

柴达木盆地西部新生代沉积演化特征

惠 博^{1,2} 伊海生² 夏国清² 马 雪³

(1. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041; 2. 成都理工大学, 四川 成都 610059;
3. 南京地质矿产研究所, 江苏 南京 210016)

摘要:藏北高原的柴达木盆地保存有完整的新生代沉积地层, 通过对柴西茫崖凹陷背斜北东翼长尾台剖面详细的野外测量, 结合室内薄片鉴定, 研究了该剖面岩石组构、沉积构造、沉积相、岩石组合特征, 划分了各组基本层序, 分析了其旋回特征。最后, 系统总结新生代地层的整体沉积演化特征, 试图通过这些特征来揭示该地区整个新生代的沉积环境演化。

关 键 词:柴达木盆地西部; 新生代; 长尾台剖面; 沉积演化

中图分类号: P534.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)05-1274-08

柴达木盆地是青藏高原内部新生代形成的最大一个陆相沉积盆地, 是高原地形向北东方向阶梯式降低的第一级台阶。研究表明, 该盆地保存有厚达 13 500 m 的新生代地层记录, 地层序列发育连续齐全。自古新世以来它一直是一个内流汇水盆地, 接纳来自周缘造山带剥蚀陆源碎屑沉积物, 因此柴达木盆地的沉积记录可以作为高原北部隆升过程的监视器和档案室, 为我们提供周边造山带剥蚀隆升历史和构造地貌演化完整和详细的记录^[1-3]。通过对野外实测剖面进行沉积相和层序地层学研究, 结合室内薄片微相鉴定, 对柴达木盆地新生代沉积演化进行了研究。

1 地质概况

柴达木盆地是青藏高原北部边缘的一个巨大的山间盆地, 地处青海省西北部, 介于东经 90°16′~99°16′、北纬 35°00′~39°20′之间。盆地略呈三角形, 北西-南东东方向延伸, 东西长约 800 km, 南北宽约 300 km, 面积 257 768 km², 为中国四大盆地之一。地理位置上处于高原东北部的核心部位, 盆地西北以阿尔金断裂为界, 东北以祁连山为界, 南面以东昆仑山为界, 是一个典型的菱形山间盆地(图 1)。

柴达木盆地位于欧亚大陆腹地, 根据板块构造理论分析, 一般认为柴达木属于塔里木—中朝板块, 可能是由中朝地块分裂出来的微型古陆, 夹持在秦祁昆古生代地槽褶皱带之间。王鸿楦等将中朝、塔里木及其边缘区称为“亚洲中轴大陆”、“亚洲中轴(塔里木—中朝)构造域”。塔里木—中朝板块北侧为西伯利亚板块和哈萨克斯坦板块, 南侧为羌塘—华南(扬子)板块、冈底斯板块和印度板块。

盆地新生代地层主要出露于盆地东西边缘的山前地带, 而中部腹地为大面积第四系沉积覆盖。柴达木盆地发育了巨厚的中、新生代地层, 新生代地层自下而上发育有路乐河组、下干柴沟组、上干柴沟组、下油砂山组、上油砂山组、狮子沟组及七个泉组共 7 套地层^[4-5]。而新生代地层在柴达木盆地主要分布在柴达木西部地区, 研究区即为新生代地层的主要分布地, 地表未见下干柴沟组底和路乐河组, 其他新生代地层均发育良好。

2 长尾台剖面

长尾台剖面位于柴达木盆地西部茫崖凹陷背斜北东翼(图 2)。1986 年, 青海省地质矿产局对该剖

收稿日期: 2011-03-21; 改回日期: 2011-05-06

基金项目: 青藏高原北部东昆仑山新生代构造隆升的沉积碎屑记录(40972084)资助。

作者简介: 惠博, 男, 1984 年生, 博士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业; E-mail: huiibo0728@foxmail.com。

