

## 塔里木盆地塔中地区志留系测井层序地层学研究

陈方鸿 王贵文

**摘要** 在岩心刻度测井资料的基础上,综合应用常规测井、能谱测井、倾角测井和成像测井资料,建立塔中地区志留系沉积微相测井解释模型。塔中地区志留系以碎屑潮坪沉积为主,可分为潮下砂坪、潮道、潮间混合坪、潮上泥坪微相。志留系中可识别出4个测井层序边界,划分为3个测井层序,每个层序由海侵体系域和高水位体系域组成。测井层序对比和古水流统计分析表明,志留纪海水自NW向SE侵入,具有双向水流特征。沉积相的叠置和横向分布受海平面相对变化速率和可容空间的控制。

**关键词** 微相解释模型 测井层序 志留系 塔中地区

**第一作者简介** 陈方鸿 男 29岁 助教 沉积学

On Logging-sequence Stratigraphy of Silurian in  
Tazhong Area, Tarim BasinChen Fanghong Wang Guiwen  
(University of Petroleum, Beijing 102200)

## Abstract

On the basis of core scaling logging data, the logging data interpretation model of Silurian sedimentary micro facies in Tazhong area is established by comprehensive application of conventional logging, natural gamma ray spectrometry (NGS), diplog and image log data. The Silurian in the study area consist of detritus tidal flat deposits, which is divided into subtidal sand flat, tidal channel, intertidal mixed flat and supratidal mudflat. Four logging-sequence boundaries are recongnized. The top and bottom of the Silurian belong to type-I sequence boundary, and its interior belong to type- sequence boundary. Characteristics of these sequence boundaries are described as follows: 1) the pattern in conventional logging and NGS curves is step- sudden change contact, 2) obvious difference either size or direction of dip vectors in the result map of stratum dip vector, 3) both stratigraphic attitude and contact relation are also obviously different in FMI images. The Silurian is divided into 3 logging -sequences. which are named as sequence , and from the bottom to the top and each one is composed of transgressive system tract (TST) and high stand system tract (HST). TST is mainly sand flat and mixed flat deposits, whose parasequence superimposed pattern shows that the grain size and ratio of sand to mud increase in the vertical, and retrograding bell-shaped series in GR and SP curves. HST is composed of mixed flat and mudflat, whose parasequence superimposed pattern shows that

mudrock increases.sand decreases,and ratio of sand to mud decreases in the vertical, which forms accretionary parasequence group,and the straight-line or box appear in GR and SP curves. By comprehensive analysis of sequence stratigraphy, it is shown that different eustatic rate of relative sea-level result in regular change of accommodation and superimposition in the vertical of microfacies in the transversal of each sequence.By palaeocurrent statistics and analysis from sequence to , it can be seen that current direction in Silurian of this area is double, which is mainly NE-SE.The above analysis shows that logging data is important for the study of sequence stratigraphy,especially for determining stratigraphic series, recognizing sequence boundary, dividing sequence and system tracts and determining palaeocurrent direction.The method is intuitive and clear.

Key words microfacies logging interpretation model logging-sequence Silurian Tazhong area

## 1 概况

奥陶纪末期,受晚加里东运动的影响,塔中地区隆起抬升,遭受风化剥蚀,形成一准平原化的低缓地形。中晚志留世时期,本区发生海侵,在此平缓的古地形背景下沉积了志留系潮坪相陆源碎屑岩,主要由潮下砂坪、潮间混合坪和潮上泥坪微相组成〔1〕。志留系在塔中地区分布广泛,自下而上划分为四个岩性段。第一岩性段:上部岩性为粉-细砂岩与泥岩、粉砂质泥岩呈不等厚互层,下部岩性以粉-细砂岩为主夹薄层粉砂质泥岩、泥岩。该岩性段中砂岩类型有岩屑砂岩、石英砂岩,底部可见钙质胶结的底砾岩,砾岩成分有石英砾、火成岩砾,磨圆度中等(如TZ30井)。第二岩性段:岩性以棕、棕褐色泥岩为主夹薄层灰色粉砂质泥岩,本段可作为志留系内部对比标志层,区域上称红泥岩段,可作为下伏砂岩段良好的区域性盖层。第三岩性段:塔中12井以西岩性以细砂岩、粉砂岩为主夹泥岩,东部塔中16井为粉-细砂岩、泥岩互层。第四岩性段:岩性以泥岩、粉砂质泥岩为主夹薄层粉-细砂岩。受早海西运动影响,志留纪末塔中地区隆起抬升,遭受长期的风化剥蚀作用。泥盆系或石炭系与志留系呈角度不整合接触。

