

用 Fischer 图解研究山西临汾 中奥陶世马家沟组旋回层序

翟永红

(江汉石油学院, 湖北荆州 434102)

主题词 Fischer 图解 旋回层 奥陶系 山西临汾

提 要 山西临汾奥陶纪马家沟组顶底均与上覆和下伏地层呈平行不整合,是一套沉积于广阔陆表海浅水台地上的碳酸盐、蒸发岩潮坪层序。泥晶石灰岩、白云岩、蒸发岩等岩石类型和沉积构造如鸟眼、干裂、石膏、石盐假晶、叠层石等反映出来的旋回性清晰明显。在野外共划分出了84个旋回层,用Fischer图解对马家沟组的旋回层序进行了分析,共划分出3个三级旋回,12个四级旋回。84个旋回层可能是因地球偏心率变化而引起的米兰柯维奇旋回。Fischer图解用于分析稳定沉积区的潮坪旋回层序是一种有效的方法。

Fischer图解是Fischer在1964年研究奥地利三叠系潮坪碳酸盐沉积的Lofter旋回时最早使用的方法^[1]。和其他地区的潮坪沉积一样,Lofter旋回的旋回性特别明显,但每个旋回的厚度并不相同。为了解释旋回层厚度的差异,Fischer改变了传统的作柱状图的方法,将旋回层及其厚度表示在以时间为横座标,以空间为纵座标的图上,这就是最早的Fischer图解(图1)。

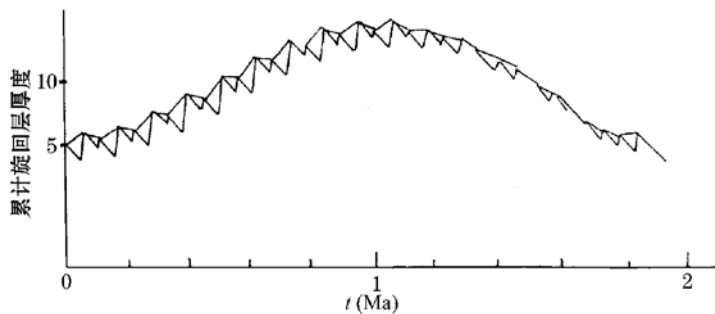


图1 用来分析海平面变化的Fischer图解

Fig. 1 Fischer plot for analysing variation of sea level

(据参考文献[4])

自Fischer之后,很多人又对Fischer图解的适用性、适用条件、纵横座标轴的表达方法、旋回层数对图解的影响进行了讨论^[2-3]。本文采用经Sadler等^[2]改进了的Fischer图解作

第一作者简介 翟永红,女,34岁,硕士,讲师,主要从事沉积学与储层地质学的教学和研究工作。

收稿日期 1998-08-12, 改回日期 1998-11-27

图方法,即将纵坐标用累积厚度偏差表示,横坐标用旋回数表示。

1 Fischer 图解的作图步骤

(1) 在野外剖面、钻井岩心或测井曲线上精确划分旋回层,特别要注意在旋回层划分时整个剖面的标准应保持一致;

(2) 计算旋回层的平均厚度(算术平均);

(3) 计算各旋回层的厚度偏差和累积厚度偏差;

(4) 以横坐标为旋回数,纵坐标为累积偏差,将各旋回数对应的累积偏差连线即得 Fischer 图解。

2 Fischer 图解在山西临汾奥陶纪马家沟组旋回层研究中的应用

2.1 地质概况

山西临汾奥陶纪马家沟组是一套陆表海台地碳酸盐岩-蒸发岩沉积建造^[5-6]。马家沟组自下而上分为马一段、马二段、马三段、马四段、马五段和马六段。马一段底与下伏亮甲山组呈平行不整合接触,马六段顶与上覆中石炭世本溪组亦呈平行不整合接触,马六段厚度为剥蚀残余厚度。马一、三、五段以泥粉晶白云岩和石膏岩为主,夹少量泥岩,多呈薄层-页状,泥质含量高。马二、四、六段以泥晶灰岩、颗粒灰岩为主,多呈厚层-块状,泥质含量低。

奥陶纪时的华北地台是一个范围广阔的碳酸盐台地,其内部和周围均无大的断裂活动^[7],基底沉降均匀稳定。古气候研究表明,寒武纪至奥陶纪早、中期,华北地台位于低纬度地区,气候干旱炎热。由岩石类型和沉积构造所反映出来的旋回性非常明显,因而适合用 Fischer 图解对海平面变化进行分析。

