

● 郭少斌 编著

柴达木盆地三湖坳陷 第四系应用层序地层

地质出版社

柴达木盆地三湖坳陷第四系 应用层序地层

郭少斌 编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书全面地介绍了层序地层学的基本理论,研究内容、方法与流程,现状与进展等,提出了陆相盆地存在着同生断裂坡折带、弯折带两种基本的坡折带类型。当水平面下降到坡折带以下时,构成一个完整的水平面升降旋回,可形成包括低位、湖扩展、湖萎缩三个体系域的层序(三分体系域);当水平面未下降到坡折带以下时,构成一个不完整的水平面升降旋回,可形成包括湖扩展、湖萎缩两个体系域的层序(二分体系域)。这两种层序在纵向上有规律地叠置组合构成了盆地层序充填序列。二分体系域的湖扩展体系域的泥岩、油页岩是良好的烃源岩和盖层,成藏条件优越,在有利的构造背景下往往形成大型油气藏;三分体系域层序的低位域砂体成藏条件优越、地震剖面易于识别,是隐蔽油气藏勘探的主要目标体。该理论方法在柴达木盆地三湖坳陷第四纪地层的研究中得到了很好地应用。

本书可供从事油气勘探的科研人员和相关专业的高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

柴达木盆地三湖坳陷第四系应用层序地层/郭少斌编
著. —北京:地质出版社, 2006. 6
ISBN 7-116-04960-6

I. 柴... II. 郭... III. 柴达木盆地-坳陷-第四
纪-地层层序-研究 IV. P535. 244

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 094858 号

CHAIDAMU PENDI SANHU AOXIAN DISIXI YINGYONG CENGXU DICENG

责任编辑:李 莉 祁向雷

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324573 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@ gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京长宁印刷有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm^{1/16}

印 张:7.25

字 数:180 千字

版 次:2006 年 6 月北京第一版·第一次印刷

定 价:25.00 元

ISBN 7-116-04960-6/P · 2720

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前 言

柴达木盆地是中国西部中新生代压扭性盆地。最新资源评价天然气资源量为 $20\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中柴东地区为 $10\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，柴西地区为 $6\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，柴北缘为 $4\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。目前，盆地天然气储量超过 $3\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，主要集中于东部三湖地区。前人对三湖地区生物气的生气机理、生物气源岩的特征和生物气的运移规律都进行了研究，取得了较大的成就。但是，目前三湖地区缺乏可钻探的圈闭，成为该区勘探的主要制约因素。通过对柴达木盆地勘探实践和资源潜力进行客观分析，在现今已探明相当规模储量的基础上，在整个三湖地区寻找更多气田和进一步探明一定规模的储量是可能的。

柴达木盆地储量要再上新台阶，必须立足于发现低幅度构造，以及进一步寻找隐蔽油气藏。寻找隐蔽油气藏，就必须采用地质、测井、地震相结合的方法，开展高分辨率的层序地层学研究工作，搞清沉积体系及沉积演化规律，预测砂体发育部位，分析砂体的展布特点，优选评价目标。

对中国东部第三系陆相盆地层序地层的研究表明：陆相盆地存在着同生断裂坡折带、弯折带两种基本的坡折带类型。当水平面下降到坡折带以下时，构成一个完整的水平面升降旋回，可形成包括低位体系域、湖扩展体系域、湖萎缩体系域三个体系域的层序（三分体系域）；当水平面未下降到坡折带以下时，构成一个不完整的水平面升降旋回，可形成包括湖扩展体系域、湖萎缩体系域两个体系域的层序（二分体系域）。这两种层序在纵向上有规律地叠置组合就构成了盆地层序充填序列。水平面上升期是寻找充填作用形成的水下扇（低位扇）、小型（扇）三角洲（低位楔）；水平面下降期是寻找（扇）三角洲前缘滑塌作用形成的浊积扇隐蔽圈闭的有利层序地层部位。将这一理论成功地应用于柴达木盆地三湖坳陷第四纪地层的研究，取得了如下成果和认识：①高分辨率层序地层学理论与研究方法将层序地层分析技术与沉积学原理紧密结合起来，建立高分辨率层序地层对比格架，能够有效地用于陆相盆地层序地层划分与储层分布预测研究。尤其是把测井、地震及米兰科维奇

旋回分析有机结合，在第四系划分出七个层序（层序Ⅵ以上不同程度遭受剥蚀），具有创新性；②该区主要发育三角洲和湖泊沉积体系，台吉乃尔地区物源来自北部，驼峰山地区物源来自东北部，台南及涩北地区物源来自西南部；③结合砂体展布，构造及地震反射特征预测了两个有利区带：台吉乃尔三角洲前缘砂体与鼻状构造复合圈闭和驼峰山三角洲前缘楔状砂体与构造斜坡复合圈闭。

本书对层序地层学的基本理论，研究内容、方法与流程，现状与进展等做了全面地介绍，并提出了新的观点，对从事油气勘探的科研人员和相关专业的高等院校师生具有一定的参考价值。

本书的出版得到众多专家学者的大力支持，书中部分资料引用了前人的研究成果与图件，在此一并表示衷心感谢。

目 录

前 言

1 区域地质概况及勘探现状	(1)
1.1 区域地质概况	(1)
1.1.1 区域地质背景	(1)
1.1.2 盆地构造演化	(5)
1.1.3 地层展布特征	(8)
1.2 勘探现状	(13)
2 层序地层分析基础及研究思路	(15)
2.1 层序地层学的提出及研究现状	(15)
2.1.1 层序地层学的提出与发展	(15)
2.1.2 层序地层学研究现状及进展	(18)
2.1.3 新应用及发展趋势	(24)
2.2 层序发育的控制因素	(25)
2.2.1 可容纳空间的概念及其控制因素	(25)
2.2.2 古气候因素对湖盆沉积层序发育的影响	(32)
2.2.3 构造因素对湖盆沉积体系和层序发育的影响	(34)
2.2.4 构造坡折带及古地貌对沉积体系的控制	(35)
2.3 层序地层学的研究内容	(36)
2.3.1 地下层序地层学的研究内容	(36)
2.3.2 露头层序地层学的研究内容	(38)
2.4 层序地层学的研究方法流程	(41)
2.4.1 层序地层学的研究方法	(41)
2.4.2 层序地层学的研究流程	(43)
3 三湖坳陷第四系应用层序地层	(46)
3.1 陆相盆地层序地层模式	(46)
3.1.1 坡折带类型	(46)
3.1.2 层序及体系域模式	(47)

