种沉积模式的 K、Na、Ca、Mg 的比值变化 (表 1), 可看出:

1. 第一种模式: 潮坪沉积环境

(1) 白云岩富镁、钙, 指示水介质咸度的 Sr/Ba 值较高。泥岩此值比白云岩低三倍以上。

(2) 指示水的化学特征的 $Na_2O+K_2O/CaO+MgO$ 值在白云岩中最低, 而泥岩高十几倍。

白云岩富镁、钙、锶。介质是以碱性碳酸盐为主。泥岩中富钾、钠，少锶，而且钾大大高于钠，最高含量可达 1.59%。

表 1 寒武系—奥陶系沉积模式的元素比值变化

Talbe.1 The ratios of some elements in the two different sedimentary models

	岩石类型	Mg / Ca	Sr / Ba	Na ₂ O+K ₂ O / CaO+MgO	K / Na
第 II 种模式	泥岩 (3) *	0.15	1.43	0.17	4.30
	灰岩 (11)	0.60	2.85	0.01	3.16
第 I 种模式	泥岩 (2)	0.64	0.80	0.13	25.51
	白云岩 (15)	0.67	2.59	0.01	4.18

* 注: (') 内数字为标本数

2. 第二种模式: 开阔陆棚沉积环境

与第一种模式相比, 灰岩中 Mg / Ca 值降低。但钾、钠和钙、镁的氧化物比值和第一种模式中的白云岩同样比值几乎一致。灰岩和泥岩的钡锶比值都较第一种模式为高。一般来说, 锶是以碳酸锶结晶盐出现, 和方解石关系十分密切, 指示咸度, 水深越大, 锶值越高, 而钡值指示陆相。泥岩中 Mg / Ca 值最低 0.15, 泥岩中虽然 Mg 低 Ca 高, 但 Na 高 K 低, 所以, K、Na 和 Mg、Ca 的氧化物比值和第一种模式比较都变化不大。所以第二种模式灰岩应以碳酸钙和锶为主。泥岩介质条件是少 Mg 和 K, 富 Ca 和 Na。

由此可知, 第一种模式碳酸镁浓度大, 第二种模式碳酸钙浓度最大, 沉积泥岩时第一种模式是富钾受大陆淡水影响很大。第二种模式是富钠的。

碳酸盐岩中的氧、碳稳定同位素的变化范围处于氧碳同位素坐标图的 III—IV 象限之间, $\delta^{13}\text{C}$ 为 +3—3‰ 区间, $\delta^{18}\text{O}$ 为 -6—10‰ 间 (图 3), 应用基思和韦伯 (1964) 公式计算古盐度 (表 2)。

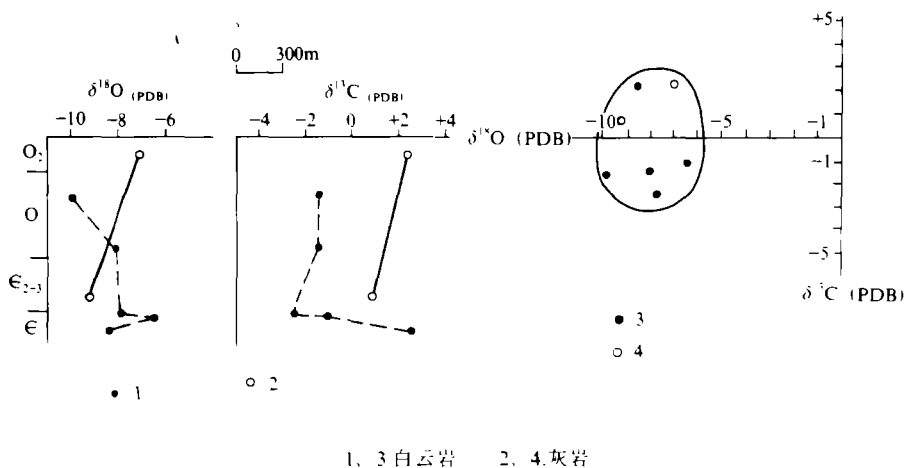


图 3 $\text{E}_1\text{--O}_2$ 白云岩灰岩氧碳同位素及其与深度的关系

Fig.3 The relationships between depth and $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ of dolomite and limestone of $\text{E}_1\text{--O}_2$

