

塔里木盆地东河砂岩沉积储层特征

朱筱敏 赵澄林 钟大康 等著



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

塔里木盆地东河砂岩沉积储层特征

朱筱敏 赵澄林 钟大康 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在大量地质和地球物理资料基础上,对我国发现的第一个深埋海相优质储集砂岩——塔里木盆地东河砂岩的层序地层、沉积储层特征进行了研究。认为东河砂岩段发育于石炭系底部层序Ⅰ海侵体系域沉积早期。塔中和塔北地区东河砂岩的沉积环境存在明显差异。塔北地区东河砂岩主要形成于无障碍海岸的前滨—临滨环境。塔中地区受古地形隆起影响,形成河口湾与滨岸海滩沉积体系的组合模式。东河砂岩段主要的成岩作用是压实作用、胶结作用和溶蚀作用,现处于晚成岩A—晚成岩B亚期,具有原生和次生两种储集空间,储层含油气性受储集性能和圈闭双重因素的控制。东河砂岩段是形成地层岩性圈闭非常重要的沉积砂体。

本书可供从事沉积储层和石油地质研究的科技人员及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

塔里木盆地东河砂岩沉积储层特征/朱筱敏等著.

北京:石油工业出版社,2006.9

ISBN 7-5021-5369-1

Ⅰ. 塔…

Ⅱ. 朱…

Ⅲ. 塔里木盆地-砂岩-储集层-特征

Ⅳ. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第153299号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址: www.petropub.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2006年9月第1版 2006年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 11.25

字数: 285千字 印数: 1—1000册

定价: 40.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

塔里木盆地是中国最大的大型叠合含油气盆地,蕴藏着极为丰富的油气资源。目前,已在寒武系、石炭系、三叠系、侏罗系、古近系和新近系等十余个地质层系中发现了工业油气流,其中主要分布在塔里木盆地塔北和塔中地区的东河砂岩,尽管所属地质时代有争议(朱怀诚,1998,1999),但它仍是中国首例高产工业油气流的重要海相沉积储层,也是国内近期重点研究对象之一。

1989年位于塔里木盆地塔北东河塘地区的东河1井在一套泥盆系(也有人认为是石炭系下部)海相石英砂岩中获得高产油气流。“东河砂岩”作为中国首例高产海相砂岩储层的成功勘探,引起了国内外的广泛关注。由此开始揭开了东河砂岩勘探的序幕,随后在塔中、吉拉克和草湖地区都钻遇了该套地层。其中塔中4井是塔里木盆地的亿吨级油田的发现井,在目前的探明储量中仍占有重要地位。因此,东河砂岩与塔里木盆地油气关系十分密切,对塔里木盆地勘探战略产生过重大影响。

所谓“东河砂岩”原指于1989年所钻的塔北东河1井5726~5930 m井段钻遇的成分和结构成熟度均高的细粒石英砂岩。随着油气勘探区域不断扩大,先后在塔中、塔北哈德逊、吉拉克等地区也发现了相似的海相石英砂岩。但是,由于塔里木盆地复杂的地质特征,造成这些地区分布的东河砂岩表现出了不同的沉积特征,也造成了对东河砂岩时代、沉积储层特征的不同理解。鉴于塔中地区东河砂岩的沉积典型性和在油气勘探中的重要性,本文将以塔中4井为代表的由“底部砾岩”、“中部块状砂岩”和“上部含砾砂岩”构成的砂岩段称“东河砂岩段”,而以塔北东河1井为代表的由“底部砾岩”和“块状砂岩”组成的沉积序列称为狭义的“东河砂岩”。由于东河砂岩作为一个重要的油气储层,前人曾对其沉积特征作过深入研究,有人认为东河砂岩形成于滨岸环境(顾家裕,1996),有人认为它形成于洪积环境(郭建华,1996),也有人认为它形成环境复杂(朱如凯,2002)。朱筱敏(2004)认为东河砂岩段空间分布复杂,沉积环境多变。塔中地区东河砂岩段主要形成于河口湾和滨岸沉积环境,而塔北地区东河砂岩段则主要形成于滨岸以及障壁岛沉积环境。

塔里木盆地的地质特征决定了东河砂岩分布与油气赋存的复杂性。塔里木盆地沉积、储层研究作为石油地质综合评价的重要环节,在国家“八五”科技攻关期间备受重视,被列为国家“八五”重点科技攻关项目,其科研成果使人们对塔里木盆地沉积、储层的认识上了一个新的台阶。东河砂岩段是我国第一例富含油气的海相碎屑岩储层,有可观的产量和储量,它的发现是塔里木盆地油气勘探的重大转折点。通过国家“八五”科技攻关,对东河砂岩段的形成、特点和分布取得了宝贵的认识,例如由于构造背景、沉积背景和成岩强度的差异,认为并非所有的东河砂岩段都可以成为优质储层,有的地区东河砂岩段储集性很差,例如草湖地区的草2井中东河砂岩段平均孔隙度才6.24%,又如,东河砂岩段形成于泥盆纪或石炭纪早期的海侵时期,沉积具填平补齐特征,沉积厚度受物源区岩石类型和古地貌等因素控制,其中东河塘、草湖、满加尔和塔中地区有厚度较大的东河砂岩段,等等。东河塘油田发现后,为了扩大油气勘探成果,1991年曾在该构造带乃至整个塔北地区打了一个以东河砂岩为主要目标的勘探仗,但没有取得预期的效果。针对塔中地区东河砂岩的勘探也遇到了类

