

■ 准噶尔盆地勘探理论与实践系列丛书 ■

准噶尔盆地玛湖凹陷三叠系 百口泉组砂砾岩储层形成与演化

雷德文 王小军 唐 勇 史基安/著
常秋生 张顺存 吴 涛 赵 龙

The Formation and Evolution of the Glutenite
Reservoir of Baikouquan Formation in the
Triassic of Mahu Depression, Junggar Basin



科学出版社

准噶尔盆地勘探理论与实践系列丛书

准噶尔盆地玛湖凹陷三叠系 百口泉组砂砾岩储层形成与演化

The Formation and Evolution of the Glutenite
Reservoir of Baikouquan Formation in the
Triassic of Mahu Depression, Junggar Basin

雷德文 王小军 唐 勇 史基安 著
常秋生 张顺存 吴 涛 赵 龙

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书根据古构造、古地貌、物源供给及古气候等沉积背景分析,确定了准噶尔盆地玛湖凹陷三叠系百口泉组属湖侵背景下多级坡折控制的退积型浅水扇三角洲沉积。依据岩心观察、薄片鉴定、录井、测井及地震等资料,建立了该区百口泉组扇三角洲沉积微相-岩相沉积模式,分析了研究区扇三角洲沉积体系空间展布特征。以核磁共振测井和成像测井为依据,结合储层岩矿特征、储层成岩演化及储层物性和试油资料的分析,应用量化地质研究方法对百口泉组砂砾岩储层进行分类评价,并在对砂砾岩储层主控因素及油气成藏条件分析的基础上,提出了研究区有利储层分布区带。

本书适合从事石油地质和勘探开发的科研人员及高等院校相关专业师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

准噶尔盆地玛湖凹陷三叠系百口泉组砂砾岩储层形成与演化 = The Formation and Evolution of the Glutenite Reservoir of Baikouquan Formation in the Triassic of Mahu Depression, Junggar Basin / 雷德文等著. —北京:科学出版社, 2018. 5

(准噶尔盆地勘探理论与实践系列丛书)

ISBN 978-7-03-056163-3

I. ①准… II. ①雷… III. ①准噶尔盆地-三叠纪-砂岩油气田-储集层-研究 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 317956 号

责任编辑:万群霞 / 责任校对:王萌萌

责任印制:张克忠 / 封面设计:无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 5 月第一次印刷 印张:20

字数:450 000

定价:258.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

准噶尔盆地位于中国西部,行政区划属新疆维吾尔自治区(简称新疆)。盆地西北为准噶尔界山,东北为阿尔泰山,南部为北天山,是一个略呈三角形的封闭式内陆盆地,东西长为700km,南北宽为370km,面积为13万 km^2 。盆地腹部为古尔班通古特沙漠,面积占盆地总面积的36.9%。

1955年10月29日,克拉玛依黑油山1号井喷出高产油气流,宣告了克拉玛依油田的诞生,从此揭开了新疆石油工业发展的序幕。1958年7月25日,世界上唯一一座以油田命名的城市——克拉玛依市诞生了。1960年,克拉玛依油田原油产量达到166万t,占当年全国原油产量的40%,成为新中国成立后发现的第一个大油田。2002年原油年产量突破1000万t,成为中国西部第一个千万吨级大油田。

准噶尔盆地蕴藏丰富的油气资源。油气总资源量为107亿t,是我国陆上油气资源超过100亿t的四大含油气盆地之一。虽然经过半个多世纪的勘探开发,但截至2012年年底,石油探明程度仅为26.26%,天然气探明程度仅为8.51%,均处于含油气盆地油气勘探阶段的早中期,预示着准噶尔盆地具有巨大的油气资源和勘探开发潜力。

准噶尔盆地是一个具有复合叠加特征的大型含油气盆地。盆地自晚古生代至第四纪经历了海西、印支、燕山、喜马拉雅等构造运动。其中,晚海西期是盆地拗隆构造格局形成、演化的时期,印支-燕山运动进一步叠加和改造,喜马拉雅运动重点作用于盆地南缘。多旋回的构造发展在盆地中造成多期活动、类型多样的构造组合。

准噶尔盆地沉积总厚度可达15000m。石炭系—二叠系被认为是由海相到陆相的过渡地层,中、新生界则属于纯陆相沉积。盆地发育了石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系和古近系六套烃源岩,分布于盆地不同的凹陷,它们为准噶尔盆地奠定了丰富的油气源物质基础。

纵观准噶尔盆地整个勘探历程,储量增长的高峰大致可分为准噶尔西北缘深化勘探阶段(20世纪70年代~20世纪80年代)、准噶尔东部快速发现阶段(20世纪80年代~20世纪90年代)、准噶尔腹部高效勘探阶段(20世纪90年代~21世纪初期)、准噶尔西北缘滚动勘探阶段(21世纪初期至今)。不难看出,勘探方向和目标的转移反映了地质认识的不断深化和勘探技术的日臻成熟。

正是由于几代石油地质工作者的不懈努力和执着追求,使准噶尔盆地在经历了半个多世纪的勘探开发后,仍显示出勃勃生机,油气储量和产量连续29年稳中有升,为我国石油工业发展做出了积极贡献。

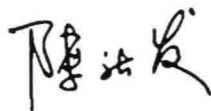
在充分肯定和乐观评价准噶尔盆地油气资源和勘探开发前景的同时,必须清醒地看到,由于准噶尔盆地石油地质条件的复杂性和特殊性,随着勘探程度的不断提高,勘探目