## 2 沉积微相的测井解释模型

以岩心刻度测井资料的方法,在岩心观察和测井资料的反复刻度下,建立单井取芯层段的沉积微相测井解释模型。

### 2.1 潮道微相

由灰色细砂岩、含砾不等粒砂岩和粉砂质泥岩、泥岩组成。常见数个向上变细的潮道沉积旋回叠置,单个潮道序列由潮道床底、活动潮汐水道、废弃潮道组成。潮道床底岩性为含砾不等粒砂岩组成,其底常为冲刷面,冲刷面上常见滞留的泥砾顺层排列。活动潮道水道岩性主要为灰色细砂岩、中砂岩,废弃潮道或潮道间岩性为粉砂质泥和泥岩。由于潮汐水道的侧向迁移和冲蚀作用,其顶部沉积常不易保存,常见潮道下部沉积,形成砂岩间的冲刷面。潮道微相的沉积构造常以底部为冲刷面开始,向上由斜层理、冲洗交错层理、波状层理和水平层理组合为特征(图1a)。潮道序列的自然伽马(GR)和自然电位(SP)曲线自下向上以齿化的钟形组合为特征。潮道底部对应着GR突变接触,地层倾角矢量杂乱,倾角大,达 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ,倾角矢量以杂乱模式、红蓝模

式组合为特征(图1d)。

### 2.2 砂坪微相

由灰色中砂岩、细砂岩为主夹薄层粉砂质泥岩和泥岩。砂岩类型为石英砂岩、长石岩屑砂岩，砂岩分选和磨圆均较好，以低角度冲洗交错层理、高角度交错层理、平行层理、波纹层理、斜层理为特征，亦可见生物扰动构造和砂管(图1c)。自然伽马曲线以齿化钟形组合为主，由于泥质含量的变化而呈钟形。自然电位曲线光滑，随粒度变化呈钟形-漏斗形组合。地层倾角变化大，以红蓝模式组合为特征(图1f)。