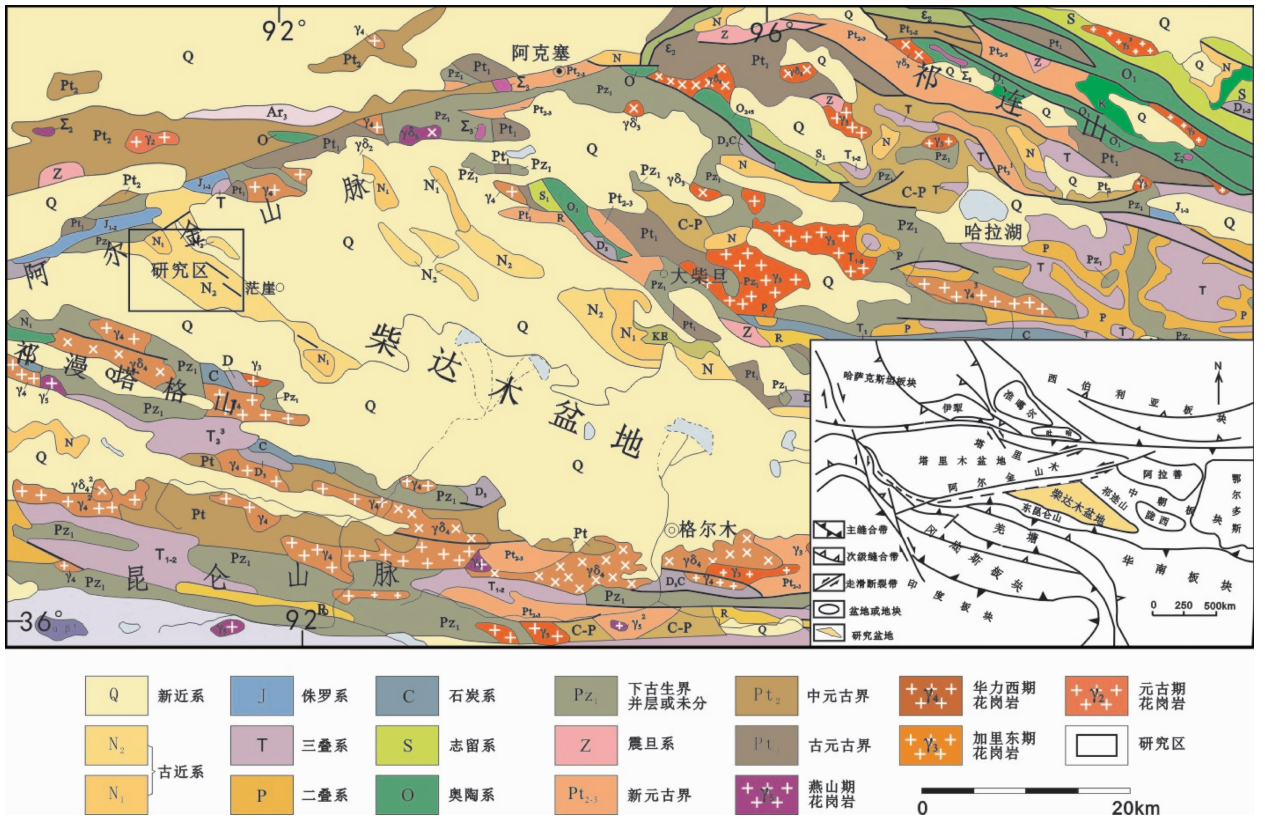


图 1 柴达木盆地及其邻区地质简图
Fig.1 Geological sketch map of Qaidam basin and adjacent areas

面分段进行了不连续概测。目前资料显示,柴达木盆地中,除干柴沟断鼻构造西南翼的西岔沟剖面,该剖面为盆地内新生代最连续、完整的天然剖面。实测剖面代号为 CNP,剖面以茫崖凹陷背斜核部开始作为起点,测量起点坐标: N37°48.349', E91°23.214', H:3 063 m,终点坐标: N37°50.503', E91°23.602', H: 3 203 m。实测剖面平面长度大于 8 000 m,累计厚度大于 3 978 m。下干柴沟组厚度大于 681.43 m(未见底),上干柴沟组厚度 711.95 m,下油砂山组厚度 1 029.89 m,上油砂山厚度 377.64 m,狮子沟组厚度大于 135 m(未见顶)。长尾台剖面连续测制 64 导线,从底到顶共采集薄片样品 168 件。5 套地层之间均为整合接触关系。

3 基本层序和沉积相分析

柴达木盆地西部茫崖凹陷背斜长尾台剖面(CNP)新生代从下干柴沟组到狮子沟组底部主要为一套典型的湖相沉积。仅从狮子沟组底部开始转变为陆相河流沉积,沉积特征显著。因此湖相沉积作

为本研究的重点。

相对于海相地层,湖相地层沉积有其独特的控制因素。一般而言,区域构造、地形、气候和物源对湖泊的沉积环境及其相对应沉积物的控制比海洋更为明显和直接,其中,构造和气候是对湖泊的形态和水体地球化学条件的主控因素。构造常控制了湖泊的规模、形态、地貌特征等,气候则控制了湖泊的水位、地化条件等。在不同大地构造区,不同气候带,不同的地理位置和物源,湖泊沉积具有相当大的区别。从不同角度发出,湖泊可划分为不同的类型。

湖泊类型按照不同原则可分为不同的种类。按照盐度和沉积物性质,湖泊可划分为碎屑淡水湖和碳酸盐-膏盐湖泊。按照成因可将湖泊划分为构造湖泊、河成湖泊(如鄱阳湖)、火山湖(长白山天池)、岩溶湖泊、冰川湖(如瑞士的康斯坦茨湖)等。其中,在地质历史中,存在时间最长、面积较大、矿产较多和最有研究价值的是构造成因的湖泊。构造成因的湖泊可进一步划分为断陷型、坳陷型、前陆型 3 个基本类型和一些复合成因的湖泊^⑥。构造类型的湖泊