标多呈“低、深、隐、难”特点,勘探难度不断加大,勘探效益逐年下降。巨大的剩余油气资源分布和赋存于何处,是目前盆地油气勘探研究的热点和焦点。

由中国石油天然气股份有限公司新疆油田分公司(以下简称新疆油田分公司)组织编写的《准噶尔盆地勘探理论与实践系列丛书》历经近两年时间的努力,终于面世了。这是由油田自己的科技人员编写出版的一套专著类丛书,这充分表明我们不仅在半个多世纪的勘探开发实践中取得了一系列重大的成果,积累了丰富的经验,而且在准噶尔盆地油气勘探开发理论和技术总结方面有了长足的进步,理论和实践的结合必将更好地推动准噶尔盆地勘探开发事业的进步。

该系列专著汇集了几代石油勘探开发科技工作者的成果和智慧,也彰显了当代年轻地质工作者的厚积薄发和聪明才智。希望今后能有更多高水平的、反映准噶尔盆地特色的地质理论专著出版。

“路漫漫其修远兮,吾将上下而求索”。希望从事准噶尔盆地油气勘探开发的科技工作者勤于耕耘、勇于创新、精于钻研、甘于奉献,为“十二五”新疆油田的加快发展和“新疆大庆”的战略实施做出新的更大的贡献。



新疆油田分公司总经理

2012年11月

前 言

玛湖凹陷三叠系百口泉组的扇油气勘探始于 20 世纪 80 年代,自 20 世纪 90 年代以来,在该凹陷北坡夏子街扇倾末端陆续发现玛 2 井、玛 6 井区块三叠系百口泉组油藏,但油藏由于埋藏偏深,产量偏低,且限于当时技术水平未能有效开发。2012 年 3 月,玛 131 井三叠系百口泉组获工业油流,这是继玛北油田、玛 6 井区块百口泉组油藏发现 20 年之后,玛北斜坡岩性油藏勘探的又一重大突破。2012~2013 年,在玛北斜坡区预探相继实施探井 13 口,共试油 14 井 21 层,获工业油流 13 井 18 层,直井日产油平均为 6.0t,水平井日产气量平均为 20.32m³。2013 年 3 月,在玛西斜坡黄羊泉扇部署玛 18 井,7 月在百口泉组一段 3898~3920m 获得日产油 33.23t,日产气 6900m³。2013 年 8 月,又在夏子街扇体东翼玛 19 井的三叠系百口泉组见到良好的油气显示。2014 年 4 月,在艾湖 1 井的百口泉组一段 3848~3862m 试油,再获日产油 29.82t、日产气 2080m³,从而发现了艾湖油田三叠系百口泉组油藏。这些勘探成果显示玛湖凹陷各斜坡带三叠系百口泉组具有大面积整体含油特征。

2010 年,新疆油田分公司针对玛湖凹陷斜坡区开展了新一轮整体研究,从构造、岩相、油气运移等方面对玛湖凹陷玛北斜坡三叠系百口泉组油气成藏条件及主控因素进行重点研究,获得了以下一些新的认识。

(1) 从洪积扇中含油转变为扇三角洲前缘成藏。夏子街扇储层岩性以灰绿色砂砾岩、砾岩为主,分选差,发育交错层理,以水下分流河道为主,发育粗粒级的泥石流、碎屑流,明显不同于以往所认识的洪积扇,从而综合判定为湖泊背景下粗粒的缓坡型扇三角洲沉积体系。

(2) 由构造勘探转变为扇三角洲前缘相带大面积成藏,指导加快部署。夏子街物源体系受三面遮挡,具备整体含油的宏观成藏背景,其中北侧以断裂遮挡,东侧以致密砂砾岩遮挡,西侧以泥岩分割带遮挡。扇三角洲前缘砂体分布稳定,顶底板条件良好(百口泉组三段湖相泥岩作为顶板、百口泉组一段褐色致密砂砾岩作为底板)且构造平缓,储层低渗,边底水不活跃,有利于大面积成藏。

2014 年 5 月,新疆油田分公司设立重大勘探研究项目“准噶尔盆地玛湖凹陷区百口泉组油气富集规律及勘探关键技术攻关”,由新疆油田分公司勘探开发研究院牵头,联合中国石油勘探开发研究院西北分院、杭州分院及院属相关单位、中国科学院相关院所、中国石油大学(北京)、中国地质大学(北京)、西南石油大学、长江大学等相关高校,成立了玛湖联合研究中心,支撑玛湖凹陷百口泉组整体研究与勘探部署。通过整体研究认为,准噶尔盆地玛湖凹陷斜坡区由玛北斜坡、玛西斜坡、玛南斜坡及玛东斜坡组成,各斜坡区三叠系百口泉组均发育大型扇三角洲沉积,紧邻玛湖生油凹陷,位于油气运移优势指向区,是

重要的油气富集区。玛湖凹陷是新疆油田分公司今后几年甚至更长时间内“增储上产”或稳产的一个重要战场。斜坡区是近期“增储上产”最重要及现实的领域,三叠系百口泉组砾岩体具有埋藏相对较浅、分布面积大、油层分布较稳定、油藏不含水、产量能够达到工业油流的特点。根据油气成藏特征分析,斜坡区具备形成大型油气藏的构造及沉积背景。取得的地质新认识主要有:①统一了玛湖凹陷三叠系百口泉组地震、地质层序;②清楚了玛湖凹陷构造格架与构造演化基本的特征,明确了构造发育与沉积充填间关系;③明确了东、西两大主物源体系的展布,清楚了沉积体系、沉积相带分布;④确定了砂砾岩储集性能受物源、岩相、早期油气充注三要素的控制,具有分区发育和演化的特点;⑤明确了玛湖凹陷油气系统范围与各区成藏特点,清楚了斜坡区油气富集控制要素。

