

文章编号: 1000-0550(2004)01-0006-07

# 新疆塔河油田奥陶系碳酸盐岩溶洞、裂隙中方解石胶结物元素分析与成因

钱一雄<sup>1,2</sup> 陈跃<sup>2</sup> 马宏强<sup>2</sup> 陈强路<sup>2</sup>

1(石油大学(北京)资源与环境学院 北京 102200)

2(中国石化勘探开发研究院无锡实验地质研究所 江苏无锡 214151)

**摘要** 通过对新疆塔河油田奥陶系的溶洞(穴)和裂隙充填的 31 件方解石胶结物元素分析及因子和聚类分析表明:方解石中的  $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{MgCO}_3$ 、 $\text{FeCO}_3$ 、 $\text{MnCO}_3$  相对平均摩尔百分含量分别为 98.38%、0.87%、0.68% 和 0.07%,  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  平均分别为 1.95%、0.73%,  $\text{Sr}$ 、 $\text{BaO}$  平均分别为  $131.4 \times 10^{-6}$ 、 $516.5 \times 10^{-6}$ ,  $\text{F}$  和  $\text{Cl}^-$  平均分别为 0.014% 和 0.013%, 而  $\text{Mn} + \text{Fe}/\text{Mg}$ 、 $\text{Mn}/\text{Fe}$  平均分别为 0.87、0.10; 方解石中  $\text{Sr}/\text{Ca} = 0.00618\text{Mg}/\text{Ca} + 0.000533$  ( $R^2 = 0.197$ ), 主要显示出无机成因特点; 方解石常量与微量元素特征均可由六个因子可代表组成, 具有一定的沉积与成岩作用意义; 据聚类分析将样品划分出四组: 其中, 以 S69-W-037 等代表的可能为潜流带中的淡水淋滤的产物, 并可能经历了相当强烈的水-岩作用或埋藏溶蚀作用; 以 S69-W-038 等为代表的则为大气淋滤的产物; 以 S80-W-064 等代表显示出埋藏作用或海水成岩及混合带的产物特征, 但不排除埋藏热水作用的影响; S85-W-005 等样品推测为海水浓缩背景下埋藏成岩产物, 可能出现酸性还原条件。

**关键词** 方解石 化学分析 因子分析 聚类分析 胶结物成因 塔河

**第一作者简介** 钱一雄 男 1962 年生 在职博士生 高级工程师 地球化学

**中图分类号** P595 P642.25 **文献标识码** A

新疆塔河油田奥陶系油气藏是以岩溶型储集体为主体<sup>[1~3]</sup>。为研究方便,古岩溶型储集体孔洞缝网络体系作以下的分类;一般来说;孔和洞的长宽比小于 10,而裂隙与缝大于 10,其中,洞穴大于 10 mm,中洞为 10~5 mm,小洞为 5~2 mm;粗孔的直径为 2~0.1 mm,细孔为 0.1~0.01 mm,微孔小于 0.01 mm;大裂隙为大于 3 mm,中裂隙为 1~3 mm,小裂隙为 1~0.1 mm,微裂隙小于 0.1 mm。

方解石胶结物是成岩作用中最重要矿物之一,其微形貌、结构与成份可以反映成岩流体中成分、介质温度与压力(主要是  $P_{\text{CO}_2}$ )和 pH 值,流动速度、水-岩体积比、溶液-固体或溶液-溶液相元素初始与最终量(配)比、界面表面特征或体系的封闭与开放等<sup>[4~8]</sup>。胶结作用往往起破坏性成岩作用,由于碳酸盐岩对快速淋滤作用和胶结作用的高度敏感性,因此,可以在横向与垂向较短的距离内,引起其孔隙度与渗透率发生很大的变化,但是,淡水胶结方解石或埋藏作用胶结的铁白云石和铁方解石的形成与油气的充注可形成分隔层,同时有利于下覆的储集体孔洞缝网络体系的保存。

## 1 塔河油田奥陶系碳酸盐岩主要胶结作用

塔河奥陶系碳酸盐岩主要胶结作用可细分为:颗粒的微晶化和孔隙内侧的胶结作用;礁或滩的粒间海水胶结作用(如一间房组);由海水潜流带到淡水潜流带地下水流水沉积与胶结;渗流带-潜流带中晶洞孔隙、晶洞被亮晶和巨晶方解石充填;与深埋或热液作用的铁方解石或萤石、粘土矿物相(包括绿泥石等)等胶结,压溶作用或机械-化学作用等有关的缝合线化、泥质或黄铁矿充填;与断裂-裂隙作用有关的沥青或油气充注等。

## 2 方解石成分及其因子分析

### 2.1 方解石常量与微量元素成分特征

在本次研究中,选取了塔河奥陶系溶孔(洞)和裂隙充填的方解石样品,共计 31 个样品,进行了元素全分析(表 1)。其主要成分的特点是:  $\text{CaCO}_3$  mol % 平均为 98.38% (93.15~99.56%),  $\text{MgCO}_3$  mol % 平均为

表1 方解石化学分析 (常量为%,微量为 $10^{-6}$ ) \*  
 Table 1 Analytical data of the major and trace elements of calcites (with % contents of the major elements and  $10^{-6}$  of the trace elements)

