

# 塔中上奥陶统方解石胶结物类型及其形成环境

王振宇<sup>1</sup>, 吴 丽<sup>1</sup>, 张云峰<sup>1</sup>, 韩剑发<sup>2</sup>, 张丽娟<sup>2</sup>

(1 西南石油大学 资源与环境学院, 四川 成都 610500;

2 中国石油天然气集团公司塔里木油田公司 勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000)

**摘要:** 通过对塔中地区上奥陶统数百块碳酸盐岩薄片和抛光面中各种方解石胶结物特征和成因的观察, 并结合微量元素和碳、氧同位素分析, 共识别出 11 种胶结物类型。详细描述了各胶结物的特征, 并确定了胶结物的分布和形成次序。在此基础上对该区碳酸盐岩方解石胶结物形成环境进行了分析, 共划分出海底成岩环境、大气水成岩环境和埋藏成岩环境。从而为该区孔隙演化史的建立和有利勘探目标预测提供了有力的依据。

**关键词:** 方解石胶结物; 成岩环境; 碳酸盐岩; 塔中地区

**中图分类号:** TE122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)03-0265-07

## Study on Category and Forming Environment of Upper Ordovician Carbonate Rock Calcite Cement in Tazhong District

WANG Zhen-yu<sup>1</sup>, WU Li<sup>1</sup>, ZHANG Yun-feng<sup>1</sup>, HAN Jian-fa<sup>2</sup>, ZHANG Li-juan<sup>2</sup>

(1. School of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China;

2. Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Kuerle 841000, Xinjiang, China)

**Abstract** Through comprehensive research on the characteristic of calcite cement and its genesis by hundreds of thin slice and polished surface of carbonate rocks of Upper Ordovician, together with the analysis of the microelement and C and O isotopes, eleven types of calcite cementation are identified, the feature of cement is described, and the distribution and sequence of cement is determine. On the basis of above research, the forming environment of calcite cement of carbonate rocks in Tazhong is analyzed and it is divided into submarine, meteoric freshwater and burial diagenetic environment. The conclusion provides a powerful foundation for the establishment of pore evolution history and the forecast of favorable exploration target.

**Key words:** calcite cement; diagenetic environment; carbonate rock; Tazhong area

## 0 引言

塔里木盆地塔中地区上奥陶统目的层良里塔格组与上覆和下伏地层均为不整合接触, 为一套厚度达 800 m 的灰岩沉积。良里塔格组沉积早期, 海平面迅速上升, 海水淹没塔中地区, 广泛沉积了一套泥质含量较高的泥质灰岩、泥晶灰岩和藻砂屑泥晶灰岩。塔中地区已具台地镶边雏形; 中晚期, 沿塔中 I 号断裂带西侧发育了呈北西—南东向带状展

布的台地边缘相带。在台地边缘内外带分别为开阔台地和斜坡、盆地沉积相区, 总体上表现为台地—斜坡—盆地的沉积体系(图 1)<sup>[1-2]</sup>。

胶结物是表现碳酸盐岩成岩历史的重要记录, 其原始结晶习性的认识以及胶结物地层学所反映的成岩时间序列对成功恢复成岩史具有重要意义<sup>[3-9]</sup>。

## 1 胶结物类型及特征

塔中地区上奥陶统碳酸盐岩的成岩作用类型

收稿日期: 2008-11-14

基金项目: 四川省重点学科建设项目(SZD0414)