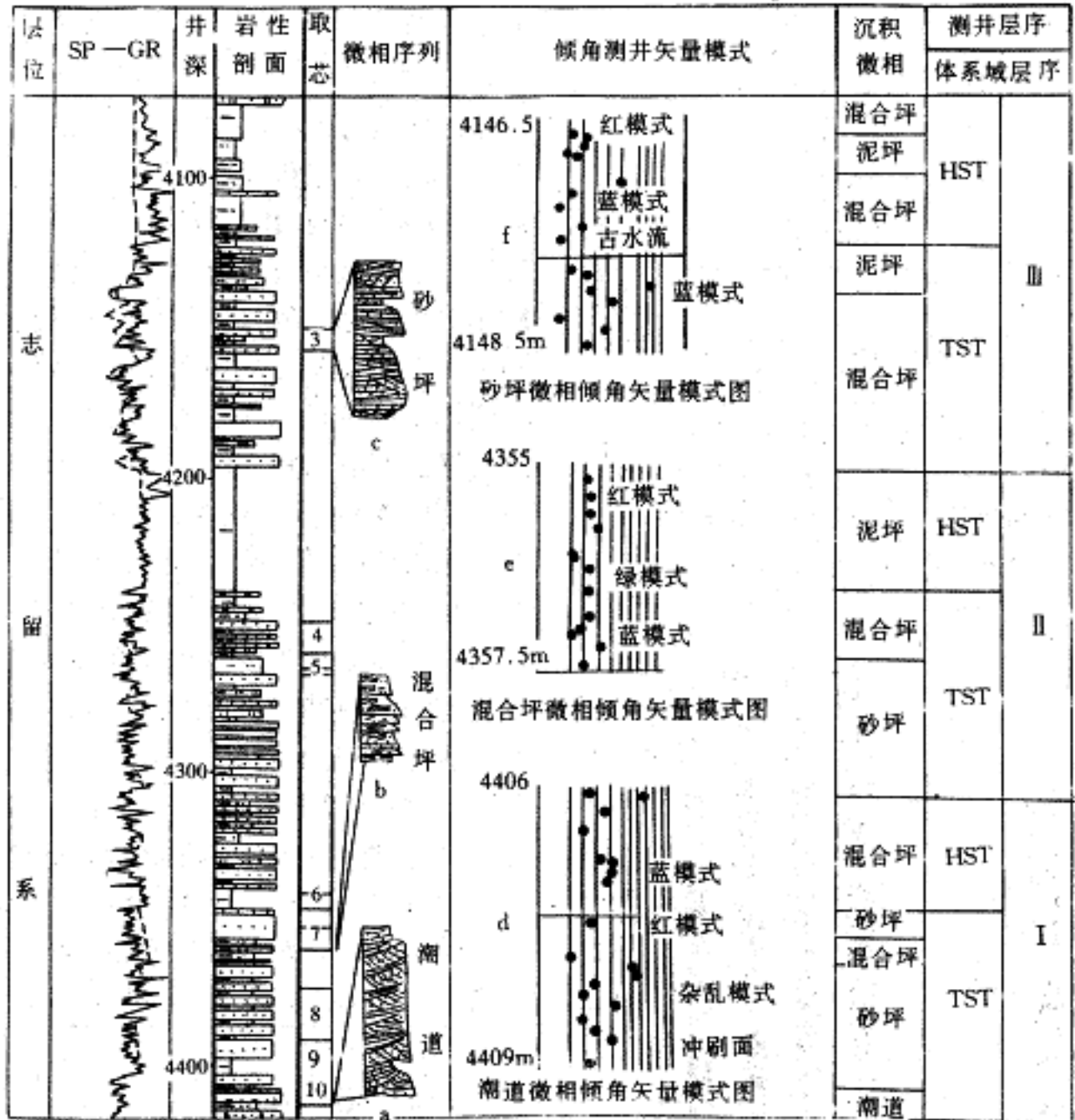


图1 TZ12井测井沉积微相及测井层序综合柱状图

Fig.1 Integrated map of logging-sedimentary micro-facies and logging-sequences of well TZ12

### 2.3 混合坪微相

岩性为互层的灰、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。砂岩成分以石英为主，长石及岩屑次之。颗粒分选中等，呈次圆-次棱角状，泥质胶结。砂岩中以发育波状及透镜状层理、低角度冲洗层理和斜层理为主要特征。泥岩和泥质粉砂岩、粉砂质泥岩中常见生物扰动变形构造、生物钻孔等(图1b)。自然伽马曲线呈锯齿状，GR值较高，达60API。自然电位曲线呈平滑的钟形组合。地层倾向以杂乱模式、绿模式和红蓝模式为特征(图1e)。

### 2.4 泥坪微相

岩性以棕、棕褐色泥岩为主夹薄层粉砂质泥岩、粉砂岩。自然伽马值高，平均达90API以上，曲线呈箱形或齿状箱形(图1)。在泥坪沉积上常见水平层理和生物扰动构造。

## 3 测井层序地层学研究

测井资料具有精度高、连续性强的特点，因此利用沉积微相解释模型在纵向上可得到沉积微相的垂向叠置形式；在横向上，有利于高精度的横向对比。本文充分利用GR、SP、NGS与HDT、FMI资料来确定层序边界的测井相特征，结合测井沉积相解释模型，确定垂向上沉积相的堆砌关系，进行沉积体系的划分与对比，研究沉积层序时空演化。

### 3.1 层序边界的测井相特征

在志留系中识别出4个测井层序边界，其顶底为型层序边界，在其内部识别出2个型层序边界。层序边界的测井相特征如下：在常规测井和自然伽马能谱曲线形态上表现为台阶状突变接触。如TZ16井，石炭系与志留系层序界面(3 942.5m)处，GR值从45API呈台阶状突增到100API以上、Th、U、K值也相应地呈台阶状增大(图2)，测井值的突变反映沉积环境的剧烈变化。在地层倾向矢量成果图表现为倾向矢量的大小相差悬殊，矢量的方向明显不同，如TZ4井石炭系与志留系间的层序边界(3 724米)，石炭系地层倾向约2°，倾向SE；志留系地层倾向22°，倾向SW。在FMI图象(如TCI井)上表现为边界上下地层产状和接触关系的明显不同。如志留系与石炭系呈不整合接触，石炭系地层产状：倾向2.9°；倾向SSE167°。还清晰可见石炭系底部发育一套厚几米的呈侵蚀接触的砾岩层(图3a)。志留系与奥陶系呈角度不整合接触，奥陶系地层产状：倾向22.3°；倾向SSW192°。志留系地层产状：倾向4°；倾向SSE124°，倾向测井上岩层交切，倾向相差很大(图3b)。成像测井(FMI)在确定地层序列、识别层序边界、划分层序和分析古水流等方面具有直观和清晰的作用。