本书是对玛湖凹陷三叠系百口泉组扇三角洲砂砾岩沉积体系、成岩演化、储层特征及储层评价和预测方面研究的总结,研究成果将对准噶尔盆地玛湖凹陷三叠系百口泉组的油气勘探及油气储层基础研究起重要的指导作用。

本书在编写过程中得到了新疆油田分公司勘探开发研究院及中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心相关领导的指导、支持和帮助;新疆油田分公司实验检测研究院及中国科学院油气资源研究重点实验室(甘肃省油气资源研究重点实验室)相关实验分析人员对本书的实验分析做了大量的工作,相关科研人员也对本书的编写给予了大量的帮助,在此一并表示诚挚的感谢。

由于水平限制,书中不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

作者

2017年12月

目 录



序	
前言	
第 1 章 概述	1
1.1 玛湖凹陷区域地质概况	2
1.2 玛湖凹陷勘探历程及研究现状	8
1.2.1 勘探历程	8
1.2.2 研究现状	8
1.2.3 他源扇控大面积成藏	10
第 2 章 三叠系百口泉组层序地层格架	23
2.1 三叠系百口泉组层序地层界面	23
2.1.1 单井界面特征	24
2.1.2 地震界面特征	31
2.2 三叠系百口泉组层序地层格架	31
2.3 三叠系百口泉组层序地层划分及对比	33
第 3 章 沉积背景及沉积模式	44
3.1 古地理面貌及沉积背景	44
3.1.1 古构造分析	44
3.1.2 古地貌分析	49
3.1.3 物源分析	52
3.1.4 古流向分析	54
3.1.5 古气候分析	54
3.1.6 扇体分布规律及演化	56
3.2 大型浅水扇三角洲发育的沉积物理模拟实验	59
3.2.1 模拟目标与模拟方案	60
3.2.2 大型浅水扇三角洲模拟结果	63
3.2.3 结果讨论	65
3.3 扇三角洲沉积微相-岩相模式	73
3.3.1 沉积机制及粒度特征	73
3.3.2 沉积微相和岩性相的划分	77
3.3.3 扇三角洲沉积微相-岩相模式的建立	85
3.4 扇三角洲沉积体系及砂砾岩沉积特征	89

3.4.1 砂砾岩沉积特征	89
3.4.2 扇三角洲沉积体系特征	92
第4章 沉积相特征及其空间展布	98
4.1 沉积序列及单井相特征	98
4.1.1 沉积序列特征	98
4.1.2 典型单井沉积相特征	100
4.2 沉积相特征及空间展布	107
4.2.1 玛北地区剖面沉积相特征	108
4.2.2 玛北地区平面沉积相特征	114
4.3 玛湖凹陷百口泉组沉积相特征及其空间展布	118
4.3.1 玛湖凹陷剖面沉积相特征	118
4.3.2 玛湖凹陷平面沉积相特征	129
第5章 储层成岩作用及孔隙演化	133
5.1 储层岩矿特征	133
5.2 储层成岩作用特征	137
5.2.1 压实作用	138
5.2.2 胶结作用	139
5.2.3 长石溶蚀作用模拟实验	142
5.2.4 溶蚀作用	147
5.3 成岩阶段及成岩相	149
5.4 成岩序列和孔隙演化	151
5.4.1 高成熟强溶蚀相	152
5.4.2 高成熟中胶结中溶蚀相	154
5.4.3 高成熟强压实弱溶蚀相	155
5.4.4 高成熟强胶结相	159
5.4.5 低成熟强压实相	161
5.4.6 低成熟强胶结相	163
5.4.7 储集岩成岩模式	165
5.5 成岩相时空分布	166
5.5.1 成岩相剖面展布特征	167
5.5.2 成岩相平面分布特征	171
第6章 储层物性特征及储层评价	181
6.1 砂砾岩储层物性特征	181
6.1.1 玛北地区三叠系百口泉组各段储层物性特征	181
6.1.2 玛北地区三叠系百口泉组水下水上环境中各段储层物性特征	188
6.1.3 玛北地区三叠系百口泉组水下水上环境中各段储层岩电关系	189
6.1.4 玛北地区三叠系百口泉组各段储层物性随深度的变化特征	190
6.1.5 玛南地区三叠系百口泉组储层物性特征	192

6.1.6 玛西地区三叠系百口泉组储层物性特征	194
6.1.7 玛东地区三叠系百口泉组储层物性特征	196
6.2 储层的孔隙类型及孔喉特征	197
6.3 储层评价参数连续定量表征	205
6.3.1 岩性识别	205
6.3.2 黏土含量	209
6.3.3 溶蚀强度	212
6.3.4 储层物性评价参数表征	214
6.3.5 饱和度计算模型	219
6.4 砂砾岩储层评价方法	224
6.4.1 储层物性下限的确定	224
6.4.2 储集层品质指数(RQI)参数	226
6.4.3 储层的测井评价参数	227
6.4.4 砂砾岩储层评价标准	234
6.4.5 百口泉组砂砾岩储层评价	236
第7章 储层主控因素及有利区分布	243
7.1 砂砾岩储层的主控因素	243
7.1.1 岩石学特征对储层的控制作用分析	243
7.1.2 沉积环境对储层的控制作用分析	252
7.1.3 成岩作用对储层的控制作用分析	258
7.1.4 优质储层发育区预测	265
7.2 百口泉组油气成藏条件及有利区分布	270
7.2.1 三叠系百口泉组油气充注过程	273
7.2.2 三叠系百口泉组油气成藏条件	275
7.2.3 百口泉组油气成藏主控因素分析	280
7.2.4 玛湖凹陷三叠系百口泉组有利勘探区预测	294
参考文献	297

