

文章编号:1673-5005(2006)03-0040-06

塔里木盆地塔中地区志留系测井沉积相研究

王贵文¹, 张新培^{2,3}

(1. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249; 2. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083;
3. 辽河油田 勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010)

摘要:根据常规组合测井、地层倾角测井及成像测井资料的测井相序列特征以及利用神经网络岩相处理结果,对塔中地区志留系沉积相类型及有利沉积相带的空间展布和古水流方向进行了研究。结果表明,将该区潮坪沉积划分为潮下带砂坪、潮间带砂泥坪和潮道、潮上带泥坪4个微相,与其他取心井段(或未取心井段)岩屑录井的对比符合率较高;该区志留系塔塔埃尔塔格组(下砂岩段)主要物源来自西北方向,次要物源来自东北方向。利用常规测井解释的岩性剖面、岩心刻度测井处理解释的沉积学倾角结果(沉积构造和古水流)和神经网络岩相处理解释成果,建立了塔中地区志留系关键井的测井沉积亚、微相解释模型。该模型为工区关键井垂向旋回叠置关系和沉积体系的空间展布特征研究提供了连续的、较准确的岩相剖面,对于海陆过渡相的层序划分对比和在塔里木盆地寻找隐蔽油气藏亦有一定的借鉴作用。

关键词:塔里木盆地; 塔中地区; 志留系; 测井沉积相; 解释模型

中图分类号:P 631.64 **文献标识码:**A

Well logging sedimentary facies of Silurian in Tazhong area of Tarim Basin

WANG Gui-wen¹, ZHANG Xin-pei^{2,3}

(1. School of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. School of Energy Resources in China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Liaohe Oilfield, Panjin 124010, Liaoning Province, China)

Abstract: According to the sequence characteristics of well logging sedimentary facies obtained by common logging data, dip logging data and imaging logging data and the litho-facies interpretation by artificial neural network (ANN), the types, spatial distribution and paleocurrent direction of sedimentary facies in Tazhong area were researched. The results show that detritus tidal flat deposits include sub-tidal sand flat, inter-tidal channel, mixed sand-mud flat, supra-tidal mud flat. The comparison of litho-facies to logging data section shows almost no difference. The provenance is mainly located in the north-west of the study area, and secondary provenance is northeastern during the depositional period of lower sandstone paragraph. Based on litho-logies section interpreted by logging data, the sedimentary structure and paleocurrent interpreted by using dip logging with the core correction and treatment results by ANN, the logging data models and deposition models of the key wells of Silurian sedimentary micro facies in Tazhong area were established. These models not only provide sequential and relatively exact litho-facies section for the analysis of relations of vertical cycles overlay of key wells, but also contribute to the research of spatial distribution of sedimentary system in the study region. In addition, the conclusion is also helpful to sequence division and correlation of transitional continental-oceanic facies and to the search for subtle oil and gas reservoirs in Tarim area.

Key words: Tarim Basin; Tazhong area; Silurian; well logging sedimentary facies; interpretation model