作者简介: 王振宇(1964—), 男, 河南滑县人, 副教授, 理学博士, 从事沉积学教学与研究。E-mail: wzhy6408@163.com

© 1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

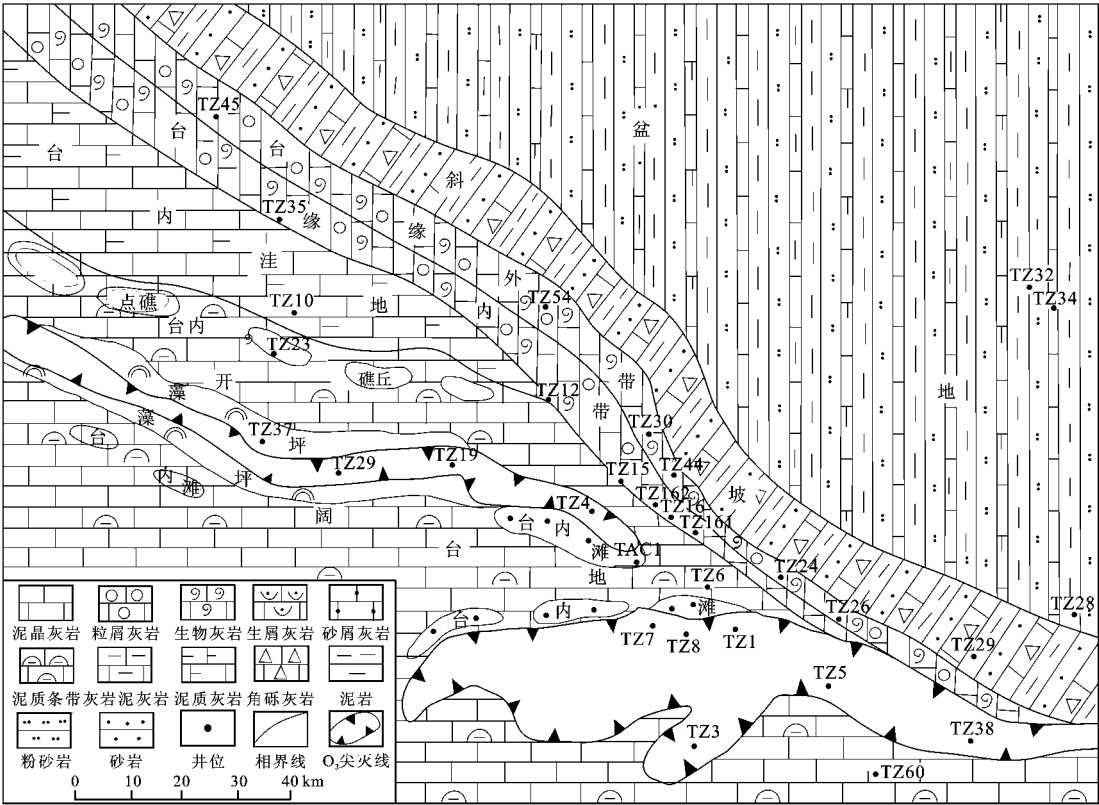


图 1 塔中地区晚奥陶世良里塔格组沉积相平面展布

Fig. 1 Distribution Characteristics of Sedimentary Facies of Late Ordovician Lianglitage Formation in Tazhong District

和成岩期次繁多、关系复杂。方解石的胶结充填作用是破坏孔隙和降低孔隙度的最主要因素之一。通过数百块岩石薄片和抛光面中各种胶结物特征

和成因的观察,并结合微量元素和碳、氧稳定同位素分析,可识别出 11 种胶结物类型(图 2)<sup>[7-9]</sup>。根据他们的包裹体和截切关系,确定了胶结物的分布和形成次序。

1.1 微晶方解石

微晶方解石胶结物在塔中地区上奥统颗粒灰岩中常见,呈暗线出现,可直接覆于颗粒表面,也可覆于先前的泥晶套上,围绕颗粒形成一个规则等厚的包壳,呈一个 2~20 μm 的薄膜,包壳外可生长有叶片状方解石胶结物。微晶方解石胶结物质量分数通常为 1%~2%。

许多学者也将由菌藻的钻孔、包壳、粘结和粘附作用形成的泥晶套和包壳以及颗粒的泥晶化作用,看作是一种特殊形式的海底潜流胶结作用<sup>[10]</sup>。菌藻类的包壳、粘结和粘附作用在塔中地区上奥陶统生物礁中非常发育,其粘结、包壳的泥晶方解石质量分数可达 5%~20%。

对微晶方解石基质的碳氧同位素分析表明,其氧、碳同位素值分别为-5.24×10<sup>-3</sup>、0.900×10<sup>-3</sup> PDB,与本区上奥陶统碳酸盐岩中代表海水环境的四方管珊瑚和层孔虫壳体的碳氧同位素值的结果

成岩环境		方解石胶结物类型	示意图	充填孔隙/%
海底成岩环境	海底潜流带	微晶方解石胶结		0~2
		纤维状方解石胶结		10~30
		放射纤维状方解石胶结		0~20
		放射轴状方解石胶结		0~10
		束状方解石胶结		0~15
		球文石方解石胶结		0~5
大气成岩环境	大气水渗流带	新月型或悬垂型胶结		<5
		渗流粉砂填隙		10~50
		环带状方解石胶结		10~90
埋藏成岩环境	浅埋藏	粗粒亮晶方解石胶结		5~100
		嵌晶方解石胶结		10~100

