

塔里木盆地北部震旦系-古生界层序地层特征

樊太亮

(中国地质大学石油研究室, 北京 100083)

刘金辉

(地质矿产部石油地质研究所, 北京 100083)

塔里木盆地北部由于古构造运动、构造应力场转换或海平面下降事件, 形成了许多不同级别的不整合面。其中 I 级不整合有前震旦系顶界面、下奥陶统顶界面、前石炭系顶界面、古生界顶界面。依据不整合面序列, 在震旦系-古生界中可识别出 3 个巨层序、9 个超层序组和 39 个三级层序。3 个巨层序虽有着不同的沉积背景、体系域构成特征和展布规律, 但其内部的三级层序间的叠置方式有 4 种基本型式: 即加积、进积、退积和上超组合。根据年代地层格架, 震旦系-古生界可划分为 3 个大的沉积旋回, 旋回间的不整合面控制着沉积格局的转换。

关键词 不整合面 层序格架 体系域 年代地层

第一作者简介 樊太亮 男 35岁 副教授 石油地质

1 地层层序划分

1.1 层序界面识别及重大不整合面序列

层序地层分析的关键在于对不同级别的不整合面的识别与对比。根据不整合在地震剖面上表现的削截、侵蚀程度、延伸范围和侵蚀间断时间的长短, 可将不整合面划分为三级。

级不整合面是由古构造运动、构造应力场转换或大的海平面下降造成的区域性不整合面, 常代表着盆地基底面或盆地收缩时的古风化侵蚀面。地震上表现为大规模的削截或长时间的地层缺失。

级不整合面是因明显的海平面下降及地区性构造运动造成的不整合面。此类不整合面在盆地边缘带表现为明显的沉积间断和地层侵蚀, 地震上反映为顶超或轻微削截。

级不整合面主要由海平面变化, 以及与之伴生的沉积物供应速率变化造成的, 地震剖面上表现为上超或顶超, 在盆地内可进行对比。

塔北古生代发育一系列不同级别的不整合面, 其中 级不整合面不仅记录了地质历史中没有代表地层的地质时期, 也记录了沉积格局的根本变化, 反映了重大的构造事件和海平面变化事件; 和 级不整合面代表着无沉积作用阶段, 它们所限定的层序多处于同一构造体制之中, 在地层展布和沉积格局上没有重大变化。下面重点分析塔北地区从基底至古生界发育的四个 级不整合面。

1.1.1 前震旦系顶界面

这是盆地的基底面, 遭受到强烈的侵蚀作用, 地震剖面上可见大型下切谷, 界面之上表现为由东向西大规模的地层超覆。盆地东部库鲁克塔格地区震旦系与下伏上元古界帕尔冈塔群为角度不整合接触^[1]。

1.1.2 下奥陶统顶面

这是一个由大规模的海平面下降造成的区域性不整合面, 界面上、下沉积环境发生显著变化。据沙32井岩芯分析, 不整合面之上陆源碎屑含量大于15%, 而界面之下仅占1%。在满加尔至阿克库勒地区, 可见到清晰的由东向西的巨厚的上超充填沉积, 以及顶部的地层削蚀现象(图1)。反映了早奥陶世末期大幅度海平面下降造成了沉积作用向着盆地方向转移, 随后又随海平面上升而逐步向西超覆的变化过程。

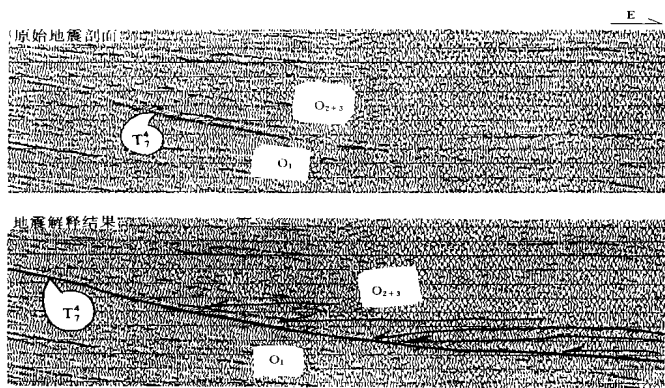


图1 下奥陶统顶部不整合现象

1.1.3 前石炭系顶界面

大致相当于石炭系与下伏地层(志留-泥盆系或奥陶系)的分界面, 是塔里木盆地构造体制转换的一个重大界面。在塔北地区, 该界面削截了泥盆系、志留系和奥陶系, 如沙18井、沙22井等石炭系与下伏奥陶系直接接触; 柯坪露头区石炭系与下伏的志留-泥盆系呈平行不整合接触^[2]。