3.1.3	陆相盆地层序充填序列	(50)
3.1.4	隐蔽圈闭预测	(53)
3.2	高分辨率层序地层划分	(53)
3.2.1	钻/测井、地震层序地层划分	(53)
3.2.2	米兰科维奇(米氏)旋回分析	(63)
3.3	古气候特征及构造对层序的影响	(74)
3.3.1	古气候特征	(74)
3.3.2	构造对层序的影响	(78)
4	三湖坳陷第四系沉积相研究	(79)
4.1	单井沉积相分析	(79)
4.1.1	三角洲	(79)
4.1.2	湖泊相	(84)
4.2	各层序沉积体系的时空演化	(84)
4.2.1	层序 I (Sq1) 沉积时期	(84)
4.2.2	层序 II (Sq2) 沉积时期	(87)
4.2.3	层序 III (Sq3) 沉积时期	(87)
4.2.4	层序 IV (Sq4) 沉积时期	(87)
4.2.5	层序 V (Sq5) 沉积时期	(98)
4.3	沉积物源分析	(98)
5	有利目标预测	(99)
5.1	储层反演	(99)
5.1.1	测井约束反演的原理与方法	(99)
5.1.2	常规波阻抗反演	(100)
5.1.3	反演结果分析	(102)
5.2	有利目标预测	(103)
参考文献		(105)

1 区域地质概况及勘探现状

1.1 区域地质概况

1.1.1 区域地质背景

柴达木盆地位于我国青藏高原北部,以蒙古语“盐泽”而得名。地理坐标在东经 $90^{\circ}00'$ ~ $98^{\circ}20'$,北纬 $35^{\circ}55'$ ~ $39^{\circ}10'$ 之间,盆地海拔2 600~3 000 m,是青藏高原北部最大的高原盆地。它周边被造山带所围,北侧为祁连山,南侧为东昆仑山,西侧为阿尔金山,是一个中生代大型内陆山间盆地(图 1.1)。其东西长 850 km,南北宽 150~300 km,面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其中,沉积岩面积 $12.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,中生界沉积面积 $9.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,最

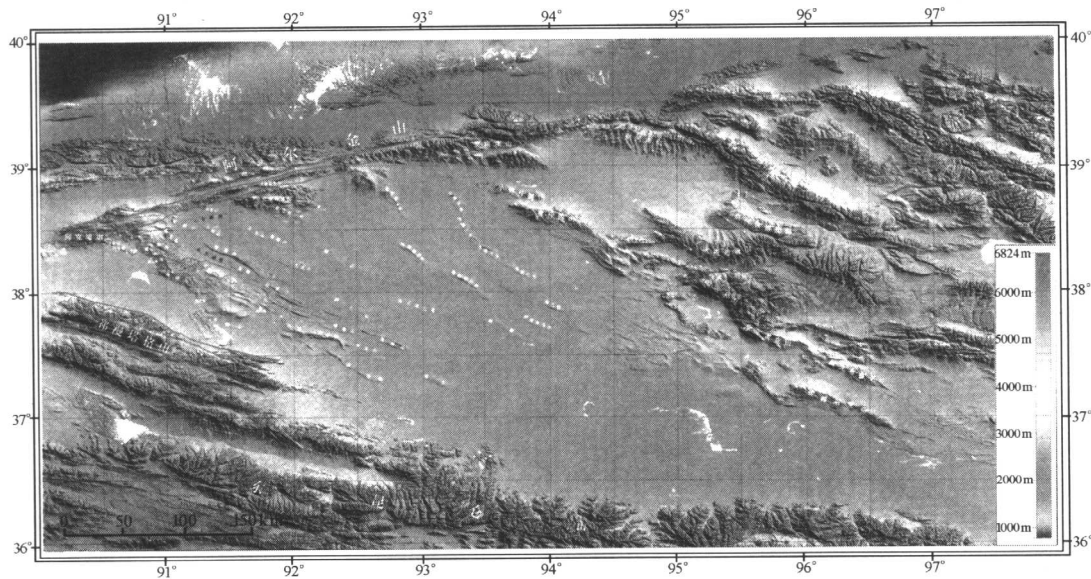


图 1.1 柴达木盆地及周缘地形图

(引自葛肖虹等, 2005, 未刊)

大沉积岩厚度 $1.72 \times 10^4 \text{ m}$, 沉积岩总体积在 $60 \times 10^4 \text{ km}^3$ 以上, 是位居中国第三位的大型内陆含油气盆地。该盆地大地构造位置处于古亚洲构造域南缘, 南面紧邻特提斯-喜马拉雅构造域, 具有由前长城系中-深变质岩系及中、新元古界的长城系和蓟县系浅变质岩系组成的结晶基底。盆地内部地势西北高而东南低。西北部低山、丘陵与洼地相间; 东南部地形平缓, 多为平原、戈壁与湖泊, 其中察尔汗、台吉乃尔湖是典型的内陆汇水湖。由于气候干旱, 年蒸发量高达 3 137.3 mm, 是年降雨量的 100 倍, 因此多为盐湖。

