

塔里木盆地满加尔凹陷地层埋藏史与有机质成熟演化^①

冯 乔

(西北大学地质系,西安 710069)

提 要 本文根据厚度恢复的体积模型,利用回剥方法,研究了满加尔凹陷寒武纪至第四纪的地层埋藏史,并根据初始沉积速率,将该区的地层埋藏史分为三个阶段。在地层埋藏史恢复基础上,结合 TII 计算结果,分析了该区下古生界各生油层的生烃史和下奥陶统与中上奥陶统生油层最大可能生气范围的发展演化。

关键词 体积模型 埋藏史 TII 有机质成熟演化 满加尔凹陷

分类号 TE 12

第一作者简介 冯乔 男 33岁 讲师 含油气盆地地质学

1 区域地质概况

塔里木盆地位于塔里木板块的核心稳定部分,是一个大型复合盆地。盆地的演化受板块构造演化,特别是板块边缘活动的控制。满加尔凹陷位于塔里木盆地北部拗陷的中东部,西与阿瓦提凹陷相连,东邻英吉苏凹陷和孔雀河斜坡,南北分别为塔中隆起和塔北隆起。该凹陷基底为前震旦系结晶变质岩系,盖层由震旦系至第四系组成,层序齐全,厚达万米。满加尔凹陷在震旦—奥陶纪时属于库满坳拉槽的西延部分,志留纪后由于南北二隆起的继承性活动,该地区仍显示拗陷性质,但自老而新其拗陷特征逐渐变弱。侏罗纪后满加尔凹陷及其周缘地区逐渐变为南升北降,尤以第三纪时最为显著。受此影响本区泥盆系以上地层的构造以北倾单斜为主,泥盆系及其以下地层由于拗陷强烈,虽经后期改造,仍保持了拗陷的特征。

2 地层埋藏史

2.1 压实厚度恢复

泥岩压实研究^[1,5]表明沉积物埋藏以后,随埋深增加在成岩变化的早期阶段主要为以机械压实为主的物理变化。在此变化过程中,根据骨架体积恒定,岩石体积(厚度)的变化主要归结为孔隙体积变化的前提条件,可以建立压实厚度恢复的体积模型,即

$$\int_{z_0}^{z_0+T_0} [1-h(z)] dz = \int_{z_N}^{z_N+T_N} [1-h(z)] dz \quad (1)$$

式中 T_0 、 T_N 为压实前后某一地层的厚度, z_0 、 z_N 为压实前后该地层的埋深, $h(z)$ 为地层孔隙度随深度变化的函数关系。孔隙度随深度变化可以用下式表示:

$$h(z) = h_0 \exp(-cz) \quad (2)$$

式中 $h(z)$ 、 h_0 分别代表深度 z 处和地表的孔隙度, c 为压实率,与岩性有关。该式表明孔隙度随深度的变化具有初期快、后期不断减缓的特点。

将(2)式代入(1)式可得压实厚度恢复的基本公式:

$$T_0 = -\frac{h_0}{c} \exp(-c \cdot z_0) [\exp(-c \cdot T_0) - 1] + T_N + \frac{h_0}{c} \exp(-c \cdot z_N) [\exp(-c \cdot T_N) - 1] \quad (3)$$

式中参数含义同前。

该方程为一超越方程,很难求出 T_0 和 z_0 的精确解,但可用数学迭代法求出不同深度 z_0 处地层厚度 T_0 的近似解。

2.2 有关参数的选取

地表孔隙度 (h_0) 和压实率 (c) 是压实恢复中两

^① 国家八五科技攻关课题(名称:塔里木盆地满加尔凹陷及周围地区油气运移研究,编号:85-101-01-04-12B)