1.1.4 古生界顶面

古生界顶部地层遭受了强烈剥蚀, 石炭-二叠系、志留-泥盆系, 乃至寒武-奥陶系, 在不同地区与中生界直接接触。界面之下地层以海相或海陆交互相沉积为主, 界面之上则为陆相沉积^[3], 且由西向东、由南向北的上超特征明显, 上超边界近似平行于塔里木河一线。

上述界面是塔北地区震旦纪-古生代发育的Ⅱ级不整合面。在两个Ⅱ级不整合面之间, 还发育有多个Ⅲ级、Ⅳ级不整合面, 它们构成了塔北地区不同级别的不整合面序列, 是划分不同级别的地层层序的重要依据。

1.2 地层层序构架

地层层序的划分对比和层序构架的建立, 主要遵循以下原则。

(1) 以前述的大的不整合面作为高级次层序的控制边界, 并且以这些不整合面的相对级别大小和性质, 作为分析层序相对级别和层序性质的一个重要依据。如此确定的层序, 尽管其内部还存在着多个小的不整合面或沉积间断面, 但它们属于同一构造体制或属于同一个长周期海平面变化旋回, 可进行长距离的区域性对比。在级别上相当于 Vail 等人的 Megasequence 或 Supersequence set^[4]。

(2) 在高级别层序确定之后, 在其内部作尽可能详细的层序划分, 这些层序多是以顶超面、上超面、冲刷面以及可以与之对比的界面为边界, 主要受短周期的海平面旋回性变化、沉积物供给速率变化控制。其分布可能是区域性的, 也可能是局部的, 其级别相当于三级层序。

(3) 对三级层序的叠置方式、分布范围进行分析, 将具有一定的垂向叠置规律或侧向上有明显组合规律的三级层序组合在一起, 可构成三级层序组, 这些三级层序组相当于二级层序, 其边界以削截或顶超为主要特征。

根据上述原则, 我们对塔北地区的地震层序作三级划分, 从震旦系至古生界, 共划分出一级层序3个, 二级层序19个, 三级层序39个(图2)。

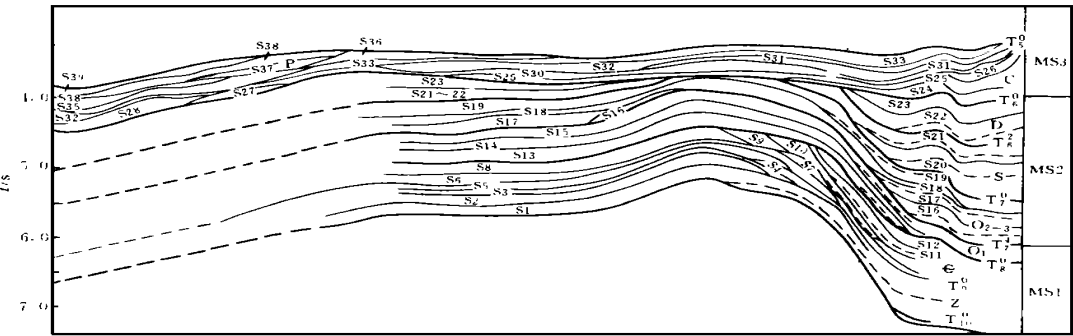


图2 塔里木盆地北部层序地层构架

2 层序地层特征

2.1 巨层序 MS1

巨层序 MS1 对应于震旦系-下奥陶统, 为地震反射波 T_D 和 T_4^f 所限定的地震单元。该巨层序由15个三级层序(地震层序 S1 至地震层序 S15) 组成, 广泛分布于塔北地区, 呈东略厚于西