20 世纪 50 ~ 60 年代在传统大地构造学中, 许多学者一直把柴达木盆地作为昆-祁-秦地槽褶皱系的一个中间地块来认识 (黄汲清等, 1977; 任纪舜等, 1980), 80 年代初李春昱编制《亚洲大地构造图》时, 依然把柴达木盆地作为昆-祁-秦海洋板块中的中间地块来处理。随着地质调查工作的深入, 人们开始注意到柴达木与塔里木地块的联系, 1984 年, 黄汲清指出: “柴达木原来很可能与塔里木直接连接, 只是后来被阿尔金走滑断裂分开”。同年, 刘增乾建议将柴达木与塔里木作为整体, 称为“塔里木-柴达木地块”。1989 年, 郑剑东、杨巍然等为马杏垣主编的《中国岩石圈动力学地图集》编制的“大地构造图”中把塔里木、柴达木、阿拉善地块统称“西北地台”。1987—1989 年葛肖虹在完成柴达木盆地二次资源评价“柴达木盆地区域构造特征及演化”的项目报告《柴达木盆地的形成与演化》中, 也首次提出了“西域克拉通”的概念, 即柴达木、塔里木和阿拉善地块在古生代是一个统一的克拉通——西域板块, 柴达木与塔里木盆地在前新生代是连通盆地。然而 80 年代至今, 仍有一些学者, 根据该区蛇绿岩带与地块的研究, 认为柴达木、中祁连这些地块属于被小洋盆分隔的微陆块 (任纪舜等, 2000; 潘桂棠等, 1997; 许志琴等, 1996), 它们在古生代被分隔, 并各自独立发展。

塔里木、柴达木、阿拉善地块具有新元古代早期克拉通化形成的基底和震旦系冰渍岩, 以及亲扬子型下古生界的盖层, 古生代并非是被小洋盆分隔的微陆块, 而是具有统一发展共性的克拉通——西域板块, 震旦纪—早古生代它和扬子-华南、澳大利亚板块同属于东冈瓦纳超级大陆的一部分, 无论从生物古地理、古地磁, 还是从薄壳岩石圈、多裂解特征来看, 西域板块和扬子-华南板块都有着极大的相似性, 它和中朝板块尽管古纬度相近 (程国良, 1997; 朱日祥等, 1998) 但从震旦纪就开始裂离, 早古生代东冈瓦纳裂解, 陆块漂移, 直到晚古生代—早中生代古特提斯洋封闭后西域板块才与中朝、哈萨克斯坦—西伯利亚板块拼合而构造成就位, 成为古亚洲大陆的西南隅。

西域板块和扬子-华南板块类似, 具有非稳定克拉通的多裂解特征, 新元古代早期克拉通化后, 寒武纪—中奥陶世西域板块最大的坳拉槽——小洋盆发生在北祁连-满加尔坳陷, 拉脊山为其东南的支裂陷槽, 前者裂陷从东向西发展, 东部北祁连山出现洋壳型蛇绿岩, 向西在塔里木盆地的北部英吉苏-满加尔-阿瓦提坳陷, 由浊积岩深水海槽渐变为碳酸盐岩台地 (顾家裕, 1996; 葛肖虹等, 1998, 1999), 南祁连山的赛什腾山-绿梁山-锡铁山 ($\text{C}-\text{O}_2$, 滩间山群) 为岛弧火山带 (陆松年, 2002)。当上述坳拉槽——小洋盆于中奥陶世末闭合以后, 晚奥陶世在东昆仑山中段 (O_3Nc 纳赤台群) 和西段祁漫塔格山 (O_3Ts 铁石达斯群) 又出现了新的裂陷槽。这些裂陷槽以钙碱性中—酸性火山岩为主, 但下部都有玄武岩, 许多人常把钙碱性火山岩的出现作为岛弧型火山的标志, 其实在地幔物质上涌底侵引起岩石圈裂解的过程中, 地壳重熔完全可以产生钙碱性火山岩。上述多裂解现象正好说明西域板块在早古生代是一个岩石圈比较薄, 容易发生上地幔软流圈物质上涌底侵, 具有多裂解特征的非稳定、非成熟克拉通, 这点也和扬子-华南板块有类似之处, 而与中朝板块完全不同。

早古生代末“祁连事件”使西域板块又经历了一次克拉通化, 诸多早古生代的坳拉槽——小洋盆、裂陷槽都相继封闭、造山, 出现一批 480 ~ 416 Ma 的中浅变质岩系, 在古造山带前出现了中—上泥盆统的磨拉石建造, 这种现象几乎遍布全区。但与此同时, 在柴达木北缘的埃姆尼克山, 南缘的都兰—香日德一带又出现了新的裂陷槽, 其中亦发育下部

玄武岩、上部巨厚的中—酸性火山岩,同样反映了从幔源物质上涌到地壳重熔的裂解过程,这应该是锡铁山铅锌矿的成矿背景。石炭纪—中三叠世西域板块进入了克拉通最稳定的发展时期,北部(北塔里木—阿拉善)发育了一套从陆相到滨海相的稳定型克拉通盆地沉积,南部(祁连山—塔中以南,柴达木到东、西昆仑山之间)发育了广阔的克拉通浅海陆棚相碳酸盐岩沉积,它们的含油气远景不可低估,尤其是柴北缘地区,而昆仑山以南则为克拉通边缘深海陆坡相浊积岩沉积。即使如此,在早—晚二叠世,相当于扬子板块的“东吴期”,在塔里木西部的柯坪—巴楚一带和柴达木以南阿尼玛卿一带也发生了裂陷,出现多期玄武岩喷发和滑塌沉积(顾家裕,1996);早—中三叠世在青海南山和宗务隆山同样出现了裂陷,发育一套深海槽型浊积—滑塌岩(青海省地质矿产局,1991)。以上充分说明了西域板块多裂解的特征,但在发展过程中,晚古生代比早古生代要稳定得多,这应该与加里东运动闭合造山作用后岩石圈增厚有关,晚古生代西域板块的多裂解特征同样和扬子—华南海域有很大的相似性。