似问题。

目前,东河砂岩段沉积储层研究还存在许多疑问,要做到对东河砂岩段勘探有的放矢,还必须解决以下几个沉积储层方面的问题。

(1) 东河砂岩沉积特征和空间分布。目前已发现塔中 1 油气藏、塔中 101 气藏、塔中 6 气藏、塔中 16 油藏、塔中 4 油藏、塔中 11 油藏、塔中 10 油藏等油气藏规模较小,油气藏类型多样,平面分布比较分散,没有形成大面积连通的统一油气系统。这与东河海相石英砂岩的认识存在着强烈反差。它可能暗示东河砂岩的沉积模式不能通过单一的海滩模式加以概括。东河砂岩可能沉积于多种沉积环境,在不同地区,受构造和古地貌的影响,存在着沉积厚度和空间分布的差异性。总的看来,东河砂岩沉积特征复杂,与油气藏的关系十分复杂,尤其是东河砂岩的空间分布强烈地制约着塔里木盆地油气勘探和开发。因此,东河砂岩的沉积特征与分布规律的研究既具有重要的理论价值,又是勘探工作中急需解决的实际问题。

(2) 东河砂岩成岩作用与孔隙成因类型。关于东河砂岩段的孔隙成因,目前有两种观点:一种是强调以原生孔隙为主,认为储层分布主要受沉积相带控制;另一种是强调以次生孔隙为主,认为储层分布主要受埋藏期成岩作用控制。孔隙成因直接反映储层形成和分布规律,也是制定勘探方案的重要依据。东河砂岩段埋深达到 6000 多米,仍具有良好的孔渗性,弄清其在深埋情况下孔隙发育和演化的控制因素至关重要,通过成岩作用研究以及其他地质因素的研究可以为深埋储层的形成机理提供理论依据。

(3) 储层非均质性和影响因素以及有利储集带预测。从目前钻探结果来看,并非所有地区的东河砂岩段都有良好的储集性,即使在同一地区东河砂岩段内部也存在着储集性能的变化,因此描述东河砂岩段储层的非均质性,分析其形成原因,对东河砂岩段的勘探和开发都有重要的意义。据前期研究,东河砂岩段的有利储层分布主要受古地貌控制,其储集性能主要受沉积相和成岩作用影响,因此很有必要对东河砂岩段的沉积相和成岩作用进行全面、深入的分析,弄清东河砂岩段及其中有利层位的分布,为进一步勘探提供依据。

为了解决以上重大科学和生产问题,国家“九五”科技攻关项目《塔里木盆地石油天然气勘探》设立了“塔里木盆地东河砂岩分布规律及储层评价”攻关课题,后来国家基础科研项目《中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测》也设定研究专题“塔里木盆地东河砂岩沉积时期的构造古地理研究”来研究东河砂岩的沉积储层特征。针对目前东河砂岩段急待解决的几大问题,本次研究选取了钻达东河砂岩段井位较多且已在其中发现油藏或油田的塔北东河塘地区和塔中地区作为重点研究区块,将研究内容划分为层序地层、沉积特征、成岩作用和储层评价等几部分,通过对东河砂岩岩石学特征、古物源、沉积环境、成岩作用、储层特征和储层评价等几方面的系统研究,对东河砂岩段层序地层格架、沉积相类型和分布以及储层的形成、保存和特点进行分析和评价。

在了解盆地地质背景的基础上,利用新疆巴楚小海子露头资料、100 余口测井资料、30 余口井岩心资料、2000 多千米地震资料以及近 1000 块样品分析资料进行了层序地层分析,建立层序地层格架,并在各种类型资料中提取东河砂岩的沉积特征信息。在层序地层宏观模型的指导下进行沉积相、沉积体系分析,建立沉积相模式。利用钻井与地震剖面资料初步确定东河砂岩在全盆地分布,选取塔中地区和塔北地区重点地震剖面,利用测井与地震资料,使用 STRATA 软件进行反演,进一步对东河砂岩的分布进行储层预测。

通过野外剖面、盆地地质和地球物理资料以及对大量分析化验资料的综合分析,在东河砂岩的沉积环境、分布规律及储层特征等方面取得了以下认识。

(1) 塔里木盆地石炭系可以被划分为四个层序。东河砂岩段是石炭系底部（或泥盆系顶部）层序海侵体系域的产物。其底界对应于海西运动早期构造运动事件，具有十分广泛的陆上侵蚀作用，为Ⅰ型层序界面。

(2) 东河砂岩是一套成分和结构成熟度均较高的石英中细砂岩、粉细砂岩以及少量岩屑砂岩，岩性在平面上有一定变化。在塔北地区，东河砂岩以均质细砂岩段发育为特征，岩性单一；而在塔中地区除了发育较细的石英砂岩以外，还发育砂质砾岩和中砾岩。东河砂岩的分选为较好—中等，出现明显的正偏态特征，峰度一般为尖锐。塔北地区的累积概率曲线以低悬浮的两段式为特征，而塔中地区则表现为两段式和三段式类型，并且部分样品含有较高的悬浮组分，显示有河流沉积特征。利用数理统计理论采用石英、长石、岩屑含量岩石组分参数与平均粒径，C、M 值粒度参数对东河砂岩进行的定量研究表明，塔中、塔北（东河塘地区）东河砂岩的粒度结构特征不存在明显区别，而成分参数则有显著差异。

(3) 东河砂岩沉积时，塔里木盆地的古地形、水动力、古海岸线及古环境是多变的，难以用一种统一的沉积模式加以概括。塔中和塔北地区东河砂岩的沉积环境存在差异性。塔北地区东河砂岩主要形成于前滨—临滨环境，岩性较纯，粒度较细，低角度交错层理及冲洗层理发育；塔中地区东河砂岩早期主要受河流作用影响，海平面上升后，受河流、波浪与潮汐共同作用，主要形成于河口湾环境和滨岸环境，后期又经过潮汐与波浪，甚至风暴的改造。东河砂岩沉积时的水动力条件较强，出现丘状交错层理为标志的风暴沉积序列。东河砂岩中发育砂质风暴沉积，垂向序列表现为近源（原地）风暴沉积，没有发生向盆地方向的大量沉积物迁移。