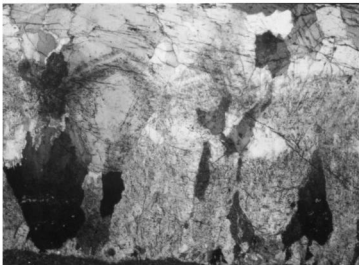
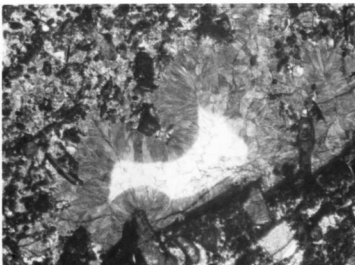
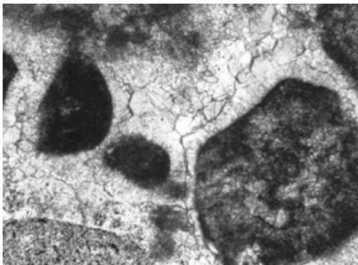
图 2 不同成岩环境中的方解石胶结物类型与特征  
Fig. 2 Categories and Characteristics of Calcite Cement in Different Diagenetic Environments

( $\delta^8\text{O} = -5.25 \times 10^{-3} \sim -5.36 \times 10^{-3} \text{PDB}$ ,  $\delta^3\text{C} = 0.77 \times 10^{-3} \sim 0.97 \times 10^{-3} \text{PDB}$ ) 接近。

1.2 纤维状和纤柱状方解石

纤维状和纤柱状方解石胶结物主要出现于中高能滩的亮晶颗粒灰岩和礁丘的粘结岩、骨架岩、礁砾屑灰岩的孔洞中。晶体多呈浑浊状, 常含微粒状的黑色杂质, 部分已重结晶为细晶方解石, 仅残留纤状或纤柱状晶体的外形。在正交偏光下, 纤维

状方解石没有统一的消光位。不同岩石类型孔洞中胶结物生长状态也不同, 亮晶颗粒灰岩中, 纤维状方解石纤柱状方解石胶结物围绕颗粒长成栉壳状略等厚的环边(图 3a、b), 厚度通常为 0.02 ~ 0.10 mm; 粘结岩、骨架岩孔洞和窗格孔洞中也多作为第一期胶结物从孔洞壁上向孔洞中心生长, 晶体长轴垂直于孔洞壁, 胶结物环边厚度达 0.02 ~ 0.50 mm。



a 亮晶砂砾屑灰岩。早期纤状环边胶结物被溶蚀, 与细粒状方解石呈胶结不整合接触。TZ15井, 4 671.43 m, (-) × 63

b 隐藻粘结岩。孔洞边部为第一期纤柱状方解石, 晶体混浊, 中心为第2、3期细晶胶结物, 晶体明亮。TZ44井, 1 484.30 m, (-) × 10

c 粘结岩。孔洞边部为放射纤维状方解石胶结物, 之上生长放射轴状胶结物, 外缘出现尖头方解石的晶端和环带。TZ42井, 5 375.60 m, (+) × 25

图 3 纤维状、纤柱状和放射纤维状方解石胶结物特征

Fig. 3 Characteristics of Fibrous Fibro-prismatic and Radiation Fibrous Calcite Cement

对该区粘结岩和隐藻凝块石灰岩孔洞中的纤维状方解石的电子探针分析表明(表 1), 其 MgO、Na<sub>2</sub>O 和 K<sub>2</sub>O 的含量较高, SrO 含量变化较大, Ba、Mn、Fe 的含量总体上较低, 部分样品的含 Fe 量稍高, 可能与后期的重结晶作用有关。

纤维状等厚环边方解石被认为是早期的海底胶结物, 形成于孔隙水仍与正常海水密切交换的海底潜流带中<sup>[11]</sup>。Folk 提出海相胶结物的纤维状习

性与正常海水中的高  $\rho(\text{Mg}^{2+})/\rho(\text{Ca}^{2+})$  比值有关, 在  $\rho(\text{Mg}^{2+})/\rho(\text{Ca}^{2+})$  比值超过 2 : 1 至 10 : 1 或更高的环境中, 有利于形成纤维状或纤柱状的高镁方解石和文石<sup>[12]</sup>。现代碳酸盐沉积的研究表明, 在浅海陆棚环境中, 文石和高镁方解石是比较普遍的胶结物。由于原始文石和高镁方解石的不稳定性, 在成岩环境中将转化为低镁方解石, 转化过程中常有粒度的增大, 即发生进变新生变形作用。

表 1 粘结岩和隐藻凝块石灰岩孔洞内纤维状方解石胶结物的电子探针分析

Tab. 1 Electron Microprobe Analysis of Fibrous Calcite Cement in the Hole of Boundstone and Clotted Limestone