的不明显的楔状, 内部发育多期特征突出的由西向东的大型 S 型、S-斜交型和斜交型前积结构。露头 and 钻井资料揭示, MS1 是一套以海相碳酸盐岩为主的地层。

2.1.1 体系域构成特点

MS1 底部层序 S1 (对应传统分层的震旦系) 在塔北满加尔地区发育展布面积广、厚度大的低水位体系域。低水位体系域的西界在 N90 线一带, 向东可能直达库鲁克塔格地区。它由下震旦统中、下部地层组成, 在库鲁克塔格可能与阿勒通沟组-贝义西组相当。低水位体系域以其内部的丘状反射及自西而东向该丘状体下超、前积为主要特点(图3)。根据地震反射结构及库鲁克塔格地面露头推测, 低水位体系域应为碎屑岩地层。

层序 S1 的海进体系域和高水位体系域也相当发育, 覆盖整个塔北地区, 但其

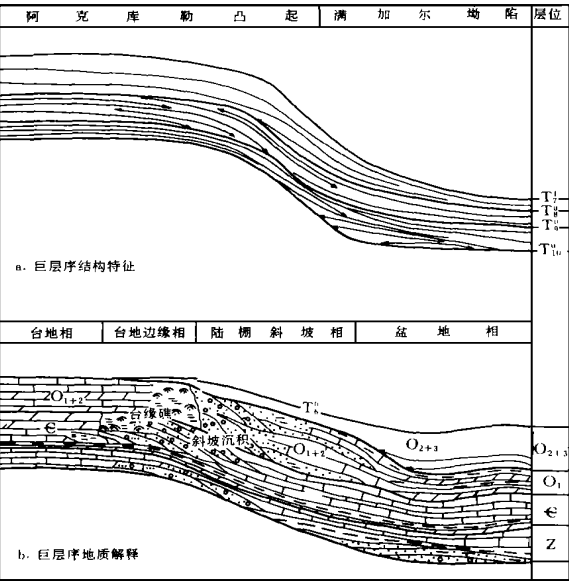


图3 巨层序 MS1 内部结构特征与地质解释

厚度远小于低水位体系域。高水位体系域内部见由西向东的S-斜交型前积反射结构, 且其顶部存在低幅度丘状空白反射带。根据丘状空白反射单元的结构特征、所处盆地的古地理位置, 可以比较确切地认为它们是台地边缘礁(或滩)的地震响应。与海进体系域和高水位体系域相当的地层是下震旦统顶部-上震旦统中、上部地层。

层序S1低水位体系域的认定, 表明震旦纪初期满加尔及其以东地区存在深拗陷, 并且可能发育下震旦统地层。

与层序S1相反, 层序S2至层序S15的低水位体系域不大发育, 其规模远小于层序S1的低水位体系域, 并且多数层序(S3~S9)的低水位体系域局限于层序底部很小范围内。从层序S2至层序S15, 低水位体系域规模呈现逐渐增大的趋势。

层序S2底部存在大型密集段, 其它各层序内部密集段也有相当的规模。塔北范围内都有分布, 由西向东至满加尔层序S3, 4, 7, 10, 11, 12的密集段逐渐合并为一个整体, 形成复合密集段。

高水位体系域是上述层序的主要组成部分。在阿克库勒以西它们由碳酸盐岩台地沉积组成, 其中, 地震层序S2~S4相当于传统的下寒武统, 在这三个层序的高水位体系域内部出现由西向东的S型前积结构和斜交型前积结构。在阿克库勒地区, 多数层序(层序S2~S12)的高水位体系域顶部均发育规模不同的生物礁(或滩), 自下而上(从层序S2至S12)礁体规模由小变大, 并表现出明显的由西向东逐步推移的特征。从震旦系至下奥陶统, 在阿克库勒东侧发育一个明显的过渡带, 即台地边缘-陆棚斜坡相区^[5], 斜坡带呈弧形分布, 由西向东逐渐迁移, 宽度变窄。各层序的低水位体系主要发育于斜坡带以东的满加尔拗陷, 高水位体系发育于斜坡带上部至西部的台地相区。