2.2 马家沟组的岩石类型及旋回层序

马家沟组岩石类型有石灰岩、白云岩、蒸发岩、泥岩等 10 余种。其沉积环境总体上属碳酸盐、蒸发岩潮坪。由于沉积时水体浅,范围大,因而海平面升降变化引起岩石类型和沉积构造的旋回性变化明显。从岩石类型看,由石灰岩、白云质石灰岩、含灰白云岩到白云岩、石膏岩,指示了海水深度依次变浅、盐度变大的过程。海平面上升,形成含云或云质泥晶灰岩(豹皮灰岩)、含颗粒泥晶灰岩及颗粒灰岩,伴生棘皮类、腕足类等正常海相生物化石;海平面下降,潮坪大面积暴露,形成泥粉晶白云岩、藻纹层白云岩、石膏岩、硬石膏岩、膏溶角砾岩,发育干裂、鸟眼、同生角砾、石膏、石盐假晶等与暴露和蒸发作用有关的沉积构造(图 2)。仅石膏岩就可根据其不同特征分为 10 类,即纹层状石膏岩、条带状石膏岩、块状石膏岩、砾状石膏岩、竹叶状石膏岩、具交错层理的石膏岩、鲕粒石膏岩、叠层石石膏岩、瘤状石膏岩和脉状石膏岩。其中,前九类均与沉积环境密切相关^[5],是划分旋回层的重要标志。纵向上,这些不同的岩石类型呈规律的互层出现,形成特征的潮坪旋回层序,图 2 中 A~E 分别表示潮上带、潮间泻湖区、潮间-潮下浅滩、潮下带、正常开阔海地区可能出现的旋回层序。在潮上带,可形成泥粉晶白云岩到石膏岩向上变浅变咸的层序(图 2-A);在潮间泻湖区则形成下部含云泥晶灰岩到藻纹层白云岩、石膏岩的向上变浅变咸的层序(图 2-B),潮间-潮下浅滩区与潮上带相似,唯石膏岩类型稍有差异。发育鲕粒、交错层理等结构构造,组成多个

小规模的海进-海退旋回。层序间相互叠置,敏感地记录了古海平面的动荡变化。

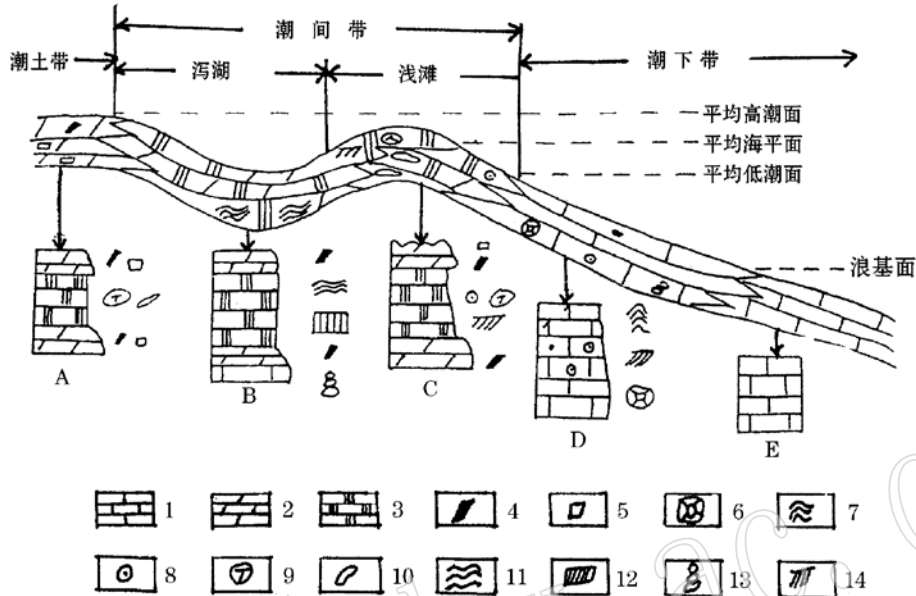


图2 马家沟组沉积环境模式及沉积层序

Fig. 2 Sedimentary environment pattern and sedimentary sequence of Majiagou Formation