晚古生代—早中生代古特提斯洋的封闭完成了西域板块的构造就位,使它成为古亚洲大陆的西南隅,柴达木—北羌塘是它的一部分,贺兰山以西应该有西域板块和中朝板块的碰撞缝合带,但是,至今由于研究程度低而尚未被确认。羌塘、拉萨板块的拼贴引起它相对微弱的印支、燕山期板内变形,而对西域板块最大的肢解作用发生在晚燕山—喜马拉雅期。晚白垩—始新世(97~38 Ma)由于科瑞斯坦微板块与古亚洲大陆板块的碰撞,在中亚大陆内引起了阿尔金断裂的初始走滑(97~89 Ma),从晚白垩世以来,把西域板块左行错移了350~400 km(葛肖虹等,1999),以至形成了柴达木与南塔里木地块、祁连山与塔中隆起—满加尔拗陷、阿拉善与北塔里木地块被同步错移分隔的状况,最终经晚喜马拉雅运动的推覆缩距才形成了现今的面貌。

1.1.1.1 东昆仑山脉

东昆仑山脉呈北西西走向,是柴达木盆地与青藏高原主体相接的界山,自西而东为祁曼塔格山和布尔汗不迭山,前者海拔在5 000 m以上,后者海拔4 700~4 000 m。祁曼塔格山山体高峻,终年积雪,岩石裸露,在卫星遥感照片上,山体轮廓平直而清晰,呈北西向,山脉与平行谷地相间,西部夹库木库里盆地,向西明显被阿尔金山截断,在格斯断槽—吐拉盆地以南形成牵引弧形山脉,与盆地接界的断块山体,南坡陡而平直,多为北倾右行走滑兼逆冲断层的断层三角面;北坡较缓,多呈右行斜列的鱼鳞片状,反映低缓角度的逆掩推覆片体,酷似东阿尔卑斯山与维也纳盆地接界的山形面貌。

现今的东昆仑山脉山势为由东往西增高。但在形成于1.1~0.4 Ma B. P.的第三夷平面抬升之前,山顶盆地湖水是自东向西流淌的,以盆地湖水面为最低侵蚀基准面,各级夷平面在形成时应具有大致相同的高度。理论上讲,各级夷平面还应具有自东向西略微倾斜的趋势。但现今昆仑山西段反而增高了,这表明在早更新世末期以来的构造运动中,西部强烈抬升,东部上升趋势相对较弱。东、西分界以那棱格勒河为界,这在地貌上有明显表现,除东、西段表现为由东向西地势增高外,东段各级夷平面特别是峰顶面保存完好,而西部则多破残不全,峰顶面多表现为锯齿状薄窄山岭。西段山前古洪积扇强切割和重叠,东段则为相连成带的洪积扇或扇面宽阔平缓的扇状。西段洪水河、那棱格勒河最高阶地高在300 m以上,东段阶地最高处为150~200 m。西段夷平面在新断裂发生时有错位抬升,使最高夷平面海拔超过5 600 m,而东段则无此明显现象。

此外,那棱格勒河以东至都兰、香日德间,北界昆北断裂,南界昆仑山脚,如今地貌上为由柴达木组(Q_{2-3})砾石组成的微向北倾的平原(或斜坡区)。据钻探资料,这一带在钻深200~300 m内多为该组砾石层,再下多为花岗岩或其他老地层;而向北越过昆北断裂则中、新生界厚达数千米。可见该区属昆仑山前逆冲推覆上升区,而不属于“三湖沉降区”,只是上升幅度不大而已。

1.1.1.2 阿尔金山脉

作为柴达木与塔里木盆地分界的山脉,也是青藏高原的西北边界,阿尔金山呈北东东向延伸,西高东低。与昆仑山、祁连山相比,这条狭窄的山带明显切割了上述两条山脉和柴达木盆地,山脉西段山势险峻,常年积雪,海拔4 000~4 800 m,高峰处在5 000~6 000 m,如在乌苏肖尔峰发育冰川地貌;阿尔金山北侧发育厚达千米以上的磨拉石堆积,山前广布高大的洪积扇(锥),四级阶地普遍发育,河流多峡谷等,从塔里木盆地的米兰向南翻越阿尔金山主峰时,在主峰南坡海拔4 300 m处可见晚更新世洪积阶地。在柴达木盆地北缘阿卡腾能山和安南坝山之间呈断谷出现,其北为索尔库里盆地,盆地北高南低,现今南侧高度几乎和柴达木盆地相似,海拔为2 850~3 000 m。然而,在金鸿山口可见七个泉组浅湖相砂泥岩呈南倾的单斜出露在断谷的峰顶,与其北侧索尔库里的相对高差达333 m。这些都说明现今的阿尔金山隆起很晚。而在安南坝山以东的当金山口,阿尔金山明显切断了南祁连山的党河南山并向东延伸到金塔,山势也逐渐低缓。该山的新构造运动特点是:中新世前它为原处于水下或孤立的山丘,也就是说柴达木盆地与塔里木盆地原是相通的;中新世中期开始上升,以后在新构造运动各时期均有急速上升,使柴达木与塔里木联通的水域逐渐缩小;早更新世末之后,阿尔金山则完全脱离水下,成为山系,导致柴达木和塔里木两盆地最终脱离水系联系(朱允铸等,1994),而使索尔库里盆地广泛接受洪积砾石沉积,并使阿尔金山区的水流反向流入柴达木盆地,现今阿尔金山南侧巨大的由柴达木组(Q_{2-3})砾石组成的洪积扇即是这样形成的。

1.1.1.3 南祁连山脉

柴达木盆地的北部界山,是由一系列北西方向延伸、雁行状右行斜列的山脉组成的一个复杂山系,之间为一些平行的河谷和湖泊,自西而东主要分布有:党河南山、吐尔根达坂山、柴达木山、宗务隆山-青海南山,山体总的趋势是西部疏散宽广,东部紧凑狭窄,山区内部海拔在4 000 m以上,多数山区海拔4 500~5 000 m,终年积雪,冰川发育。山体与阿尔金山交汇部位明显出现向北突出的牵引山弧,如疏勒南山、党河南山。柴达木盆地北缘的中-低山更显示了“反S型”斜列的山体组合,自西而东,如:多罗尔什山、大赛什腾山、小赛什腾山、绿梁山、锡铁山、埃姆尼克山,以及以北的库尔雷克山、欧龙布鲁克山等,地震和大地电磁测深资料证明,上述山体多为无根山体,是由北向南逆掩推覆片体的前锋,多呈右行斜列,而它后缘的盆地,如绿梁山以北的大柴旦湖、欧龙布鲁克山以北的怀头他拉-德令哈盆地,都可能是推覆体后缘的驮载盆地,而党河南山以南,大、小赛什腾山以北的苏干湖盆地,虽然被赛什腾山推覆构造隔断,但仍应该属于柴达木原型盆地的一部分,据物探资料,苏干湖盆地第四系最大厚度大于1 000 m。