(4) 东河砂岩的分布明显受古地形控制，主要围绕古隆起呈裙边状分布，具有“填平补齐”特征。总的来说，东河砂岩呈西厚东薄的楔状体。由于它是海侵早期的产物，东河砂岩的厚度分布存在较大的变化。在塔北地区，东河砂岩主要分布在东河塘和草湖地区；在塔中地区东河砂岩沉积厚度变化较大，横向上迅速尖灭。

(5) 东河砂岩宏观非均质性主要受岩性、岩相和厚度控制。东河砂岩段纵向上存在非均质性，可分为三个亚段，自下而上依次是下部非均质段（底砾岩段）、中部均质段（原东河砂岩）和上部非均质段（原含砾砂岩）。中部均质段以细粒石英砂岩为主，成分、结构成熟度都很高，其在塔北和塔中分布都比较稳定，尤以塔中最明显。

(6) 东河砂岩中的油气富集程度除了受构造作用影响外，还受砂体岩性、分布以及沉积后作用造成的非均质性的影响。在今后勘探东河砂岩时，除了研究构造圈闭外，还应加强对储层非均性的研究。塔中地区Ⅰ号断裂在东河砂岩沉积时为活动间歇期，塔中地区东河砂岩分布主要受古地形控制。

(7) 东河砂岩沉积后，至少存在在二期油气充注过程。油气运移在塔中地区比较复杂，塔中Ⅰ号断裂沟通了烃源岩与储集层，是油气垂向运移的主要通道。在平面上存在塔中 1 井—塔中 4 井东南向北西方向等多个油气运移方向。

(8) 层序地层在油气系统分析中有重要意义，能够确定潜在储集层的分布模型，是研究地层圈闭的有利手段，并且有助于分析含油气系统中的成藏要素间的组合关系。

本研究得到国家科技攻关项目《塔里木盆地石油天然气勘探》和国家基础研究项目《中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测》的资助。参加研究工作的主要研究人员有朱筱敏、赵澄林、钟大康、张强、吕雪雁、李玉梅、王贵文、季汉成、谢庆宾、马立驰、崔勇、王勋杰、田海芹、金春爽等同志，其中朱筱敏、赵澄林、钟大康、张强、吕雪雁等同志参加

编著。

在研究过程中，得到项目负责人和梁狄刚、贾承造、顾家裕、王昭明、金之均、王清晨及申银民等同志的指导帮助，在此表示衷心的感谢。

最后，非常感谢石油工业出版社为出版本专著提供的帮助和支持。

作者

2006年5月

目 录

第一章 塔里木盆地地质概况	(1)
第一节 塔里木盆地构造特征及构造单元划分	(1)
一、塔里木板块边界及其与周边板块的关系.....	(1)
二、塔里木板块演化和运动特征.....	(2)
三、塔里木盆地内部结构及单元划分.....	(4)
第二节 塔里木盆地构造格架及构造演化特征	(8)
一、塔里木盆地断裂系统.....	(8)
二、塔里木盆地古隆起分布	(10)
三、泥盆纪末构造事件	(12)
第三节 塔里木盆地沉积充填序列	(13)
一、塔里木盆地地层系统	(13)
二、石炭系沉积充填特征	(15)
第四节 有关东河砂岩若干问题的讨论	(17)
一、东河砂岩的定义	(17)
二、东河砂岩的时代归属讨论	(18)
第二章 东河砂岩段层序地层学研究	(23)
第一节 硅质碎屑岩层序地层模式	(23)
一、I 型层序地层样式	(23)
二、I 型层序的体系域组成	(24)
第二节 东河砂岩段层序地层分析	(27)
一、巴楚地区东河砂岩段露头层序分析	(27)
二、东河砂岩段钻测井层序分析	(31)
三、东河砂岩段地震层序分析	(36)
第三节 东河砂岩段层序地层模型及控制因素分析	(40)
一、东河砂岩段层序地层模式	(40)
二、东河砂岩段层序形成的主控因素	(43)
第三章 东河砂岩段沉积特征和分布	(46)
第一节 东河砂岩段岩石学特征	(46)
一、岩石类型	(46)
二、微观岩石学特征	(46)
三、东河砂岩的重矿物类型	(48)
四、东河砂岩的石英颗粒表面特征	(49)
五、微量元素	(50)
第二节 东河砂岩段粒度结构特征	(52)
一、粒度参数特征	(52)

二、频率直方图与累积概率曲线	(53)
三、C—M 图	(56)
四、结构参数散点图	(56)
第三节 东河砂岩段沉积构造特征	(61)
一、东河砂岩段主要沉积构造类型	(61)
二、风暴沉积作用与沉积构造特征	(64)
三、测井技术在识别沉积构造和判定古水流方向中的应用	(67)
第四节 东河砂岩段沉积环境与沉积模式	(68)
一、海陆相沉积环境的讨论	(68)
二、东河砂岩段沉积相分析	(70)
三、东河砂岩段沉积相平面展布特征	(75)
四、东河砂岩段沉积模式	(79)
五、东河砂岩段沉积厚度和分布	(80)
第五节 东河砂岩段沉积控制因素分析	(82)
一、构造沉降控制了沉积中心迁移	(82)
二、塔中地区断裂活动特征	(84)
三、东河砂岩段沉积物供给体制与物源方向	(87)
第四章 东河砂岩段成岩作用	(91)
第一节 成岩事件	(91)
一、压实作用和压溶作用	(91)
二、胶结作用	(93)
三、溶蚀作用	(103)
四、交代作用	(104)
第二节 成岩温度和成岩序列	(104)
一、石英加大边形成深度和温度	(104)
二、粒间硅质胶结物包裹体和碳酸盐胶结物形成温度分析	(108)
三、成岩序列	(108)
第三节 石英包裹体与构造运动和油气运移	(110)
一、石英包裹体与构造运动	(110)
二、石英包裹体与油气运移	(111)
第四节 黏土矿物特征	(111)
一、黏土矿物组合	(111)
二、泥岩黏土矿物演化	(113)
三、砂岩黏土矿物特点	(113)
第五节 油气入侵对成岩作用的影响	(114)
一、石英加大和长石加大	(115)
二、黏土矿物转化	(115)
第六节 成岩阶段与“四史配置”	(116)
一、成岩阶段划分	(116)
二、“四史”配置关系研究	(118)