1—石灰岩; 2—白云岩; 3—石膏岩; 4—石膏假晶; 5—石盐假晶; 6—棘皮屑; 7—锥状叠层石; 8—鲕粒;
9—瘤状石膏; 10—竹叶状石膏; 11—波状叠层石; 12—条带状石膏; 13—腹足类; 14—交错层理

2.3 马家沟组的 Fischer 图解

(1) 划分旋回层。根据图2所表现的旋回层序特征,将马家沟组马一段至马五段(共厚402.42m)划分为84个旋回层。

(2) 计算各旋回层的厚度偏差和累计偏差(表1)。

(3) 根据累计偏差和旋回层数作 Fischer 图解(图3)。

马家沟组的马一、三、五段以薄层泥粉晶白云岩和石膏岩为主,泥质含量高;而马二、四、六段以泥晶灰岩、颗粒灰岩为主,多呈厚层-块状,泥质含量低。因而,传统上根据岩性将马家沟组分为马一-马二、马三-马四、马五-马六三个旋回,称岩性旋回。

本次用 Fischer 图解划分的旋回层序与传统岩性旋回划法不同。由图3可见,马家沟组的 Fischer 曲线沿横坐标轴上下波动,类似于正弦曲线。曲线的升降表示容纳空间的变化,上升表示容纳空间增加,下降表示容纳空间减小。由于假定基底的沉降是均匀的,因此,容纳空间的变化可以认为是海平面升降变化引起的,海平面上升,容纳空间变大,反之则变小。这样, Fischer 曲线的变化便反应了海平面变化,即曲线的升降与海平面升降相一致。图解明显可分成三个部分,相当于三个旋回,称海平面升降旋回。从马一段至马三段,表现为海平面上升后又下降,构成一个旋回(I);其中马一段顶部和马二段中部有局部下降(图3-A)。马四段和马五段分别单独构成一个旋回(II、III)。马六段因其厚度不全而未在图中表示出来。由此可见, Fischer 图解反映的是海平面升降旋回,不同于岩性旋回。

表 1 马家沟组旋回层的划分及累计偏差统计表

Table 1 Division of cyclic beds of Majiagou Formation and statistics of accumulative deviations

旋回层号	地层厚度 (A)	偏差 (B)	累计偏差 (C)	旋回层号	地层厚度 (A)	偏差 (B)	累计偏差 (C)	旋回层号	地层厚度 (A)	偏差 (B)	累计偏差 (C)	旋回层号	地层厚度 (A)	偏差 (B)	累计偏差 (C)
1	6.41	1.59	1.59	22	3.14	-1.68	10.80	43	2.55	-2.27	5.23	64	4.68	-0.14	16.98
2	10.90	6.08	7.67	23	3.55	-1.27	9.53	44	1.90	-2.92	2.31	65	1.06	-3.76	13.22
3	9.18	4.36	12.03	24	1.25	-3.57	5.95	45	5.41	0.59	2.90	66	2.45	-2.37	10.85
4	2.27	-2.55	9.48	25	1.49	-3.33	2.62	46	2.50	-2.32	0.58	67	2.80	-2.02	8.83
5	5.52	0.70	10.17	26	2.67	-2.15	0.47	47	2.78	-2.04	-1.46	68	2.40	-2.42	6.41
6	2.46	-2.33	7.81	27	4.40	-0.42	0.05	48	3.43	-1.39	-2.85	69	4.42	-0.40	6.01
7	9.24	4.42	12.23	28	5.13	0.31	0.36	49	3.48	-1.34	-4.19	70	2.13	-2.69	3.31
8	7.59	2.77	15.00	29	1.94	-2.88	-2.52	50	3.30	-1.52	-5.71	71	3.97	-0.85	2.46
9	5.50	0.68	15.68	30	2.82	-2.00	-4.52	51	16.15	11.33	5.62	72	1.00	-3.82	-1.36
10	3.24	-1.53	14.10	31	3.07	-1.75	-6.27	52	4.65	-0.17	5.44	73	2.29	-2.53	-3.89
11	6.12	1.30	15.40	32	3.02	-1.80	-8.07	53	16.97	12.51	17.59	74	3.42	-1.40	-5.29
12	2.03	-2.79	12.61	33	3.29	-1.53	-9.61	54	7.17	2.35	19.94	75	1.35	-3.47	-8.76
13	1.25	-3.57	9.04	34	6.16	1.34	-8.27	55	3.39	-1.43	18.51	76	2.10	-2.72	-11.48
14	5.11	0.29	9.32	35	2.90	-1.92	-10.19	56	3.26	-1.56	16.95	77	1.35	-3.47	-14.95
15	3.63	-1.19	8.13	36	2.40	-2.42	-12.61	57	4.79	-0.03	16.92	78	2.83	-1.99	-16.94
16	4.63	-0.19	7.94	37	12.61	7.79	-4.82	58	7.89	3.07	19.99	79	11.51	6.69	-10.25
17	13.99	9.17	17.11	38	8.19	3.37	-1.45	59	4.11	-0.71	19.28	80	5.09	0.27	-9.99
18	3.62	-1.20	15.91	39	11.34	6.52	5.07	60	2.48	-2.34	16.94	81	7.34	2.52	-7.47
19	3.54	-1.28	14.63	40	5.67	0.85	5.92	61	3.15	-1.67	15.26	82	6.65	4.83	-5.64
20	3.79	-1.03	13.60	41	7.36	2.54	8.46	62	3.21	-1.61	13.65	83	10.24	5.42	-0.22
21	3.70	-1.12	12.48	42	3.87	-0.95	7.50	63	8.29	3.47	17.12	84	5.04	0.22	0.00