1.1.1.4 柴达木盆地

盆地东南部地形平缓,多为平原、戈壁与湖泊,低山、丘陵则限于盆地西北部,并与洼地相间。从盆地地震发现构造分布图(图1.2)相对照可以看出:低山、丘陵方向性明

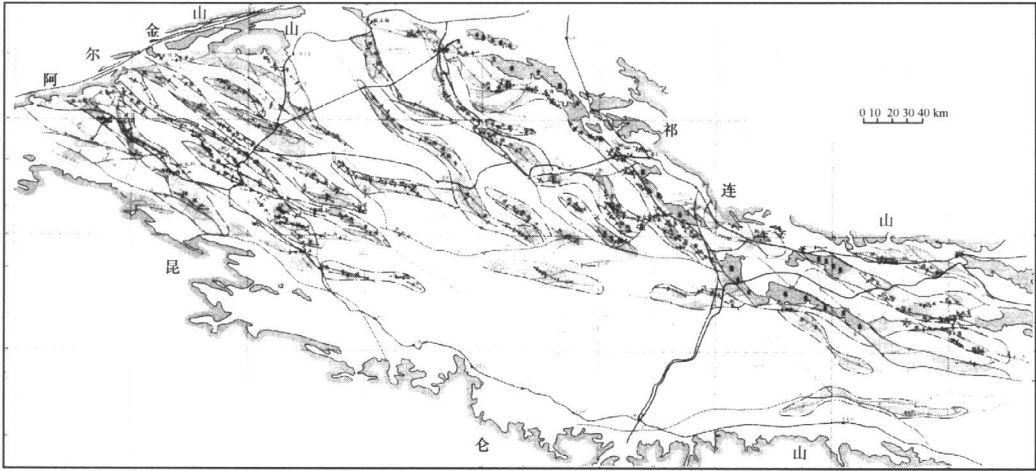


图 1.2 柴达木盆地地震解释构造分布
(引自葛肖虹等, 2005, 未刊)

显, 完全与背斜构造带一致, 而洼地则为向斜或弯型向斜盆地, 说明是新生的地形, 以柴西地区的英雄岭最为典型, 北西走向的垄岗状低山-丘陵相对高差 200 ~ 50 m, 是一个被英北逆断层 (南倾) 和油砂山-狮子沟反向逆断层 (北倾) 托起的新生断块山, 两侧冲沟向源侵蚀袭夺, 尚未形成分水岭。低山、丘陵的形成, 受控于盆地南北两侧昆仑山、南祁连山双向逆冲推覆构造的挤压与阿尔金断裂左行走滑的双重因素。前者控制形成了断展、断弯背斜造成低山、丘陵; 后者控制了它们的展布特征, 为一系列“反 S 型”斜列的条垄, 并且每个条垄都是向西北方向抬升, 收敛于阿尔金断裂, 而向东南方向倾没。在每个“反 S 型”斜列条垄的头部内侧, 都出现一个浑圆形的洼地。比如呼通诺尔弧-冷湖-南八仙垄岗丘陵的头部内侧, 就出现了一个浑圆形的昆特依洼地 (盐湖); 临海套-鄂博梁-伊克雅乌汝-南陵丘垄岗丘陵的头部内侧, 出现了碱北洼地。依此, 可以将柴达木盆地内部的低山、丘陵划分成六个“反 S 型”条垄带。

1.1.2 盆地构造演化

柴达木盆地是印支期后由于印度板块与欧亚板块碰撞, 在南北应力挤压下形成的内陆山间地块盆地。柴达木盆地、阿尔金山和塔里木盆地作为一个整体, 都是中、新元古界变质岩系组成的结晶基底。

柴达木准地台基本成型于新元古代, 此后在其以北的地区开始解体, 并出现柴达木准地台与中祁连隆起的分离。自晚奥陶世至晚泥盆世末, 南、北缘裂谷时开时合, 指状镶嵌其中, 所以该地块没有完全解体。石炭纪, 南、北缘裂陷槽稳定沉降, 北缘出现浅海陆棚及海陆交互的台型沉积, 南缘也有一套海陆交互的沉积 (但已变质)。二叠纪, 全区相对稳定, 仅南缘祁漫塔格山一带见 40 ~ 117 m 的浅海地台型沉积, 其他位于海水面以上, 二叠纪末晚华力西运动使柴达木隆起, 南、北边缘两个裂陷槽封闭。

1.1.2.1 古生代区域构造演化特征

任何一个盆地都是在区域地质背景下形成发展起来的。柴达木盆地主要受南缘祁漫塔格山、北缘祁连山和西缘阿尔金断裂体系的控制。因此,详细了解它们自古生代以来在不同期次构造应力场作用下的演化过程,就可以搞清盆地的构造演化特征。

古生代柴达木盆地主体为稳定沉降接受沉积。晚三叠世—中侏罗世,在北缘山前发生走向为东西向的边缘断裂和块断活动,出现了一系列互相分割的中生代断陷(德令哈、鱼卡、赛什腾等)。断陷内充填了早三叠世陆相碎屑岩和火山碎屑岩沉积及早、中侏罗世河沼相含化石建造,有些断陷内有富含有机质的暗色泥岩(如鱼卡、赛什腾和红山等)。