2.1.2 三级层序的叠置特点

巨层序MS1内15个三级层序, 可组合为8个二级层序(超层序), 其叠加方式有4种。

(1) 加积组合: 层序与层序之间, 主要表现为垂向上的叠加关系。在侧向上, 层序厚度、层序展布、层序内部的构成特征没有显著的变化, 如S1层序。

(2) 进积组合: 后期层序相对于前期层序, 逐渐向盆地迁移, 构成不断进积的层序组, 如S3~S4, S6~S7, S9~S12。每个三级层序在平面上分布局限, 难以大区域追踪对比, 并与二级层序界面构成较大的角度关系。

(3) 退积组合: 后期层序相对于前期层序, 逐渐向盆地边缘方向迁移, 构成不断退积的层序组, 如S2, S5, S8。退积型层序主要发育在盆地陆棚边角之上的台地上, 比前积型层序发育范围大, 但向盆地斜坡之下逐渐减薄, 以至地震剖面上难以分辨, 退积型层序组一般厚度较小, 如同层序构成中海进体系域较薄一样。退积层序组对应于海平面的上升阶段, 是密集段, 也是生油岩发育的主要层位。

(4) 上超组合: 后期层序在盆地斜坡带向上倾方向逐渐超覆, 构成上超层序组合。上超层序组的顶面为首次海泛面, 是生油岩发育带。

2.2 巨层序MS2

巨层序MS2在地震剖面上是以 T_4^4 为底界、 T_0^0 为顶界的地震反射单元, 由地震层序S16至地震层序S23组成。该巨层序整体形态呈东厚西薄、南厚北薄, 由南向北削截尖灭, 北部削截尖灭边界位于新和-沙雅-轮台断裂带附近。MS2对应于中上奥陶统-泥盆系, 是一套以海相碎屑岩为主的地层。

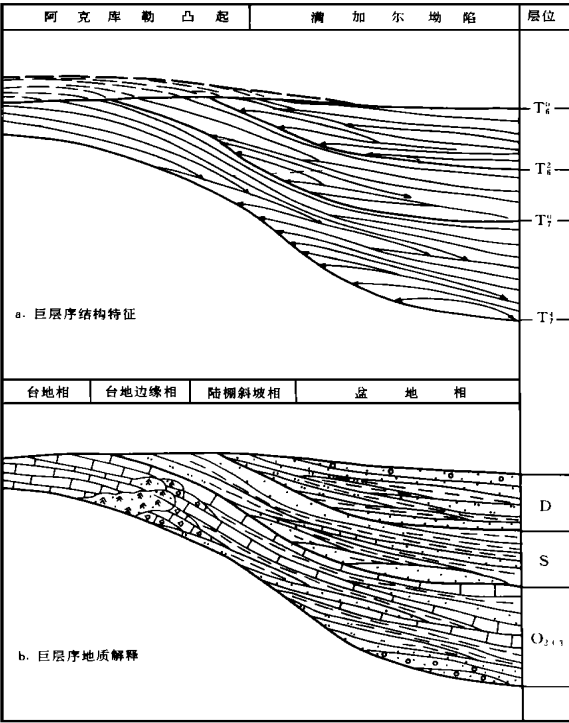


图4 巨层序 MS2内部结构特征与地质解释

合为4个超层序, 由加积、进积和上超三种叠置方式构成, 其中上超组合方式是这一巨层序的一个显著特点, 如 S16~S17, S20~S21。在加积层序组 S18~S19中, 由台地向盆地斜坡下部, S18的厚度逐渐减小, 而 S19则逐渐增厚, 是二级层序组中的海进体系域和高水位体系域的特征。

2.3 巨层序 MS3

巨层序 MS3在地震剖面上是以 T₆⁰为底部边界、T₅⁰为顶部边界的地震反射单元, 由16个三级地震层序组成 (S24~S39)。巨层序呈向西南方向增厚的楔状外形, 北部削截尖灭边界位于沙雅-轮台断裂南侧, 内部反射以多期大规模的由东向西和由北向南的前积结构为主要特征。结合钻井和露头资料综合分析, MS3对应于石炭系-二叠系, 是由海陆交互相的碎屑岩和碳酸盐岩组成 (图5)。