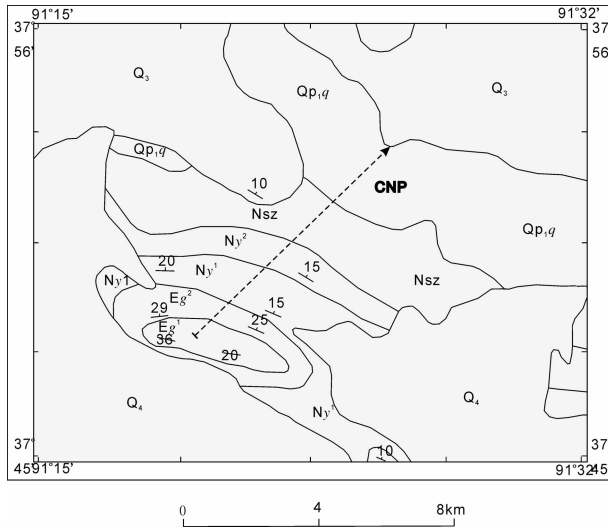


图2 柴达木盆地西部茫崖凹陷背斜地区地质简图
 CNP—长尾台剖面;Eg¹—下干柴沟组;Eg²—上干柴沟组;Ny¹—下油砂山组;Ny²—上油砂山组;Qp,q—七个泉组;Q₃—更新统;Q₄—全新统;Ns₂—狮子沟组
 Fig.2 Geological sketch map of Mangya depression anticlinorium in western Qaidam basin
 CNP—Changweитай Section; Eg¹—Lower Ganchaigou Formation; Eg²—Upper Ganchaigou Formation;
 Ny¹—Lower Youshashan Formation;Ny²—Upper Youshashan Formation;Qp,q—Qiqequan Formation;
 Q₃— Pleistocene; Q₄— Holocene;Ns₂—Shizigou Formation

随地质构造演化其类型也不断演化,因此湖泊构造类型的演化也可以反演湖泊过去的构造背景。

在对长尾台剖面(CNP)野外实测的基础上,结合室内薄片沉积微相的研究,通过岩石组构、沉积构造、岩石组合特征、生物特征等综合研究,分别对下干柴沟组、上干柴沟组、下油砂山组、上油砂山组和狮子沟组典型沉积相进行综合分析,并试图通过岩石的记录恢复沉积环境信息。

3.1 下干柴沟组

下干柴沟组岩石色调整体为灰色;碎屑岩含量远大于碳酸盐岩类;碎屑岩性以灰白色砾岩,细粒—中粒长石岩屑砂岩为主,薄层状粉砂岩和灰白色泥岩次之;碳酸盐类岩石可见几层砂质生物碎屑灰岩(如介壳灰岩),泥质白云岩;蒸发岩,石膏盐类沉积薄层或者脉;沉积构造包括楔状交错层理,粒序层理和层面构造——波痕;岩石垂向序列显示出从下部至上部变细的特征,薄层状泥质白云岩主要出现在剖面的中上部。

下干柴沟组地层以浅湖相为主,底部为湖相三角洲环境。浅湖相包括沙滩(坝)微相、介壳滩微相、

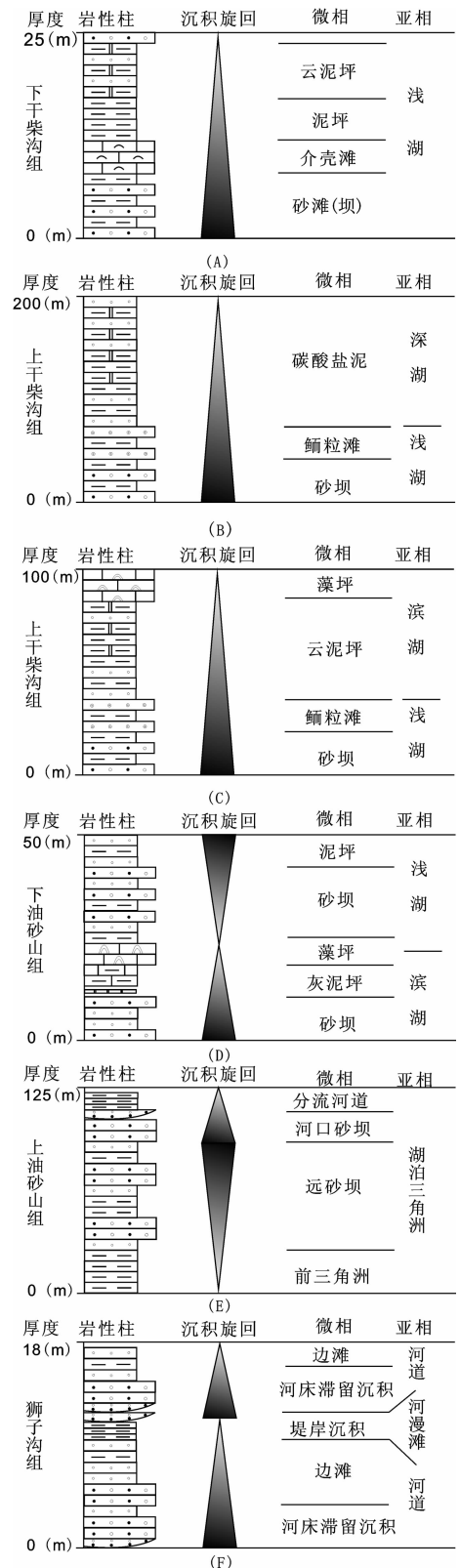


图3 各组沉积相和基本层序(图例参考图4)
 Fig.3 Basic sequence and facies of each formation (for legends see Fig. 4)