第五章 东河砂岩段储层特征和评价预测	(125)
第一节 储集空间类型及特点	(125)
一、孔隙类型	(125)
二、孔隙组合	(126)
第二节 东河砂岩段孔隙成因分析	(126)
一、原生孔隙储层特点	(127)
二、次生孔隙储层特点	(127)
三、东河砂岩段孔隙成因分析	(127)
第三节 东河砂岩段孔吼结构特征	(131)
一、偏光薄片和铸体薄片分析	(131)
二、孔吼结构图像分析	(131)
三、毛管压力曲线特征	(131)
第四节 储层物性特征及含油气性	(134)
一、储层物性特征	(134)
二、储层含油气性	(135)
第五节 东河砂岩段储层物性控制因素	(136)
一、岩石的成分和结构的影响	(136)
二、东河砂岩段成岩作用	(137)
第六节 东河砂岩段储层评价和有利储层预测	(138)
一、东河砂岩段储层评价标准	(138)
二、东河砂岩段储层评价预测	(139)
第七节 深埋优质储层保存机制分析	(141)
一、低地温场和长期浅埋短暂深埋	(144)
二、较为明显的溶蚀作用	(145)
三、较大的砂体厚度和较高的岩石成分与结构成熟度	(146)
四、浅埋石英加大和微晶石英	(148)
五、颗粒黏土薄膜包裹层	(149)
六、砂岩储层的烃类注入有利于溶蚀孔隙保存	(150)
第六章 东河砂岩段油气成藏特征分析	(152)
第一节 东河砂岩段油气成藏要素分析	(152)
一、烃源岩的确定	(152)
二、储集层特征	(153)
三、盖层特征	(154)
四、古地温环境	(155)
五、油气运移通道与运移方向	(156)
第二节 含油气圈闭和有利勘探方向	(158)
一、含油气圈闭	(158)
二、东河砂岩段有利勘探目标	(160)
结束语	(165)
参考文献	(168)

第一章 塔里木盆地地质概况

第一节 塔里木盆地构造特征及构造单元划分

一、塔里木板块边界及其与周边板块的关系

塔里木板块是在晚元古代固结形成的古大陆板块，包括塔里木盆地稳定区和周边的多期边缘活动带。塔里木板块北与哈萨克斯坦板块为邻，由伊犁地块、吐哈地块、准噶尔地块组成。哈萨克斯坦板块的北部边界是克拉美丽—塔克扎勒缝合带，古克拉美丽洋分别向南和向北俯冲，并于石炭纪末消亡，西伯利亚板块和哈萨克斯坦板块沿该带缝合在一起（图1—1）。塔里木板块与哈萨克斯坦板块的分界线是南天山北缘断裂（即著名的尼古拉耶夫线）。伊犁地块等在早古生代逐渐与塔里木板块分离，南天山洋是随着它们的分离而逐渐扩张形成的。晚古生代南天山洋的消减，使塔里木板块与哈萨克斯坦板块碰撞缝合在一起，并在南天山地区形成复杂的构造混杂岩带。向西进入中亚地区后，尼古拉耶夫线沿纳伦盆地北缘与费尔干纳断裂相交，并被后者右行切断。由于受后期费尔干纳断裂走滑及帕米尔地体的向北挤入，塔里木板块的西沿是一个尚需研究的问题。

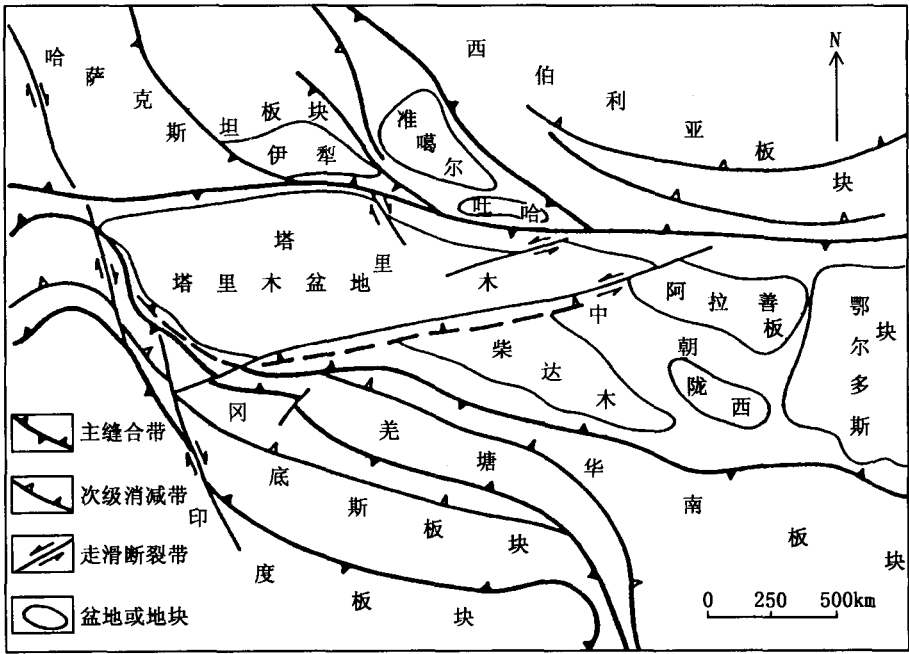


图 1—1 塔里木盆地大地构造背景略图（据王鸿祯等，1990，简化）

塔里木板块南缘同样经历了复杂的演化过程，有早古生代的中昆仑地体的离散、北昆仑洋向南的俯冲和中昆仑岛弧的形成，以及晚古生代古特提斯洋沿康西瓦混杂岩带的向北俯冲和中昆仑晚古生代岛弧的形成。因此，应将古生代塔里木板块的西南界划在康西瓦缝合带。