准噶尔盆地位于我国新疆维吾尔自治区北部,大约在 45°N , 85°E ,其东北为阿尔泰山,西部为准噶尔西部山地,南为天山山脉,是我国第二大盆地。现今的准噶尔盆地是一个外围被古生代褶皱山系环抱的大型山间盆地,其现今构造格局可划分为6个一级构造单元和44个二级构造单元,其中一级构造单元从北向南依次为乌伦古拗陷、陆梁隆起、中央拗陷、西部隆起、东部隆起和南缘冲断带(图1.1)。

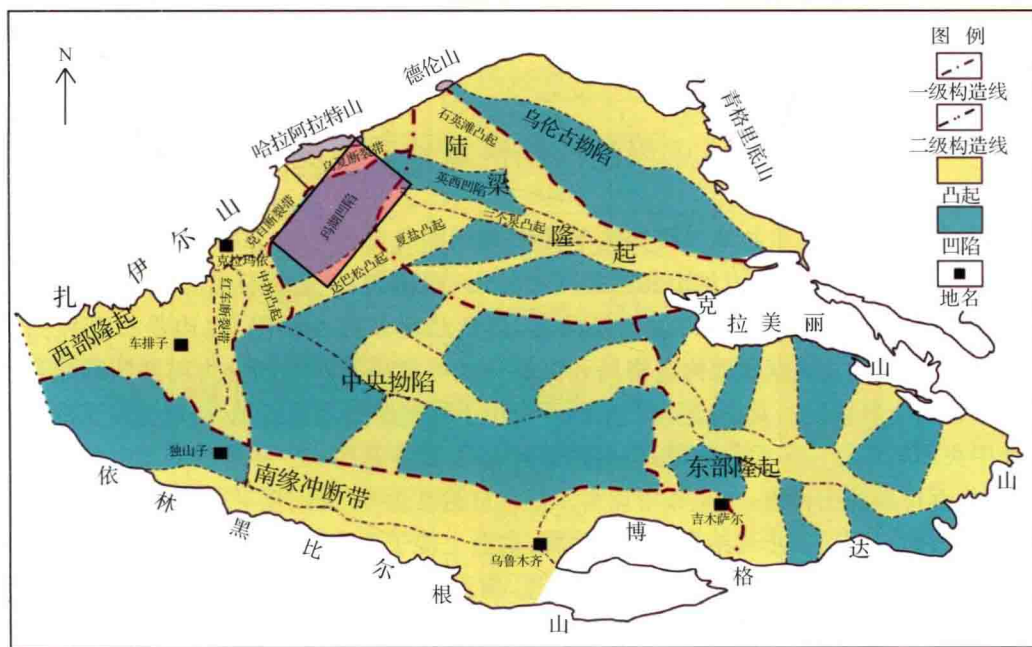


图 1.1 准噶尔盆地构造单元图(图中粉色框为本书研究区)

准噶尔盆地自晚古生代以来,由于海西、印支、燕山及喜马拉雅等多期构造运动的叠加使其发育不同的构造带和沉积组合特征,从而控制盆地中油气的生成、运聚和分布。由于构造演化非常复杂,加上所掌握及引用资料的差异,前人对于准噶尔盆地晚古生代以来盆地的构造演化争议较大,包括准噶尔盆地的早二叠世属于裂谷还是前陆盆地尚存争议,晚二叠世—古近系盆地的性质目前也存在分歧。如肖序常等(1992)和杨文孝等(1995)将盆地晚石炭世—早二叠世划为海相前陆,晚二叠世—第四纪划分为陆相前陆盆地。陈发景等(2005)则认为准噶尔盆地二叠纪为裂陷盆地,三叠纪—古近纪为克拉通盆地,新近纪—第四纪为压陷盆地。蔡忠贤等(2000)认为准噶尔盆地在早二叠世为裂谷,晚二叠世为热冷却伸展拗陷,三叠纪—古近纪为克拉通内盆地,新近纪至今,由于印度板块与亚洲

大陆碰撞才形成陆内前陆盆地。陈新等(2002)将盆地构造旋回分为二叠纪前陆盆地阶段、三叠纪—古近纪陆内拗陷阶段及新近纪—第四纪再生前陆盆地阶段。何登发等(2004b)提出准噶尔盆地经历了晚石炭世—中三叠世前陆盆地阶段、晚三叠世—中侏罗世早期弱伸展拗陷盆地阶段、中侏罗世晚期—白垩纪压扭盆地阶段与新生代前陆盆地阶段的演化历史。鲁兵等(2008)认为准噶尔盆地形成于中石炭世末—早二叠世为裂陷阶段,早二叠世末—三叠纪末为裂、拗过渡阶段,侏罗纪—新近纪渐新世末期为拗陷发育阶段。隋风贵(2015)认为盆地西北缘自早二叠世至三叠纪主要是挤压逆冲推覆构造的发育阶段,三叠纪前构造活动强烈,三叠纪之后构造趋于稳定。

综合前人的研究,笔者认为准噶尔盆地构造格局雏形形成于晚古生代,盆地从晚古生代—中生代构造演化经历了三个阶段:①晚海西期前陆盆地发育阶段(晚石炭世—二叠纪);②振荡型内陆拗陷盆地发育阶段(三叠纪—白垩纪);③类前陆型陆相盆地发育阶段(古近纪—第四纪)多期构造运动造成的性质各异的盆地叠合所形成的大型复合叠加盆地(表 1.1)。