井号	深度/m	岩性	发光特征	$w_B/10^{-6}$							备注
				MgO	SrO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BaO	MnO	FeO	
TZ161	4 360.0	隐藻凝块石灰岩	不发光	6 300	0	570	0	0	0	0	浑浊状
TZ161	4 360.0	隐藻凝块石灰岩	不发光	5 390	330	1 850	240	3 130	130	0	浑浊状
TZ30	5 027.8	粘结岩	昏暗	6 510	0	1 240	20	0	70	550	浑浊状
TZ30	5 065.7	隐藻凝块石灰岩	昏暗	6 560	0	4 050	230	0	390	0	重结晶为细晶, 浑浊
TZ44	5 017.1	粘结岩	昏暗—不发光	3 820	1 300	100	100	0	0	480	重结晶为细晶, 浑浊

1.3 放射纤维状方解石

该方解石主要出现在生物礁骨架岩和粘结岩的孔洞中, 晶体粗大, 呈浑浊状, 不具明显的波状消光, 可长成厚达 0.5 ~ 3.0 mm 的放射纤维状方解石胶结物的环边(图 3c)。其胶结作用一般可使礁灰岩中的原生孔隙减少 10% ~ 30%, 甚至可填满大

部分的孔隙空间。

通过对礁灰岩孔洞中的放射纤维状方解石的电子探针微量元素分析(表 2), 其 MgO 含量较高, 而 SrO 含量总体较低, Na、K 变化总体上具有一致性。MnO 质量分数较低, 部分样品可达  $520 \times 10^{-6}$ , FeO 质量分数多数样品为  $(420 \sim 550) \times 10^{-6}$ 。

表 2  粘结岩孔洞中的放射纤维状方解石电子探针分析

Tab. 2    Electron Microprobe Analysis of Radial Fibrous Calcite Cement in the Hole of Boundstone <span style="float:right"><math>w_B/10^{-6}</math></span>									
井号	深度/m	岩性	MgO	SrO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BaO	MnO	FeO
TZ30	5 027. 80	粘结岩	6 510	0	1 240	260	0	70	550
TZ42	4 378. 00	粘结岩	5 110	0	360	60	0	520	420
TZ42	5 375. 00	粘结礁灰岩	3 090	0	0	0	0	0	450
TZ44	4 843. 56	藻粘结砂屑灰岩	1 780	540	800	90	0	0	0

其 Fe、Mn 含量可能与含杂质有关,因放射纤维状方解石后期均遭受了不同程度的重结晶作用的影响。

1.4  放射轴状方解石和束状方解石

放射轴状方解石每个晶体内亚晶离开底质向外发散,而亚晶光轴会聚,解理面向下弯曲<sup>[13]</sup>。束状方解石类似于放射轴状方解石,常出现于同一孔洞内,可根据快光具有的发散型式来鉴别,这种发

散型式与亚晶一致<sup>[14]</sup>。此两种胶结物在研究区大量出现于礁丘的粘结岩、格架岩的孔洞中。放射轴状方解石多出现于纤维状、束状方解石胶结物之外,或增生于纤维状、束状方解石的晶体终端上,出现菱形晶端(图 4a、b),或通过胶结不整合面生长于纤维状方解石之外;也可直接反复生长,形成由多层放射轴状方解石组成的皮壳状构造。

对塔中地区上奥陶统粘结岩和骨架礁灰岩孔

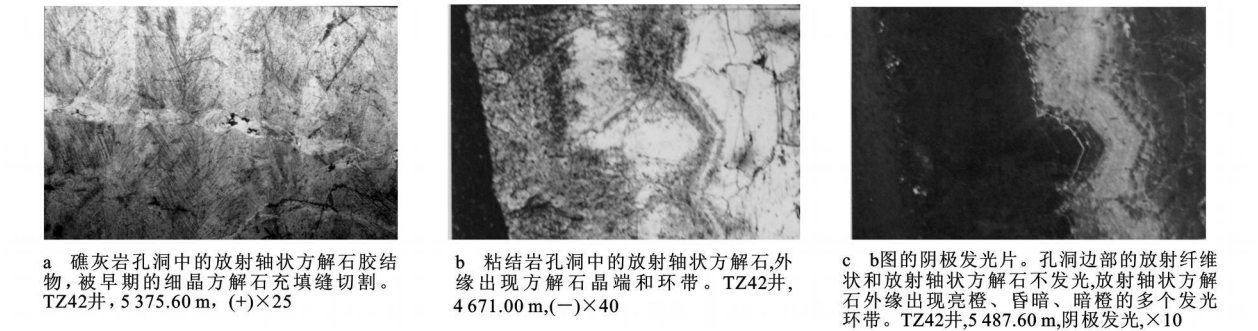


图 4  放射轴状方解石胶结物及其阴极发光特征

Fig. 4    Characteristics of Radiation Axial Calcite Cement and Its Cathodoluminescence