序号	样品号	产状	埋深 / m	时代	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P	CO <sub>2</sub>	酸不溶物	CaCO <sub>3</sub> (Mol.%)	MgCO <sub>3</sub> (Mol.%)	FeCO <sub>3</sub> (Mol.%)	MnCO <sub>3</sub> (Mol.%)	(Mn+Fe)/Mg	Mn/Fe	Cl <sup>-</sup>	F	Ti	Sr	BaO	Cr	Cu	Zn	Ni	Co	V	Zr	Ga	B	Pb	Mo
3	S85-W-003	大洞穴	5796.9	O <sub>1</sub>	2.62	0.83	0.18	0.03	53.45	0.22	0.12	0.05	0.01	0.003	41.30	2.92	98.67	0.61	0.69	0.04	1.19	0.05	0.027	0.016	226	111	215	8.4	18.6	13.2	6.3	3.9	1.0	9.6	0.9	3.0	5.0	0.7
5	S85-W-005	大裂隙	5830.95	O <sub>1</sub>	1.21	0.89	0.12	0.01	55.57	0.20	0.04	0.18	0.04	0.003	41.74	1.21	98.92	0.53	0.41	0.14	1.02	0.34	0.026	0.026	208	479	7.9	16.8	11.6	5.9	3.9	1.0	7.3	0.3	3.0	3.0	0.7	
6	S85-W-006	大裂隙	5831.05	O <sub>1</sub>	0.78	0.06	0.01	55.71	0.20	0.02	0.02	0.03	0.004	40.25	99.14	99.14	0.53	0.22	0.10	0.61	0.47	0.47	0.021	0.012	104	53.3	28	7.7	15.4	7.4	5.9	3.7	1.0	15.4	0.0	3.0	3.0	0.6
12	S85-W-011	巨型晶洞	5964.6	O <sub>1</sub>	0.67	0.83	0.06	0.01	55.85	0.67	0.03	0.12	0.03	0.003	43.42	0.64	97.92	1.76	0.22	0.10	0.18	0.47	0.021	0.012	104	53.3	28	7.7	15.4	7.4	5.9	3.7	1.0	15.4	0.0	3.0	3.0	0.6
13	S85-W-012	巨型晶洞	5965	O <sub>1</sub>	0.54	0.75	0.07	0.01	55.37	0.28	0.04	0.03	0.02	0.003	43.42	0.49	98.93	0.75	0.25	0.07	0.43	0.27	0.014	0.012	106	96.2	21	7.5	16.5	9.5	5.6	4.0	1.0	5.6	0.3	3.0	3.0	0.6
14	S85-W-013	巨型晶洞	5966.33	O <sub>1</sub>	3.37	0.61	0.06	0.01	55.15	0.25	0.01	0.06	0.02	0.001	40.34	3.32	99.03	0.67	0.22	0.07	0.44	0.31	0.018	0.025	83.9	93.4	19.9	6.9	14.2	11.5	5.2	3.9	1.0	24.1	2.1	3.0	3.0	0.6
16	S76-W-015	大裂隙	5564.2	O <sub>1</sub>	2.21	1.06	0.09	0.01	55.00	0.37	0.04	0.08	0.03	0.003	41.17	98.58	99.58	0.99	0.22	0.10	0.42	0.33	0.015	0.015	195	205	269	8.7	15.3	42.6	5.5	4.3	1.0	10.5	0.0	3.0	3.5	0.6
18	S76-W-017	大裂隙	5595.4	O <sub>1</sub>	1.14	0.78	0.06	0.01	55.85	0.08	0.01	0.03	0.00	0.003	40.72	99.56	99.56	0.21	0.22	0.00	1.04	0.00	0.026	0.060	107	91.2	2027	8.7	17.6	8.5	6.4	3.7	1.0	12.5	0.0	3.0	3.0	0.6
19	S76-W-018	大裂隙	5596.8	O <sub>1</sub>	1.61	0.58	0.11	50.76	0.56	0.30	0.20	0.01	0.008	38.68	96.05	1.59	2.33	0.04	1.49	0.02	1.49	0.03	0.026	0.113	104	113	13.5	98.2	58.9	6.2	4.1	1.0	0.0	3.0	14.8	0.7		
23	S76-W-021+2	大裂隙	5640.55	O <sub>1</sub>	0.34	0.56	0.24	0.12	55.08	0.30	0.03	0.02	0.01	0.009	41.91	1.08	98.00	0.80	1.16	0.03	1.49	0.03	0.026	0.113	104	113	13.5	98.2	58.9	6.2	4.1	1.0	0.0	3.0	14.8	0.7		
24	S76-W-022	大裂隙	5658.87	O <sub>1</sub>	6.51	1.22	0.44	0.12	50.39	0.39	0.21	0.12	0.01	0.004	39.95	8.20	96.91	1.13	1.93	0.04	1.75	0.02	0.024	0.115	203	1462	13.1	18.9	16.7	5.9	4.3	1.0	0.1	3.0	15.5	0.7		
27	S76-W-025	大裂隙	5722.5	O <sub>1</sub>	0.34	0.56	0.12	0.02	55.51	0.15	0.01	0.02	0.01	0.001	41.54	0.61	99.12	0.40	0.44	0.03	1.19	0.08	0.015	0.022	102	73.2	117	9.6	13.9	24.6	5.4	3.8	10.9	1.4	3.0	3.0	0.7	
39	S69-W-037	洞穴	5655.6	O <sub>1</sub>	0.47	0.56	0.05	0.04	55.29	0.17	0.01	0.10	0.02	0.001	42.80	0.63	99.18	0.46	0.30	0.07	0.80	0.23	0.020	0.011	85.4	152	253	8.7	13.6	6.9	5.6	3.8	1.0	3.6	0.0	3.5	3.0	0.7
40	S69-W-038	洞穴	5655.7	O <sub>1</sub>	1.94	0.67	0.12	0.04	54.44	0.18	0.04	0.09	0.02	0.001	40.59	2.25	98.92	0.49	0.52	0.07	1.21	0.13	0.025	0.009	105	117	200	7.7	13.9	10.2	5.5	3.7	1.0	8.2	1.5	3.0	3.5	0.7
41	S69-W-039	大裂隙	5698.2	O <sub>1</sub>	0.69	0.32	0.06	0.04	55.37	0.16	0.01	0.04	0.02	0.002	42.12	0.70	99.17	0.43	0.33	0.07	0.92	0.21	0.034	0.011	136	135	126	7.5	13.2	9.7	6.9	3.6	1.0	3.4	0.0	3.0	3.0	0.7
42	S69-W-040	大裂隙	5697.15	O <sub>1</sub>	0.83	0.17	0.06	0.04	55.14	0.16	0.02	0.03	0.01	0.002	42.01	99.20	0.43	0.33	0.03	0.84	0.11	0.21	0.026	0.009	83.9	135	2995	7.5	13.6	9.3	6.1	4.5	1.0	3.6	0.0	3.0	3.5	0.7
43	S69-W-041	洞穴	5698.45	O <sub>1</sub>	1.31	0.39	0.06	0.04	54.46	0.25	0.06	0.38	0.02	0.004	42.63	1.70	98.92	0.68	0.33	0.07	0.59	0.21	0.026	0.009	83.9	135	2995	7.5	13.6	9.3	6.1	4.5	1.0	3.6	0.0	3.0	3.5	0.7
62	S80-W-064	洞穴	5712.1	O <sub>1</sub>	1.48	0.56	0.08	0.04	53.98	0.26	0.10	0.30	0.01	0.004	41.82	1.51	98.85	0.71	0.40	0.04	0.61	0.09	0.019	0.014	199	602	8.6	29.4	16.2	6.8	4.2	1.0	0.0	3.0	3.7	0.8		
63	S80-W-066	洞穴	5716.95	O <sub>1</sub>	2.41	0.72	0.24	0.06	53.03	1.12	0.12	0.08	0.00	0.003	40.62	3.03	95.99	3.04	0.97	0.00	0.32	0.00	0.030	0.014	195	198	45	8.7	13.8	8.9	6.8	4.2	1.0	8.5	2.3	3.0	3.7	0.8
72	S79-W-076	大裂隙	8857.23	O <sub>1</sub>	1.54	0.50	0.04	0.04	54.35	0.16	0.06	0.35	0.01	0.003	41.04	1.88	99.26	0.44	0.27	0.04	0.70	0.13	0.007	0.017	124	2455	7.5	12.2	11.6	6.6	3.9	1.0	1.4	3.5	3.0	0.7		
74	S79-W-078	洞穴	5594.3	O <sub>1</sub>	1.61	0.50	0.04	0.04	54.51	0.21	0.03	0.13	0.01	0.002	42.27	1.79	99.12	0.57	0.27	0.04	0.53	0.13	0.004	0.004	109	112	377	9.7	14.7	9.3	5.3	3.7	1.0	0.0	3.0	3.1	0.5	
78	S61-W-082	洞穴	5522.28	O <sub>1</sub>	3.22	0.56	0.16	0.02	53.62	0.20	0.07	0.09	0.01	0.003	39.49	3.78	98.82	0.55	0.59	0.04	1.13	0.06	0.034	0.009	135	99	28.5	11.4	12.3	11.0	6.0	3.6	1.0	8.3	0.0	3.0	3.1	0.6
79	S61-W-083	洞穴	5523.82	O <sub>1</sub>	2.08	1.06	0.09	0.04	54.92	0.24	0.10	0.32	0.02	0.003	41.64	2.34	98.86	0.65	0.42	0.07	0.76	0.16	0.018	0.004	111	104	100	7.2	11.2	10.0	5.5	3.4	1.0	8.5	0.0	3.0	3.0	0.7
85	S78-W-088	洞穴	5320.2	O <sub>1</sub>	3.15	0.72	0.30	0.08	54.49	0.24	0.11	0.08	0.05	0.004	40.37	3.65	97.96	0.65	1.22	0.17	2.16	0.14	0.022	0.025	219	96.8	252	8.4	12.0	10.2	6.0	4.9	1.0	17.7	1.0	3.0	3.5	0.6
87	S78-W-090	洞穴	5329.2	O <sub>1</sub>	0.60	0.56	0.06	0.05	55.52	0.13	0.01	0.05	0.03	0.004	41.73	99.19	0.35	0.36	0.10	1.33	0.29	1.33	0.022	0.025	219	96.8	252	8.4	12.0	10.2	6.0	4.9	1.0	17.7	1.0	3.0	3.5	0.6
89	S78-W-093	大裂隙	5518.34	O <sub>1</sub>	1.27	0.61	0.12	0.05	54.15	1.20	0.06	0.03	0.01	0.001	41.92	1.29	96.22	3.20	0.55	0.03	0.18	0.06	0.021	0.010	123	228	117	7.4	13.3	6.9	4.0	1.0	8.1	0.0	3.0	4.9	0.6	
90	S87-W-094	洞穴	5527.38	O <sub>1</sub>	1.48	0.61	0.12	0.06	55.52	0.28	0.04	0.04	0.01	0.002	41.28	98.64	0.75	0.58	0.03	0.82	0.06	0.005	0.012	63	253	7.4	13.0	13.2	5.9	3.6	1.0	3.0	3.3	3.0	0.7			
100	S65-W-104	大裂隙	5467.1	O <sub>1</sub>	1.21	0.61	0.06	0.03	55.29	0.17	0.02	0.02	0.07	0.000	42.26	99.01	0.46	0.29	0.24	1.17	0.83	0.008	0.008	103	111	742	7.6	11.7	12.0	5.8	3.5	1.0	9.6	3.0	3.1	0.7		
108	S65-W-111	洞穴	5732	O <sub>1</sub>	0.34	0.33	0.03	0.01	55.02	0.20	0.01	0.01	0.02	0.000	43.50	0.44	99.26	0.54	0.13	0.07	0.37	0.54	0.020	0.012	95.9	188	43.2	5.9	17.5	9.6	3.5	1.4	1.0	6.0	0.0	3.0	3.0	0.6
120	S47-W-123	大裂隙	5465.5	O <sub>1</sub>	0.83	0.56	0.03	0.02	53.36	0.20	0.02	0.02	0.01	0.000	41.80	0.85	99.24	0.56	0.17	0.04	0.37	0.21	0.005	0.011	157	521	7.0	18.9	9.7	5.3	3.2	1.0	17.1	0.0	3.0	3.0	0.8	
121	S9-W-125	洞穴																																				