1.1 玛湖凹陷区域地质概况

玛湖凹陷是准噶尔盆地一级构造单元中央拗陷北部的一个二级构造单元,位于准噶尔盆地西北缘,紧靠扎伊尔山和哈拉阿拉特山,西侧与乌—夏断裂带和克—百断裂带相邻,西南毗邻中拐凸起,东南为达巴松凸起、夏盐凸起及英西凹陷,北边是石英滩凸起(图 1.1,图 1.2)。根据盆地构造格局和沉积样式可将玛湖凹陷划分为玛湖凹陷西环带和东环带两个斜坡区。其中,玛湖凹陷西环带位于玛纳斯湖以西区域,构造上位于准噶尔盆地中央凹陷玛湖凹陷西斜坡带,包括西部隆起乌—夏断裂带、克—百断裂带及中拐凸起北段,西与百口泉油田相连,东至和布克赛尔蒙古自治县边界,北连夏子街地区,南至中拐凸起;玛湖凹陷东环带位于玛纳斯湖以东区域,构造上位于准噶尔盆地中央凹陷玛湖凹陷东斜坡带,东至三个泉凸起,北与英西凹陷相连,南至达巴松凸起(图 1.2)。玛湖凹陷深层石炭系、二叠系局部构造发育,浅层三叠系发育东南倾的单斜构造,局部为低幅度构造平台、背斜或鼻状构造。玛湖凹陷斜坡区紧邻玛湖凹陷生烃凹陷,构造位置有利,是油气从凹陷向西北缘断裂带运移的必经之地,易聚集成藏,具有良好的勘探潜力。

自二叠纪以来,玛湖凹陷西环带的构造演化与准噶尔盆地晚古生代和盆地西北缘推覆冲断活动具有良好的相关性。晚古生代以来,伴随着早二叠世末准噶尔盆地西北缘冲断推覆带的形成,盆地拗陷格局形成,玛湖凹陷也形成;中晚二叠世随着准噶尔盆地由前陆盆地向拗陷湖盆过渡,玛湖凹陷沉积中心向北迁移,此时是玛湖凹陷主要发育期;三叠纪时期准噶尔盆地已成为统一的浅水湖盆,处于广泛盆地沉积阶段,玛湖凹陷也随之消亡,沉积厚度一般南厚北薄,湖盆变为大型拗陷浅水盆地沉积(陈新等,2002;何登发等,2004b;鲁兵等,2008)(图 1.3 和图 1.4)。

表 1.1 准噶尔盆地地层层序及构造演化阶段表

界	系	统	西北缘		地震波组	东北缘		地震波组	接触关系	演化阶段	构造运动		
			群、组	代号		组	代号						
新生界 R	第四系			Q	TQ ₁		Q		不整合	类前陆型陆相盆地	喜马拉雅运动II 喜马拉雅运动I 燕山运动III		
	古近系			N			N		不整合				
	新近系			E	TN ₁ TE ₁		E		不整合				
中生界 Mz	白垩系	上统	艾里克湖组	K ₂ a	TK ₂	东沟组	K ₂ d	T _{E1}	不整合	振荡型陆内拗陷型盆地	燕山运动II		
							连木沁组	K ₁ l				T _{K4}	
		下统	吐谷鲁群	K ₁ tg		胜金口组	K ₁ s	T _{K3}					
						呼图壁河组	K ₁ h	T _{K2}					
						清水河组	K ₁ q	T _{K1}					
						齐古组	J ₃ q	T _{K1}					
	侏罗系	上统	齐古组	J ₃ q	Tk ₁	齐古组	J ₃ q	T _{K1}	不整合		燕山运动I		
		中统	头屯河组	J ₂ t	T _{J4}	头屯河组	J ₂ t	T _{J4}					
			西山窑组	J ₂ x		西山窑组	J ₂ x	T _{J4}					
		下统	三工河组	J ₁ s	T _{J3}	三工河组	J ₁ s	T _{J3}					
			八道湾组	J ₁ b	T _{J2}	上八道湾组	J ₁ b ₆	T _{J2}					
		下八道湾组				J ₁ b ₈	T _{J2}						
	三叠系	上统	白碱滩组	T ₃ b	T _{J1}	郝家沟组	T ₃ h	T _{J1}	不整合		印支运动		
						黄山街组	T ₃ hs						
		中统	上克拉玛依组	T ₂ k ₂	TT ₃	克拉玛依组	T ₂ k	TT ₂					
			下克拉玛依组	T ₂ k ₁	TT ₂								
		下统	百口泉组	T ₁ b	TT ₁	烧房沟组	T ₁ s	TT ₁					
						韭菜园子组	T ₁ j						
	古生界 Pz	二叠系	上统	上乌尔禾组	P ₃ w	Tp ₅	梧桐沟组	P ₃ wt	Tp ₃		不整合	前陆盆地	晚海西V
中统			下乌尔禾组	P ₂ w	Tp ₄	平地泉组	P ₂ p	Tp ₂	不整合	晚海西IV			
			夏子街组	P ₂ x	Tp ₃	将军庙组	P ₂ j	Tp ₁₋₁					
下统			风城组	P ₁ f	Tp ₂	金沟组	P ₁ jg	Tp ₁		不整合		前陆型残留海相盆地	晚海西III
			佳木河组	P ₁ j	Tp ₁								
石炭系		上统	太勒古拉组	C ₂ t		石钱滩组	C ₂ s		不整合	前陆型海相盆地	中海西运动		
						上八塔玛依内山组	C ₂ b _b						
						下八塔玛依内山组	C ₂ b _a						
		下统	包谷图组	C ₁ b		滴水泉组	C ₁ d						
						希贝库拉斯组	C ₁ x						
						塔木岗组	C ₁ t						

