DOI:10.19826/j. cnki. 1009-3850. 2019. 10001

# 川西北地区泥盆系观雾山组紫红色白云岩成因初探

郝 毅<sup>1,2</sup>,李文正<sup>1,2</sup>,苑保国<sup>3</sup>,姚倩颖<sup>1,2</sup>,戴 鑫<sup>3</sup>,熊绍云<sup>1</sup> (1. 中国石油杭州地质研究院,浙江 杭州 310023; 2. 中国石油天然气集团公司碳酸盐岩储 层重点实验室,浙江 杭州 310023; 3. 中国石油西南油气田公司勘探开发研究院,四川 成 都 610041)

摘要:川西北地区泥盆系观雾山组是新发现的重要天然气产层。在青川何家梁以及葛底坝等地区,泥盆系观雾山 组存在一种特殊紫红色调的白云岩,目前对该白云岩成因及形成环境的研究较为薄弱。本次研究采用宏观与微 观、矿物学与地球化学相结合的方式对该白云岩进行了系统分析。该类白云岩呈紫红、肉红等色调,单层厚度3~ 50cm,显微镜下岩石本身呈晶粒结构。对其成因初步分析认为:白云岩中的紫红色、肉红色是一种次生色,是铁元 素富集后被氧化的颜色;白云岩存在暴露、岩溶、垮塌现象,指示其形成于古地貌相对较高的局限蒸发环境;只有白 云石核心变色,说明其形成时间较早,应为准同生期在相对局限的环境下,颗粒被富含铁元素的水体浸泡侵染所 致,随后颗粒外继续形成白云石胶结物将其包裹。紫红色白云岩相对发育的地层往往白云岩的储层厚度大,物性 好,岩溶现象发育,储集空间类型多样,是该地区油气勘探的一种重要指示标志。

**关 键 词:**川西北;泥盆系;观雾山组;紫红色白云岩;成因 **中图分类号:**P588.24 **文献标识码:**A

# 0 引言

四川盆地的泥盆系地层主要分布在盆地西缘 碧鸡山、二郎山、盐边及龙门山一带(图1),在盆地 东缘的酉阳、秀山、黔江等地区也有出露,但发育层 位不全。除此之外,四川盆地内部泥盆系地层大面 积缺失<sup>[1]</sup>。由于地层缺失严重,且钻遇泥盆系的钻 井并未获得油气突破,所以该层系并未引起石油勘 探的重视。直到2016年,川西北地区双鱼石构造双 探3井在泥盆系观雾山组白云岩储层中钻遇工业气 流,测试产量为11.6×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d<sup>[2]</sup>。至此,四川盆地 又多了一套含油气层系,川西地区的泥盆系,特别 是观雾山组的研究也因此倍受关注。

观雾山组位于中泥盆统上部,地层厚度为211~670m<sup>[1]</sup>,岩性主要为灰色厚层—块状泥晶生物灰岩、亮晶生物灰岩、细晶白云岩、生屑白云岩等(图2)。已有的研究涉及到海平面变化<sup>[34]</sup>、层序地层<sup>[35]</sup>、沉积相<sup>[6]</sup>、岩相古地理<sup>[7]</sup>、储层特征<sup>[89]</sup>、流





sites in Sichuan Basin

体性质<sup>[10]</sup>以及未来勘探方向<sup>[11]</sup>等方面,但多集中 在泥盆系地层出露最全的北川甘溪—桂溪地区。 最近,在盆地西北部的青川何家梁以及葛底坝等地

#### 收稿日期: 2019-10-11; 改回日期: 2020-8-3

作者简介:郝毅(1981—),男,高级工程师,目前从事碳酸盐岩沉积储层方面的研究工作。E-mail:haoy\_hz@petrochina.com.cn 资助项目:中国石油重大科技专项(课题编号:2016E-0601);十三五国家专项(课题编号:2016ZX05004-002,2017ZX05008 -005);中国石油重大科技项目(课题编号 2018A-0103,2018A-0105)