塔里木板块的东南侧是世界闻名的阿尔金断裂带，这是一条中—新生代特别是新生代的大规模左行走滑断层。研究表明，早古生代塔里木东南缘经历了复杂的离散和聚合过程，可能从中—晚奥陶世，东昆仑地体沿塔里木板块东南缘与塔里木板块碰撞，这时柴达木地体也与塔里木板块拼合在一起。沿阿尔金断裂一线发育有数千米厚的火山岩和延长达 700km 的可能是蛇绿岩碎块的基性—超基性岩带，应是这次事件的证据。晚古生代起，塔里木板块与柴达木地体和东昆仑等已拼合在一起，成为统一的板块，其活动大陆边缘构造带迁移至东昆仑及其以南地区，故塔里木板块的东部边界以阿尔金断裂带为宜。

综上所述，塔里木盆地作为古生代一个独立的板块，其四周边界分别为：北部边界为南天山北界断裂带（即尼古拉耶夫线），西南部边界为康西瓦断裂带，东南部边界为阿尔金断裂带。塔里木板块不仅包括现今盆地区的中心陆块，还包括其周边不同时期的陆缘构造带。

二、塔里木板块演化和运动特征

综观塔里木盆地的发展演化可以看出，塔里木地区在太古宙存在塔南陆核，古元古代末已形成稳定区，具典型的陆壳结构（王鸿祯，1985，1990）。元古宙晚期，塔里木运动（晋宁运动）形成塔里木板块或古新疆板块（张良辰等，1985），其范围可能超出南天山，如中—新元古代伊宁地块与塔里木地台之间是相连的（王鸿祯等，1990）。震旦纪古塔里木板块发生裂解，寒武—奥陶纪在其南北两侧形成洋盆，加里东—海西—印支期的不同阶段，洋壳从扩张到俯冲消减，最终发生碰撞闭合，形成华北—塔里木板块夹持在哈萨克斯坦板块、西伯利亚板块和华南—羌塘板块之间的构造格架。后印支期随着冈瓦纳体系不断与欧亚大陆发生对接拼贴，塔里木盆地发生沉降和地层超覆，特别是喜马拉雅期随着印度板块与欧亚板块的最终碰撞闭合并进一步向欧亚板块楔入，天山和昆仑山迅速崛起并向塔里木盆地逆冲掩覆，造就了盆地现今的构造格局，成为夹持在天山和昆仑山之间的大型内陆含油气盆地。