0.87% (0.21% ~ 3.20%),  $\text{FeCO}_3$  mol % 平均为 0.68% (0.22% ~ 4.70%),  $\text{MnCO}_3$  mol % 平均为 0.07% (0.00 ~ 0.24%),  $(\text{Mn} + \text{Fe})/\text{Mg}$  平均为 0.87 (0.18 ~ 2.16),  $\text{Mn}/\text{Fe}$  平均为 0.10 (0.00 ~ 0.83%); 代表陆源碎屑的  $\text{SiO}_2$  平均为 1.95% (0.34% ~ 3.22%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  平均为 0.73% (0.17% ~ 1.22%), 而代表沉积成岩环境的 Sr 平均为  $131.4 \times 10^{-6}$  ( $53.5 \times 10^{-6}$  ~  $228 \times 10^{-6}$ ), BaO 平均为  $516.5 \times 10^{-6}$  ( $28.5 \times 10^{-6}$  ~  $2995 \times 10^{-6}$ ), F 和 Cl 平均分别为 0.014% 和 0.013%。在 95% 自信度下, 经回归分析: 方解石中  $\text{Sr}/\text{Ca} = 0.00618\text{Mg}/\text{Ca} + 0.000533$  ( $R^2 = 0.197$ ), 主要显示出无机成因特点<sup>[7]</sup>。