收稿日期:1996-04-01

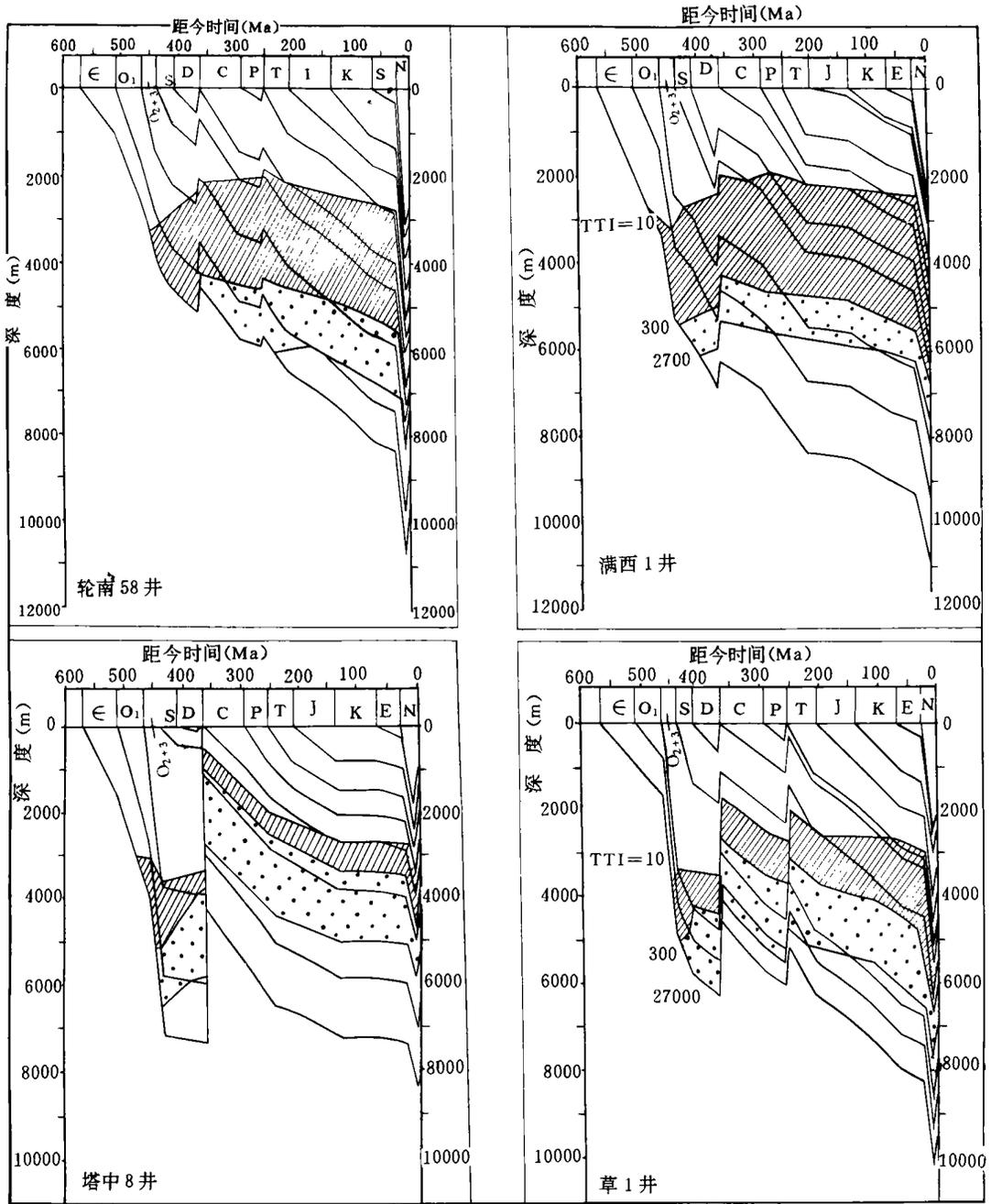


图 1 代表井的地层埋藏史与有机质成熟演化史

Fig. 1 Map of the burial history of stratigraphy and the organic mature evolution of typical wells