洞中放射轴状方解石不同部位的电子探针微量元素分析表明(表 3),晶体不同部位的微量元素含量和阴极发光具有明显的差异。晶体中下部 Mg、Sr、Na 含量较高、而不含 Fe、Mn, 阴极发光性上显示出不发光—昏暗;晶体顶端及外缘 MgO、SrO、Na<sub>2</sub>O

含量相对降低,而 MnO 和 FeO 含量升高,且愈向外缘, Mg、Sr、Na 含量愈降低、Fe 含量愈高,阴极发光上晶体顶端和外缘发暗橙—橙光(图 4c)。这一特征反映了放射轴状方解石在生长过程中介质环境的变化。

表 3  粘结岩和骨架岩孔洞中放射轴状方解石胶结物的电子探针和阴极发光分析

Tab. 3    Electron Microprobe and Cathodoluminescence Analysis of Radial Axial Calcite Cement in the Hole of Boundstone and Framestone <span style="float:right"><math>w_B/10^{-6}</math></span>									
井号	深度/m	位置	阴极发光	MgO	SrO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BaO	FeO
TZ42	4 378. 0	晶体中部	昏暗	2 900	1 510	2 620	0	2 540	0
TZ42	4 378. 0	晶体外缘	暗橙	3 000	0	540	0	0	570
TZ42	4 378. 0	晶体外缘	橙	3 170	840	1 070	70	0	840
TZ42	5 375. 0	晶体中上部	不发光	3 640	0	90	0	0	1 010
TZ49	6 398. 7	晶体底	不发光	3 890	250	400	0	590	240
TZ49	6 398. 7	晶体上部	暗橙	910	1 900	0	0	1 380	480

1.5  球粒状纤维裙和球文石方解石胶结物

球粒状的纤维胶结物(图 5a)和似球文石主要出

现于礁丘灰岩孔洞中。部分球粒状纤维胶结物的外围可见有纤维状方解石围绕其生长。这些与礁有关

的球粒状纤维裙和球文石通常被看作是原生文石海洋胶结物, 随后经重结晶作用变成为方解石<sup>[15]</sup>。

1.6 新月型或悬垂型胶结物

新月型胶结物是指颗粒的接触处存在的、外缘呈连续的弧形弯曲(近似于弯月状)的胶结物(图5b), 它们可以是单晶的, 也可以是多晶集合体。悬垂型胶结物是指存在于孔隙上方、向下悬垂生长的胶结物, 其形状和结构具方向性<sup>[16]</sup>。

在渗流带, 孔隙水主要沿颗粒表面向下流动, 孔隙中为空气, 在表面张力下, 水在颗粒表面形成水膜并在颗粒接触处相对富集, 从而形成新月型胶结物。胶结物的表面形态则反映受表面张力控制的水膜形状。当孔隙水较多时, 部分水受重力影响, 克服了表面张力, 由孔隙顶部向下滴, 从而形成重力胶结物。显然, 较大的孔洞有利于这种胶结物的形成, 新月型胶结物只存在于颗粒接触处, 重力胶结物只占据部分孔隙空间, 因而它们不会阻塞孔隙, 而孔隙仍保持开放状态。

1.7 渗流粉砂

渗流粉砂是指碳酸盐岩中存在原生或次生孔洞中内充填的一种粉砂级碎屑沉积物(图5c), 本区

主要出现在生物礁(丘)的各种孔洞中, 通常为泥晶碳酸盐, 并含有细粒生物碎屑。其下部有纤维状、叶片状方解石胶结物, 可与渗流粉砂形成示底构造。渗流粉砂的顶部界面大致是平的, 内部具显微交错层理。它们是在渗流带向下渗流的、具较高流速的孔隙水携带的物质沉积形成。

1.8 环带状方解石

它以阴极发光下明显发育环带为特征(图6a), 一般以细晶—中粗晶为主, 在不发光的核心之外, 发育有2~3个由亮橙光与暗橙光或不发光交替组成的环带。不发光环带含铁和镁高, 而发光环带的锰、锶、钾含量较高, 反映了环带方解石是在介质条件多变的环境中形成的, 其主要形成于大气水潜流带—浅埋藏的区域地下水作用环境中。