1 问题的提出

塔中地区位于塔里木盆地中部中央隆起带中

段,北侧为满加尔凹陷,南侧为塘古孜巴斯凹陷,主体是塔中低凸起,其面积约5 000 km²(图1)。志留系沉积时期,受奥陶纪末晚加里东运动的影响,遭受

收稿日期:2005-07-05

作者简介:王贵文(1966-),男(汉族),山西大同人,副教授,博士研究生,从事层序地层学及测井地质学方面的研究。

剥蚀,地层产状平缓。志留系自下而上分为下统的塔塔埃尔塔格组(S_{1t})和上统的依木干他乌组(S_{2y})。其中塔塔埃尔塔格组又称为下砂岩段,依木干他乌组则包括红色泥岩、上砂岩、上泥岩3个层段。志留纪末期受海西运动的影响,该区隆起抬升,长期遭受风化和剥蚀,与上覆泥盆系或石炭系呈角度不整合接触。目前共有52口井钻遇该区志留系,并在下砂岩段发现了大量的工业性油藏,如TZ11, TZ111, TZ117和TZ47等井,但因地层产状平缓,构造作用形成的圈闭不太发育,亦有20余口井钻探结果仅见沥青显示或为干井。可见,必须采用先进的油气勘探理论和方法来详细研究该区沉积相及砂体展布特征,以寻找蕴藏着丰富油气资源的隐蔽性油气藏。前人对该区已进行过深入细致的地层和沉积相研究,并取得了一系列成果^[1-6]。本文中则主要利用常规测井组合、地层倾角测井、自然伽马能谱测井及成像测井等多方面测井信息所提供的测井相序列特征,来综合研究志留系构造和沉积特征以及古水流方向,从而更加准确地判断和分析沉积类型及有利沉积相的空间分布。

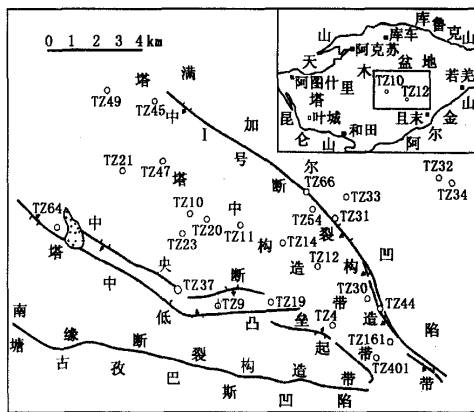


图1 塔里木盆地塔中地区构造位置

2 基本原理和方法

应用以地层倾角沉积处理成果及成像测井资料为核心的测井相序列对沉积环境以及沉积类型进行分析和判断是测井沉积相研究的主要内容^[7-8]。每一种沉积亚相、微相的测井曲线形状的变化都可以反映其粒序序列变化,通常用反映岩性、粒序变化的自然伽马GR和自然电位SP的组合曲线来反映每一种沉积亚相、微相的层序特征。目前广泛使用的有4种粒序模型,即正粒序模型、反粒序模型、复合粒序模型和无粒序模型。将各种粒序模型与各种沉

积亚相、微相对应,针对测井沉积学研究中沉积层序呈旋回分布的粒度大小和岩性粗细变化在测井曲线上的不同反映,可以总结出各种沉积亚相、微相的层序变化曲线形态的组合特征。地层倾角矢量和微电导率环井眼插值成像是用于判断沉积构造及其组成的主要依据,一般认为其矢量的各种红、蓝、绿、白模式及其组合形式是分析微相层理形态、类型的基本方法,同时可以用来分析古水流和沉积物的搬运、沉积体延伸及加厚方向,这都源于矢量图代表的界面及趋势模式是碎屑物质沉积时水动力能量逐渐变化的真实反映。神经网络岩相识别处理是集多元统计、聚类分析、模式识别、神经网络等方法于一体的计算机自动岩相处理方法,应用其处理解释结果可建立典型的沉积岩相序列^[9-10]。

由于测井解释结果的多元性,使得测井相标志和沉积相标志之间不存在一一对应关系,尤其是类似古生物、地化指标等描述在测井资料中不可能确定,但在对特定油气田地质背景的标定后,通过岩心刻度测井的反复刻度和反演,找到亚相和微相的逻辑组合对应关系,进而可以提取以下基本的沉积相标志:①岩石组合,包括类型及结构;②沉积构造,包括冲刷面、层理类型、纹层组系产状及垂向变化;③垂向序列变化关系,包括正粒序、反粒序、复合粒序及无粒序;④古水流方向。塔中地区志留系测井沉积相研究就是从常规组合测井、地层倾角测井、自然伽马能谱测井及成像测井等多方面信息中,提取测井曲线的变化特征(如幅度特征、形态特征等)以及沉积构造、古水流方向等测井解释结论,将地层剖面划分为有限多个测井相,并用岩心分析等地质资料对这些测井相进行刻度,用数学方法及知识推理建立各个测井相到地质沉积相的空间映射关系,最终达到利用测井资料来描述、研究沉积相的目的。