泥坪微相及云泥坪微相。整体上构成一个向上变细的沉积旋回(图 3-A)。

泥晶生物碎屑灰岩(图版 I-A, I-B)采自长尾台剖面下干柴沟组距顶部约 500 m 处。岩石野外呈现黄灰色,手标本可见生物化石。光学显微镜下观察,可见大量介壳、腹足等生物碎屑,含量约 65%,生物碎屑形态较为完整且大小不一。另外可见少量陆源碎屑的石英,表面明亮洁净,颗粒细小,呈棱角状,含量约为 4%,胶结物为泥晶。我们把这种类型的灰岩作为浅湖亚相中的介壳滩微相的标志。

3.2 上干柴沟组

上干柴沟组岩石色调整体为黄灰色;泥岩和泥云岩总量远大于碎屑岩;碎屑岩性以灰绿色粉砂岩和灰色细粒砂岩为主;泥岩发育;碳酸盐类岩石常见泥质白云岩;蒸发岩发育较多,石膏盐类沉积薄层或者脉;沉积构造以水平层理为主要特征;岩石垂向序列显示出从下部至上部变化不太明显;上干柴沟组上部开始发育大套的藻灰岩(有些可识别为叠层石灰岩),横向延伸较远,厚度较稳定。该层叠层石灰岩作为上干柴沟组的顶界。

上干柴沟组中下部主要为一套深湖相沉积。上干柴沟组中下部为黄灰色叶片状云泥岩与薄层泥岩,二者以明显的韵律互层为组合特征,水平层理发育。在其最下部为一套紫红色鲕粒砂质灰岩,笔者把这一套岩石作为浅湖亚相中鲕粒滩微相识别标志(图 3-B)。

亮晶鲕粒灰岩(图版 I-C, I-G)出现在上干柴沟组与下干柴沟组界线附近。岩层厚度较薄,一般为数厘米不等。在镜下观察,岩石矿物成分以方解石为主,有少量陆源碎屑石英。鲕粒之间往往充填亮晶方解石,但也有泥、微晶灰泥和陆屑。包壳层多较完整并以泥晶和微亮晶为主,从而明显不同于海相。鲕粒之间胶结物的世代结构不明显,鲕粒结构。鲕粒较小,多为 0.1~0.2 mm,以真鲕、薄皮鲕、空心鲕以及放射鲕为主,少量复鲕。鲕粒形态多样,受核心控制,有圆形、椭圆形。鲕粒核心多为石英等陆源碎屑,少量为生物碎屑及泥晶核心。个别鲕粒内部已发生重结晶作用,整个鲕粒内部几乎都为亮晶方解石,只剩下泥晶质的外壳,同心圈层构造消失。鲕粒外缘还发育有泥晶套。部分鲕粒灰岩中含有少量生物碎屑,鲕粒含量约为 60%,生物碎屑含量 15%,生物碎屑以介壳为主,镜下观察形态保存完整,未遭到破坏。生物