对方解石成分初步分析表明: 至少可划分出三组不同组分(表 1), 一是以样号 S85-W-012、013、S76-W-017、S76-W-025、和 S87-W-094 等为代表,  $\text{CaCO}_3$  mol % 平均大于 98.5% (平均 99.1%),  $\text{MgCO}_3$  mol % 小于 0.6% (平均为 0.56%),  $\text{FeCO}_3$  mol % 小于 0.4% (平均为 0.344%),  $(\text{Mn} + \text{Fe})/\text{Mg}$  平均为 0.78,  $\text{Mn}/\text{Fe}$  平均为 0.144 和 Sr 小于  $100 \times 10^{-6}$  (平均为  $83.4 \times 10^{-6}$ ), 具有大气淡水中胶结物特征, Sr, Fe, Mn, B, Na, Sr/Ba 较低; 二是以样号 S76-W-018、S76-W-022、S80-W-066、S78-W-093 为代表,  $\text{CaCO}_3$  mol % 小于 96.5% (平均 96.3%),  $\text{MgCO}_3$  mol % 大于 1.1% (平均为 2.24%),  $\text{FeCO}_3$  mol % 大于 0.5% (平均为 1.44%),  $(\text{Mn} + \text{Fe})/\text{Mg}$  平均为 0.94,  $\text{Mn}/\text{Fe}$  平均为 0.25 和 Sr 大于  $120 \times 10^{-6}$  (平均为  $187.3 \times 10^{-6}$ ), 代表海水成岩或埋藏成岩作用的产物。一般认为, 埋藏成岩的方解石中 Fe, Mn, Sr/Ba 相对较高; 而在海水成岩的方解石的 Sr, B, Na 和 Sr/Ba 含量接近于海水平均值; 热水作因方解石则具有较高的 Si, Sr, F, B 及亲铜和亲铁元素等。三是介于两者之间, 如样号 S85-W-011、S76-W-021(2) 和 S78-W-088 等一批样品, 可能是

混合水成因或晚期经淡水淋滤作用改造。

## 2.2 方解石常量元素因子分析

对上述大量分析数据采取了先因子分析, 然后再进行聚类分析。在因子分析中, 考虑到常量与微量元素含量间的数量级差异, 对其分别采用因子分析, 在选取因子特征值时, 主要考虑能够满足方差百分数的累加值 85% ~ 90% 的最小因子数量。

在常量元素的因子分析中, 因子特征值选为 0.7, 而在微量元素的因子分析中, 对应值取为 0.9, 它们的方差百分数的累加值 85%~90% 对应的因子数均为 6 (表 2)。在常量元素分析中, 第一因子主要由  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、CaO、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  组成; 第二因子是由  $\text{SiO}_2$ 、酸不溶物组成; 第三个因子则由  $\text{Na}_2\text{O}$ 、MgO、P 组成; 第四个因子 MnO 与  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 第五个因子 MgO; 第六个因子为 FeO, 上述作用荷载矩阵详见表 2。第一因子代表方解石的主要组成; 二具陆源碎屑含量或具有物源指示; 三具海水或混合作用或白云石化指示意义; 四具埋藏作用或海水(卤水)指示; 五代表白云石化; 六为埋藏作用或氧化还原作用指示含义。

计算表明:  $\text{SiO}_2$  主要与酸不溶物相关性高, 而  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、CaO、相关性高;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  与 FeO、 $\text{K}_2\text{O}$ 、CaO、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  相关性好; FeO 与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、CaO、P 相关性高; CaO 与  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CO}_2$ 、FeO、相关性均大于 0.5 以上; MgO 与 CaO、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的相关性不到 0.4;  $\text{K}_2\text{O}$  与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、CaO、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、FeO、 $\text{CO}_2$  相关性均大于 0.64;  $\text{Na}_2\text{O}$  与  $\text{K}_2\text{O}$ 、P 相关性小于 0.35; MnO 与 CaO 相关性为 0.337, 其它均低于 0.25; P 与 FeO、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  相关性介于 0.55-0.45 之间。在假设相关系数为零的矩阵, 单侧显著性检验概率大于 0.05, 元素主要有 MgO、MnO、MgO、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、酸不溶物、FeO 等。上述变量是独立的。

表 2 方解石中常量组份的因子分析中的荷载矩阵

Table 2 The matrix of the major components of calcites in Principal Component Analysis (six components extracted)