3 塔中志留系测井相建模

在塔中地区志留系测井相研究中,选取几口关键井的常规测井处理解释的岩性剖面 and 倾角测井沉积学处理成果,采用预处理、神经网络岩相处理及成像资料(FMI, FMS)的沉积学处理等主要手段,结合地质岩心描述和分析化验资料,综合建立关键井目的层段的测井沉积亚相、微相模型,进而辅助解释区域沉积环境和沉积层序。

3.1 地层倾角测井沉积学处理解释模型

依据上述研究思路,将塔中地区志留系关键井的地层倾角沉积学处理成果进行系统解释(表1),

总结了反映沉积构造、古水流方向及水动力强弱的骨架砂体的古水流特征提供了较为直观的依据。主要地质参数,从而为恢复关键井沉积构造序列及

表 1 塔中地区志留系地层倾角测井沉积学处理解释成果

井号	井段 h/m	倾角模式	倾角 $\alpha/(^{\circ})$	沉积构造	古水流方向	水动力程度	层位
TZ 11	4418~4425	红或蓝模式	1.8~20	单斜层理	SW	中弱	S_{1t}
	4427~4434	蓝模式或红、蓝相间	2~30	高角度斜层理、交错层理	SW-NE	强	
	4335~4371	红模式或红、蓝相间	2~16	双向交错层理	NW-SE	强	
	4222~4238	小红模式或小蓝模式	2~12	小型单斜层理	NW-SE	弱	S_{2y}
TZ 12	4360~4424	红、蓝模式相间夹小段绿模式	2~19	交错层理夹平行层理	NW-SE	强	S_{1t}
	4265~4300	红、蓝模式	2~18	小型交错层理	SW-NE	弱	
	4122~4155	红、蓝模式相同	3~16	低角度双向内交错层理	NW-SE	中弱	S_{2y}
TZ 10	4714.4~4818	红、蓝模式	2~10	低角度冲洗交错层理	SW	中弱	S_{1t}
	4789~4830	红、蓝模式	2~16	单斜层理	SWW-NEE	弱	
	4738.5~4746	蓝模式	1.8~18	双向交错层理	NW-SE	强	
	4746~4786	红、蓝模式	1~21	小型交错层理	NWW-SEE	中弱	
TZ 401	3854~3930	大红、蓝模式间互夹小段绿模式	2~19	双向交错层理夹平行层理	NW-SE	强	S_{1t}
TZ 16	3811~3842	红、蓝模式间互夹小段绿模式	2~14	交错层理夹平行层理	W 或 NW	强	S_{2y}
	4007~4106	红、蓝模式间互夹小段绿模式	2~14	交错层理夹平行层理	NWW-SEE	强	
TZ 20	4700~4707	红、蓝模式	0~2	小型交错层理、波状层理	SWW	中弱	S_{1t}
TZ 31	4490~4498	红、蓝模式、杂乱模式	2~10	交错层理、不对称波状层理	SWW	中	S_{1t}

3.2 岩石组合测井解释模型

将塔中地区志留系主要目的层段的测井响应特征值采集起来,建立不同岩性段的测井参数数据库,通过计算机判别和聚类分析,就可以系统地处理出本井段的岩性序列。表 2 为 TZ 12 井志留系不同岩性、电性参数。为使测井相直观地表达出来,使用蛛网图表示测井相,即用能够反映相特征的各种测井参数值作为辐射轴或横轴,以不同相之间的差别为依据,以图形区分测井相,如图 2。利用该图将主要沉积亚相、微相的岩性相、电性相区分开来,即区别

砂坪微相的细砂岩、砂泥坪微相的灰质细砂岩、泥坪微相的粉砂岩。

塔中地区志留系有砾状砂岩、含砾不等粒砂岩、中细砂岩、细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩及泥岩。结合取心井段岩心样本的测井曲线和神经网络模拟识别处理,可建立 TZ 12 井志留系潮坪沉积的典型岩性序列(图 3),通过与其他取心井段或未取心井段岩屑录井对比,其检验符合率超过 85%,说明神经网络岩相处理在塔中地区的沉积相及地层对比研究中具有很大的可行性。