碎屑大小不等,大者约 1 mm,小者 0.2 mm 左右。

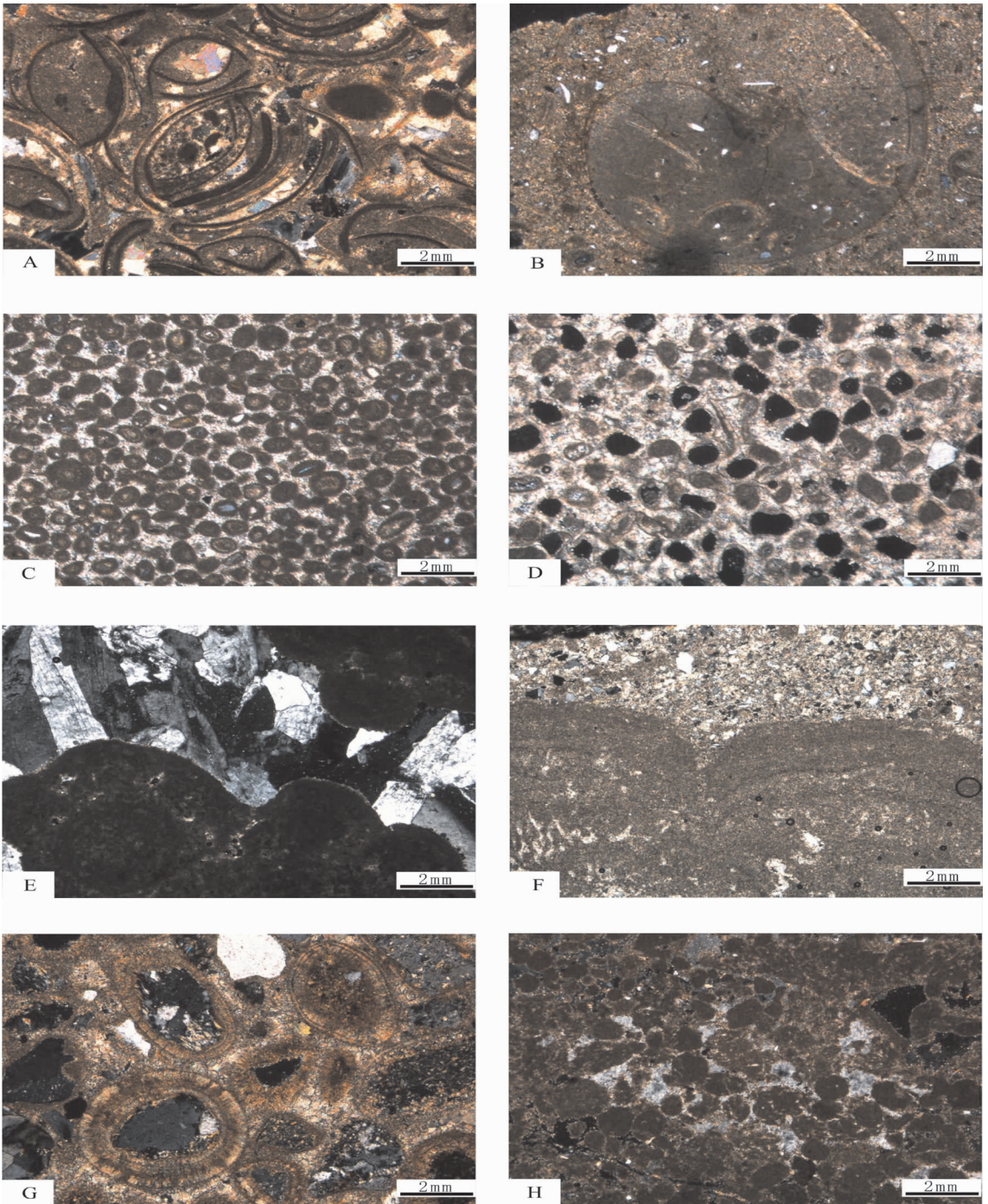
上干柴沟组上部为一套滨浅湖沉积。大套的藻灰岩上部为灰绿色钙质粉砂岩或者泥岩,下部一般为粒度相对较粗的浅灰色钙质砂岩,这 3 部分构成一个完整的旋回。叠层石灰岩厚度仅为 50~100 cm。在光学显微镜下观察叠层石,见很明显的叠层构造,暗层亮层相间,可识别出明亮的碎屑纹层(富屑纹层)和深色的生物纹层(富藻纹层)(图版 I-F)。

上干柴沟组叠层石灰岩的沉积环境为滨浅湖藻坪沉积(图 3-C),下部砾岩与砂岩互层,可以解释为砂坝沉积,为叠层石灰岩的生长提供坚硬的基底,利于叠层石的生长发育,上部含砾泥岩、粉砂质泥岩可以解释为泥坪沉积。叠层石沉积序列整体从下到上粒度由粗变细,说明湖水水体加深,湖面扩张,沉积物向湖岸方向退积。进一步反映叠层石生长时期气候比较湿润,降雨量较多,湖水淡化、盐度降低,引起了藻类勃发生长,因而藻团块滩、叠层石丘广泛发育,这是湖泛高湖面期沉积最显著的标志^[7-9]。

3.3 下油砂山组

下油砂山组岩石色调整体转变为褐红色;泥质岩总量稍大于碎屑岩;碎屑岩性以黄褐色粉砂岩;泥岩发育;碳酸盐类岩石以颗粒灰岩和藻灰岩为特征,泥质白云岩明显少于上干柴沟组;蒸发岩(石膏盐类沉积薄层或者脉)零星分布在剖面上部;沉积构造包括生物构造和平行层理,生物构造发育在该组中下部藻灰岩中,向上具有平行层理和剥离线理的砂岩开始增多;岩石垂向序列显示出从下部至中部为正旋回,中部到上部为负旋回,整体构成一个完整的湖泛与湖退序列(图 3-D)。