塔里木板块自形成以来经历了复杂的运动历程（图 1—2、图 1—3），古地磁信息表明了塔里木板块所处经纬度的变化，总的来说，塔里木板块表现出了从南向北的迁移特点。

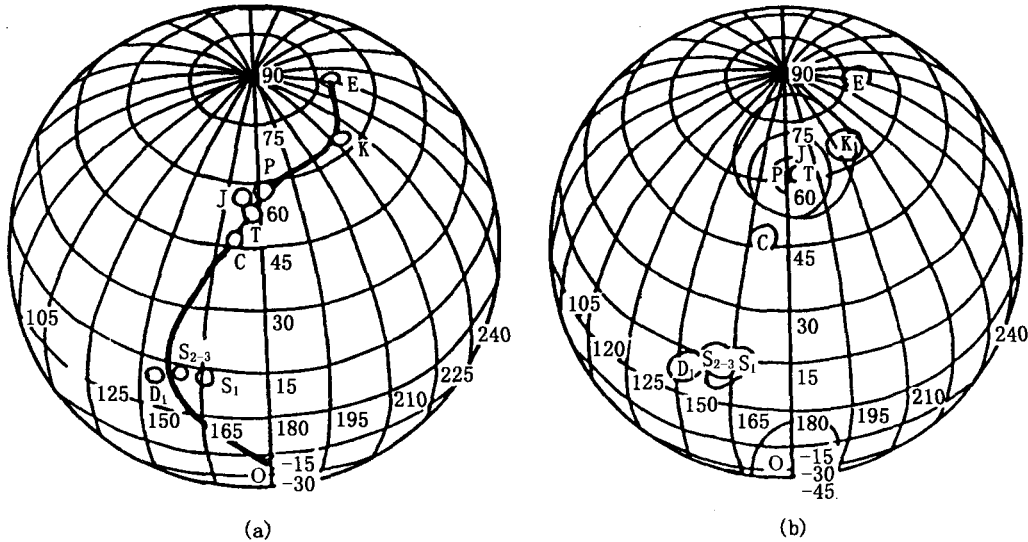


图 1—2 塔里木板块显生宙极移轨迹（据方大钧，1997）

(a) 根据平均极点绘制 (b) 平均极点及其置信椭圆

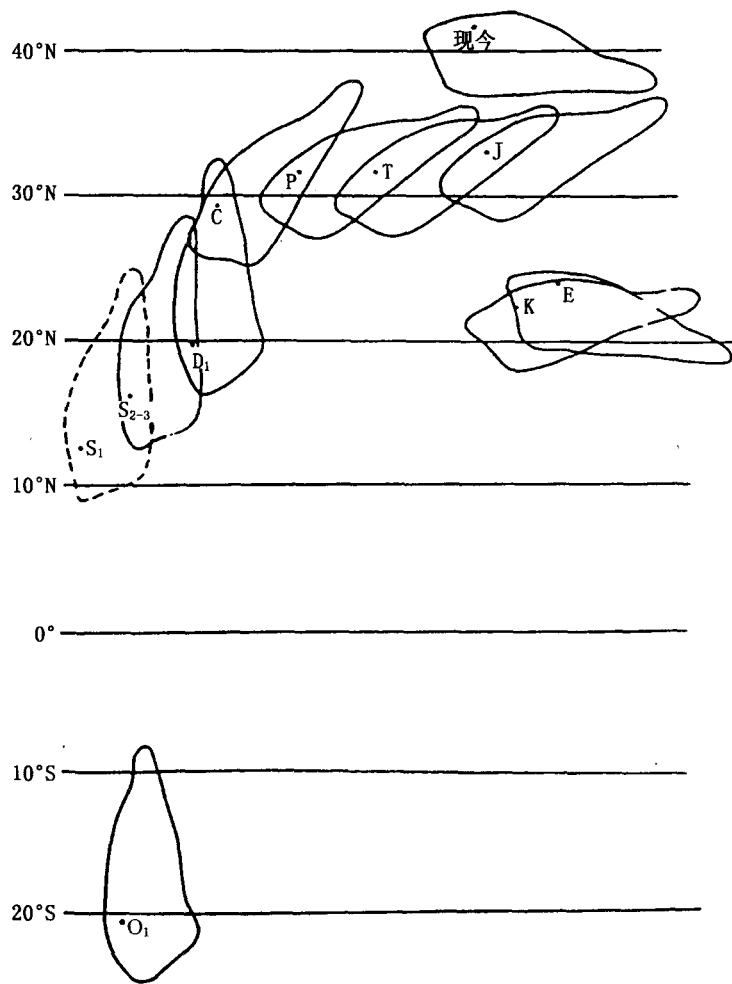


图 1—3 塔里木板块显生宙运动模式图（据方大钧，1997）

晚古生代海西早期的塔里木板块处于一个活跃时期。早—中泥盆世塔里木板块处于北纬 16.1° 的低纬度地带，而晚石炭世位于北纬 29.1° 的中纬度地区，早—中泥盆世至晚石炭世，塔里木板块较大幅度向北漂移，达 13° ，相当于 1300km 漂移量，同时还有 36.4° 的顺时针旋转。古地磁数据对比表明，由于这次构造运动塔里木板块快速向北漂移且与扬子板块分离；澳大利亚板块则向南漂移与扬子、塔里木板块分离（表 1—1）。

表 1—1 塔里木盆地各时代运动特征古地磁数据表（据贾承造，1997）

时代	点数	经度	纬度	K	A95	DEC	PLAT	漂移量	旋转量
E	6	273	72			-4.2	24	1.5	-23.1
K	6	215.3	65.1	182	4.2	18.9	22.5	-10.1	-9
J	3	183.7	66	15.5	20	27.9	32.6	1.0	-5.3
T	3	180.6	61.7	23.9	16.5	33.2	31.6	0.1	-0.1

续表

时代	点数	经度	纬度	K	A95	DEC	PLAT	漂移量	旋转量
P	9	180.7	61.6	113.3	4.4	33.3	31.5	2.4	-18.5
C ₃	2	170.2	46.6	6870	1.2	51.8	29.1	9.3	-42.7
D ₃	1	152.7	9.8	127	3.6	94.5	19.8	3.7	8.4
D ₁₋₂	3	160.8	13.5	263	4.9	86.1	16.1	3.6	1.4
S	4	164.5	12.2	109	4.0	84.7	12.5	33.7	-13.8
O	3	181.5	-20.1	33.7	9.2	278.5	-21.2		

注：1. 漂移量负值代表向南漂移，正值代表向北漂移；2. 旋转量负值代表顺时针旋转，正值代表逆时针旋转；3. 志留纪磁偏角数据是将观测数据旋转至塔里木盆地视极游移轨迹上产生的。

塔里木板块早一中泥盆世的观察古纬度（北纬 16°）明显低于从西伯利亚古磁极推算的古纬度，但到晚石炭世至二叠纪，观察古纬度与推算值已无明显差别，已不存在大于古地磁观察误差范围内的古洋壳，因此，两板块至少在石炭纪末就已发生碰撞，存在于两板块间的一些中间地块（如伊犁地块、准噶尔地块）也先后与西伯利亚板块拼接。塔里木板块晚古生代的古纬度与哈萨克斯坦板块推算的相应古纬度已无明显差别，但在晚泥盆世仍有明显磁偏角差。因此推论两板块碰撞时间在石炭纪早中期。

晚石炭世至晚二叠世，塔里木板块古纬度差已在误差范围之内，说明无显著北向漂移。这是由于塔里木板块受北部板块的阻挡使北向漂移迅速减弱。本区晚石炭世磁偏角 51.8°，二叠纪磁偏角为 33.3°，说明晚石炭世以后，塔里木板块仍以顺时针旋转活动方式调整与北部板块的相对位置关系。

三、塔里木盆地内部结构及单元划分

（一）盆地内部结构

地壳和上地幔结构与盆地的演化直接相关。塔里木盆地地壳厚度较薄，一般为 42~48km，展布稳定。地壳结构具有典型的大陆地壳波速结构的特点，自上而下 v_p 波速度整体特征为：上地壳为 5.6~6.0km/s，中地壳为 6.2~6.3km/s，下地壳上层为 6.4~6.5km/s，下地壳下层为 6.7~6.8 km/s，上地幔顶部为 8.1 km/s。盆地边缘区岩石圈具有挠曲结构，在南北两端各转换界面同步向下挠曲，埋深加大。板块内部的各转换波界面同步起伏特征十分清楚，这表明塔里木盆地在中生代甚至更早就以挤压背景下的整体变形为主。塔里木盆地地壳厚度变化幅度小，与上地幔隆起区相对应，东段与满加尔和库鲁克塔格相对应，可能反映了满加尔和库鲁克塔格“早古生代裂陷槽”形成的深部地质控制因素。区域重力异常、卫星重力异常及地壳厚度资料均表明，塔里木盆地具有稳定陆壳的性质。盆缘重力梯度带及地壳厚度陡变带反映出盆地与周缘山系之间存在着大型断裂带。