表 2 TZ 12 井志留系不同岩性-电性相参数

序号	岩性	取值井段 h/m	自然伽马 GR/API	自然电位 SP/mV	声波时差 $\Delta t/(\mu s \cdot m^{-1})$	井径 d/cm	$R_{ILM}/(\Omega \cdot m)$	$R_{ILD}/(\Omega \cdot m)$	$R_{SFLM}/(\Omega \cdot m)$
1	细砂岩	4144.39~4145.33	81.943	-45.240	241.781	21.852	3.345	2.457	5.066
2	油迹细砂岩	4145.33~4145.51	94.110	-52.187	249.215	20.465	2.407	1.652	4.582
3	泥岩	4375.50~4376.20	137.645	-17.692	229.503	21.308	8.029	8.364	9.725
4	细砂岩	4146.59~4147.66	70.117	-53.413	240.152	21.852	2.665	1.964	4.442
5	砂质泥岩	4384.65~4385.60	118.740	-16.818	227.281	21.135	9.888	9.828	10.430
6	粉砂岩	4375.00~4375.32	118.740	-19.406	218.185	21.463	9.344	9.224	9.816
7	泥质粉砂岩	4386.65~4387.40	74.771	-21.638	208.096	21.140	15.093	13.758	18.132
8	油斑细砂岩	4391.90~4394.25	69.277	-24.242	220.017	21.219	8.742	8.597	11.305
9	油浸细砂岩	4407.31~4408.93	87.563	-22.644	203.642	22.067	7.487	7.587	9.522
10	泥质砂岩	4248.00~4249.82	92.951	-25.724	218.652	22.672	8.085	6.689	9.164
11	灰质细砂岩	4254.92~4255.45	71.685	-25.842	209.632	22.116	6.302	5.663	9.418
12	砾状砂岩	4264.90~4265.30	74.723	-30.931	220.596	22.560	8.709	3.785	8.625
13	沥青细砂岩	4343.45~4344.12	48.630	-22.380	207.831	21.544	13.252	11.593	18.199

如图 3 所示,TZ 12 井志留系潮坪沉积的典型岩相序列主要为潮道(灰色细砂岩、含砾不等粒砂岩和粉砂质泥岩、泥岩)、砂坪(灰色中砂岩、细砂岩为主夹薄层粉砂质泥岩和泥岩)、砂泥坪(灰色、灰紫色

细砂岩与灰绿色、灰紫色粉砂岩、泥质粉砂岩及棕红色泥岩)、泥坪(棕色、棕褐色泥岩)。这为研究区关键井的相序及沉积相的横向对比分析提供了连续的较准确的岩石组合解释模型。

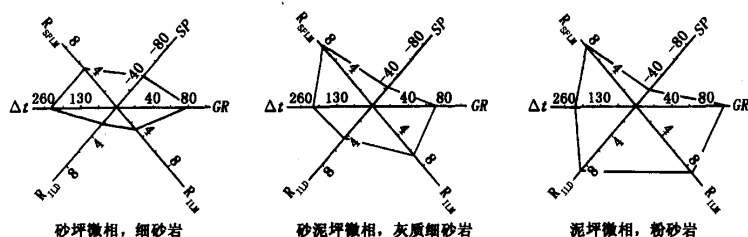


图2 塔中地区志留系潮坪沉积典型微相蛛网图(各物理量的单位与表2相同)