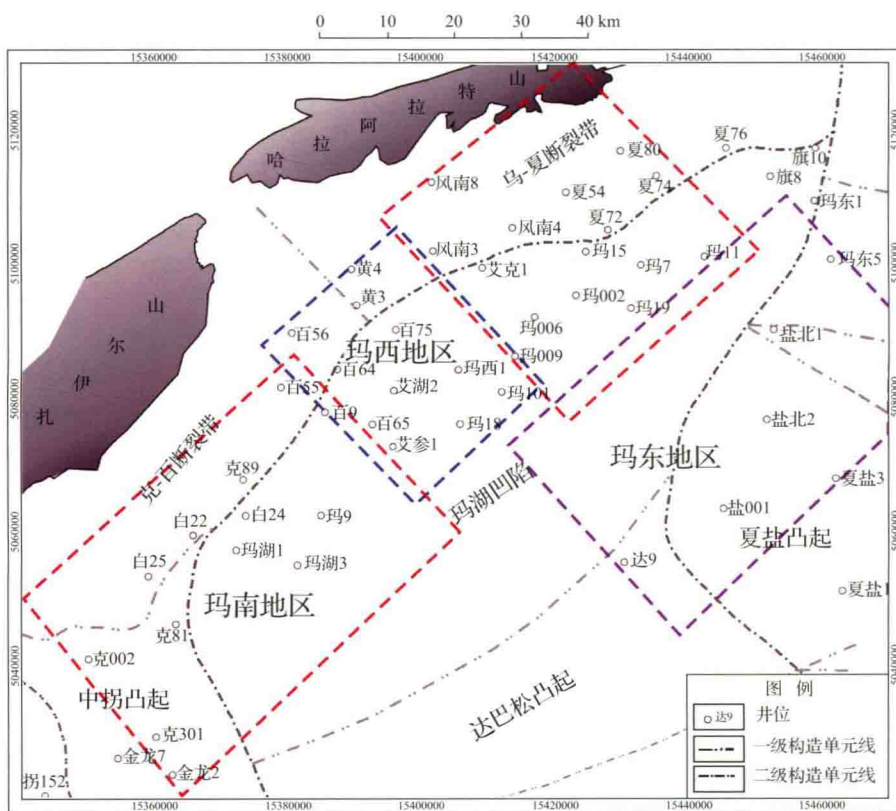


图 1.2 准噶尔盆地玛湖凹陷构造位置图

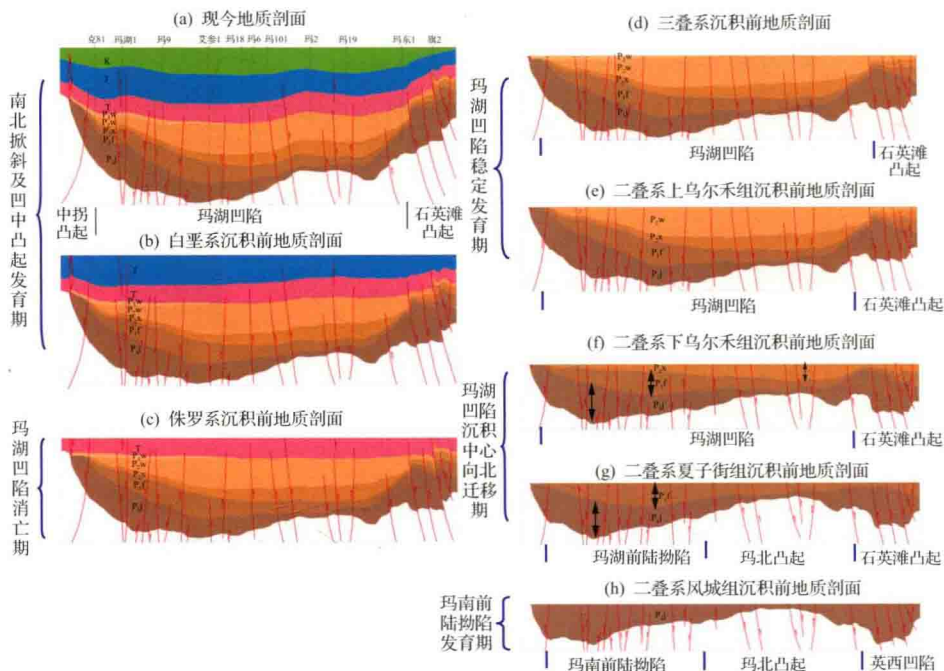


图 1.3 玛湖凹陷西环带 SW-NE 向测线构造演化示意剖面图

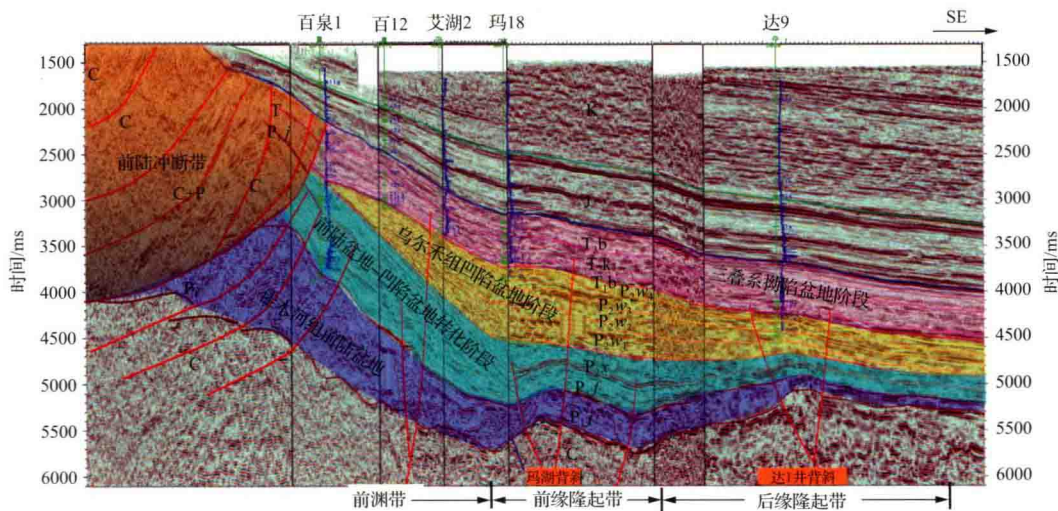


图 1.4 玛湖凹陷构造演化地震剖面解释图

玛湖凹陷西环带的构造演化历程为：①早二叠世佳木河组沉积期，准噶尔盆地西北缘玛湖凹陷西部和南部分布为前陆盆地沉积期，玛湖凹陷沉积中心位于玛南地区[图 1.3(h)]；②早中二叠世沉积期，玛湖凹陷沉积中心由南向北迁移，沉积厚度高值区由南向北逐层迁移[图 1.3(g)和图 1.3(f)]；③玛湖凹陷稳定发育期，随着早二叠世西北缘前陆拗陷期的结束，中晚二叠世是玛湖凹陷大规模稳定发育时期，此时的玛湖凹陷接受了巨厚的二叠系细粒沉积[图 1.3(e)和图 1.3(d)]；④玛湖凹陷消亡期，三叠纪玛湖凹陷基本消亡，地形平坦，玛湖凹陷南北沉积厚度差别不大[图 1.3(c)]，开始了拗陷型盆地发育期；⑤伴随着燕山构造运动，玛湖凹陷玛湖和玛湖南隆起构造开始发育[图 1.3(b)]，伴随着新生界喜马拉雅构造运动使玛湖凹陷北部地区明显抬升，隆起构造特征持续发育[图 1.3(a)]。