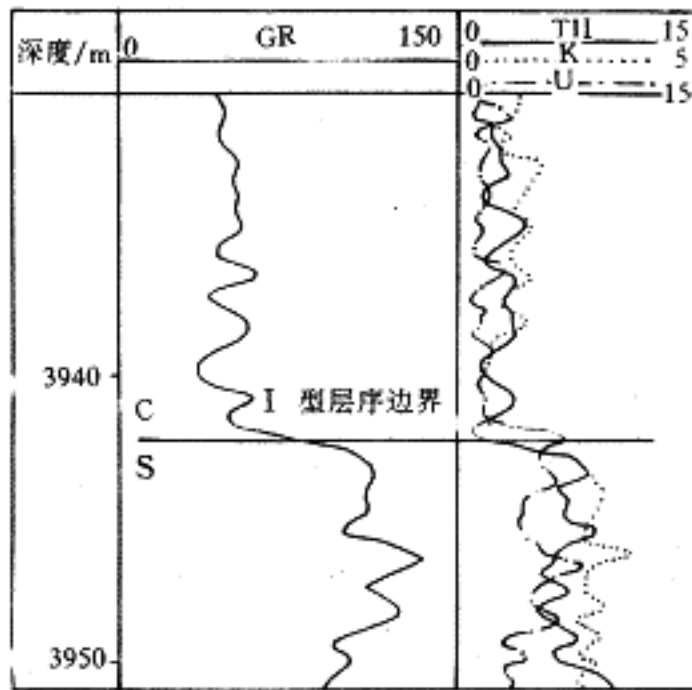
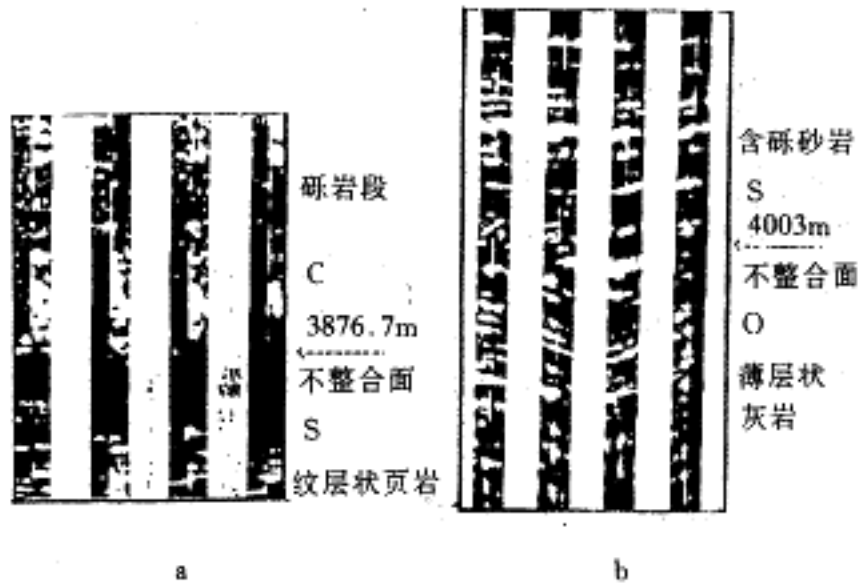


图2 型层序边界的GR和NGS特征  
 Fig.2 Characteristics of GR and NGS on type sequence boundary



a

b

图3 型层序边界的FMI图象特征

### 3.2 体系域的测井相特征

志留系沉积背景为广阔平缓的奥陶系侵蚀面，较小的相对海平面升降都会引起广泛的沉积响应。相对海平面表现为快速上升和下降。每个层序均由海侵体系域和高位体系域组成，代表最大海泛面的岩性标志不易识别，凝缩层段不发育〔2〕。在潮坪沉积体系中，准层序表现为向上变细的序列。一个或几个准层序组的叠置组成体系域。

#### 3.2.1 海侵体系域的测井相特征

海侵体系域主要为砂坪和混合坪沉积，在层序底有部分潮道沉积(如TZ12)。垂向上表现为砂岩厚度加大、粒度变粗、砂泥比值增大的准层序叠置样式，构成退积式或退积式和加积式准层序组。在GR和SP曲线上表现为退积式钟形序列(图1)。