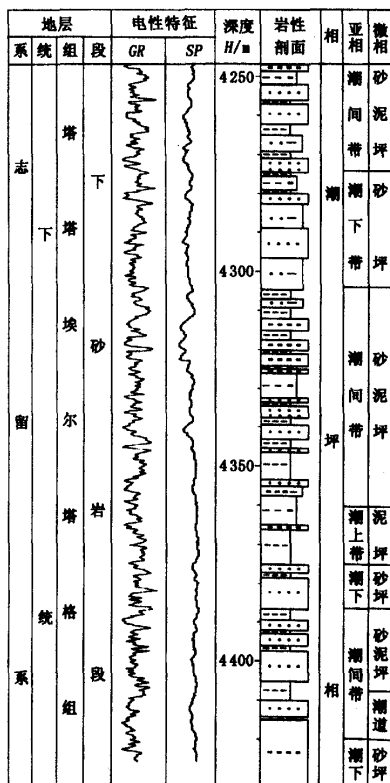


图3 TZ12井塔塔埃塔格组典型岩相序列神经网络测井处理分析结果

3.3 古水流系统的变化特征

以关键井地层倾角沉积学处理解释为基础,运用两种方法综合恢复不同相带井点的砂岩骨架体古水流系统:(1)利用倾角微细处理成果图,统计有利的层段内所有纹层倾向,取其主方向代表古水流方向;(2)统计砂岩层段内所有蓝模式矢量的方向,取其主方向代表古水流方向。TZ10、TZ11和TZ12井志留系下砂岩段倾向频率玫瑰图(图4)分别反映了塔中地区中部和近东南部的古水流方向,在具体确定古水流方向时统一以主峰为准,兼顾

次峰方向。由于本区为海陆过渡相的潮坪沉积,沉积倾角较低,岩性较细,方位频率图除TZ11井局部为单峰外,其他几口井所显示均为双峰或多峰,说明在砂体形成时,潮汐流的运动方向与海岸不垂直,并常以锐夹角或钝夹角的方向冲击海岸,使砂体的水流方向具有多向性。

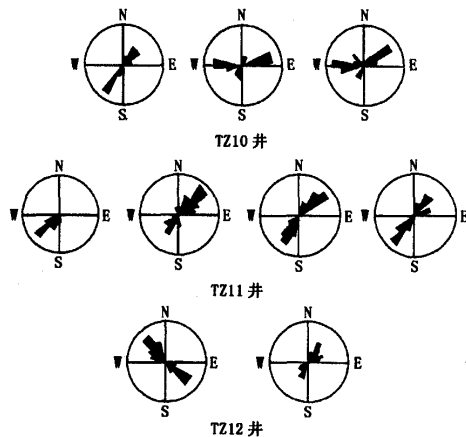


图4 塔中地区志留系塔塔埃塔格组倾向频率玫瑰图

将区内由地层倾角测井资料(经过沉积学特殊处理)判断的古水流主、次方向标注在平面位置上,基本可以确定全区的古水流系统方向。在塔中地区志留系下砂岩段物源分析图上(图5),较为均匀地选取了9口井的局部古水流方向,这样基本上可以把该段砂岩骨架体古水流系统恢复出来。在塔中地区中部(TZ20、TZ11井)志留系下砂岩段古水流主要以南东和南西为主,局部(TZ10井)为东西—北东东向;向东南方向(TZ12、TZ30、TZ422、TZ16、TZ401井)主要为南东和南西方向。结合塔中地区当时的古地理背景、砂岩段砂岩类型以及砂岩等值线图综合判断,认为塔中地区物源主要来自塔中西北部 and 东北部(古城低凸起);而古代潮汐流主要为南东方向,次要水流为南西方向。

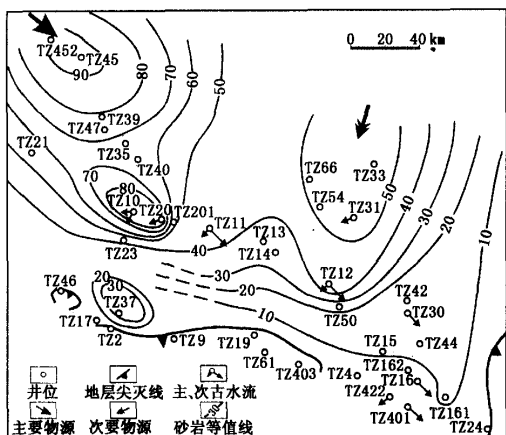


图 5 塔中地区志留系塔塔埃塔格组 (下砂岩段)物源分析

3.4 测井沉积亚微相综合解释

根据常规测井处理解释的岩性剖面、岩心刻度下处理出来的沉积学倾角解释成果(沉积构造和古水流)和神经网络岩相处理解释成果,结合区域地质背景及地质岩性素描和分析化验资料,建立了塔中地区关键井目的层段的测井沉积亚相、微相模型。