1.9 粗粒亮晶方解石

多呈中粗—巨晶它形、半自形或镶嵌状充填于孔洞中央。在未充满的孔洞中, 也可见到发育较好的晶形(图6b)。电子探针分析表明, 它们的成分变化较大, 同位素分析显示出其的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化也较大。总体上其铁、锰含量较高, 阴极发光以昏暗光、暗橙光和不发光为特征,  $\delta^{18}\text{O}$ 值明显偏

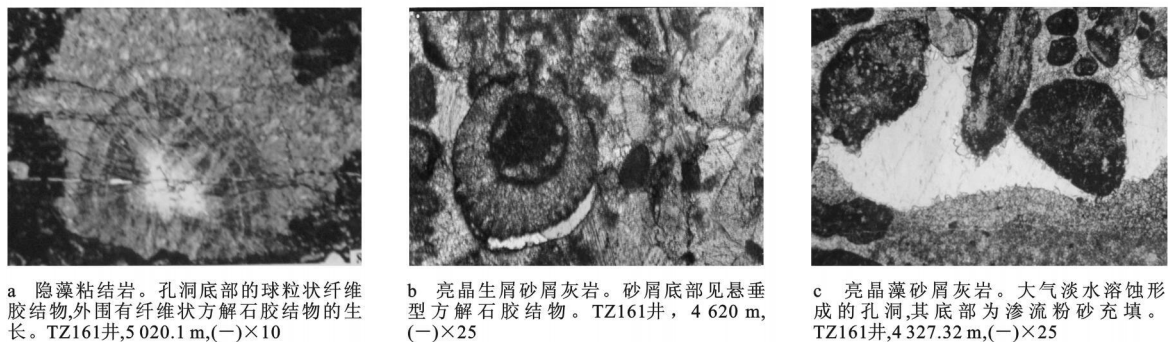


图5 球粒状纤维、新月型、渗流粉砂方解石胶结物特征

Fig. 5 Characteristics of Spherulitic Fibrous Buried Crescent and Vadose Silt Calcite Cement

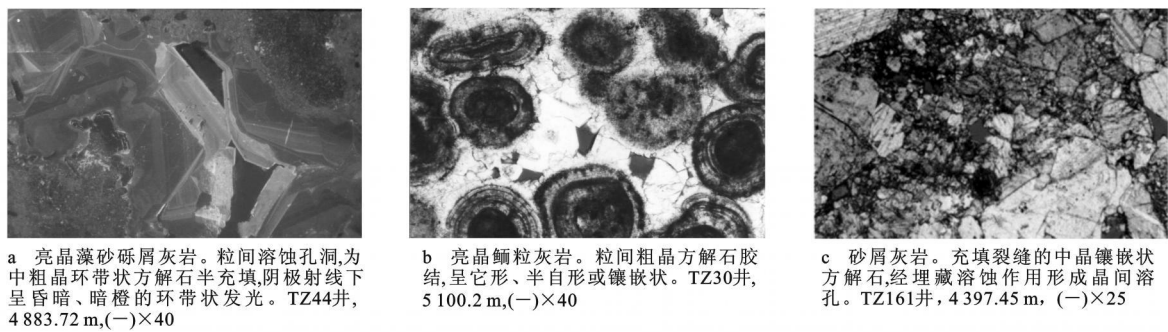


图6 环带状方解石阴极发光及粗粒亮晶、嵌晶方解石胶结物特征

Fig. 6 Characteristics of Cathodoluminescence of Girdle Calcite Cement Coarse Sparry and Poikilitic Calcite Cement

负, 含大量的两相流体包体且均一温度较高, 反映了它们形成于埋藏环境中。

### 1.10 嵌晶方解石

这种方解石以具有嵌含组构为特征, 即一个方解石大晶体包含若干个颗粒, 它们常发育有应力双晶, 阴极发光以暗淡发光为主(图 6c)。

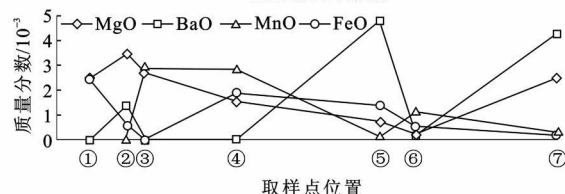
## 2 成岩环境

通过岩芯、薄片等可以清楚观察到孔、缝中的胶结物类型、形态和充填次序等(图 7)。但同一类型的胶结物可能在不同的成岩环境中形成, 故判断成岩环境时需根据各种胶结物的形态、地球化学特征及生物作用、沉积作用和溶解作用的关系综合分析<sup>[17]</sup>。