2.3.1 体系域特征

低水位体系域: MS3的低水位体系域主要发育于塔西南地区, 塔东北主要是水进与高水位

2.2.1 体系域组成特点

低水位体系域: 在塔北低水位体系域主要见于层序 S16~S22, 一般比下伏巨层序 MS1内部 (S3~S15) 低水位体系域厚度大、分布面积广。在所有低水位体系域中, 层序 S16, S17, S20, S21之低水位体系域规模相对较大。根据地震特征和已有钻井资料, 推断低水位体系域主要由碎屑岩组成 (图4)。

海进体系域: 各层序均发育海进体系域, 但以层序 S17, S21内部的密集段规模相对较大。前者位于中-上奥陶统中部, 后者位于志留系上部, 可能主要分布在满加尔地区。

高水位体系域: 高水位体系域在本区每个层序中都能识别出来, 其规模都较大。层序 S16, S20, S21的高水位体系域分布可能局限在满加尔地区, 其它层序的高水位体系域在满加尔以西地区也有分布, 由下至上高水位体系域在层序中所占比例增大。

2.2.2 三级层序叠置型式

巨层序 MS2由8个三级层序组成, 可组

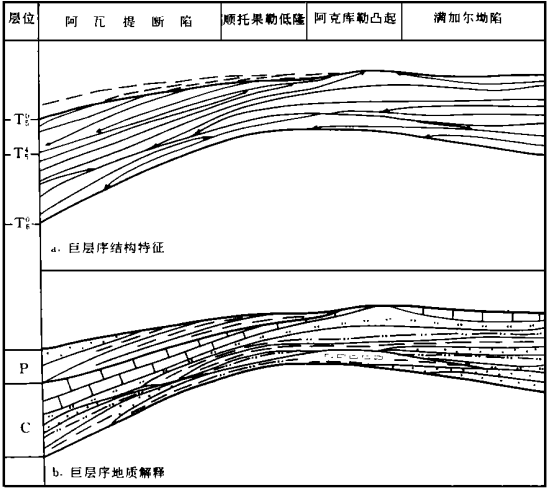


图5 巨层序 MS3内部结构特征与地质解释

合为4个超层序, 由加积、进积和上超三种叠置方式构成, 其中上超组合方式是这一巨层序的一个显著特点, 如 S16~S17, S20~S21。在加积层序组 S18~S19中, 由台地向盆地斜坡下部, S18的厚度逐渐减小, 而 S19则逐渐增厚, 是二级层序组中的海进体系域和高水位体系域的特征。

体系域：但在巨层序发育早期，在满加尔凹陷形成了由东向西和由南向北的地层超覆（S24~S25），构成低水位期沉积。

海进体系域：有两期较大的海进体系域发育，一是S30的下部，海进体系域分布面积最广，东、南、西三个方向的边界已远远超出研究区范围，北部边界大约在NE158-E76线附近，沙32井揭示沉积地层以泥岩为主；一是退积型层序S31所代表的水进过程，海水进侵方向由西向东和由南向北与第一次水进方向相同。

高水位体系域：高水位体系域是各层序主体部分，分布较广，几乎在全区均有展布，区内各钻井均有不同程度的揭示，是一大套以碎屑岩为主的地层。

2.3.2 三级层序组合特征

该巨层序由16个三级层序组成，按其叠置特征，可组合为7个二级超层序(图5)。

S24为上超层序组合，其特征是向着阿克库勒低凸起上超，可能是塔北地区发育于石炭纪早期的低水位期沉积。层序S25相对于S24为加积层序，并继续向着阿克库勒低凸起上超，塔北大部分地区缺失与之对应的层序。层序S26~S29为上超-进积组合，其中高水位体系域在层序中所占比重大，低水位体系域不发育。

层序S30~S31为加积-退积组合，是石炭系水进体系域的主要构成部分。

层序S32~S39为进积组合，沉积层序由东向西迁移，这一组合中高水位体系域仍然是层序的主要组成部分。

3 年代地层格架

根据塔北地震 E1-E59测线的层序地层分析，结合细致的古生物研究提供的层序年龄数据^[6]，绘制了塔北地区的年代地层格架图(图6)。根据年代地层格架，我们可对上述的层