这里以潮下带砂坪微相、潮间带潮道-砂泥坪微相、潮上带泥坪微相为例进行测井沉积亚微相综合解释。

砂坪微相岩石组合以灰色中砂岩、细砂岩为主夹薄层粉砂质泥岩和泥岩,发育低角度冲洗交错层理、高角度交错层理、平行层理、波纹层理、斜层理,水体能量强到中等。由于泥质含量的变化,GR 曲线以齿化钟形组合为主,SP 曲线较光滑,随粒度变化呈钟形-漏斗组合。倾角蝌蚪图模式以红蓝模型组合、绿模式及白模式组合为特征。

潮道微相岩石组合为灰色细砂岩、含砾不等粒砂岩和粉砂质泥岩、泥岩;沉积构造常以底部冲刷面为始(图 6),中部的粗中砂岩至细砂岩具大型槽状交错层理,矢量角度可达 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$,水体能量较强,上部为粉砂岩及灰绿色泥岩。GR 和 SP 曲线自下而上以齿化的钟形组合为特征,底部对应着 GR 曲线突变接触。微电阻率曲线因对比线少而呈均匀变化;倾角蝌蚪图以红、蓝模式组合及杂乱模式为特征,指示了潮道微相的古水流变化具有多向性(图 6 中为南西、东南南、南东方向)。

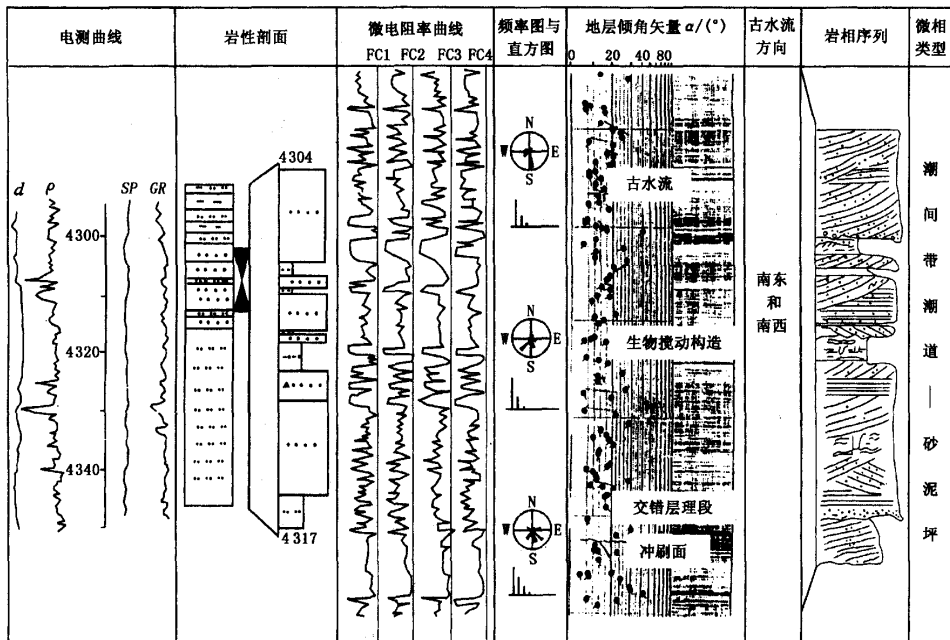


图 6 TZ 11 井测井资料综合解释的潮间带潮道-砂泥坪微相

砂泥坪微相岩石组合为互层的灰色、灰紫色细砂岩与灰绿色、灰紫色粉砂岩、泥质粉砂岩及棕红色泥岩;发育波状及透镜状层理、低角度冲洗层理和平行斜层理,水体能量中强到中弱。GR 曲线呈锯齿

状,其值较高(60 API);SP 曲线呈平滑的钟形;微电阻率曲线呈微细韵律的等距变化;倾角蝌蚪图以杂乱模式、绿模式和蓝模式组合为特征(图 6 表明古水流总体为东南南、南西方向)。