该组沉积时期是本区新生代碳酸盐岩最为发育的时期。其岩类有泥晶灰岩、亮晶球粒灰岩、亮晶内碎屑灰岩、生物碎屑灰岩和叠层石灰岩。该区碳酸盐岩中的生物多样性很低,只有藻类、介形虫和腹足类等少数种类,各类别的种属也极少。所发现的水体生物个体小,壳形简单,壳面光滑少饰,全都是广盐性生物。藻类化石丰富,常形成藻灰岩和叠层石灰岩。这些不同类型的碳酸盐岩极其包含的不同生物指示了一个含盐度常有变化的湖泊中从滨湖到深湖的一系列不同沉积环境。不同类型的碳酸盐岩以及碎屑岩在时间和空间上频繁的交替变化,反映了湖泊深浅和分布范围的交替变化。下油砂山组中部和下部为一套滨浅湖沉积。典型的沉积标志就是叠层石灰



图版 I-A, 泥晶介壳灰岩; 图版 I-B, 介壳形态特征; 图版 I-C, 亮晶鲕粒灰岩; 图版 I-D, 颗粒灰岩的选择性溶解作用; 图版 I-E, 叠层石顶部沉积的石膏晶体; 图版 I-F, 微型叠层构造, 具有明显的富藻纹层和富屑纹层; 图版 I-G, 放射状鲕显微特征; 图版 I-H, 球粒之间的石膏胶结物

Plate I-A Micrite shell limestone ; Plate I-B Morphology of shell; Plate I-C Oolitic sparite; Plate I-D Selective dissolution of grained limestone; Plate I-E Gypsum crystal deposited at the top of the stromatolite; Plate I-F Microstromatolitic structure making up organic-rich layer and sediments-rich layer ; Plate I-G Microcharacteristics of radiational oolitic; Plate I-H Gypsum cement between grains