个最基本的参数,主要通过编制大量声波压实曲线,然后通过孔声转换求取。通过对大量井的声波压实曲线对比研究发现,泥质岩的声波压实曲线斜率(b)大于砂岩,前者一般为 $2 \sim 3 \times 10^{-4}$,后者一般为 $1 \sim 2 \times 10^{-4}$,同时其分布具有明显的地区性。根据压实曲线特征的不同,并结合区域构造和沉积条件,将研究区划分成草湖、轮南、英买力、满加尔与塔中 5 个

不同的压实区,然后分别求取其综合斜率值(b)和地表声波时差值(Δt_0)

根据分析化验所得泥质岩的总孔隙度(h)与对应点的声波时差值(Δt)建立本地区孔声转换的经验关系为 $h = 0.178\Delta t - 35.9307$ 砂岩的孔声转换则采用声波地层因素法^[2,3],即

$$h = 1 - (\Delta t_{ma} / \Delta t)^{1/k} \quad (4)$$

式中 Δt 为砂岩声波时差, Δt_{ma} 为岩石骨架声波时差, 取 $182_s/m$, x 取 1.6, h 为砂岩孔隙度。

由此可将压实区砂、泥岩声波压实曲线转换成孔隙度随深度变化曲线, 再移植到各代表井的压实曲线之上, 使其各数据点间的均方差最小。根据此综合曲线回归求得各压实区的 b 和 c 值 (表 1)。

表 1 压实率及地表孔隙度

Table 1 Compaction rate and ground porosity

地区	代表井	岩性	$b(\times 10^{-4})$	S_{min}	Δt_0	φ_0	$c(\times 10^{-4})$
草湖	草 1	泥岩	2.48	0.049	503	53.65	5.30
		砂岩	2.34	0.036	493	49.93	2.67
轮南	轮南 1	泥岩	2.02	0.052	473	48.3	4.32
		砂岩	1.77	0.072	428	44.29	2.34
英买力	哈 1	泥岩	2.69	0.058	503	53.65	5.92
		砂岩	2.43	0.0008	464	47.57	3.21
满加尔	满西 1	泥岩	2.74	0	572	65.94	5.26
		砂岩	2.52	0	501	50.53	2.91
塔中	塔中 8	泥岩	2.93	0.051	534	59.17	6.24
		砂岩	2.85	0.0004	493	49.93	3.6

S_{min} 代表综合趋势线移植时的最小方差

2.3 埋藏史分析

根据上述原理, 利用逐层回剥方法, 进行了不同压实区的地层埋藏史恢复 (图 1) 本研究区从寒武系至今, 其地层埋藏变化根据初始沉积速率可以明显划分为三个阶段 (表 2)。即早古生代快速沉降阶段、石炭纪早第三纪缓慢沉降阶段和第三纪快速沉降阶段。

早古生代快速沉降主要表现为从寒武纪开始沉积速率逐渐增大, 至中晚奥陶世达到最大, 塔中 8 井可达 $145.50 m/Ma$, 然后逐渐降低。此变化与本区属于早古生界坳陷槽的构造背景是一致的。晚加里东运动的强烈活动使得泥盆系和志留系不同程度遭到剥蚀和下古生界被强烈改造, 构成了本区的第一套构造层和生储油岩系。石炭纪至早第三纪缓慢沉降与此时期构造活动较弱密不可分, 沉积速率一般为 $8.19 \sim 26.14 m/Ma$, 其中三叠纪沉积速率相对较大, 并且由南向北沉积速率逐渐增大, 这说明该时期受到了天山构造带向南逆冲推覆的影响。晚第三纪是本区又一个快速沉降时期, 沉积速率塔中 8 井最小, 为 $76.96 m/Ma$, 轮南 58 井最大, 为 $156.97 m/Ma$, 亦具有由南向北增大的特点, 这是喜山构造运动时期周围山系强烈隆升, 盆地强烈沉陷所致。