泥坪微相岩石组合以棕色、棕褐色泥岩为主,夹有薄层粉砂质泥岩、粉砂岩。泥岩中具有水平层理,水体能量较弱,粉砂岩中可见到生物扰动构造、生物潜穴以及变形层理等,局部地区可见到泥裂。GR值较高(平均为90 API以上),曲线呈箱型或齿状箱形。

4 结 论

(1)经神经网络系统处理的TZ 12井志留系典型的潮坪沉积岩相序列为砂坪、潮道-砂泥坪、泥坪,该结果与录井剖面对比符合率较高。

(2)古水流系统显示研究区志留系下砂岩段沉积时期的物源主要来自塔中地区西北部,次要物源来自塔中地区东北部(古城呈低凸起)。

(3)利用常规测井解释的岩性剖面、岩心刻度测井处理出的沉积学倾角解释结果(沉积构造和古水流)和神经网络岩相处理解释成果建立的塔中地区志留系关键井的沉积亚相、微相测井解释模型,可以用来确定连续的、较准确的岩相剖面。

参考文献:

[1] 朱筱敏,王贵文,谢庆宾.塔里木盆地志留系沉积体系及分布特征[J].石油大学学报:自然科学版,2002,26(3):5-11.
ZHU Xiao-min, WANG Gui-wen, XIE Qing-bin. Characteristics and distribution of depositional systems of Silurian in Tarim Basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2002, 26

(3):5-11.
[2] 陈方鸿,王贵文.塔里木盆地塔中地区志留系测井层序地层学研究[J].沉积学报,1999,17(1):58-62.
CHEN Fang-hong, WANG Gui-wen. On logging-sequence stratigraphy of Silurian Tazhong area, Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(1):58-62.
[3] 侯会军,王伟华,朱筱敏.塔里木盆地塔中地区志留系沉积相模式探讨[J].沉积学报,1997,15(3):41-47.
HOU Hui-jun, WANG Wei-hua, ZHU Xiao-min. Study of depositional model of Silurian system in Tazhong area, Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(3):41-47.
[4] 周志毅.塔里木盆地各纪地层[M].北京:科学出版社,2001:39-169.
[5] 朱筱敏.层序地层学[M].东营:石油大学出版社,2000.
[6] 贾进华,白玉雷.塔里木盆地志留系沉积层序与储盖组合分析[C]//顾家裕,等,编.层序地层学及其在油气勘探开发中的应用.北京:石油工业出版社,1997:145-149.
[7] BENOIT Msthis, LOWDEN B D. Orientation and calibration of core and borehole image data[R]. SPWLA 36th Symposium, 1995.
[8] 欧阳健,王贵文,吴继余,等.测井地质分析与油气层定量评价[M].北京:石油工业出版社,1999.
[9] 郭荣坤,王贵文.测井沉积学解释计算机辅助系统[M].北京:石油工业出版社,1996.
[10] 王贵文,郭荣坤.测井地质学[M].北京:石油工业出版社,2000.

(编辑 刘艳荣)

中国石油大学(华东)荣获3项2005年度教育部提名国家科学技术奖

2005年度教育部提名国家科学技术奖评选揭晓,中国石油大学(华东)3项科研成果榜上有名。

2005年度教育部提名国家科学技术奖全部授奖项目有262项,一等奖110项、二等奖152项,其中自然科学奖101项、技术发明奖31项、科技进步奖130项。由中国石油大学(北京)、中国石油大学(华东)和中石化胜利油田有限公司共同完成的国家“十五”科技攻关项目“济阳坳陷下第三系油气运聚成藏与挖潜勘探”获得2005年度教育部提名国家科学技术奖科技进步一等奖,该项目我校的获奖人员有查明教授、陈世悦教授、戴俊生教授等;由我校姜瑞忠博士主持完成的“剩余油饱和度描述方法研究——单砂体剩余油快速动态分析系统”获得2005年度教育部提名国家科学技术奖科技进步二等奖;由我校于肇贤教授、焦志勇博士与聊城大学共同完成的国家自然科学基金和山东省自然科学基金项目“若干物理系统的量子效应研究”获得2005年度教育部提名国家科学技术奖自然科学二等奖。

(摘自中国石油大学(华东)新闻网)