公式 $Z = 2.048 \times (\delta^{13}\text{C} + 50) + 0.498 (\delta^{18}\text{O} + 50)$

$Z > 120$ 为海相灰岩

$Z < 120$ 为淡水灰岩

表 2 寒武系—奥陶系碳酸盐岩中的氧、碳稳定同位素

Table 2. The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values of carbonate at $\text{C}-\text{O}$

编号	岩石类型	时代	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Z	模式
Yd-18	泥晶灰岩	O ₂	2.29	-7.12	128.43	II
AO-26	含灰中晶白云岩	O ₁	-1.51	-9.90	119.24	I
AO-8	细晶白云岩	O ₁	-1.52	-8.14	120.12	
AS-20	微晶灰岩	O ₂₋₃	0.82	-9.29	124.34	
AS-14	泥—微晶白云岩	O ₁	-2.58	-7.85	118.10	
AS-11	细晶白云岩	O ₁	-1.13	-6.58	121.70	
SX-76	微—粉晶白云岩	O ₁	2.32	-8.42	127.85	

除两个样品 Z 值略小于 120 外，其他均大于 120。可能受晚期成岩作用影响，例如埋藏水介质和淡水淋滤混和氧离子交换平衡使得 $\delta^{18}\text{O}$ 值略有变化。寒武纪和奥陶纪本区处于北温带，气温变化不太大，但是局限海和开阔海的古水介质和古温度应有所不同，由于第一种模式样品数量有限，暂无法讨论。

目前应用下古生代白云岩的氧、碳同位素解释古温度和盐度远不如灰岩成功，作者试图做一探索，如果应用 Milliman 和 Schopf 等人解释碳酸盐中同位素古温度和古盐度的原则，从图 4 中白云岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值和 $\delta^{13}\text{C}$ 值自下而上的变化说明古盐度是降低的，即由咸到较淡。如用灰岩解释古温度则是由高变低的。古生代的白云岩能否应用氧碳稳定同位素来说明古盐度的研究甚少，从本文作者资料说明，应用白云岩的氧碳同位素值能说明古盐度，而灰岩的氧碳同位素值能反映古温度。对此尚存有相反意见。

不同模式的粘土矿物组合如下所示：

II 模式：中陶系为 I+Ch 组合

下奥系为 I+K+M / I 组合

I 模式：中上寒武系为 I+K+M / I 组合

下寒武系底为 I

三种组合在剖面上的分布状况是下为 I，中为 I+K+M / I，上为 I+Ch

前已述及，第一种模式潮坪环境泥岩是最富钾的，这种介质环境导致了粘土矿物的伊利石化。而第一种模式的上部细碎屑沉积时，由于大陆边缘富酸性介质条件的存在，故形成伊利石、高岭石和蒙脱石伊利石混层的组合，直到局限盆地沉积环境时仍保持这种介质条件。第二种沉积模式属长期稳定的内陆棚富钙碱性环境，在这种水介质条件下蒙脱石和高岭石向伊利石、绿泥石方向转化；而伊利石和绿泥石在碱性介质中保持不变。

综合元素和粘土矿物分析，寒武纪至奥陶纪自下而上水介质性质：

1.富镁、钙、钾的碱性介质，pH > 7

2. 弱酸性介质, 粘土矿物中有 10% 左右高岭石。
3. 富钙、镁、钾的弱碱性介质。

结 论

1. 寒武、奥陶为连续沉积, 沉积环境随水体加深由潮坪变为陆棚。
 2. 寒武系至下奥陶系的下部是半封闭的碳酸盐台地的潮坪环境, 下奥陶系上部至中奥陶系为浅海、陆棚局限盆地沉积环境。
 3. 元素和粘土矿物组合说明此时期介质条件从碱性发展为弱酸性, 最后为弱碱性。
 4. 沉积水动能由较平静、浅水、高温、富藻环境渐发展为强动水、混浊、深水的环境。
- 本文部分使用我所塔里木盆地沉积课题为资料, 谨表谢意。