组分	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6
$\text{SiO}_2$	0.569	-0.754	0.125	2.796E-02	3.460E-02	3.315E-02
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0.734	0.269	0.106	0.300	0.139	-0.396
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.922	0.179	-9.002E-02	0.246	-6.685E-02	7.727E-02
FeO	0.741	0.197	-6.385E-02	6.048E-02	-0.127	0.570
CaO	-0.886	0.121	0.117	0.105	-6.138E-02	5.295E-02
MgO	0.346	0.152	-0.662	-0.129	0.567	2.859E-02
$\text{K}_2\text{O}$	0.934	0.153	5.666E-02	5.374E-03	0.158	-0.106
$\text{Na}_2\text{O}$	0.244	0.146	0.670	-0.558	0.359	-4.007E-02
MnO	-0.280	-5.502E-02	0.404	0.741	0.392	0.170
P	0.514	0.612	0.262	-9.891E-02	-0.198	0.196
$\text{CO}_2$	-0.761	0.119	-2.871E-02	-0.129	0.349	0.327
酸不溶物	0.626	-0.707	8.599E-02	-0.126	4.046E-02	0.189

为验证样本数目的代表性,采取 Bartlett 球度检验,若检验显著性概率接近 1,则因子分析中应用的模型被拒绝,反之。在此,近似卡方差为 272.33,自由度为 66,检验的显著性概率为 0.000,因此,因子分析的适用性得到肯定。同时,为使因子的含义更加清晰,采用荷载散点图上可方便显示出来,在散点图上,散点愈靠近原点和端点项,则代表分离效果好(图 1)。

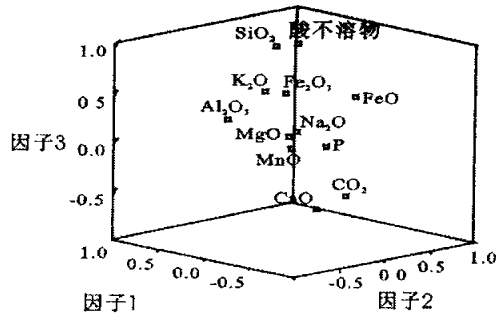


图 1 方解石常量元素因子分析荷载散点图

Fig. 1 Component plot of major elements of calcites in rotated space

2.3 方解石微量元素因子分析

由表 3 可见,第一因子主要由 Cr、Pb、Ti、Cu、Co、Zn、Ni 组成;第二是由 Ni、Ga、Co、Cl 组成;第三则由 B、BaO、Zr、Mo、Sr 组成;第四为 V、F、Mo、Cu、Zn;第五为 V、Sr、F;第六为 BaO、Mo、Sr。上述因子的地质意义是:第一因子为方解石中的铁族与铜族元素,代表丰度,与沉积物源与环境有关;第二为沉积环境或成岩改造(如淡水或混合水中,其 Ga 含量相对高)指示;三为

主要的沉积成岩环境(如大气水条件下岩溶作用下具有较低的值;而海水或混合作用或白云石化中相对较高)指示意义;第四为埋藏作用或地下热水(卤水)指示意义;第五为白云石化或埋藏作用或地下热水(卤水);第六为沉积环境指示意义。

计算表明:各微量元素或组份间的相关系数相比较大,如 Mo 与 Sr、Ni、Ga,的相关系数均低于 0.3; Ti 与 Cu、Cr、Co、Pb、Ni 相关性均大于 0.4; BaO 与 B、F、Ni、Co 相关性均低于 0.3, F 和 Sr 与其它元素的相关性均小于 0.35; Cr 与 Pb、Ti、Zn、Co、Cu 相关性均大于 0.45, Cl 与 Zn、Zr、Cu、Ga 有一定相关性,但低于 0.45; Cu 与 Ti、Cr、Co 相关性较好,大于 0.4; Zn 与 Pb、Cr、Cl 相关性也大于 0.4; Ni 与 Co、Ti 相关性大于 0.4,与 Cu、Cr 相关为 0.3 左右; Co 与 Ni、Ti、Cr 相关性大于 0.45; V 与其它元素的相关性均低于 0.3; Zr 与 Cl、Cr、Pb、Ga 有一定的相关,大约为 0.35;除了与 BaO 相关系数为 0.3 外, B 与其它元素相关系数均低于 0.25; Pb 与 Cr、Zn、Ti 相关性高(> 0.45)。

同样,根据相关系数为零矩阵的零假设,若取概率大于 0.05,则认为各变量两两间是不相关的。计算表明:单侧显著性检验概率大于 0.05 的元素占大部分,说明其含量及变化是相对独立的。为验证样本数目的代表性,采取 Bartlett 球度检验,若检验显著性概率接近 1,因子分析中应用模型被拒绝,在此,近似卡方差为 156.47,自由度为 120,检验显著性概率为 0.014,因此,因子分析基本适用性得到肯定(图 2)。

表 3 方解石中微量组份的因子分析中的荷载矩阵

Table 3 The matrix of the trace Components of calcites in Principal Component Analysis, Determinant = 7.719E-04

元素 1	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6
Mo	6.210E-02	0.261	-0.437	0.430	1.359E-02	0.534
Ti	0.748	0.205	0.138	-0.353	-6.558E-03	0.205
BaO	0.137	0.338	-0.521	0.199	0.186	-0.540
F	3.881E-02	0.358	0.363	0.458	0.510	-0.327
Sr	0.147	-2.491E-02	-0.416	-1.417E-02	0.523	0.522
Cr	0.841	-2.297E-02	0.227	0.184	4.011E-02	-9.734E-02
Cl	-0.437	0.503	0.296	-9.237E-02	3.643E-02	3.184E-03
Cu	0.697	-4.532E-02	0.113	-0.408	-0.284	-1.844E-03
Zn	0.597	-0.362	0.244	0.405	5.739E-02	4.668E-02
Ni	0.534	0.604	-0.209	-0.164	-7.918E-02	-1.008E-02
Co	0.657	0.552	6.079E-02	-0.123	-0.132	-7.282E-02
V	-1.993E-02	-2.754E-02	0.300	0.606	-0.549	4.802E-02
Zr	-0.493	0.345	0.456	-0.191	0.337	8.502E-02
Ga	-0.189	0.571	0.218	0.312	-0.272	0.354
B	-6.644E-02	0.152	-0.628	0.173	-0.272	-0.221
Pb	0.753	-0.181	7.733E-02	0.263	0.323	3.779E-02