表 2 代表井各时期初始沉积速率

Table 2 Original sedimentation of each period of typical wells

地质时代	Є	O ₁	O ₂₋₃	S	D	C	P	T	J	K	E	N
轮南 58 井 (m/Ma)	17.15	35.44	56.15	27.23	19.47	20.69	5.83	22.60	11.10	15.64	7.0	156.97
满西 1 井 (m/Ma)	30.95	32.04	97.77	33.80	46.18	8.19	21.75	24.55	2.08	9.47	5.40	109.05
塔中 8 井 (m/Ma)	28.87	54.75	145.50	15.93	4.83	14.19	23.55	18.98	10.41	0	5.56	76.96
草 1 井 (m/Ma)	15.58	17.71	130.69	47.10	20.88	11.97	9.05	26.14	12.41	14.68	6.86	119.76
演化阶段	快速沉降阶段					缓慢沉降阶段						快速沉降阶段

3 有机质热演化史

在上述地层埋藏史恢复的基础上, 根据童晓光等 (1991) 的研究结果^[4], 塔里木盆地年平均地表温度为 $20^{\circ}C$, 古生代地温梯度为 $3^{\circ}C/100m$, 中生代为 $2.5^{\circ}C/100m$, 新生代为 $2^{\circ}C/100m$, 利用 Lopatin (1971) 提出的时间-温度指数 (TTI) 研究了本区的有机质成熟演化。其中将 TTI 等于 10 作为成熟带顶界, 300 作为湿气带顶界, 2700 作为湿气带底界

(据黄第藩, 1994)。

3.1 生烃史分析

根据单井有机质成熟演化及其相互关系的对比研究表明 (图 1 2), 本地区寒武-奥陶系生油层的热演化程度均较高, 几乎全部于奥陶纪中晚期开始成熟, 早古生代末和晚古生代基本上为油-湿气共生时期, 其中塔中地区的油气生成和结束时期均要早, 其次为满西和小草湖地区, 轮南和英买力地区较晚, 但它们都在晚第三纪结束了油-湿气的生成。中上奥陶

统生油层均于早古生代末开始成熟,至今仍处于油湿气共生时期。

3.2 有机质成熟范围发展

为了从平面上了解各生油层成熟发展,限定其最大可能成熟范围,根据 TTI 值分别编制了各生油层顶、底界在泥盆纪末、晚古生代末、中生代末及新生代末 4 个代表性时期成熟范围发展图,然后以各生油层顶、底界面的成熟范围限定其本身最大生油、油与湿气共生以及湿气生成范围。现以下奥陶统和中上奥陶统为例探讨其生油层的成熟发展演化(图 3)。

3.2.1 下奥陶统生油层

泥盆纪末生油气区主要分布在研究区西部,生油范围主要分布在轮南与哈拉哈塘-英买力以南的满加尔凹陷西北部,以及满西 1 井与塔中 10 井间的局部地区。在此两带的外围为油气共生区,共生区东侧为湿气生成区。而英买 1 井-哈 1 井-乡 1 井一线以北此时尚未进入成熟深度。晚古生代末时,英买 1 井-哈 1 井-乡 1 井一线以北地区除英买 1 英买 10 井附近以外均开始进入生油深度。此时南北两块

生油区仍然存在,南块生油范围已为油气共生范围取代,北块生油范围也明显减小。两块外围分别围绕有湿气生成带,此时英买 10 井一带仍未成熟。新生代末,生油气带仍维持南北两块的局面,只是此时除英买 10 井北局部地区已无纯油生成外,油气共生范围也较小,大部分地区为湿气生成带。