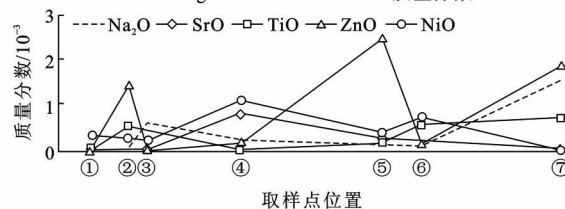


A为粗晶方解石; B为粗晶镶嵌方解石; C为粗晶粒状萤石; D为斑状细晶方解石、萤石等的共生组合; ①~⑦为取样点位置

a 胶结物充填次序



b MgO、BaO、MnO、FeO 质量分数



c Na<sub>2</sub>O、SrO、TiO、ZnO、NiO 质量分数

图 7 塔中 12 井 4 654 m 处溶洞的胶结物充填次序及阴极发光、环带和电子探针微量元素分析

Fig. 7 Filling Sequence, Cathodoluminescence, Girdle and Electronic Probe Microelement Analysis of the Cements in Carbonate Hole at 4 654 m Depth of TZ12 Well

根据研究区方解石胶结物的类型和同位素、微量元素等地球化学特征, 确定了海底成岩环境、大气水成岩环境和埋藏成岩环境 3 种成岩环境, 各种成岩环境中具特定的胶结物类型和胶结次序。

### 2.1 海底成岩环境

海底成岩环境产物主要有微晶方解石、纤状方

解石、放射纤维状方解石、束状方解石、放射轴状方解石和泥晶方解石 6 种类型。

古生代礁丘洞穴中的放射轴方解石、束状方解石胶结物, 鉴于原生和早期成岩洞穴的产状和内沉积物的关系以及总体特征, 多作为海底环境的胶结物来解释。早期的学者多把它们作为一种交代早期针状束的产物, 其证据是晶体粗大、浊浑, 且现代海水成岩环境中未见粗晶方解石<sup>[18]</sup>。目前一些学者将其重新解释为海底原生方解石胶结物, 通常是镁方解石在海水潜流带以复晶生长形成。这可能是在文石补偿深度之下、方解石补偿深度之上的较深海底, 由冷海水直接沉淀生成的。Tucker 曾描述过西德泥盆系海山深水灰岩中的放射轴状方解石胶结物, 认为其最初是在深水环境中沉淀的, 因灰岩之上覆有深水浊积岩沉积<sup>[19]</sup>。

### 2.2 大气淡水成岩环境

塔中地区晚奥陶世台地边缘相带中, 由于礁滩体的向上生长、营建作用, 使沉积体多次暴露于海平面之上, 接受大气淡水的淋滤作用, 因此大气淡水成岩环境中以溶解作用为主, 发育多个旋回的大气成岩透镜体。

大气淡水成岩环境中的胶结作用有限, 大气淡水渗流带中主要形成由粒状方解石组成的新月型和重力胶结物, 它们虽含量不多, 却具有重要的成岩环境指示意义。大气潜流带中形成以等轴细粒状、等厚的叶片状、刃状或犬牙状、菱形、六面体粉—细晶方解石为代表的胶结物, 可在潜流层中均匀分布; 既可沿充填原生孔隙的纤状环边胶结物的外缘生长, 并与之呈胶结不整合接触, 也可作为“第一期”胶结物充填于早期大气淡水溶蚀形成的次生孔隙中。这一成岩环境中常见的另一种胶结物是棘屑颗粒上共轴生长的方解石, 晶体洁净明亮, 几乎包围整个棘屑颗粒。

通过对颗粒灰岩和礁灰岩溶孔中的粗叶片状方解石、犬牙状方解石和细粒等轴状方解石的电子探针微量元素分析表明, 大气淡水胶结物的微量元素总体上显示出低的 Mg、Sr、Na 值, 反映了来自大气淡水的稀释作用。

### 2.3 埋藏成岩环境

埋藏成岩环境中方解石胶结物的共同特征是晶体明亮粗大, 一般大于 0.1 mm, 以单晶或嵌晶形式充填于孔隙或孔洞的中心部位, 与第一、二期方解石呈胶结不整合接触, 或直接与颗粒或洞壁接