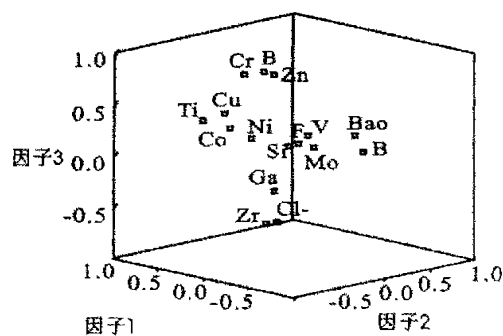


图2 微量元素因子分析中的旋转因子荷载图

Fig. 2 Component plot of trace elements of calcites in rotated space

综上所述,常量元素间的相关系数要比微量元素值要大;这主要是方解石的矿物结构和形成条件决定的;也是由微量元素的性质(离子电位、电负性等)所决定的。只有离子半径与电价合适的微量元素(如 Sr, Ba 等)才能进入晶格中取代 Ca 或 Mg;大多微量元素只能以杂质包裹于晶格上空缺或其它结构位置上,因而使微量元素呈现出相当的分散性。但通过上述微量元素的因子分析,仍有一定的规律可循;1) 铁族元素和亲铜元素(Cu, Pb, Zn, Co, Cr, Ti)间以及它们之间均有一定的相关性,即受相同的地质控制因素;2) 亲石元素 Ba、Sr 与铁族、亲铜元素等相关性差,可能是沉积与成岩主控因素不同造成的。

### 3 方解石常量与微量元素聚类分析

考虑到方解石主要成分或微量元素之间存在较大数量级上的差异,分别采用了: 数量归一化处理; 簇群分析中欧几里得距离平方方法,反映相异性大小; 用聚结表表示聚类步骤并进行样品划分。在进行聚类分析前,对样品进行了初步分析,其中 S69-W-039、040 分析值几乎相同,应选择前者代表,而 S9-W-125 中的二氧化硅含量较高(11.15%)可能是分析过程中有污染,应剔除。由簇组份的树状图上(图3)将样品划分出以下四组(距离系数 2.5):第一组:S69-W-037, S69-W-039, S76-W-025, S79-W-078, S85-W-012, S78-W-090 (S65-W-111、S47-W-123);第二组 S69-W-038, S87-W-094, S85-W-003, S(样品的平均值)、S85-W-013、S61-W-082;第三组: S80-W-064, S69-W-041, S79-W-076、S61-W-083 (S78-W-093);第四组: S85-W-005、S76-W-015、S85-W-011。上述聚类与主成分与表征元素及比值基本一致。为了解上述四组的成分特征及地质意义,将具较高相关系数(或最小组间距离)的方解石样品按组分别计算其平均值,而将相关性差的样品(其余 10 个样品)仅作为参考。

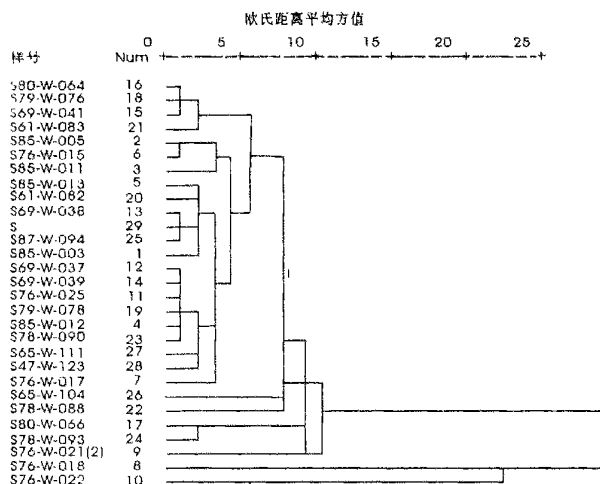


图3 方解石样品中聚类分析的树状图

Fig. 3 The tree diagram of calcite samples in cluster analysis

第一组:常量元素是以较低的陆源组分  $\text{SiO}_2$  (0.68%)、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0.52%) 和最低的酸不溶物 (0.69%)、 $\text{MgO}$  (0.19%), 较低的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0.06%)、 $\text{K}_2\text{O}$  (0.02%)、 $\text{Na}_2\text{O}$  (0.05%)、F (0.010%) 和中低的  $\text{Cl}^-$  (0.013%) 为特征;微量元素是以最低的 Ti ( $101.4 \times 10^{-6}$ ) 和中等的 Sr ( $128.3 \times 10^{-6}$ ) 和 BaO ( $199.2 \times 10^{-6}$ ) 以及中低的 Ga ( $0.2 \times 10^{-6}$ ), 最高的 Cu ( $18.1 \times 10^{-6}$ ) 和 Cr ( $4.5 \times 10^{-6}$ ) 为特征,可能主要为潜流带中的淡水淋滤的产物,但据中等含量的锶和钡和锆分析,后期可能经历了较强烈的水-岩作用或埋藏岩溶作用;