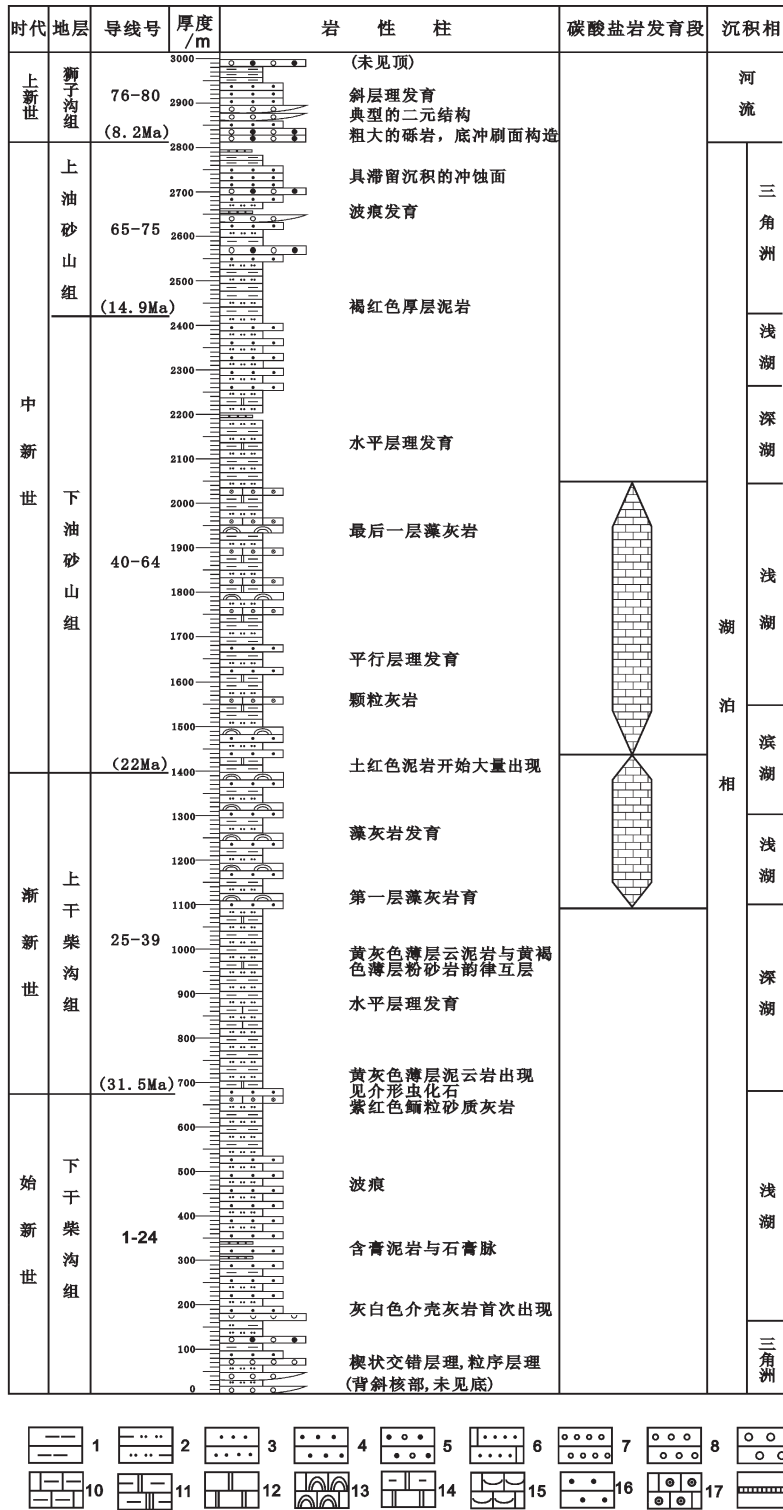


图 4 长尾台剖面新生界沉积相综合柱状图

1—Mudstone; 2—Argillaceous siltstone; 3—Fine-grained sandstone; 4—Medium-grained sandstone; 5—Pebble-bearing gritstone; 6—Calcareous fine-grained sandstone 7—Conglomerate; 8—Medium-grained conglomerate; 9—Coarse-grained conglomerate; 10—Marlite; 11—Mudstone with gypsum; 12—Dolomite; 13—Algal limestone; 14—Argillaceous dolomite; 15—Shell limestone; 16—Gritstone; 17—Grained limestone; 18—Gypsum

岩的出现。在剖面 40 层、50 层和 52 层分别产出 3 套叠层石灰岩。其上部一般为泥坪或者灰泥坪,而下部一般为粒度相对较粗的砂滩或者坝沉积,这是一个湖水逐步加深的过程,即说明叠层石灰岩一般产于湖泛过程中,它可以作为最大湖泛面得一个识别标识。碳酸盐岩和叠层石灰岩的发育指示了气候温暖、盆地周缘相对夷平、陆源碎屑注入少等环境特点。

下油砂山组中上部由深湖相过渡为浅湖相。深湖相表现为灰绿色泥岩与薄层粉砂岩韵律互层,水平层理发育。夹多层石膏脉和泥质白云岩。这反映出当时强烈的蒸发环境,硫酸盐矿物在湖心沉积。随着水体的加深,沉积环境由深湖开始转变为浅湖沉积环境,这使得沉积物粒度开始变粗,较强的水动力条件导致砂岩中交错层理的出现。

3.4 上油砂山组

本组岩石整体颜色为杂色。碎屑岩沉积为主,碳酸盐岩沉积明显减少,可见泥云岩;蒸发岩较常见,包括盐类和碱类的结核或者脉;沉积构造包括波痕、交错层理、冲蚀面、平行层理及水平层理;岩石垂向序列往往是由细砂岩和泥质粉砂岩开始,经过粗砂岩,渐变为砾岩或者砾砂岩形成负旋回。

上油砂山组主要为一套湖泊三角洲沉积。划分为前三角洲微相、远砂坝微相、河口砂坝微相和分流河道微相。前三角洲微相以暗色泥岩为主夹粉砂岩薄层,显示出半深湖亚相特点。远砂坝以灰色细砂岩-中砂岩为主,夹泥岩和粉砂岩薄层,砂岩层较厚。河口砂坝河分流河道微相之间有一个冲蚀面,向上沉积物粒度有减小的趋势(图 3-E)。

3.5 狮子沟组

上新世狮子沟组是一套以粗碎屑为主的沉积,而且自下而上沉积颗粒越来越粗;其下部以粗砂岩和中砂岩为主,构成多个底部或者下部砾岩-含砾砂岩、中部粗砂岩、上部中砂岩至细砂岩或者砂质泥岩的沉积旋回;其上部则以砾石为主,夹砂、泥岩透镜体。

狮子沟组为一套典型河流相沉积(图 3-F)。可以识别的亚相包括河道亚相和河漫滩亚相,微相包括河床滞留沉积、边滩、堤岸沉积。河床滞留沉积的主要特征是岩性为大的砾石和含砾砂岩,与下伏地层呈冲刷侵蚀接触关系,可见清晰的大型交错层理。边滩沉积主要为细砂岩沉积,具有明显的交错层理,层理规模向上逐渐变小,中间夹有水平层理的粉砂

岩。堤岸沉积主要由泥质岩组成,水平层理发育。这 3 种沉积微相构成了一个完整的河流相沉积序列,显示出“二元结构”。

4 沉积环境演化特征

长尾台剖面总厚度超过 3 978 m,涵盖了除路乐河组以外的新生代各个时期的地层。沉积相即沉积环境的物质表现,相的实质载体为岩石或者生物组合。通过对下干柴沟组、上干柴沟组、下油砂山组、上油砂山组以及狮子沟组逐层的分析,系统总结出如下规律,试图通过这些规律来反演整个新生代该地区的沉积环境演化(图 4)。

(1) 从下干柴沟组中部—下油砂山组顶部为湖泊沉积环境,上油砂山组为湖泊三角洲过渡环境,至狮子沟组开始沉积环境转化为河流环境。

(2) 新生代湖泊环境包括深湖、浅湖、滨湖及湖泊三角洲 4 种沉积环境。其中下干柴沟组初期以三角洲过渡环境为特征,后期转变为浅水环境;上干柴沟组早期和中期为深湖相沉积环境,晚期转变为滨浅湖沉积;下油砂山组早期和中期为滨浅湖沉积,晚期为一段短暂的深湖环境沉积;上油砂山组主要为过渡环境,即湖泊三角洲环境;狮子沟组沉积时期为河流沉积环境。