触,这一期方解石多见于中高能滩颗粒灰岩和生物礁灰岩孔洞中,虽然含量不高,但往往导致原生孔隙、次生孔隙储集性能降低。

### 3 结语

(1)塔中地区上奥陶统碳酸盐岩的成岩作用类型和成岩期次繁多、关系复杂,方解石的胶结充填作用是破坏孔隙和降低孔隙度的最主要因素之一。

(2)共识别出微晶方解石、纤维状和纤柱状方解石、放射纤维状方解石、放射轴状方解石和束状方解石、球粒状纤维裙和似球文石、新月型或悬垂型方解石、渗流粉砂、环带状方解石、粗粒亮晶方解石、嵌晶方解石等11种类型的方解石胶结物,各胶结物具不同的分布特征和形成次序。

(3)确定了海底成岩环境、大气水成岩环境和埋藏成岩环境3种成岩环境,各成岩环境中具特定的胶结物类型和胶结次序。胶结物类型和成岩环境的确定为孔隙演化史的建立和有利勘探目标的预测提供了有力的依据。

#### 参考文献:

- [1] 贾承造,魏国齐,姚慧君,等.盆地构造演化与区域构造地质[M].北京:石油工业出版社,1995.
- [2] 陈景山,王振宇,代宗仰,等.塔中地区中上奥陶统台地镶边体系分析[J].古地理学报,1999,1(2):8-17.
- [3] 黄思静,王春梅,黄培培,等.碳酸盐成岩作用的研究前沿和值得思考的问题[J].成都理工大学学报:自然科学版,2008,35(1):1-10.
- [4] Aissaoui D M, Cpniglo M, James N P, et al. Diagenesis of a Miocene Reef Platform Jebel Abushaar, Guif of Suez, Egypt [C] //Schroeder J H. Reef Diagenesis. Berlin: Springer-Verlag, 2002: 112-131.
- [5] 王生海,范嘉松.贵州紫云二叠纪生物礁的胶结作用[J].地质科学,1995,30(1):53-62.
- [6] 钱 峰.川东石炭系碳酸盐岩孔隙演化中的埋藏胶结作用

- [J].石油大学学报:自然科学版,1999,23(3):9-12.
- [7] Macaulay C I, Stuart-Haszeldine R, Fallick A E. Distribution, Chemistry, Isotopic Composition and Origin and Diagenetic Carbonates; Magnus Sandstone, North Sea[J]. Journal of Sedimentary Research, 1993, 63(1): 33-43.
- [8] Mozleg P S, Burns S J. Oxygen and Carbon Isotopic Composition of Marine Carbonate Concretions; an Overview [J]. Journal of Sedimentary Research, 1993, 63(1): 73-83.
- [9] 宋志敏.阴极发光地质学基础[M].武汉:中国地质大学出版社,1993.
- [10] 冯增昭,王英华,刘焕杰,等.中国沉积学[M].北京:石油工业出版社,1994.
- [11] Longman M W. Carbonate Diagenetic Textures from Near-surface Diagenetic Environments [J]. AAPG Bulletin, 1980, 64(4): 461-487.
- [12] Folk R L. The Natural History of Crystalline Calcium Carbonate; Effect of Magnesium Content and Salinity [J]. Journal of Sedimentary Research, 1974, 44(1): 40-53.
- [13] Kim Y, Lee Y I. Radial Fibrous Calcites as Low-magnesian Calcite Cement Precipitated in a Marine-meteorite Mixing Zone [J]. Sedimentology, 2003, 50(4): 731-742.
- [14] Mazzullo S J. Facies and Burial Diagenesis of a Carbonate Reservoir; Chapman Deep (Atoka) Field, Delaware Basin, Texas [J]. AAPG Bulletin, 1981, 65(5): 850-865.
- [15] Mazzullo S J. Calcite Pseudospinel Replacement of Marine Acicular Aragonite, and Implications for Aragonite Cement Diagenesis [J]. Journal of Sedimentary Research, 1980, 50(2): 409-422.
- [16] 强子同.碳酸盐岩储层地质学[M].山东东营:石油大学出版社,1998.
- [17] 王英华.碳酸盐岩成岩作用与孔隙演化[J].沉积学报,1992,10(3):85-95.
- [18] Kendall A C, Broughton P L. Origin of Fabrics in Speleothems Composed of Columnar Calcite Crystals [J]. Journal of Sedimentary Research, 1978, 48(2): 519-538.
- [19] Kendall A C, Tucker M E, Kendall A C. Radial Fibrous Calcite: a Replacement After Acicular Carbonate [J]. Sedimentology, 2006, 20(3): 365-389.