表1 志留系测井层序地层划分表

Table 1 Classification of the Silurian logging sequences

地层	层序边界	体系域	测井层序
石炭系或泥盆系	SB1		
志留系	SB2	HST	
		TST	
	SB2	HST	
		TST	
	SB1	HST	
		TST	
奥陶系			

#### 3.2.2 高水位体系域的测井相特征

高位体系域由混合坪和泥坪沉积组成，垂向上表现为泥岩变厚、砂岩变薄、砂泥比降低的准层序叠置样式，构成加积式准层序组。在GR和SP曲线上表现为直线形或箱形；RILD和RFOC曲线表现为微齿的直线形(图1)。

### 3.3 测井层序地层划分与对比分析

在志留系中识别出四个层序边界，可划分为3个层序。其中层序的底界、层序的顶界为型层序边界(SB1)，其余为型层序边界(SB2)。每个层序均由海侵体系域(TST)和高水位体系域(HST)组成(表1)。

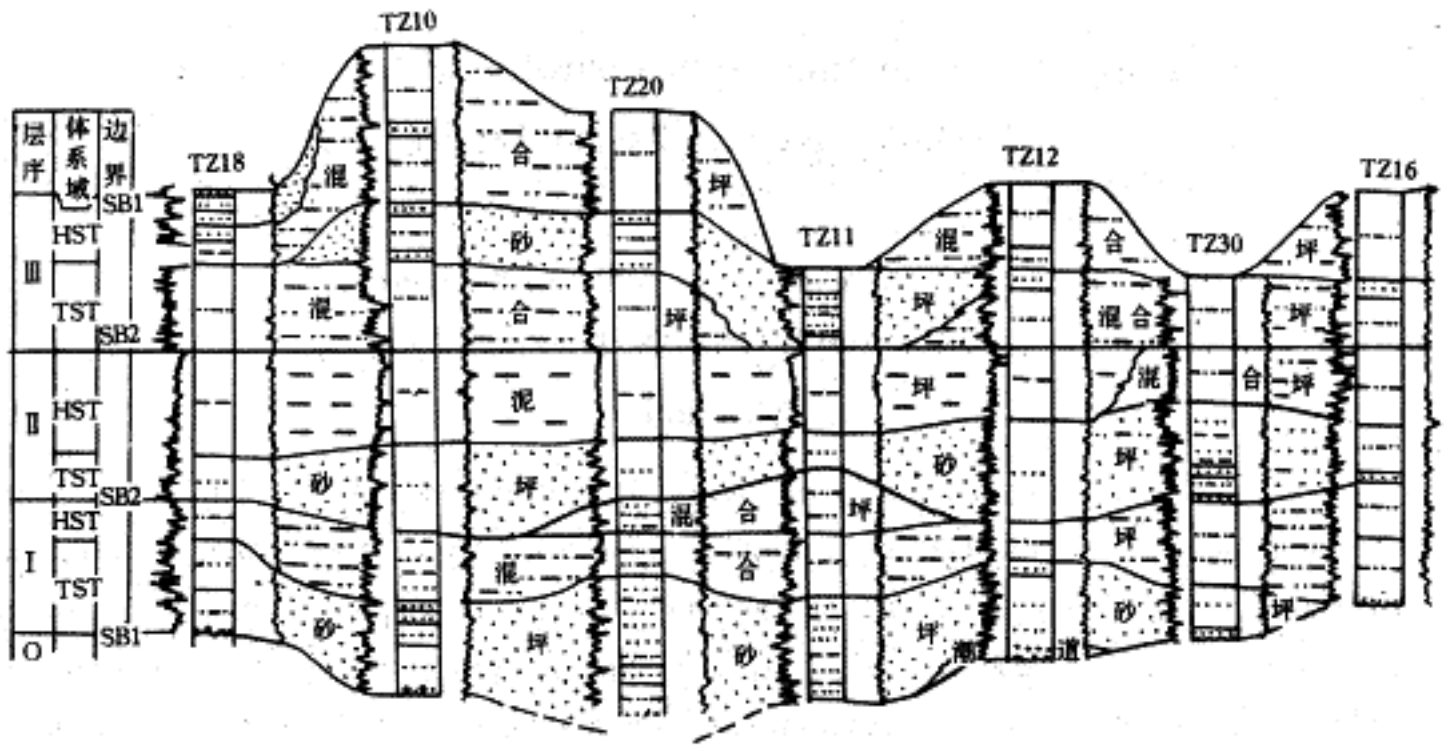


图4 TZ18-TZ16井区测井层序对比图

Fig.4 Correlation map of logging-sequences from well TZ18 to well TZ16

通过TZ18-TZ10-TZ20-TZ11-TZ12-TZ30-TZ16(图4)的剖面层序对比分析可知,测井层序 TST上超于奥陶系不整合面之上,且不断从NW向SE超覆,尖灭于TZ30-TZ16井间,在TZ18-TZ30井区,层序 由TST和HST组成。TZ16井只有HST体系域。层序