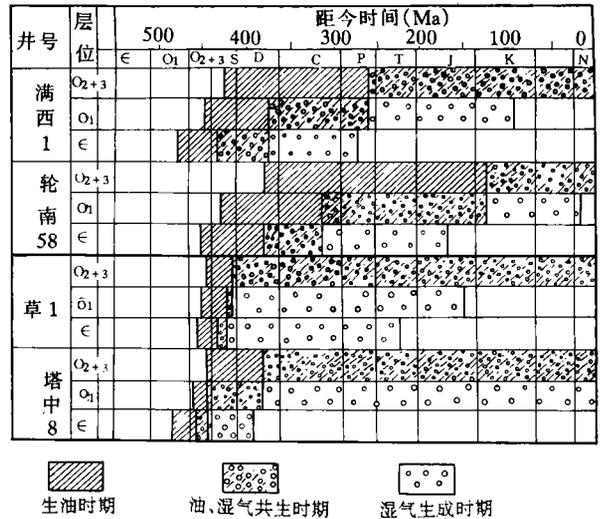


图 2 有机热演化程度对比图

Fig. 2 Contrast map of different organic thermal evolution

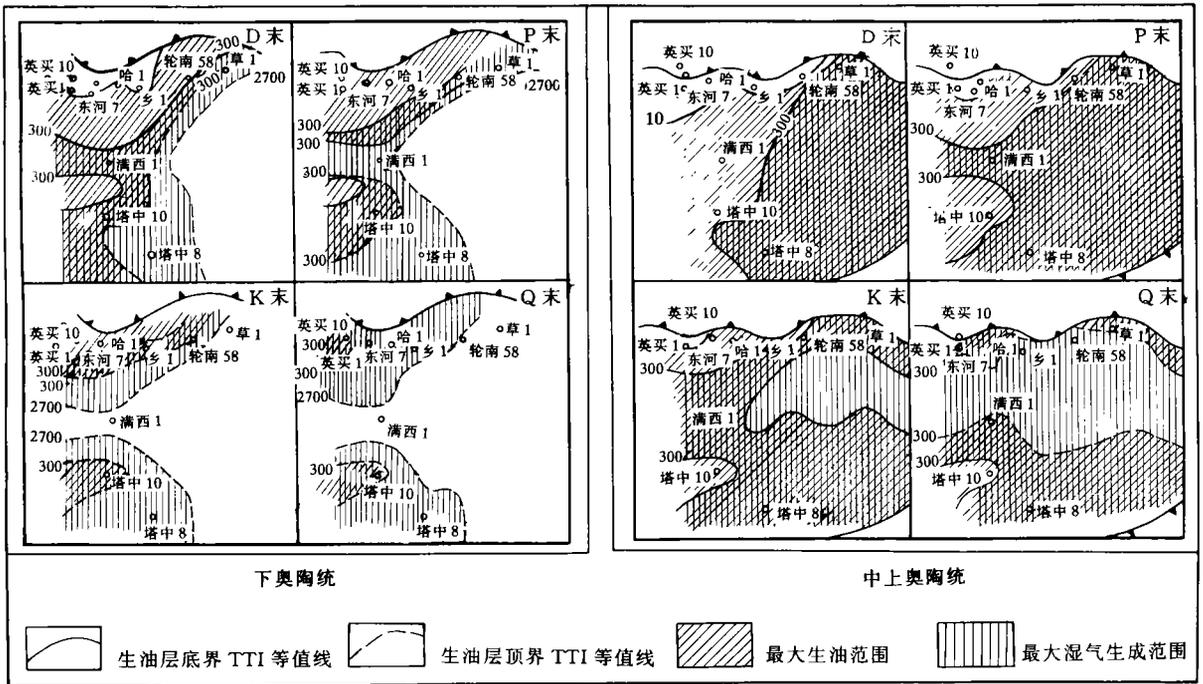


图 3 研究区最大生油气范围发展演化图

Fig. 3 Evolution map of the largest scope of hydrocarbon generation in the study area