第二组:常量元素是以最高的陆源组分  $\text{SiO}_2$  (2.53%)、酸不溶物 (2.45%) 和中等的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0.66%), 最高的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0.13%)、 $\text{Cl}^-$  (0.021%) 和 F (0.013%), 中等的  $\text{MgO}$  (0.23%), 中低的  $\text{K}_2\text{O}$  (0.06%) 和  $\text{Na}_2\text{O}$  (0.07%) 和最低的  $\text{MnO}$  (0.01%) 为特征;微量元素是以最高的 Ti ( $135.18 \times 10^{-6}$ ) 和最低的 Sr ( $97.7 \times 10^{-6}$ )、BaO ( $143.28 \times 10^{-6}$ )、Cu ( $14.4 \times 10^{-6}$ ) 和 Zn ( $17.9 \times 10^{-6}$ ) 以及最低的 Ga ( $0.06 \times 10^{-6}$ ) 为特征。这主要体现为大气淋滤的产物,近地表的陆源碎屑较易混入,可能位于氧化带附近,其陆源组分和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等含量较高;

第三组:常量元素是以低和较低的陆源组分  $\text{SiO}_2$  (1.54%)、酸不溶物 (1.05%) 和最高的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0.96%)、 $\text{MgO}$  (0.37%)、 $\text{MnO}$  (0.03%) 和 F (0.014%), 中高的  $\text{Na}_2\text{O}$  (0.18%)、中等  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0.09%)、中低的  $\text{K}_2\text{O}$  (0.05%) 和  $\text{Cl}^-$  (0.010%) 为特征;微量元素是以最高的 Zn ( $17.9 \times 10^{-6}$ )、较高的 Ti ( $133.0 \times 10^{-6}$ ) 和 Sr ( $142.6 \times 10^{-6}$ ), 中等的 BaO ( $219.00 \times 10^{-6}$ )、Cu ( $14.7 \times 10^{-6}$ ) 和最低的 Ga ( $0.06 \times$

$10^{-6}$ ) 为其特征。主要可能代表了埋藏作用或海水成岩条件及混合带的产物,而较高的挥发份和亲铜元素含量,因此不能排除有埋藏热水作用的影响。

第四组:常量元素是以偏低的陆源组分  $\text{SiO}_2$  (1.44%)、最低的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0.48%) 和中等的酸不溶物 (1.70%)、最低的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0.06%)、 $\text{Cl}^-$  (0.009%) 较低的 F (0.012%)、最高的  $\text{FeO}$  (0.04%)、 $\text{Na}_2\text{O}$  (0.34%) 和  $\text{K}_2\text{O}$  (0.07%) 为特征;微量元素是以最高的 Sr ( $149.33 \times 10^{-6}$ )、Cu ( $18.4 \times 10^{-6}$ ) 和异常高的 BaO ( $2\,017.30 \times 10^{-6}$ )、中等的 Zn ( $12.4 \times 10^{-6}$ )、中低的 Ca ( $0.47 \times 10^{-6}$ ) 和偏低的 Ti ( $113.3 \times 10^{-6}$ ) 为其特征。代表海水浓缩背景下的埋藏成岩条件下的产物,异常高的钡含量代表沉积与成岩过程中,可能存在酸性还原条件下某种富集机理,如混合带中, Ba 比 Sr 迁移弱,当淡水和海水相混时, Ba 易形成  $\text{BaSO}_4$  而发生沉淀。

## 4 结论

通过对新疆塔河油田奥陶系的洞穴和裂隙充填的 31 件方解石样品的常规的 12 项常量元素分析和 17 项微量元素分析及其因子和聚类分析表明:

(1)  $\text{CaCO}_3$  mol % 平均为 98.38% (93.15% ~ 99.56%),  $\text{MgCO}_3$  mol % 平均为 0.87% (0.21% ~ 3.20%),  $\text{FeCO}_3$  mol % 平均为 0.68% (0.22% ~ 4.70%),  $\text{MnCO}_3$  mol % 平均为 0.07% (0.00 ~ 0.24%),  $(\text{Mn} + \text{Fe})/\text{Mg}$  平均为 0.87 (0.18 ~ 2.16),  $\text{Mn}/\text{Fe}$  平均为 0.10 (0.00 ~ 0.83%);代表陆源碎屑的  $\text{SiO}_2$  平均为 1.95% (0.34% ~ 3.22%)、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  平均为 0.73% (0.17% ~ 1.22%), 而代表沉积与成岩环境的 Sr 平均为  $131.4 \times 10^{-6}$  ( $53.5 \times 10^{-6}$  ~  $228 \times 10^{-6}$ )、BaO 平均为  $516.5 \times 10^{-6}$  ( $28.5 \times 10^{-6}$  ~  $2\,995 \times 10^{-6}$ )、F 和 Cl 平均分别为 0.014% 和 0.013%,  $\text{Sr}/\text{Ca} = 0.00618\text{Mg}/\text{Ca} + 0.000533$  ( $R^2 = 0.197$ ), 显示出无机成因特点。

(2) 用六个因子可代表方解石主要组分,第一因子主要由  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、CaO、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  组成,代表方解石的主要组成;第二是由  $\text{SiO}_2$  和酸不溶物组成,为陆源碎屑含量或具有物源指示;第三则由  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{MgO}$ 、P 组成,为海水或混合作用或白云石化指示意义;第四是 MnO 与  $\text{Na}_2\text{O}$ ,反映了埋藏作用或海水(卤水)的参与;第五个  $\text{MgO}$ ,示白云石化作用;第六个因子为 FeO,为埋藏作用或氧化还原作用指示含义;

(3) 用六个因子同样可代表方解石微量元素组成,第一因子主要由 Cr、Pb、Ti、Cu、Co、Zn、Ni 组成,与沉积物源、环境有关;第二,由 Ni、Ca、Co、Cl 组

成,具有沉积环境或成岩改造(如淡水或混合水中,其 Ca 含量相对高)指示意义;第三个由 B、BaO、Zr、Mo、Sr 组成,同样具有重要的沉积成岩环境(如大气水条件下岩溶作用下具有较低的值;而海水或混合作用或白云石化中相对较高)指示意义;第四为 V、F、Mo、Cu、Zn,是埋藏作用或地下热水(卤水)指示;第五为 V、Sr、F,代表白云石化或埋藏作用或地下热水(卤水)作用;第六为 BaO、Mo、Sr,具有沉积环境指示意义;