在经历了早二叠世的隆拗相间与分隔发展、中二叠世的填平补齐、晚二叠世的整体沉降与隆升之后，由于周缘山系的夷平和盆地内地形起伏平缓，三叠纪开始准噶尔盆地进入了一个统一的泛准噶尔盆地拗陷发育时期。根据地震资料，准噶尔西北缘玛北地区地层发育较全，自下而上依次发育石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系及白垩系，各层系之间均为不整合接触(表 1.1)。其中，二叠纪发育佳木河组(P_{1j})、风城组(P_{1f})、夏子街组(P_{2x})、下乌尔禾组(P_{2w})，三叠系发育百口泉组(T_{1b})、克拉玛依组(T_{2k})、白碱滩组(T_{3b})，目的层三叠系百口泉组与二叠系下乌尔组之间缺失上乌尔禾组(P_{3w})，为一角度不整合(图 1.5)。

1. 下二叠统佳木河组(P_{1j})

佳木河组沉积期，沉积物主要分布于准噶尔西北缘和中央拗陷大部分地区。沉积总体特征西部厚、东部薄，呈楔状，西北缘的沉积中心位于乌-夏断裂带、克-百断裂带、红-车断裂带，厚度可达 500m。整个西北缘佳木河组以碎屑岩为主夹火山岩地层，其中杂色泥岩、砂砾岩及砂岩等碎屑岩广泛发育，火山岩所占比例不到地层的三分之一，主要为凝灰岩、玄武岩和安山岩等。