3.2.2 中上奥陶统生油层

中上奥陶统油气生成范围的分布格局与下奥陶统有较大不同。泥盆纪末时塔北隆起大部地区尚未有油气生成,其余地区则西部主要为生油范围,东部为油气共生范围。晚古生代末油气共生范围沿满加尔凹陷向西发展,从而将西部生油范围分割成南、北两块,塔北隆起南侧开始成熟。中生代末时在西部未成熟范围与生油范围不断缩小的同时,满加尔凹陷东部开始出现纯湿气生成区。新生代末时纯生油范围已很小,塔北、塔中隆起主要为油气共生区,满加尔凹陷则主要为湿气生成区。

4 结论

(1) 对比和分析了满加尔凹陷及邻区大量声波压实曲线,并根据其特征将研究区划分为草湖、轮南、英买力、满加尔及塔中 5 个压实区,并通过砂、泥岩的孔声转换,计算了这些压实区的地表孔隙度值和压实率。

(2) 根据厚度恢复的体积模型,利用逐层回剥方法,恢复了本区的地层埋藏史。根据初始沉积速率,将该区的地层埋藏演化划分为三个阶段,即早古生代快速沉降阶段,石炭纪至早第三纪缓慢沉降阶段和晚第三纪快速沉降阶段,它们与相应时期盆地的演化关系密切。

(3) TTI 计算结果表明,早古生代各生油层从生油、油气共生到湿气生成都有各自不同的演化阶段,寒武纪和早中奥陶世生油层成熟较早,凹陷东部地区于泥盆纪前结束油气生成,此后其有利生气

范围主要集中在研究区西部,且于第三纪结束油气生成。中上奥陶统成熟较晚,在很长一段时间内保持较大面积的生油气能力,目前仍处于湿气生成时期。

(4) 早中奥陶世和晚奥陶世生油层最大可能生气范围发展演化表明,满加尔凹陷东部成熟最早,然后向南、北、西三个方向扩展,并且沿满加尔凹陷向西扩展相对较快,从而发展到一定时期西部生气范围即被分割成成熟度相对于凹陷较低的南北两块。故总体上研究区各生油层一般以西北、西南两区成熟度最低,满加尔凹陷东部最高。

(5) 研究区各历史阶段生油层位较多,生烃时期延续较长的地区有轮南隆起区,塔中隆起西部,及满加尔凹陷西北部。

参考文献

- [1] 真柄钦次 (1978), 陈荷立等译. 压实与流体运移. 北京: 石油工业出版社, 1981.
- [2] 谭廷栋. 剖析“声波地层因素公式”. 国外测井技术, 1988, 3(1): 71~78.
- [3] Clemenceau J R, Martin J P, Nicoletis, s, 王云生译. 声波地层因素概念, 由声波传播时间资料更精确地确定孔隙度. 王日才等译. 测井分析家协会第二十七、二十八届年会论文集. 北京: 石油工业出版社, 1990, 26~34.
- [4] 王社教, 王会祥, 谢增业, 李梅. 塔里木盆地三套生油层成熟演化及成烃期的研究. 董晓光, 梁狄刚主编. 塔里木盆地油气勘探论文集. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1991, 331~342.
- [5] Dahlberg E C. Applied hydrodynamics in petroleum exploration. Spring Verion New York Inc, 1982.

Burial History of Stratigraphy and Maturity Evolution of Organic Matter in Manjiaer Depression Tarim Basin

Feng Qiao

(Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract

In this paper, the burial history is recovered by using the back-stripping method according to the volume model of thickness recovery from Cambrian to Quaternary in the Manjiaer depression, and it is divided into three periods by means of the original sedimentation rate. On the basis of the recovery of burial history, the hydrocarbon evolution of source rocks in Lower Paleozoic is investigated in accordance with the calculated results of TTI. The largest scope of hydrocarbon generation and their development are also discussed in this paper.

Key Words volume model burial history TTI maturity evolution of organic matter Manjiaer depression