晚侏罗世—白垩纪,断陷隆升,快速堆积了大套过补偿的河流相红色碎屑岩。

1.1.2.2 新生代区域构造演化特征

自新生代以来,柴达木盆地共经历了四期构造事件,而且各期次构造应力场复杂多变,因而造成了柴达木盆地复杂的构造演化过程。

(1) 早白垩世中期—古新世(K_1-E_1)的拗陷盆地阶段

早白垩世中期—古新世(K_1-E_1)(135~53 Ma),柴达木盆地经历了四川构造事件(事件年龄为96~53 Ma),区域构造应力场最大主压应力方向为北北东向。盆地南缘昆北断裂体系表现为挤压特征,西缘阿尔金断裂体系表现为左行挤压走滑特征。

在柴西地区,该期构造应力场强度由南向北依次减弱。柴西南区虽然古、始新世地层的沉积厚度总体不大,但沉积厚度受断裂的控制十分明显;而柴西北区,除阿尔金山前的北东向边界断裂外,其余地区古始新世地层没有明显的断裂分割现象,为典型的拗陷盆地。茫崖拗陷的沉积厚度一般在1 200~1 400 m,拗陷中心在甘森东北的弯梁附近,厚1 600~1 800 m。整个拗陷盆地呈箕状展布(葛肖虹等,1990)。在该时期,牛鼻子梁、尖顶山—凤凰台构成一个北北西向近三角形的鼻状隆起分隔了一里坪拗陷与茫崖拗陷。此时,柴西北区北西向构造轮廓已显雏形。

但值得注意的是,盆地西南缘甘森—塔尔丁—乌图美仁一线出现了厚度急变带,说明昆仑山前存在陡倾同沉积断裂。类似的断裂在祁连山前红山拗陷东北侧也存在(狄恒恕,1989)。因此,在盆地西区北部也一定存在近北西向的基底断裂。

(2) 始新世—渐新世(E_2-E_3)的右行拉分盆地阶段

始新世—渐新世(E_2-E_3)(53~23.3 Ma),柴达木盆地经历了华北构造事件(事件年龄为33.7~23.5 Ma),区域构造应力场最大主压应力方向为近东西向。盆地南缘昆北断裂体系表现为左行走滑特征,西缘阿尔金断裂体系表现为右行挤压走滑特征。柴达木盆地主要表现为右行拉分盆地特征。

该时期,柴西南区表现为断陷沉积特点,而柴西北区单一拗陷性沉降的特点仍很突出。从沉积特点来看,柴西北区北西向的构造轮廓仍很明显,红沟子—油墩子一带沉降幅度最大,渐新世地层厚达2 400 m。但在该期近东西向构造应力场作用下,由西向东也存在沉积差异,如,月牙山—红三旱一号的阿尔金山前地带,渐新世地层厚度在1 200 m以上,拗陷性沉积的特点更为明显。再如,柴西北区红三旱一号、碱山、尖顶山等相对隆起区始新统反映一套从山前沉积向湖滨相过渡的沉积,而盆地东部却以湖滨相沉积为主,在构造上是拗陷盆地的扬起斜坡带。

(3) 新近纪—早更新世($N-Q_1$)的左行拉分盆地阶段

新近纪一早更新世 ($N-Q_1$) (23.5 ~ 0.78 Ma), 柴达木盆地经历了喜马拉雅构造事件 (事件年龄为 8 ~ 0.78 Ma), 区域构造应力场最大主压应力方向为北北东向。盆地南缘昆北断裂体系表现为挤压特征, 西缘阿尔金断裂体系表现为左行挤压走滑特征。柴达木盆地表现为右行拉分盆地特征。在柴西北区, 该时期构造运动强烈, 周缘山系显著隆升, 是控制构造发展的断裂及构造圈闭的主要形成时期。

1) 祁漫塔格山在中新世 (N_1) 末期开始上升, 上新世 (N_2) 以来快速褶皱隆升

上新世早、中期, 柴西南区, 即从小红山、阿哈堤构造, 经尕斯库勒湖西侧, 直到祁漫塔格山前一线以西的地区, 沉积厚度均不大, 稳定在 200 ~ 400 m 之间, 与中新世的地层厚度相似, 但是在红柳泉、七个泉断鼻带, 200 m 以内的薄厚度区向东扩展, 说明了该区从上新世早期到中期有开始隆升的迹象。此外, 祁漫塔格山东段山前的昆北断阶, 上新世早期出现了地层等厚线与老山方向趋于一致的现象, 地层向老山方向变薄, 东柴山一带没有发现上新统下段的沉积物, 上新世中期, 没有接受上新世中期沉积的地域进一步扩大。以上种种沉积现象表明, 由于祁漫塔格山在上新世 (N_2) 的隆升, 昆北断阶在上新世早期开始隆升。

在上新世早期, 随着区域挤压作用的增强, 祁漫塔格山已褶皱隆升, 开始露出水面, 成为柴达木盆地的物源区。以此为标志, 柴达木盆地的沉积边界和区域格局发生了具有划时代意义的变革: ①盆地南部的沉积物源变近; ②尕斯库勒湖之南和西南的红柳泉、铁木里克、切克里克等地随祁漫塔格山的隆起而抬升, 遭受较强烈的剥蚀; ③盆地沉积范围南北向缩小; ④沉积中心向北迁移; ⑤盆地西部和阿尔金地区水体扩大, 原来缺失古近系和中新统的岛状隆起, 大多被上新世不同层段地层所覆盖。

2) 阿尔金山中段在新近纪开始隆起, 早更新世之后整体抬升

新近纪之前, 阿尔金断裂系主要表现为剪切平移特征。在柴达木盆地西部, 新近纪地层向阿尔金斜坡方向厚度明显减薄, 岩性显著变粗, 这与新近纪之前地层的特征有较大差别。红沟子构造西端的黑石山和顿巴斯套, 在新近纪之前一直处于隆起状态, 遭受剥蚀, 但在新近纪却开始下陷, 在侏罗系之上沉积了新近纪—第四纪地层。类似地质现象在红沟子构造之西的金鸿山和野马滩、西南区的小红山、现今盆地边部的阿卡腾能山及其周邻、阿尔金山区均有出现。在这些地区, 许多上新世之前的岛状隆起, 进入上新世不是继续隆升遭受剥蚀, 而是相对下降接受沉积。特别是新近纪—第四纪地层不整合覆盖在前上新世不同时代地层之上。以上现象表明, 该时期本区构造运动明显加强, 区域构造背景有所变化, 阿尔金山开始隆起。