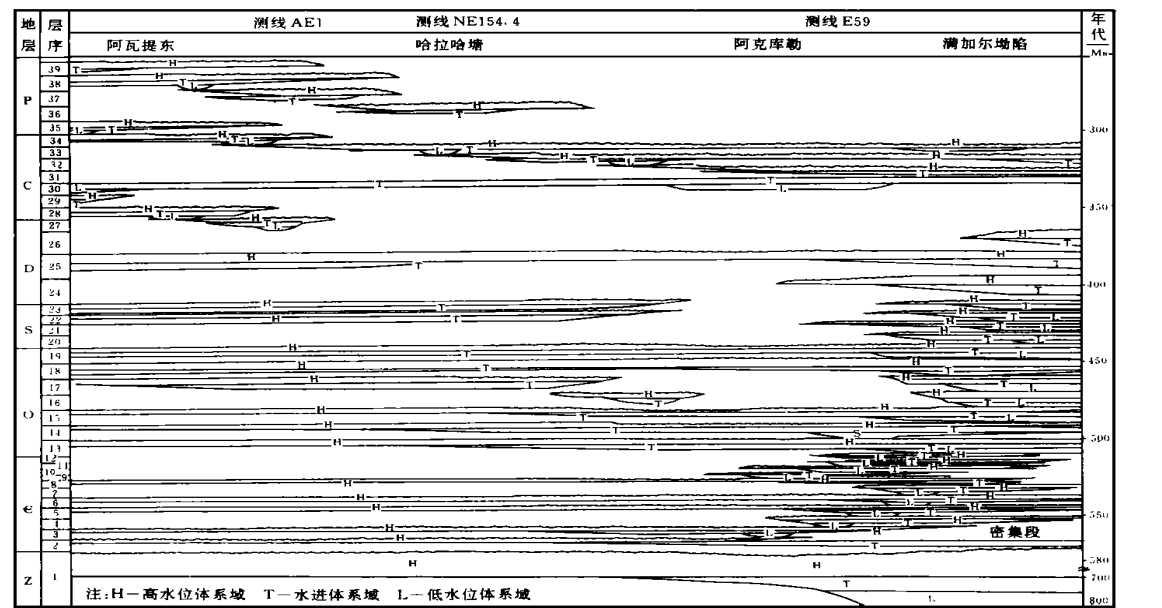


图6 塔里木盆地北部年代地层格架

序分析及其特征作一归纳。

3.1 不整合面形成机制

塔北地区震旦纪-古生代至少有三个一级不整合界面的形成是受区域性构造运动控制的,即结晶基底与震旦系之间的 T_D 界面、志留-泥盆系与石炭系之间 T_0^0 界面、石炭-二叠系顶部的 T_5^0 界面。震旦-泥盆纪塔北沉积中心在东部满加尔坳陷,发育着规模大小不等的低水位体系域沉积,海水由东向西进侵;石炭-二叠纪,沉积中心转移到西部阿瓦提之西南地区,见大规模的向西南地区下超前积现象,而东部地区地层发育不全;三叠-侏罗纪,沉积中心由西部向东部逐渐转移(仅就塔北而言)。沉积格局的重大改变,仅用海平面变化是难以解释的,起首位控制作用的应是区域构造运动。根据塔里木盆地构造分析^[7],上述三个不整合面分别对应于塔里木运动、海西早期运动和海西晚期运动,代表着盆地演化的不同阶段。

下、中奥陶统之间的 T_4^1 界面,其成因既与构造运动引起的盆地沉降速率变化有关,也与海平面的降落有关。下奥陶统主要是水进体系域和高水位体系域,而中-上奥陶统则发育大型低水位体系域。该界面上、下层序在沉积格局上没有明显改变,基本上是继承性的,明显是由海平面的大幅度降落造成的。