收稿日期: 1990 年 5 月 30 日

参 考 文 献

- (1) 张秀莲, 1985, 碳酸盐岩中氧、碳稳定同位素与古盐度、古水温的关系, 沉积学报, 3 卷, 4 期。
- (2) 金若谷, 1989, 一种深水沉积标志——“瘤状结核”及其成因, 沉积学报, 7 卷, 2 期。

The Sedimentary Environment of Cambrian—Ordovician in the Aksu and Keping Areas of Tarim Basin

Zhu Lianfang Ma Baolin

(Lanzhou Institute of geology, Chinese Academy of Sciences)

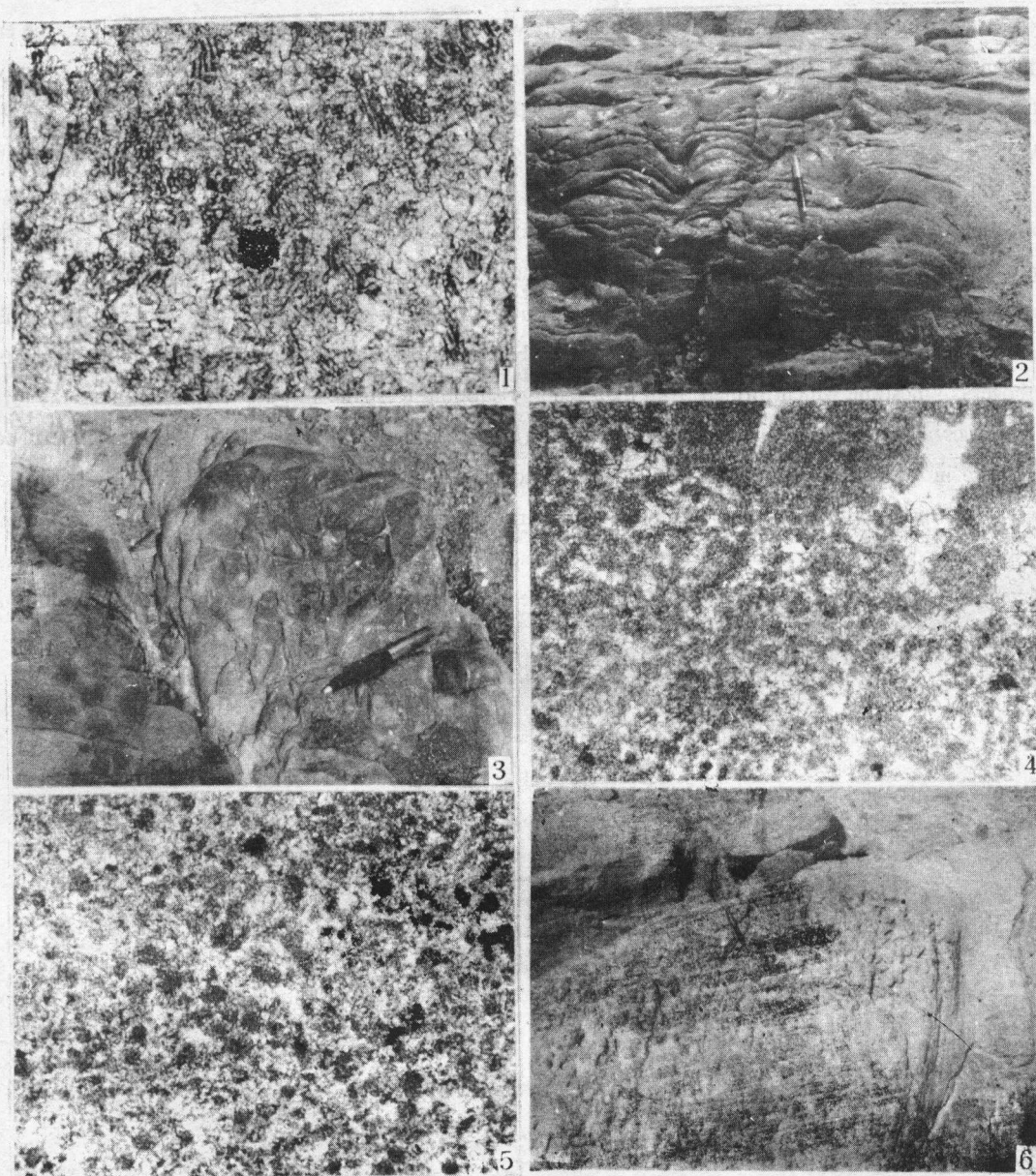
Abstract

Aksu and Keping in northwest Tarim Basin are the areas with perfect outcrops of Lower Palaeozoic strata. This paper mainly deals with Cambrian and Ordovician carbonate strata on the western side of Aksu—Karshgar high way for the study of sedimentary environments and development of the strata.

The Cambrian and Ordovician strata are a series of dark-carbonate formations, with total thickness of about 1341m. The Cambrian system consists mainly of dark dolostones accompanied with intraclast limestone, sandstone and mudstone, the thickness is 541m. The Lower Ordovician series was deposited continuously after the Cambrian system, and the Upper Ordovician series was lacuna. The lower part of Lower Ordovician series are massive dolostone, upwards there are successively limestone, biotic limestone and intraclast limestone. The Middle Ordovician series is interbedded limestone, siltstone and mudstone, and the total thickness is 800m. The strata can be divided into 8 groups and two types of sedimentary models according to their carbonate minerals, crystal grains, texture, organisms and intraclasts.

The sedimentary environment was developed from subtidal zone to supratidal zone of carbonate platform of semienclosed bay and then into open shallow marine continental shelf. The Cambrian system was