_								
. 系	地 系 気 组		厚度 (m)	岩性剖面	沉积微相	沉积亚相	沉积相	代表
	上泥盆统	沙窝子组	0   970	0         4           0         4           0         4	生屑滩	台内礁滩	开 阔 台 地	桂溪
泥	中	观	211 670		生屑云岩 泥质云岩 粉晶云岩	台地边缘礁	台地边缘	
					泥岩夹 灰岩	潮坪	开	何家梁/
				0         1         0           0         1         0           0         0         1	生物灰岩	点	同台	
盆		索		<u>/ ♀ / ♀ / ♀</u>   ♀   ◀   ♀	生屑云岩	礁	地	
	泥			<u></u>   	生物云岩	台缘礁		
	盆	<u>ц</u>			生屑云岩 粉晶云岩 角砾云岩	礁	台地边	/大木垭/葛底坝
系	统	组			粉晶云岩	礁 后 潮 坪	缘	
		金宝石组	9   235	∴ ⊙ ∴ ⊙ ∴  ∴ ⊙ ∴ ⊙ ∴	前	滨	,	雁门坝
 办			4	<b>?</b> <b>?</b> <b>*</b> 上屑灰岩	/ <b>△</b> / <b>△</b> / <b>△</b> / <b>△</b> / <b>△</b> / <b>△</b> / <b>⑤</b> 紫红色角	<b>//////</b> //////////////////////////////	合 泥质	<mark>- /</mark> 5云岩
<mark>9/9/▲</mark> 9/9/▲ 9/9/▲ 生屑云岩			<b>ल</b> ल	<b>/ 9 / 9</b> <b>9 / 9</b> 三物云岩	小口云石 ○ · ○ · ○ · ○ · ○ · ○ · ○ · ○ · ○ · ○ · ○			<u></u> 

图 2 川西泥盆系观雾山组综合柱状图(修改自文献[7]) Fig. 2 Comprehensive column of the Devonian Guanwushan Formation in Western Sichuan(modified after Xiong Lianqiao, 2017)

区的观雾山组新发现了一种紫红、肉红或黄褐色调的角砾状白云岩(图1),常伴有明显的岩溶现象。 值得一提的是,该层位是重要的油气储层之一,紫 红色白云岩与储层的发育是否有着一定的关系?

本次研究采用宏观与微观、矿物学与地球化学 相结合的方式对该白云岩进行了系统分析,详细描 述了这套紫红色调白云岩的宏微观岩石学特征,并 在此基础上探讨了其成因及地质意义。

1 岩石学特征

川西北地区泥盆系观雾山组的紫红、肉红、黄 褐色白云岩一般呈角砾状、块状杂乱分布,常见生 物碎屑,颜色鲜艳容易识别(图3)。岩石的单层厚 度一般为3~50cm,层面不平整,存在穿层现象。岩 石的岩溶现象明显,孔、洞、缝发育,但多被白云石 胶结物、沥青及少量黏土充填,也有少量残余孔隙 可以保留下来。

紫红色白云岩在镜下呈明显的晶粒状结构,晶 粒直径在 50~200μm 之间,为粉细晶白云岩,红色 物质在镜下显示为深褐色的白云石核心,可见明显 的菱形结构,但核心外部的白云石几乎未被染色 (图4),反映了红色物质的形成时间相对较早,至少 在白云石胶结物形成之前。

# 2 成因分析

碎屑岩的颜色多样,可以分为继承色、自生色 和次生色三类<sup>[12]</sup>。而碳酸盐岩一般是在盆地内部 形成,因此,颜色主要为自生色和次生色两类,颜色 也相对单调一些。自生色是碳酸盐岩沉积物在沉 积期以及早成岩过程中形成的颜色,与沉积环境的 关系非常密切,我们一般看到碳酸盐岩呈灰色、深 灰或者黑灰色调一般都属于自生色,颜色越深一般 反映了沉积时水体越深,有机质含量越高、还原环 境越强以及水体能量越低等因素。次生色是在后 生作用阶段或者风化过程中,原生组分发生次生变 化,由新生成的次生矿物所造成的颜色,并通过氧 化作用,呈现出白色、灰绿色、黄褐色、紫红色等。 一般自生色与层理界限是一致的,在同一层内沿走 向均匀稳定分布,而次生色常常切穿层面<sup>[12]</sup>,且分 布不均匀,多呈块状、斑点状。这与本次研究的这 套紫红色调白云岩产状较为符合(图3)。因此,泥 盆系观雾山组紫红色白云岩属于次生色。