中新世晚期至上新世早期, 位于阿尔金断裂带中段南东侧的索尔库里盆地内沉积了一套从冲积扇到断陷湖盆相的湖相沉积。上新世狮子沟期, 阿尔金断裂的北西盘抬升, 南东盘下降, 存在较大地势差, 同时导致了索尔库里盆地狮子沟组与上油砂山组之间的沉积间断, 该不整合在柴达木盆地西部边缘也有显示。

早更新世 (七个泉期), 阿尔金山并未完全隆起, 因为在阿尔金山南坡阿卡腾能山以北, 依吞布拉克一带发育了一套与盆地西部狮子沟构造带完全相同的狮子沟组—七个泉组地层; 而且构成阿尔金山中段索尔库里主峰的亦是从狮子沟组—七个泉组一套连续的单斜地层。早更新世 (七个泉期) 之后, 索尔库里盆地整体抬升, 不再接受沉积, 处于剥蚀状态, 直至今日 (陈正乐等, 2001)。

3) 早更新世末 (Q_1 末) 的构造事件对盆地新生界构造的形成起重要作用

中新世—上新世, 由于阿尔金断裂剪切平移引起拉分断块山的形成和昆仑山的抬升, 盆地的拗陷与沉积中心逐渐向东迁移到一里坪拗陷。

在中新世末期及上新世早期, 盆地内北西向断裂开始发育, 但褶皱尚不强烈。

上新世末, 盆地南缘已经出现推覆构造并引起褶皱, 在柴西北区的牛鼻子梁—大风山隆起区和一些同沉积构造带都可见到狮子沟组与上油砂山组之间、七个泉组与狮子沟组之间出现局部角度不整合现象, 但大规模推覆构造并未发生。

下更新统七个泉组 (Q_{1q}) 在柴西北区仍有广泛分布, 茫崖拗陷沉降幅度在 500 ~ 1 000 m, 一里坪拗陷 1 000 ~ 2 500 m, 拗陷中心东迁至三湖地区, 沉降幅度在 2 500 ~ 3 500 m。

从全盆范围来看, 下更新统 (Q_1) 与下伏第三系 (E—N) 基本平行接触, 属于同一构造层。区域性的高角度不整合出现在下更新统与中更新统之间。说明对全盆构造起决定性作用的构造事件发生在早更新世之后。从青藏高原演化阶段看, 距今 1 Ma 前后的早更新世正是青藏高原构造发展的激变期: 锡瓦利克陆内俯冲带的形成、喜马拉雅推覆造山带的崛起、青藏高原大幅度抬升等都发生在这一时期。从更广阔的领域看, 距今 1 Ma 左右正是印度洋中脊急剧扩张, 使印度洋—澳大利亚板块西半部 (东海岭以西的部分) 以 5 cm/a 的速率向北推移的时期。因此, 把早更新世末 (Q_1 末) 的构造事件作为盆地新生界构造的主要形成期, 从区域上看是合理的。

该时期, 柴西地区进入全面褶皱回返、隆拗定局阶段。从 T6 地震反射层埋深图所反映的目前盆地构造状况可以看出所有基底拗陷区都受到逆掩推覆构造的掩覆而成为叠覆拗陷。这些逆冲推覆构造的前锋断裂往往迁就利用了原有扭动构造所产生的花状断裂, 在空间上形成现今北西向成排成带的断裂褶皱系统。

从基底到表层, 这种逆冲推覆使原有的同沉积褶皱受到加强和改造。一些表层滑脱构造和由此引起的歪斜脱顶背斜都是这一时期形成的。在柴西地区的狮子沟—油砂山和咸水泉—油泉子之间, 地貌上为一北西走向的隆起山带, 但在始新世—渐新世它一直是茫崖拗陷的一部分, 即英雄岭拗陷, 它的隆升完全是在盆地大规模推覆构造形成时期形成的冲起构造。

而在盆地东部的三湖地区, 早更新世表现为强烈的拗陷沉积作用, 形成了巨厚的更新世湖相沉积。

4) 中更新世 (Q_2) 以来构造相对稳定的盆地演化阶段

中更新世 (Q_2) 以来 (距今 0.781 Ma), 柴达木盆地经历了新构造事件, 区域构造应力场最大主压应力方向为北东向。柴西北区南缘昆北断裂体系表现出挤压特征, 西缘阿尔金断裂体系表现为左行挤压走滑特征, 但整个地区的构造作用较弱, 中更新统一全新统均未发生褶皱变形, 它们都呈角度不整合的接触关系覆盖在早更新统及其以前的所有地层之上。整个盆地呈现为相对稳定的构造阶段。

1.1.3 地层展布特征

柴达木盆地古生界或更老地层主要出现于盆地周缘的山区, 石炭系构成了该区的变质基底。以侏罗系中、下统为主的中生界主要分布于盆地北缘山区和北部地区。柴达木盆地

第三系广泛分布在盆地西部地区、东部地区和北部地区。第四系大面积覆盖了柴达木盆地。因此,柴达木盆地主要发育一套中、新生界沉积地层,其主要特征自下而上概括如下。

1.1.3.1 三叠系

仅在北部地区冷湖三号井下见到上三叠统,是一套暗色轻微变质的碎屑岩,夹有炭质泥岩。关于这套地层仍有不同的看法,有人提出冷科1井下部可能存在三叠系。但就目前的勘探程度和研究的侧重点,对这套地层尚未引起重视,通常是将该地层归于侏罗系一起讨论。