在成因解释方面, Fischer 图解所提供的海平面变化更趋合理。马一段虽然在沉积时为浅水环境, 但由于其底部与亮甲山组为平行不整合接触, 故马一段形成时实际上是一个海侵过程, 在曲线上也表现为海平面的上升。但由于马一段处于海平面上升的初期, 水体深度不大, 形成了一套泥粉晶白云岩夹石膏岩。至马二段, 海平面继续上升, 形成了一套泥粉晶石灰岩。马三段形成时海平面下降, 发育了一套薄层泥-粉晶白云岩。根据其所具有的同生角砾、石盐假晶、局部干裂等标志, 属潮上蒸发环境无疑。马四、马五段的变化依此类推。总之, 岩性和沉积构造特征的变化由曲线升降很好地反映了出来。

马家沟组沉积时限相当于国际地层单位的兰维恩期至兰代洛期, 持续时间约 20 百万年, 这样, 三个旋回中, 平均每个旋回层序持续时间约为 7 百万年左右, 相当于三个三级旋回层序。进一步根据曲线的升降变化还可划分出 12 个次一级的旋回层序, 每个层序平均持续时间为 1.7 百万年, 相当于 12 个四级旋回^[8]。整个马家沟组共划分出了 84 个旋回, 平均每个旋回持续时间约 24 万年, 这一时限介于地球偏心率变化的短周期(100ka)和长周期(400ka)之间^[9], 说明这种旋回层可能是因地球偏心率变化而引起的一种米兰柯维奇旋回。