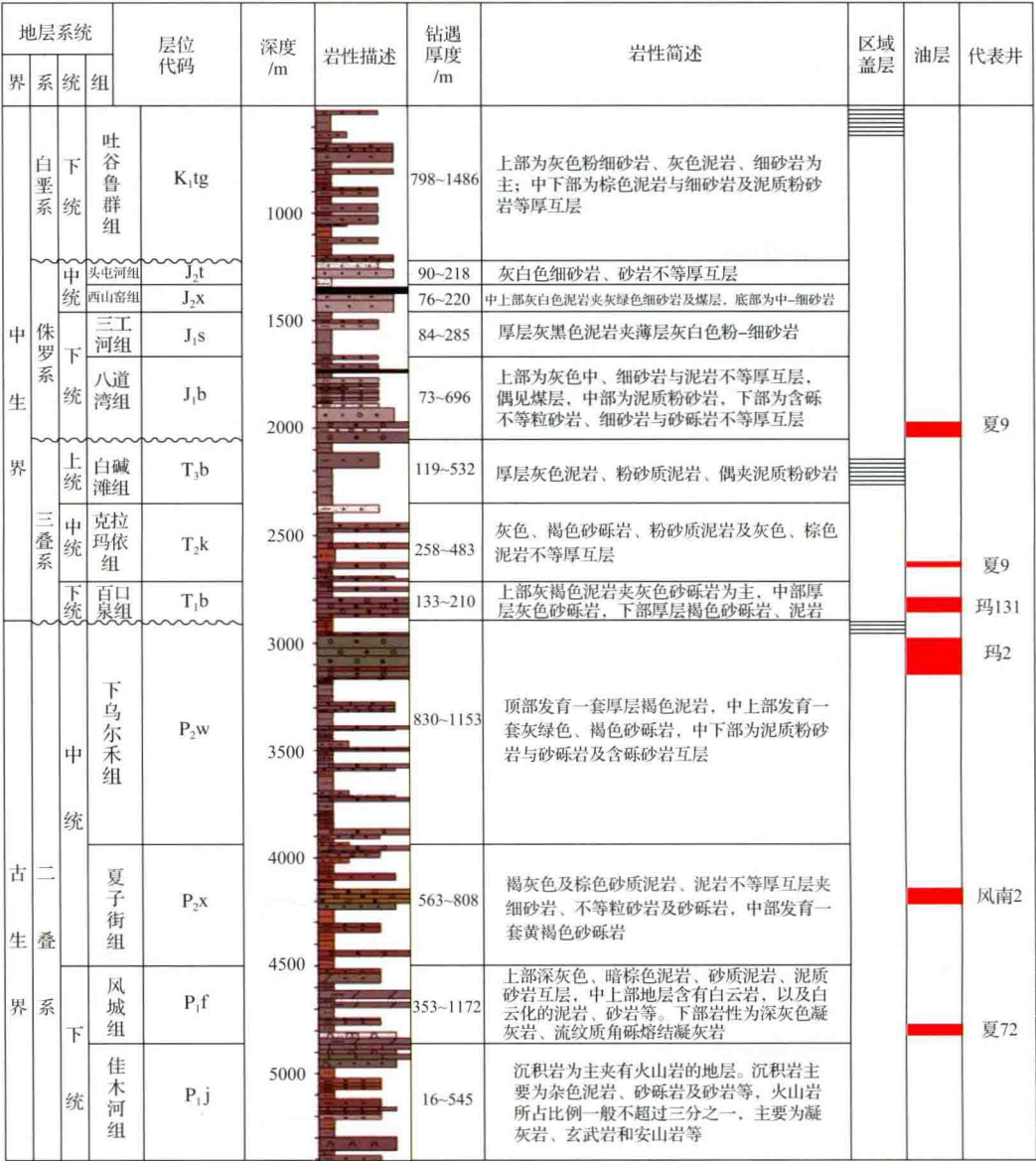


图 1.5 准噶尔盆地玛北地区地层综合柱状图

2. 下二叠统风城组(P₁f)

下二叠统风城组沉积物主要分布于准噶尔盆地中央拗陷大部分地区及乌-夏断裂带和玛湖凹陷。玛北地区是盆地风城组沉积期的沉积中心，风城组上部为深灰色、深棕色泥岩、砂质泥岩及泥质砂岩互层，中上部地层为白云质泥岩、云质砂岩及泥岩互层，底部为凝灰岩、凝灰质泥岩和流纹质角砾熔结凝灰岩(冯有良等, 2011; 朱世发等, 2012; 史基安等, 2013; 邹姐姐等, 2015d)。

3. 中二叠统夏子街组(P_2x)

在准噶尔盆地,夏子街组沉积范围比风城组大,与佳木河组相近,与下伏地层呈区域性角度不整合接触。玛北地区夏子街组以碎屑岩为主,沉积厚度为500~800m。主要为褐灰色及棕色砂质泥岩、泥岩不等厚互层夹细砂岩、不等粒砂岩及砂砾岩,中部发育一套黄褐色砂砾岩。

4. 中二叠统下乌尔禾组(P_2w)

下乌尔禾组沉积范围比夏子街组沉积范围大,主要是在中拐地区和陆梁隆起南侧及东部地区西侧的大部分沉积了一定厚度的下乌尔禾组地层,但其中石西凸起及白家海凸起大部分地区仍处于剥蚀状态。下乌尔禾组沉积中心继承了夏子街组,主要也有三个沉积中心,玛湖凹陷沉积中心的最大厚度约可达1000m。玛北地区下乌尔禾组顶部发育一套厚层褐色泥岩,中上部发育一套灰绿色、褐色砂砾岩,中下部为泥质粉砂岩与砂砾岩及含砾砂岩互层。沉积物粒度由下到上由细逐渐变粗的组合较为常见。

5. 下三叠统百口泉组(T_1b)

受晚海西运动影响,下三叠统的沉积范围比上乌尔禾组的要大,与下伏二叠系地层呈区域角度不整合。玛北地区百口泉组厚度为100~200m,沉积物较粗,百口泉上部以褐色泥岩夹灰色砂砾岩为主,中部为厚层块状灰色砂砾岩,下部为厚层的砂砾岩及泥岩。根据岩石组合及测井响应特征,百口泉组可以分为三段,自下而上分别为百口泉组一段(T_1b_1 ,简称百一段)、百口泉组二段(T_1b_2 ,简称百二段)、百口泉组三段(T_1b_3 ,简称百三段)。百一段岩性为灰色砂砾岩、褐灰色泥质粉砂岩与褐色、灰褐色泥岩、砂质泥岩不等厚互层;双侧向电阻率曲线为块状中阻、槽状低阻,自然伽马曲线呈齿状、槽状,幅度变化较明显。百二段岩性特征以灰色、灰褐色砂砾岩为主,夹薄层褐灰色泥岩;双侧向电阻率曲线为块状中阻,夹槽状低阻,自然伽马曲线呈齿状,幅度变化较明显;百二段从上到下分为两个砂层组:一砂组($T_1b_2^1$)和二砂组($T_1b_2^2$), $T_1b_2^1$ 表现为一套相对高阻的灰色块状砂砾岩夹泥岩沉积,为水下沉积,储层分布稳定, $T_1b_2^2$ 为一套相对低阻的褐色、杂色块状砂砾岩,岩性致密,为水上沉积。百三段以褐色、褐灰色泥岩和砂质泥岩为主,夹灰色砂砾岩、泥质砂岩;双侧向电阻率曲线为槽状低阻、箱状低—中阻,自然伽马曲线呈齿状及槽状,幅度变化较明显。

6. 中三叠统克拉玛依组(T_2k)

中三叠统克拉玛依组可细分为下克拉玛依组和上克拉玛依组,其沉积范围比下三叠统百口泉组大。研究区克拉玛依组的沉积厚度为250~500m,以灰色、褐色砂砾岩、粉砂质泥岩及灰色、棕色泥岩不等厚互层。

7. 上三叠统白碱滩组(T_3b)

上三叠统白碱滩组地层厚度变化呈南厚北薄的趋势,沉积中心位于北天山山前冲断