TST垂向上由潮下砂坪微相或潮道和砂坪微相叠置构成,HST由潮间砂坪、潮间混合坪至潮上泥坪叠置构成。层序 由TST和HST组成。层序 时期,海侵范围进一步扩大,TST在TZ18-TZ16井间对比良好,由潮间砂坪和混合坪微相叠置构成。HST沉积相在横向上有一定的变化,TZ18-TZ12井间由潮上泥坪构成,TZ12井以东渐变为潮间混合坪。层序 由TST和HST组成,由于志留系顶部地层的剥蚀,部分井如TZ11、TZ30不仅缺失HST地层,而且缺失部分TST地层。TST在TZ18-TZ16井间对比良好,由潮间砂坪和混合坪微相构成。HST在TZ18-TZ20井间由潮间混合坪-泥坪构成,TZ12、TZ16由潮上-潮间上部混合坪、泥坪构成。层序地层对比认为,由于海平相对升降速率不同,导致可容空间上的差异,因此不同层序纵向上沉积相的叠置和横向对比呈现规律性变化。

#### 4 古水流分析

通过对TZ10、TZ11、TZ12、TZ16井层序 -层序 海侵体系域的古水流统计分析表明:本区为双向水流,方向以NE-SE为主。

#### 5 结论

(1)测井资料在层序地层学研究中具有重要作用,在确定地层序列、识别层序边

界、划分层序和体系域、确定区域古水流等方面具有直观和清晰的特点。

(2)塔中志留系为碎屑潮坪沉积，通过岩心刻度测井的方法建立了潮道、砂坪、混合坪及泥坪微相的测井解释模型。

(3)通过测井信息综合研究，识别出四个测井层序边界，划分成三个测井层序，每个层序由海侵体系域和高位体系域组成。

(4)由于海平面相对升降速率不同，导致可容空间上的差异，因此不同层序纵向上沉积相的叠置和横向对比呈现规律性变化。

(5)通过层序 -层序 海侵体系域的古水流统计分析表明，本区志留系为双向水流，方向以NE-SE为主。

感谢朱筱敏教授的精心指导。

作者单位：石油大学 北京 102200

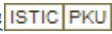
## 参考文献

- 1 候会军，王伟华等.塔里木盆地塔中地区志留系沉积相模式探讨.沉积学报，1997，15(3)：41~47
- 2 贾进华，白玉雷等.塔里木盆地志留系沉积层序与储盖组合分析.见：顾家裕等编.层序地层学及其在油气勘探开发中的应用论文集.北京：石油工业出版社，1997.145~149

收稿日期：1997-12-20 收修改稿日期：1998-03-14



作者: 陈方鸿 王贵文 Chen Fanghong Wang Guiwen

刊名: 沉积学报 

英文刊名: ACTA SEDIMENTOLOGICA SINICA

年, 卷(期): 1999, 17(1)

被引用次数: 36次

### 参考文献(2条)

1. 候会军; 王伟华 塔里木盆地塔中地区志留系沉积相模式探讨 1997(03)
2. 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 1997