#### 2.1 全岩矿物分析

从所采样品的全岩矿物 X 衍射分析数据(表1) 可以看到,这种紫红、黄褐色调为主的白云岩除含 有少量的黏土矿物外,都含有一种铁的氧化物—— 赤铁矿,但其含量并不是很高,只有 3% 左右。而正 常灰色为主的白云岩并未含有赤铁矿,仅个别样品 方解石含量略高。无独有偶的是,在区域地质调查 调报告及区域地质志中都可以看到,观雾山组的下 伏地层金宝石组砂岩富含鲕状赤铁矿<sup>[1]</sup>。因此,观 雾山组白云岩中检测出的赤铁矿成分应该与金宝 石组有着一定的联系。



图 3 紫红、黄褐色白云岩野外露头宏观特征

a.紫红、肉红、黄褐色角砾状白云岩,见白色白云石胶结物,生物体腔孔发育,何家梁剖面,观雾山组;b.紫红、黄褐色粉晶白云岩,两种颜色界线 鲜明,何家梁剖面,观雾山组;c.紫红色角砾状白云岩,角砾间孔洞发育多被白云石、方解石胶结物及沥青充填,何家梁剖面,观雾山组(露头全 直径取心样品);d.紫红、黄褐、灰色角砾状白云岩,颜色很杂,角砾成分多为粉晶白云岩,裂缝发育多被白云石等胶结物充填,何家梁剖面,观 雾山组(露头全直径取心样品);e.紫红、黄褐色砾屑白云岩,岩石中含很多紫红色白云岩角砾,葛底坝剖面,观雾山组(露头全直径取心样品)。 Fig. 3 Photographs showing macroscopic characteristics of purplish-red dolostone



#### 图 4 紫红、黄褐色白云岩镜下微观特征

a.紫红色白云岩,镜下为粉细晶白云岩,红色物质在镜下显示为深褐色的白云石核心,可见明显的菱形结构,核心外部的白云石胶结物并未被 染色,何家梁剖面,泥盆系观雾山组样品,单偏光普通薄片;b.岩性特征同 a,显示倍数放大

Fig. 4 Microscopic photographs showing characteristics of purplish-red dolomite

表1 川西北何家梁地区泥盆系观雾山组全岩矿物 X 衍射分析数据表

Table 1         X-ray diffraction analysis data for rocks of the Devonian Guanwushan Formation from Hejialiang section											
样品	- 44	矿物种类和含量(%)							黏土矿物		
编号	石性	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	黄铁矿	赤铁矿	铁白云石	总量(%)	
1	灰色白云岩	/	/	/	33.10	66.00	/	/	/	0.90	
2	灰色白云岩	/	/	/	1.00	99.00	/	/	/	/	
3	肉红色白云岩	/	/	/	0.20	96.60	/	2.70	/	0.50	
4	黄褐色白云岩	/	/	/	0.60	95.80	/	2.50	/	1.10	
5	紫红色白云岩	/	/	/	0.20	95.30	/	2.40	/	2.10	
6	紫红色白云岩	/	/	/	1.40	92.80	/	3.10	/	2.70	
$\overline{\mathcal{O}}$	紫红色白云岩	/	/	/	1.00	94.40	/	3.40	/	1.20	



图 5 观雾山组样品碳、氧同位素交会图

Fig. 5 Isotopic cross plots of carbon and oxygen for samples from the Guanwushan Formation

#### 2.2 地球化学特征

本文选取了同一剖面不同颜色的白云岩样品 进行了碳、氧同位素测试。从碳、氧同位素交互图 可以看到(图5),被铁质浸染的红、褐、黄色调的白 云岩,其δ<sup>13</sup>C与大多数正常灰色白云岩的数值分布 范围相似,但δ<sup>18</sup>O数值却明显偏重,与正常白云岩 有明显差别。