(3) 从下干柴沟组中部—下油砂山组顶部沉积时期,整个湖盆经历了两次湖泛和两次湖退。

(4) 上干柴沟组顶部至下油砂山组中部沉积时期为湖盆内碳酸盐岩(包括颗粒灰岩和藻灰岩,白云岩类除外)最发育时期,该期间可能是整个湖盆地区最为湿润的时期。

致谢:野外工作得到了中石化胜利油田有限公司武向峰同志、中国冶金地质总局中南地质勘查院陈广义同志的大力帮助,在此不胜感谢!

参考文献(References):

- [1] Wang E, Xu F Y, Zhou J X, et al. Eastward migration of the Qaidam basin and its implications for Cenozoic evolution of the Altyn Tagh fault and associated river systems [J]. Geological Society of America Bulletin, 2006, 118:349-365.
- [2] Yin A, Dang Y Q, Zhang M, et al. Cenozoic tectonic evolution of Qaidam basin and its surrounding regions (Part 2): Wedge tectonics in southern Qaidam basin and the Eastern Kunlun Range (in Whence the Mountains? Inquiries into the evolution of orogenic systems; A volume in honor of Raymond A. Price)[J]. Geological

- Society of America Special Paper, 2007, 433:369-390.
- [3] Yin A, Rumelhart P E, Cowgill E, et al. Tectonic history of the Altyn Tagh fault in northern Tibet inferred from Cenozoic sedimentation [J]. Geological Society of America Bulletin, 2002, 114:1257-1295.
- [4] 曹国强, 陈世悦, 徐凤银, 等. 柴达木盆地西部中—新生代沉积构造演化[J]. 中国地质, 2005, 32(1):3-40.
Cao Guoqiang, Chen Shiyue, Xu Fengyin, et al. Ceno-Mesozoic sedimentary and tectonic evolution in the western Qaidam basin[J]. Geology in China, 2005, 32 (1):33-40 (in Chinese with English abstract).
- [5] 曹国强. 柴达木盆地西部地区第三系沉积相研究[D]. 中国科学院广州地球化学研究所, 2005.
Cao Guoqiang. Sedimentary Facies of the Tertiary in West Qaidam Basin [D]. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2005(in Chinese with English abstract).
- [6] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社, 2003:201-205.
Jiang Zaixing. Sedimentology[M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2003:201-205(in Chinese).
- [7] 温志峰, 钟建华, 刘云田, 等. 柴达木盆地中新世叠层石沉积特征及其环境和构造意义[J]. 地质科学, 2005, 40(4):547-557.
Wen Zhifeng, Zhong Jianhua, Liu Yuntian, et al. Sedimentary features and tectono-environmental significance of the Miocene stromatolites in western Qaidam basin [J]. Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica), 2005, 40 (4):547-557 (in Chinese with English abstract).
- [8] 伊海生, 时志强, 惠博, 等. 湖相叠层石纹层的碳氧同位素特征及其生长节律的古环境意义[J]. 地学前缘, 2009, 16(6):168-176.
Yi Haisheng, Shi Zhiqiang, Hui Bo, et al. The oxygen and carbon isotopic signatures of laminations lacustrine stromatolites and palaeoenvironmental significances of growth rhythmites [J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16 (6):168-176 (in Chinese with English abstract).
- [9] 惠博, 伊海生, 时志强, 等. 青藏高原沱沱河盆地渐新世湖相叠层石: 韵律纹层记录的古气候条件[J]. 地质通报, 2009, 29(1):62-69.
Hui Bo, Yin Haisheng, Shi Zhiqiang, et al. Oligocene lacustrine stromatolites in the Tuotuohe Basin, Tibetan Plateau: paleoclimate conditions recorded by the rhythmic laminations [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 29 (1):62-69 (in Chinese with English abstract).

Characteristics of Cenozoic sedimentary evolution in western Qaidam Basin

HUI Bo^{1,2}, YI Hai-sheng², XIA Guo-qing², MA Xue³,

(1. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: Qaidam basin in northern Tibetan Plateau has preserved intact Cenozoic strata. Based on field survey of the Changweitai section along the northeast limb of the Mangya depression anticlinorium in combination with thin section analysis, the authors studied the lithology, facies and rock combination characteristics. Then through the basic sequence analysis, the cycle characteristics of each formation were revealed. Finally, the holistic sedimentary evolution characteristics of the Cenozoic strata were summarized, with the purpose of revealing the evolution of the regional Cenozoic sedimentary environment.

Key words: western Qaidam basin; Cenozoic; Changweitai section; sedimentary environment evolution.

About the first author: HUI Bo, male, born in 1984, doctor candidate, engages in the study of mineralogy, petrology and mineral deposit geology; E-mail: huibo0728@foxmail.com.