(4) 对 29 件样品的聚类分析表明:其中,较为典型的 20 件样品可分为四组,以 S69-W-037 等八件为代表的第二组可能主要为潜流带中的淡水淋滤的产物,并可能经历了相当强烈的水-岩作用或埋藏岩溶作用;以 S69-W-038 等五件为代表的第三组主要为大气淋滤的产物;以 S80-W-064 等四件为代表的第四组主要代表了埋藏作用或海水成岩条件及混合带的产物,但不能排除有埋藏热水作用的影响;以 S85-W-005 等三件为代表的第五组可能是海水浓缩背景下埋藏成岩条件下的产物,可能还存在酸性还原条件下钡的富集机理。

综上所述,根据方解石的常量元素和微量元素进行综合分析,可以提供并反馈方解石的生长环境的物理化学条件,进而为较合理地阐明胶结物的世代与孔隙流体的相互关系,但因方解石的成分尤其是微量元素含量影响因素较多,尤其可能是二个世代及以上产物时,其成因解释更具有不确定性或多解性。

## 参考文献(References)

- 1 陈洪德,张锦泉,叶德胜,等.新疆塔里木盆地北部古岩溶储集体特征及控油作用.成都:成都科技大学出版社,1994.27~77 [Chen Hongde, Zhang Jinquan, Ye Desheng, et al. Characteristics of Paleokarst reservoir in the northern Tarim basin and its role in controlling oil distribution. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1994. 27~77]
- 2 叶德胜,王根长,林忠民,等.塔里木盆地北部寒武-奥陶系碳酸盐岩储层特征及油气前景.成都:四川大学出版社,2000.1~55 [Ye Desheng, Wang Gengchang, Lin Zhongming, et al. Characteristics of Cambrian-Ordovician Carbonate reservoir in the northern Tarim basin and Oil-gas Prospects. Chengdu: Sichuan University Press, 2000. 1~55]
- 3 钱一雄,蔡立国,李国蓉,等.碳酸盐岩岩溶作用的元素地球化学表征-以塔河 1 号的 S60 井为例.沉积学报,2002,20(1):70~75 [Qian Yixiong, Cai Liguang, Li Guorong, et al. Element geochemical implications for carbonate karstification interpretation. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(1): 70~75]
- 4 Budd D A, Saller A H, Harris P M. Unconformities and Porosity in Carbonate strata. AAPG Memoir 63, Tulsa, Oklahoma, U. S. A, 1995. 35~123
- 5 Hayes M J, Boles J R. Evidence for meteoric recharge in the San Joaquin basin, California provided by isotope and trace element chem-

- istry of calcite. *Marine and Petroleum Geology*, 1993, 10:136-144.
- 6 Heasley E C, Worden R H, Hendry J P. Cement distribution in a carbonate reservoir: recognition of a palaeo oil-water contact and its relationship to reservoir quality in the humbly grove field, Onshore, U.K. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17(2): 639 ~ 654
- 7 Cicero A D, Lohmann K C. Sr/ Mg variation during rock-water interaction: Implications for secular changes in the elemental chemistry of ancient seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001, 65(5): 741 ~ 761
- 8 Heward A P, Chuenbunchoh S, Makel G, *et al.* Nang Nuan oil field, B6/ 27, Gulf of Thailand: karst reservoir of meteoric or deep-burial origin? *Petroleum Geoscience*, 2000, 6: 15 ~ 27

## Chemical Analysis and Origin of Calcite Filled in and Cave With in Ordovician Carbonates in Tahe Oilfield, Xinjiang

QIAN Yi-xiong<sup>1,2</sup> CHEN Yue<sup>2</sup> MA Hong-xiang<sup>2</sup> CHEN Qiang-lu<sup>2</sup>

1(Department of Resource and Environment, University of Petroleum, Beijing 102200)

2(Research Institute of Experimental Geology, CNSPC, Box 916, Wuxi Jiangsu 214151)

**Abstract** In order to elucidate origin and pattern of cement calcites filled in fissure and cave, thirty-one calcite cement samples collected in cavity and fissure in Ordovician carbonate of Tahe oilfield, Xinjiang were geochemically analyzed, and the factor analysis and cluster analysis methods are used in such a large quantity of analytical data, the results show that: calcite cements are pure with the average mol % contents of CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, FeCO<sub>3</sub> and MnCO<sub>3</sub> equal to 98.38, 0.87, 0.68 and 0.07, respectively, and average content of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> equal to 1.95% and 0.73%, and Sr, BaO contain  $131.4 \times 10^{-6}$  and  $516.5 \times 10^{-6}$  as well as F and Cl equal to 0.014% and in 0.013%, and the average ratio of (Mn + Fe)/Mg and Mn/Fe equal 0.87 and 0.10, moreover, a linear covariance of Sr and Mg concentrations of calcites expressed by the following relationship:  $Sr/Ca = 0.00618Mg/Ca + 0.000533$  ( $R^2 = 0.197$ ), which indicates the abiotic origin of calcites; The six principle component consist of the major and trace elements with a certain of significant indication sedimentation factors and diagenetic environments; All of the samples can be divided into four groups in cluster analysis, among them, the first group represented by S67-W-037 and others document the characteristic of meteoric flushing product in phreatic zone and apparently undergone a series of strong water-rock reactions or burial diagenetic reactions; the second group represented by S69-W-038 is characteristic of production of meteoric exposure, the third group represented by S80-W-064 related to marine environment or transition zone between meteoric and marine or burial diagenetic environment; However, it can not exclude the possibility of deep-burial origin associated with thermal activities. While the fourth group represented by S85-W-005 is interpreted as burial origin with the high concentrated seawater, and appear to be related to a certain acidation under the reduction condition.

**Key words** calcite, chemical analysis, factor analysis, cluster analysis, origin of cements, Tahe oilfield