### 本文读者也读过(10条)

1. 张晓岗. 胡晓辉. 王艳青. 杨黎明. 彭琴. 程红云. 刘娟. ZHANG Xiao-gang. HU Xiao-hui. WANG Yan-qing. YANG Li-ming. PENG Qin. CHENG Hong-yun. LIU Juan 岩石特性测量技术在测井综合解释中的应用[期刊论文]-中国测试技术2008, 34(5)
2. 闫海卿. 付国民. 杨兴科. 梁志录. YAN Hai-qing. FU Guo-min. YANG Xing-ke. LIANG Zhi-lu 甘肃樊家川油田延9油层储层沉积微相分析[期刊论文]-西北地质2005, 38(3)
3. 杨镜明. 张霖. 王成. YANG Jing-ming. ZHANG Lin. WANG Cheng 小波分析在天然伽玛测井地质解释中的应用[期刊论文]-铀矿地质2008, 24(5)
4. 郭麦成. 黄兆祥. 沈利香 基于嵌入式及网络技术的数控测井地面系统[期刊论文]-计算机工程与科学2004, 26(7)
5. 芮小斌. 孙文谦. RUI Xiao-bin. SUN Wen-qian 新型测井拖撬撬体结构设计和制造工艺[期刊论文]-石油矿场机械2007, 36(7)
6. 杨剑波. 庾先国. 任家富. 穆克亮. 杨雪梅 AUTOCAD二次开发在智能测井系统中的应用[期刊论文]-计算机与数字工程2007, 35(9)
7. 夏竹君. 李俊舫. 游佳雄. 王彦波. 王强. Xia Zhujun. Li Junfang. You Jiaxiong. Wang Yanbo. Wang Qiang 复杂套H管固井质量评价方法探讨[期刊论文]-石油钻探技术2006, 34(5)
8. 马海. 王延江. 魏茂安. 刘玉霞. 陈潮. MA Hai. WANG Yanjiang. WEI Mao'an. LIU Yuxia. CHEN Chao 钻井模拟中测井信号去噪及低频信息提取技术研究[期刊论文]-钻采工艺2007, 30(1)
9. 韩玉堂. 林梁. 李婧 能谱水流测井技术的研究和推广[期刊论文]-测井技术2002, 26(4)
10. 姜占西. 王祝文 碳氧比能谱测井的特点及实际应用[期刊论文]-物探与化探2005, 29(1)

### 引证文献(36条)

1. 谢平. 孙玉善. 王顺玉. 徐彦龙. 杨绍军 成岩作用对储层物性的影响——以塔里木盆地满东1井区为例[期刊论文]-西部探矿工程 2012(7)
2. 高志勇. 朱如凯. 郭宏莉. 何东博 塔中志留系下沥青砂岩段砂体成因分析[期刊论文]-古地理学报 2006(4)
3. 朱如凯. 罗平. 何东博. 郭宏莉. 高志勇. 王雪松. 张兴阳 塔里木盆地塔中地区志留系柯坪塔格组沉积相与沉积模式[期刊论文]-古地理学报 2005(2)
4. Liu Jingyan. Lin Changsong. Cai Zhenzhong. Zhu Yongfeng. Yang Yongheng. Peng Li. Si Baoling. Huang Zhen. Li Huanpu. Xu Yingcai. Su Zhenzhen Palaeogeomorphology and its control on the development of sequence stratigraphy and depositional systems of the Early Silurian in the Tarim Basin[期刊论文]-石油科学(英文版) 2010(3)
5. 高志勇. 张水昌. 郭宏莉. 朱如凯 塔里木盆地满加尔凹陷西北缘上奥陶统热克阿瓦提组海相砂体类型与储集性[期刊论文]-古地理学报 2009(4)
6. 李明云. 孙晓明 塔中地区志留系沉积相及层序地层研究[期刊论文]-石油地质与工程 2008(2)
7. 王贵文. 张新培 塔里木盆地塔中地区志留系测井沉积相研究[期刊论文]-中国石油大学学报(自然科学版) 2006(3)
8. 朱如凯. 郭宏莉. 何东博. 高志勇. 罗平. 王雪松. 张兴阳 塔中地区志留系柯坪塔格组砂体类型及储集性[期刊论文]-石油勘探与开发 2005(5)
9. WANG Li-ping. LI Chuang. TANG Bing-yong Sedimentary characteristics of tide-dominated estuary in Donghetang Formation(Upper Devonian), central Tarim Basin[期刊论文]-东北亚地学研究(英文版) 2005(1)
10. 田景春. 张翔. 聂永生. 夏青松. 赵强. 韦东晓. 李强. 李国忠. 吴琦 层序的测井、地震响应特征研究[期刊论文]-物探化探计算技术 2005(4)
11. 高志勇 郭宏莉 张水昌 朱如凯 满加尔凹陷南缘志留系柯坪塔格组上段不同体系域内辫状三角洲砂体与储集性研究[期刊论文]-中国地质