氧同位素主要受到成岩水体盐度以及埋藏过 程中温度的影响<sup>[14]</sup>。水体盐度越高,δ<sup>18</sup>O 越偏正, 而随埋藏温度升高,δ<sup>18</sup>O 会更加偏负。这几种颜色 的白云岩经历过的埋藏深度相同,那么影响δ<sup>18</sup>O 偏 正的主要原因为成岩水体的盐度,即该类白云岩在 形成时或者早成岩期处于相对局限的环境,可能伴 有一定的蒸发作用。由于蒸发作用导致氧同位素 分馏而偏正,水体盐度高也主要是蒸发作用的结 果。此外,本次还针对几种不同颜色白云岩进行了 稀土元素测试,结果显示它们的配分模式相似(图 6),说明正常海水沉积的无论是灰色白云岩或者紫



图 6 不同颜色白云岩样品稀土元素配分模式(北美页岩标 准化)

Fig. 6 REE distribution patterns of dolomites with different colors, normalized by North American shale

红色调的白云岩,它们的成岩流体是类似的,主要 为同时期海水。

#### 2.3 形成模式

通过对紫红色、黄褐色观雾山组白云岩的宏 观、微观特征以及实验分析数据等方面的研究,初 步总结出了一种演化模式。泥盆纪时期,龙门山属 于拉张性断陷盆地,受加里东古隆起的影响,越往 扬子地台方向古地貌越高。何家梁—葛底坝地区 位于龙门山盆地西南侧,更靠近上扬子地台西缘, 因此古地貌位置更高。在中泥盆世海退期,金宝石 组广泛沉积了富含鲕状赤铁矿的砂岩,而观雾山组 的白云岩就沉积在这套赤铁矿砂岩之上。何家梁 地区由于古地貌位置更高,部分地区可能形成局限 环境,而更高部位的鲕状赤铁矿经过大气淡水风化 淋滤,部分含有铁元素的水体汇聚在局限环境中, 将观雾山组碳酸盐岩颗粒浸染、氧化,最终导致岩 石出现紫红、肉红、黄褐等色调(图7)。



图 7 川西北地区泥盆系观雾山组紫红、黄褐色白云岩形成模式

Fig. 7 A model for the formation of dolomites with purplish-red or yellowish-brown colors of the Devonian Guanwushan Formation in Western Sichuan

## 3 结论

紫红色调的白云岩目前仅在川西北何家梁、葛 底坝地区发现,分布相对局限,通过对宏微观岩石 学特征、岩石矿物分析以及地球化学实验数据的综 合研究,初步得出以下结论:

(1)观雾山组白云岩中的紫红、肉红色是一种 次生色,是铁元素富集后被氧化的颜色,而铁元素 很可能来源下伏地层金宝石组。

(2)这种白云岩宏观上常常呈角砾状,岩溶特征明显,另外地球化学特征表明成岩水体盐度高, 说明其可能形成于古地貌相对较高的局限蒸发环境,并经常发生暴露、岩溶、垮塌作用。

(3)白云岩整体呈现紫红色,但镜下可见只有 白云石核心变色,说明其形成时间较早,应为准同 生期在相对局限的环境下,颗粒被富含铁元素的水 体浸泡侵染形成,随后颗粒外继续形成白云石胶结 物将其包裹。

四川盆地西部这套泥盆系紫红色白云岩的出 现具有重要的地质意义,其代表泥盆纪时期,该地 区的古地貌较高,蒸发作用相对较强,且岩溶作用 相对发育。这类地层往往白云岩储层厚度大且物 性好,储集空间类型多样,有利于富集石油天然气, 是油气勘探的一种重要指示标志。