3 讨 论

(1) 用 Fischer 图解分析稳定沉降区碳酸盐岩旋回层序是一种有效的方法。

(2) 为了求得容纳空间的绝对变化, 需要对旋回层厚度作压实校正, 以恢复其沉积时的

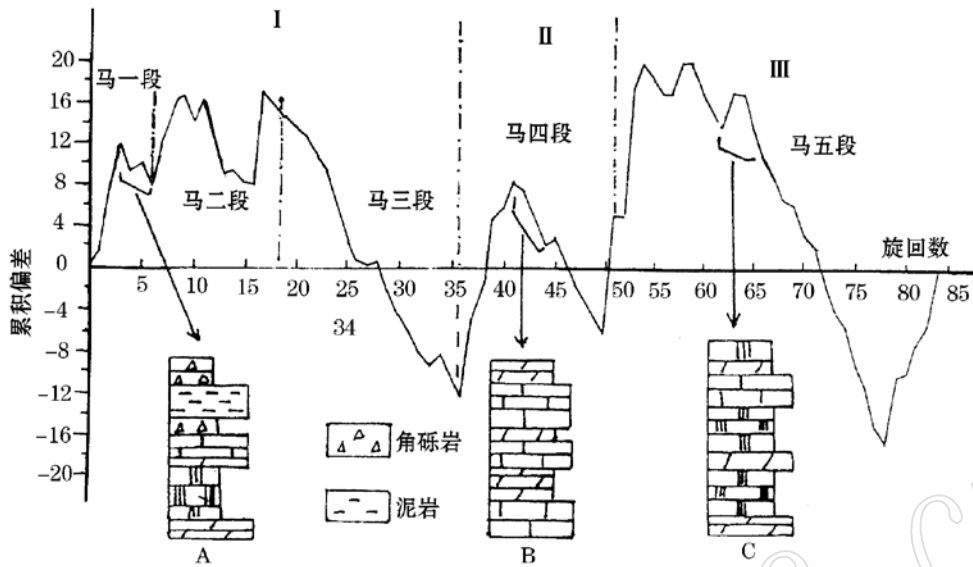


图3 山西临汾马家沟组的 Fischer 图解

Fig. 3 Fischer plot of Majiagou Formation in Linfen, Shanxi Province

图中 I、II、III 代表旋回数, A、B、C 三个柱子代表实测的旋回层序, 每个层序均由三个向上变浅的旋回组成, 其所代表的沉积环境变化见图2及其文字说明, 其它图例同图2

厚度。然而, 由于我们更关心旋回层沉积时海平面的相对变化, 因而本文中未对旋回层厚度作压实校正, 这样做, 对分析结果的实用性没有产生影响。

(3) 同一条剖面, 不同的研究者划分的旋回层数可能会不同, 比如, 在一个研究者划分的一个旋回层中, 另一个研究者可能还会划分出更细的两个或三个旋回层。Fischer 图解的客观性表明, 只要使旋回层划分的标准在整条剖面中保持一致, 在旋回层数大于 50 的情况下, 不同的研究者所得到的 Fischer 图解完全可以对比^[2~3]。

(4) 到目前为止, Fischer 图解主要用于碳酸盐潮坪沉积区的旋回层序分析。对碎屑岩盆地, 特别是充填式湖盆碎屑岩沉积的旋回层是否可用 Fischer 图解加以分析, 或对其处理方法需作哪些改进尚待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Fischer A. G. The Lofter Cyclothems of the alpine Triassic. *Kansas Geological Survey Bulletin*, 1964, 169, 107~149.
- 2 Sadler P, Osleger D A, Montanex I P. On the labeling, length, and objective basis of Fischer Plots. *Journal of sedimentary Petrology*, 1993, 63: 360~368.
- 3 苏德辰等. Fischer 图解及其在旋回层序研究中的应用. *现代地质*, 1995, 9(3): 279~283.
- 4 Read J F, Goldhammer P K. Use of Fischer plots to define third-order sea-level curves in Ordovician perital cyclic carbonates, Appalachians. *Geology*, 1988, 16: 895~899.
- 5 王泽中等. 山西临汾奥陶系石膏岩的成因及形成环境. *石油与天然气地质*, 1992, 13(3): 314~321.
- 6 王泽中等. 浅水生台地坳陷型蒸发岩成因探讨. *地质探索*, 1993, (9): 22~29.
- 7 王鸿祯等. *中国古地理图集*. 北京: 地图出版社, 1985, 37~46.
- 8 梅冥相, 罗光文, 苏德辰. 碳酸盐成因复合海平面变化旋回层序——以北京西山张夏组为例. *桂林冶金地质学院学报*, 1994, 14(2): 145~153.
- 9 吴智勇, 姜衍文. 全球旋回地层学原理与应用. 见: 姜衍文, 吴智勇等. *《全球地质学导论》*. 西安: 西北大学出版社, 1995, 55~56.

The Application of Fischer Plots to the Analysis of Cycles in Middle Ordovician Majiagou Formation in Linfen, Shanxi Province

Zhai Yonghong

(Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou 434102)

Key wores: Fischer plot; cyclic bed; Ordovician; Linfem of Shanxi

Abstract

The Middle Ordovician Majiagou Formation is in unconformable contact with both the underlying and the overlying strata. It is a carbonate-evaporated tidal sequence deposited on a large shallow water carbonate platform. Cycles formed by such rocks as limestone, dolomite, gypsum or such sedimentary structures as birdeye structure, cracks, pseudocrystals of gypsum and halite are obvious. 84 cycles were recognized in the field and Fischer plots were used to analyse the cyclic sequence. 3 third-order and 12 fourth-order sea level curves were differentiated. The 84 cycles are considered to be of a kind of Milankovitch rhythms formed by the eccentric variation of the earth. The Fischer plots are proved to be an effective tool for analysing the cycles formed in tidal environment.