13. [高志勇, 朱如凯, 郭宏莉, 何东博](#) [海侵背景下风暴控制的滨岸-陆棚砂体研究——以塔中志留系下沥青砂岩段为例](#) [期刊论文]-[沉积学报](#) 2006(4)
14. [张翔, 田景春, 彭军](#) [塔里木盆地地下志留统塔塔埃尔塔格组沉积体系及沉积模式](#) [期刊论文]-[沉积学报](#) 2006(3)
15. [朱筱敏, 王贵文, 谢庆宾](#) [塔里木盆地志留系层序地层特征](#) [期刊论文]-[古地理学报](#) 2001(2)
16. [王成林, 张惠良, 李玉文, 沈扬](#) [塔里木盆地志留系划分、对比及其地质意义](#) [期刊论文]-[新疆石油地质](#) 2007(2)
17. [丁梦, 樊太亮, 高志前, 李让彬](#) [塔里木盆地塔中地区志留系柯坪塔格组下沥青砂岩段沉积相分析](#) [期刊论文]-[现代地质](#) 2012(2)
18. [Zhang Jinliang, Zhang Zhongjie](#) [Sedimentary facies of the Silurian tide-dominated paleo-estuary of the Tazhong area in the Tarim Basin](#) [期刊论文]-[石油科学 \(英文版\)](#) 2008(2)
19. [陈新领](#) [塔中地区志留系层序地层及遗迹学特征](#) [期刊论文]-[西南石油学院学报](#) 2006(1)
20. [赵文光, 周波, 蔡忠贤, 彭仕宓](#) [塔中地区志留系柯坪塔格组沉积特征与油气分布](#) [期刊论文]-[石油学报](#) 2008(2)
21. [施振生, 朱筱敏, 王贵文, 钟大康, 张新培](#) [塔里木盆地塔中地区志留系塔塔埃尔塔格组潮坪沉积中的遗迹化石](#) [期刊论文]-[沉积学报](#) 2005(1)
22. [施振生, 杨威, 郭长敏, 朱筱敏, 张林, 陈刚](#) [塔里木盆地志留纪沉积层序构成及充填响应特征](#) [期刊论文]-[沉积学报](#) 2007(3)
23. [张新培](#) [海、陆相层序地层研究方法对比——以塔里木盆地塔中地区志留系、准噶尔盆地石南地区侏罗系为例](#) [学位论文] 硕士 2005
24. [苗清, 傅恒](#) [塔里木盆地塔中-塔北志留系层序地层](#) [期刊论文]-[沉积与特提斯地质](#) 2013(1)
25. [田新琦](#) [西部某地区志留系高分辨率层序地层学研究](#) [期刊论文]-[油气地质与采收率](#) 2009(4)
26. [赵文光, 彭仕宓, 蔡忠贤, 刘海涛](#) [塔中地区志留系层序、沉积和油气分布规律](#) [期刊论文]-[西安石油大学学报 \(自然科学版\)](#) 2007(1)
27. [高志勇, 朱如凯, 郭宏莉, 何东博](#) [塔中志留系下沥青砂岩段砂体成因分析](#) [期刊论文]-[古地理学报](#) 2006(4)
28. [施振生](#) [塔里木盆地志留系层序地层及动力学成因模式研究](#) [学位论文] 博士 2005
29. [王满, 薛林福, 邱玉超](#) [等时地层格架下的测井属性分析](#) [期刊论文]-[石油物探](#) 2009(6)
30. [朱如凯, 高志勇, 郭宏莉, 罗平, 何东博, 王雪松, 张兴阳](#) [塔里木盆地塔中地区志留系层序格架、砂体类型与油气藏分布](#) [期刊论文]-[中国石油勘探](#) 2006(1)
31. [刘卫红](#) [胜坨油田沙二段测井层序地层学研究](#) [学位论文] 硕士 2005
32. [赵文光, 彭仕宓, 蔡忠贤, 韩涛](#) [塔中志留系层序及其可容纳空间分析](#) [期刊论文]-[沉积与特提斯地质](#) 2006(4)
33. [朱如凯, 罗平, 何东博, 郭宏莉, 高志勇, 王雪松, 张兴阳](#) [塔里木盆地塔中地区志留系柯坪塔格组沉积相与沉积模式](#) [期刊论文]-[古地理学报](#) 2005(2)
34. [宋连腾](#) [塔中志留系潮坪砂体构型的测井表征](#) [学位论文] 硕士 2006
35. [董延亮](#) [塔中志留系测井储层参数研究及流体识别](#) [学位论文] 硕士 2006
36. [杨春林](#) [用油藏地球物理方法对伊朗落莎拉克斯地区白垩系SHURIJEH组含气段沉积、储层和气藏的研究](#) [学位论文] 博士 2001

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_cjxb199901009.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_cjxb199901009.aspx)