3.2 沉积旋回特征

根据年代地层图(图6)中各层序的低水位体系域、水进体系域和高水位体系域相对展布特点和发育程度,可以划分出三个大的沉积旋回,与三个巨层序 MS1、MS2 和 MS3 相对应。每个大的沉积旋回的特征是,在巨层序的下部发育密集叠置的低水位体系域,高水位体系域相对不发育,而在巨层序的上部,则以高水位体系域和较薄的水进体系域为主,而低水位体系域不发育,构成了一个由低水位期层序组至高水位期层序组变化的大的沉积旋回。

3.3 层序展布特点

年代地层格架反映塔北地区层序展布的基本特点。在震旦系-泥盆系,东部满加尔坳陷地层发育齐全,沉积作用是连续的,而阿克库勒凸起及其以西地区,各个层序的顶部都程度不同的存在着侵蚀间断或沉积间断,寒武系内沉积间断以特征明显的顶超型为主,中奥陶统-泥盆系内的沉积间断以上超型和侵蚀削截为主。在石炭-二叠系在塔西南地区沉积作用是连续的,而塔北地区表现为侵蚀间断和上超型的沉积间断。

参 考 文 献

- 1 周金钟,周棣康,赵明等.新疆库鲁克塔格地区震旦纪地层及沉积特征.见:贾润胥编.中国塔里木盆地北部油气地质研究.武汉:中国地质大学出版社,1991.118~125
- 2 马宝林,温常庆.塔里木沉积岩形成演化与油气.北京:科学出版社,1991.15~22
- 3 韩革华,周永昌,沈林克等.塔里木盆地北部三叠、侏罗纪地震地层学探讨.见:贾润胥编.中国塔里木盆地北部油气地质研究.武汉:中国地质大学出版社,1991.220~229
- 4 威尔格斯 C K 编.层序地层学原理(海平面变化综合分析).徐怀大,魏魁生,洪卫东等译.北京:石油工业出版社,1993.86~137
- 5 周东延,李洪辉,冯祺等.塔里木盆地东北地区上震旦统-奥陶系“槽”“台”过渡带的发现及其意义.见:童晓光,梁狄刚编.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,1991.226~234
- 6 曾学鲁,徐钰麟,魏真鑫.新疆塔里木盆地北部层序地层及其古生物学研究.北京:地质出版社,1996.6~40
- 7 贾润胥,翟晓先,周永昌等.塔里木盆地东北地区地质构造基本特征.见:贾润胥编.中国塔里木盆地北部油气地质研究.武汉:中国地质大学出版社,1991.9~28

SEQUENCE STRATIGRAPHIC FEATURES OF SINIAN-PALEOZOIC IN NORTH TARIM BASIN

Fan Tailing

(*Petroleum Research Department, China University of Geosciences, Beijing*)

Liu Jinhui

(*Institute of Petroleum Geology, M GMR, Beijing*)

Abstract

Different orders of unconformities in North Tarim Basin are resulted from tectonic movement, stress field transformation and sea-level changes. According to multi-order unconformities in stratigraphic record, the sequences of Sinian-Paleozoic in the study area could be distinguished into 3 megasequences, 9 supersequence sets and 39 third-order sequences. Though the sedimentary environment, typical features of system tracts and distribution regularities of the 3 megasequences are different, the superposition patterns of the third-order sequences are basically the same, that is, aggradation, transgression, regression and onlap associations. Based on chronostratigraphic framework, the Sinian-Paleozoic could be divided into 3 mega-cycles of sedimentation. The unconformities between the mega-cycles controlled the transformation of depositional pattern.

地矿部鉴定通过 “GIS 系统在油气勘探中应用试验研究”

中国新星石油公司石油地质综合大队高级工程师谭青等同志完成的“地理信息系统在油气非地震勘探中应用试验研究”项目，最近经地矿部鉴定委员会鉴定通过。评价“项目中所采用的研究方法和思路具有明显的开拓性和创造性，为在油气普查勘探中应用 GIS 技术积累了经验。”

该项目成功地应用 GIS 技术（即地理信息系统）实现了化探、微磁、多指标数据 T 型综合评价，并综合应用地质、地震、遥感等多元地学信息进行了有利含油气靶区预测，从而探寻了一套科学的半定量评价方法。

（谢永柱）