塔里木盆地总体表现为一近东西向的重力高带，水平变化梯度为 1.5~3.0 ($\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)/km。在盆地边缘存在明显的重力梯度陡变带，盆地南缘水平变化梯度达 1.4($\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)/km，盆地北缘为 7($\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)/km。塔里木盆地卫星重力异常也具有类似的特征（滕吉文，1991）。全盆地的布格重力异常分布在盆地边缘受周边山脉控制，盆地内主要受盆地基底起伏及沉积盖层的影响。重力高区分别对应于巴楚隆起及孔雀河斜坡，次重力高与这两地块的边界很接近，塔

中隆起亦对应于次重力高，麦盖提斜坡及罗布泊凸起对应重力梯级带。在喀什凹陷和叶城凹陷之间所夹的莎车凸起处于相对重力高区，其他凸起地块基本上都和重力高相对应。

凹陷区对应于相对重力低区。阿瓦提断陷对应于重力低，且沿北西方向由南向北变低，可能是该地区基底北深南浅的显示，东北角受阿拉尔岩体影响，显示为重力高。满加尔凹陷对应于重力低，但中间有局部重力高区，显示为凹中有隆的特点。若羌凹陷和叶城凹陷都对应于重力低区。

航磁资料的处理结果显示浅部异常源的分布集中于三大区域，分别对应于巴楚隆起、孔雀河斜坡、民丰北—罗布庄凸起。除若羌凹陷亦有分布外，基本都对应于盆地基底的隆起区，这说明浅部的磁异常可能和基底隆起有关。以柯坪为中心的两组断裂在浅部异常亦有明显反映，说明该组断裂伴有岩浆活动。

根据 $R = 10\text{km}$ 和 $R = 20\text{km}$ 的区域磁异常图，可以认为其异常主要由基底的磁性特征及深大断裂分布所引起。基底的磁性特征以柯坪南、阿拉尔、铁千里克一线为界，分为南北两大区块，分界线在北纬 40° 附近。北边显示为负异常，南边为正异常，南边中间夹有三块局部负弱异常区。塔中与塔南地区的结晶基底具有显著的磁性，它们的演化结束时期相同；而塔北地区的基底磁性很弱，可能在早古生代时期已固结。在塔中 4 井附近与安迪尔以南存在显著的深断裂。

(二) 塔里木盆地构造单元划分

盆地构造单元划分是依据盆地的构造演化历史、古生代前盆地阶段的基底隆、凹构造格局和中—新生代盆地阶段沉积厚度变化来进行的。塔里木盆地是一个大型叠合盆地，不同时期盆地内的隆凹单元既有继承，又有反转，因此盆地构造单元的划分就成为十分复杂的问题。20 世纪 80 年代，前人主要依据盆地基底顶面起伏特征将盆地划分为“三隆四拗”七个一级构造单元，并在塔里木盆地勘探生产中沿用至今。近期研究成果表明，原“塘古孜巴斯凹陷”应从西南拗陷中划出，升为一级构造单元；因此，塔里木盆地盆地可以划分出三个隆起、五个拗陷，共计八个一级构造单元和四个边缘断隆（图 1—4，表 1—2）。

表 1—2 塔里木盆地构造单元划分表

类型	一级构造单元	面积, km ²	二级构造单元	面积, km ²
隆起构造	塔北隆起	36600	轮台凸起	
			英买力低凸起	
			哈拉哈塘凹陷	3900
			库勒勒鼻隆	2900
			草湖凹陷	4200
			轮南低凸起	
	中央隆起	110800	塔东低凸起	40200
			塔中低凸起	27500
			巴楚断隆	43200
	塔南隆起	33800	民丰北凸起	14100
			罗布庄凸起	18100

续表

类型	一级构造单元	面积, km ²	二级构造单元	面积, km ²
坳陷构造	库车坳陷	16000		
	北部坳陷	124700	阿瓦提凹陷	27500
			满加尔凹陷	61000
			英吉苏凹陷	11800
			孔雀河东斜坡	24400
	西南坳陷	141300	喀什凹陷	21700
			叶城凹陷	37500
			和田凹陷	
			麦盖提斜坡	53600
	东南坳陷	72300	民丰凹陷	
			若羌凹陷	
	塘古孜巴斯坳陷	20000		
边缘断隆	柯坪断隆	19400		
	库鲁克塔格断隆	22200		
	铁千里克断隆	18300		
	阿尔金山断隆	30000		

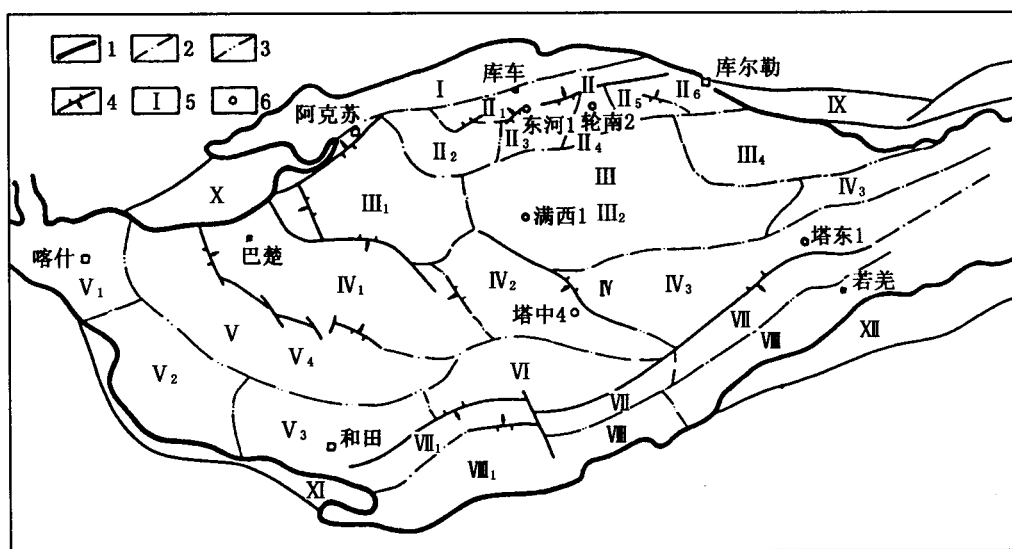


图 1—4 塔里木盆地构造区划图 (据贾承造, 1997)