a tidal environment that undergone two cycles of regressions. The Ordovician system was once a larger transgression. During the Cambrian, the sea water body was shallow, the temperature was higher and the environment was calm, a large quantity of carbonate deposited in the semienclosed restricted bay. The salinity of sea water at that time was favourable for the development of hypersaline stromatolitic algae, which were flat-top, continuously-upwarping algal mat mainly developed in the supratidal zone. Stromatolite with fracture was developed mostly in the Upper-Middle Cambrian, moreover, edgewise and gravel clastic dolostones were also deposited in the same period. However, with continuous development of stromatolite, main deposits were massive silica-contained dolostone in the early Ordovician. From the upper part of Lower Ordovician the environment had changed greatly, at first deposits are algal limestone that consists of algal grains, granules, thrombolites which formed in turbulent water; continuously upwards are the deposits of orthoceras limestone which formed from high-energy subtidal to shallow-water environments; the top of this series are very thick black shales with pyrite nodules. The Upper Ordovician series is interbedded bioclastic intraclast limestone, siltstone and mudstone with typical thin laminated nodule limestone and huge wave ripples of flowing water, representing a transition from turbulent, open shallow sea to continental shelf. Up to then all strata had risen and the sedimentation of platform in this area had ceased. The data of elements, stable isotopes, compositions of clay minerals were also employed for discussing the conditions of sedimentary medium in this paper.



1.葛万藻灰岩示藻丝纵横切面寒武系底部, $\times 99$ 单偏光; 2.叠层石白云岩, 中上寒武统; 3.泥质白云岩中的泥裂中上寒统; 4.藻环粒灰岩, 藻环均镁下奥陶统上部, $\times 66$, 单偏光; 5.含粉砂、粉屑灰岩, 中奥陶统 $\times 96$, 单偏光; 6.疱状白云岩, 中上寒武统。