### 参考文献:

- [1] 四川油气区石油地质志编写组.中国石油地质志,卷十,四川 油气区[M].北京:石油工业出版社, 1989.
- [2] 谢增业,张本健,杨春龙,等.川西北地区泥盆系天然气沥青地 球化学特征及来源示踪[J].石油学报,2018,39(10):1103 -1113.
- [3] 鲜思远,陈继荣,万正权.四川龙门山甘溪泥盆纪生态地层、层 序地层与海平面变化[J].岩相古地理,1995,15(6):11-21.
- [4] 陈留勤. 龙门山地区泥盆纪层序地层及海平面变化——以四 川北川桂溪剖面为例[J]. 西北地质,2007,40(4):58-66.
- [5] 赵兵.四川龙门山中段泥盆纪层序地层[J]. 沉积与特提斯地 质,2000,20(4):89-96.
- [6] 熊连桥,姚根顺,沈安江,等.川西北部泥盆系观雾山组沉积相新认识——以大木垭剖面与何家梁剖面为例[J].海相油气地质,2017,22(3):1-11.
- [7] 熊连桥,姚根顺,倪超,等. 龙门山地区中泥盆统观雾山组岩相 古地理恢复[J].石油学报,2017,38(12):1356-1370.
- [8] 曾允孚,黄思静.四川甘溪泥盆系观雾山组白云岩特征与其形成条件的关系[J].沉积学报,1988,6 (4):12-21.
- [9] 熊连桥,姚根顺,倪超,等. 川西北地区中泥盆统观雾山组储集 层特征、控制因素与演化[J].天然气地球科学,2017,28(7): 1031-1042.
- [10] 邓予炜,侯明才,陈安清,等. 川西北观雾山组白云岩稀土元 素特征及其对白云岩化流体性质的指示[J]. 成都理工大学 学报(自然科学版),2018,45(3):282-291.
- [11] 沈浩,汪华,文龙,等. 四川盆地西北部上古生界天然气勘探

前景[J]. 天然气工业,2016,36(8):11-21.

[12] 朱筱敏. 沉积岩石学第4版[M]. 北京:石油工业出版 社,2008.

 $[\,13\,]$   $\,$  VEIZER J, ALA D, AZMY K, et al.  $^{87}\mathrm{Sr}/^{86}\mathrm{Sr}$  ,  $\delta^{13}\mathrm{C}$  and  $\delta^{18}\mathrm{O}$ 

evolution of Phanerozoic seawater [J]. Chemical geology, 1999, 161(1/3)59-88.

[14] 曾允孚,夏文杰.沉积岩石学[M].北京:地质出版社,1986.

# The genesis of the purplish-red dolostone in the Middle Devonian Guanwushan Formation, Northwest Sichuan Basin

Hao Yi<sup>1,2</sup>, Li Wenzheng<sup>1,2</sup>, Yuan Baoguo<sup>3</sup>, YAO Qianying<sup>1,2</sup>, DAI Xin<sup>3</sup>, XIONG Shaoyun<sup>1</sup> (1. Hangzhou Institute of Petroleum Geology, PetroChina, Hangzhou, 310023, Zhejiang; 2. Key Laboratory of Carbonate Reservoir, CNPC, Hangzhou 310023, Zhejiang; 3. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Chengdu 610041, Sichuan)

Abstract: The Devonian Guanwushan Formation in northwest Sichuan Basin is a newly discovered important stratigraphic horizon for exploration of gas. The dolostone of the Middle Devonian Guanwushan Formation in Hejialiang and Gediba areas is with purplish-red or yellow-brown colors. Previously, the research on the genesis and forming environment of the dolostone is relatively weak. Based on studies of mineralogy, geochemistry, lithology and experimental analysis data of field samples, the genesis of the dolostone with purplish-red or yellow-brown colors is detailedly analyzed in this paper. The single layer thickness of dolostone with purplish-red or flesh-red colors is between 3cm and 50cm. It has obvious grain structure under microscopes. The preliminary analysis of its genesis is as follow:1) The purplish-red color showed in the dolostone is a secondary color, which was caused by the oxidation of the ferric element;2) Exposure, karst and collapse were common in this kind of dolostone, meaning it was formed in a limited evaporation environment with relatively high paleogeomorphology;3) Only the cores of the dolomite are with different colors, indicating that they were formed earlier than their cement outsides. It is believed that during the contemporaneous period, carbonate grains were dyed by enriched irons in a relatively confined environment, then, they were wrapped by cement outsides. Dolostone with purplish-red, flesh-red or yellow-brown colors is usually with large thickness, good reservoir, developed karst phenomenon and various reservoir space types. It is one of important indications for oil-gas exploration in the region.

Key words: northwest Sichuan Basin; Devonian; the Guanwushan Formation; purplish-red dolostone; genesis