1—盆地边界; 2—一级单元界线; 3—二级单元界线; 4—断层; 5—构造单元编号; 6—井位; I—库车坳陷; II—塔北隆起; II₁—轮台凸起; II₂—英买力低凸起; II₃—哈拉哈塘凹陷; II₄—轮南低凸起; II₅—草湖凹陷; II₆—库尔勒鼻隆; III—北部坳陷; III₁—阿瓦提凹陷; III₂—满加尔凹陷; III₃—英吉苏凹陷; III₄—孔雀河斜坡; IV—中央隆起; IV₁—巴楚断隆; IV₂—塔中低凸起; IV₃—塔东低凸起; V—西南坳陷; V₁—喀什凹陷; V₂—叶城凹陷; V₃—和田凹陷; V₄—麦盖提斜坡; VI—塘古孜巴斯坳陷; VII—塔南隆起; VII₁—民丰北凸起; VII₂—罗布庄凸起; VIII—东南坳陷; VIII₁—民丰凹陷; VIII₂—若羌凹陷; IX—库鲁克塔格断隆; X—柯坪断隆; XI—铁千里克断隆; XII—阿尔金山断隆

1. 塔北隆起

塔北隆起位于库车坳陷与北部坳陷之间，西以喀拉玉尔滚断裂、柯吐尔断裂为界，东与库鲁克塔格隆起呈过渡关系，北界在亚肯背斜和丘里塔格背斜之间，南位于桑塔木以南，与北部坳陷北缘呈过渡关系，面积 36600km²，为一走向近东西的弧形构造带。该带是加里东—海西期以来形成的东高西低的隆起带，其上局部构造、断裂发育，地层东老西新。按其构造特征可分出六个次级构造单元：①轮台凸起，形成于海西中晚期；②库尔勒鼻隆，西倾鼻隆，东宽西窄，其上被中—新生界覆盖；③草湖凹陷，为古生代、中生代凹陷，古生界厚 4800~6700m，中生界厚 1600~1800m；④轮南低凸起，在奥陶系大背斜背景上发育有多排近东西向潜山—背斜带；⑤哈拉哈塘凹陷，地层保存较全，局部构造以背斜为主；⑥南喀—英买力低凸起，地层保存较全，局部构造以背斜为主。

2. 中央隆起

中央隆起横贯盆地中部，北与北部坳陷相接，南部西段与西南坳陷相接，东段直接与塔南隆起东段连为一体，西与柯坪隆起相邻，向东延伸至罗布泊地区，面积 110800km²。可分为三个次级构造单元：①塔东低隆起，加里东期形成，凸起较高；②塔中低凸起，加里东期形成，凸起较低；③巴楚凸起，形成于晚海西期—喜山期，中生界大面积缺失。

3. 塔南隆起

塔南隆起位于盆地东南的且末—罗布庄一带，北界以且末断裂与塔中低隆起和西南坳陷分界，南面与东南坳陷相连，为一狭长的北东向隆起，面积 33800km²。隆起上缺失整个古生界，中—新生界直接覆盖在元古界变质岩上。隆起呈西低东高，上覆地层东新西老。可分为二个次级构造单元：①民丰北凸起，长期隆起，缺失古生界、中生界和古近系；②罗布庄凸起，长期隆起，缺失古生界、三叠系和侏罗系。

4. 库车坳陷

位于南天山褶皱带与塔北隆起之间，走向近东西，面积 16000km²，主要是一个海西末期沿天山山前发育起来的北陡南缓的中—新生代坳陷。据地震资料推测，存在厚度较大的下古生界及中—新生界沉积，厚达 11000m。由于燕山运动和喜山运动的挤压作用，中—新生界褶皱十分强烈，逆冲断层也十分发育。其南翼呈平缓的北倾单斜与塔北隆起过渡。

5. 北部坳陷

北部坳陷位于塔北隆起与中央隆起之间，走向近东西，面积 124700km²。坳陷中地层发育齐全，受构造运动影响不大。按其沉积特征，可划分出四个次级构造单元：①阿瓦提凹陷，古生代—新生代凹陷，最厚达 12000m；②满加尔凹陷，以中—晚奥陶世为主的早古生代凹陷，中—上奥陶统厚 5000~6000m，整个下古生界厚 9000m；③英吉苏凹陷，早古生代凹陷，厚 8000m，缺失上古生界；④孔雀河斜坡，海西期向西南倾斜的斜坡，缺失上古生界。

6. 西南坳陷

西南坳陷北部以天山、北东以色列布亚—玛扎塔格断裂与巴楚隆起分界，西南至昆仑山，东南以民丰北断裂与民丰北凸起分界，走向北西，面积 141300km²。形成天山、昆仑山褶皱带的构造运动也控制了西南坳陷的构造特征，表现为邻近山前构造作用强烈，褶皱断裂发育，远离山前向盆地方向，构造作用明显减弱。晚白垩世末期，本区下沉，古地中海海水侵入本区，在喀什—莎车—皮山一线以南沉积了一套浅海—潟湖相的介壳灰岩及膏泥岩、石膏。古近纪初海侵进一步扩大到以色列布亚断裂—和 1 井以南。残余厚度 800~1000m。此坳陷整体上呈西南陡、东北缓的箕形。可分为五个次级构造单元：①喀什凹陷，中新生代凹