1.1.3.2 侏罗系

除盆地西南山区外,在盆地周边山区均有出露,除了北部地区地下钻遇并证实有侏罗系分布外,在柴西和柴东地区据推测可能也有侏罗系,但到目前为止,除了在红沟子一带见到地面侏罗系露头外尚未在地下实际钻遇这套地层。对于侏罗系的划分仍有多种方案,本文采用青海油田的分层方案并从下而上简述如下:

(1) 下侏罗统湖西山组 (J_1h)

该组地层通常分为三段,自下而上颜色由红变绿再变黑,主要是一套砂、泥岩和砾岩,上部夹有煤层和炭质泥岩。

(2) 下侏罗统小煤沟组 (J_1x)

为一套杂色砂、泥岩和砾岩,以及黑灰色砂质页岩,夹炭质泥岩和煤层。

(3) 下侏罗统大煤沟组一、二段 (J_1d^{1-2})

以黑色炭质页岩为主,上部见有棕灰色油页岩和煤层,下部为砂砾岩。

(4) 中侏罗统大煤沟组三—七段 (J_2d^{3-7})

为一套灰、灰绿、灰黑色泥岩、炭质泥岩,土黄色砂砾岩,中部夹煤层,上部见油页岩。

(5) 上侏罗统采石岭组 (J_3c)

浅蓝灰色泥质粉砂岩,夹砾石层。

(6) 上侏罗统红水沟组 (J_3h)

以棕红色、棕灰色砾状砂岩为主,夹粉砂质泥岩及泥质粉砂岩。

1.1.3.3 白垩系

白垩系是指犬牙沟群,为一套陆相红色碎屑岩系,出露于盆地北缘山区。据地震地层学研究,在盆地内部深层可能也有白垩系的分布。

1.1.3.4 第三系

(1) 古新一始新统路乐河组 ($E_{1+2}l$)

南14井视厚度60 m(井未见底)。岩性以灰色、棕灰色泥岩、钙质泥岩为主,夹棕红、棕褐色泥岩、砂质泥岩、钙质粉砂岩。该组地层沉积时期为柴达木第三纪湖盆的发生时期,进入第三纪后,青藏高原开始抬升,在印度洋板块向欧亚板块俯冲过程中,在盆地西部的阿尔金山前和昆仑山前一带相对沉降较快,形成坳陷湖盆,但较深湖相仅限于七个泉、狮子沟、南翼山一带。而在盆地其他地区则广泛地分布洪泛和河流相红色碎屑沉积。

(2) 渐新统下干柴沟组下段 (E_3x^1)

南14井底界深度4500 m,视厚度435 m。与下伏地层呈整合接触。岩性特征:上部

以棕红、棕褐色泥岩、砂质泥岩、钙质粉砂岩为主，夹少量的泥质粉砂岩；中下部以棕褐色、棕灰色砂质泥岩和灰白色钙质粉砂岩为主，夹少量棕红色、灰色泥岩、砂质泥岩、钙质泥岩薄层。该时期湖水面积扩大，但半深湖区仅于七个泉、狮子沟、南翼山一带。这一地区存在好气源岩。在阿尔金斜坡带沉积受南北向的古构造控制，古地形坡度较陡，边缘冲积扇入湖后，很快进入半深湖区，形成湖底扇或扇三角洲。从而导致这一地区沉积的一个明显特征就是相带窄，相变快，在岩相上表现为平面上粗细相带直接接触的现象较为普遍。在北缘地区古地形坡度则更为平缓，主要分布三角洲相和滨浅湖相沉积，局部见有风暴沉积。

(3) 渐新统下干柴沟组上段 (E_3x^2)

南14井底界深度4065 m，视厚度1115 m。与下伏地层呈整合接触。该段可细分为上、中、下三段。上段为深灰色泥岩和灰白色、浅灰色、灰色灰质粉砂岩呈不等厚互层；中段主要为深灰色、暗紫色、棕红色泥岩和含灰质粉砂岩呈不等厚互层；下段以深灰色泥岩，灰黄色灰质泥岩和泥灰岩为主，夹薄层灰质粉砂岩。该组段沉积时期，湖水面积进一步扩大，半深湖区在七个泉、狮子沟至茫崖一带，南翼山一带为半深湖—深湖相沉积，北缘地区则以滨、浅湖亚相沉积更为发育，局部见三角洲相沉积。其他广大地区则为滨、浅湖亚相沉积及三角洲相沉积。在湖相沉积区内，发育有好烃源岩。

(4) 中新统上干柴沟组 (N_1s)

南1井视厚度975 m。该段可细分为上、中、下三段。上段主要为灰色泥岩和灰黄色灰质泥岩互层，中段为灰色泥灰岩和灰黄含灰质泥岩呈不等厚互层，下段主要为泥岩和灰质粉砂岩呈不等厚互层。上干柴沟组下段沉积时期，柴达木湖盆面积最为广阔，半深湖区仍然在狮子沟至茫崖一带，但分布面积更为广泛，在咸水泉至小梁山地区分布有半深湖亚相沉积，也就是说该时期表现为多个沉降中心。油泉子、南翼山一带为水下隆起带，发育浅湖滩坝亚相沉积，其他地区的沉积相类型基本上没有大的变化。上干柴沟组上段沉积时期由于柴西南缘昆仑山的抬升，湖盆开始由南向北、由西向东迁移，由于油泉子—南翼一带水下隆起的存在，半深湖亚相在西部地区分布不连续，分布面积也有所减小，分别位于狮子沟至茫崖北部地区、咸水泉及小泉子、尖顶山一带，西部跃进地区三角洲相展布向盆内延伸更远，阿尔金山前咸水泉至月牙山一带仍是以边缘相带快速入湖形成的窄相带为特征。北缘地区还是表现为缓坡条件下的滨浅湖和三角洲相沉积。

(5) 上新统下油砂山组上段 (N_2x^1)

南1井视厚度914 m。岩性主要以灰色泥岩为主，夹（含粉砂）藻灰岩、粉砂质（泥质）泥晶灰岩和灰质（泥质）粉砂岩层，亦是本区主要含油层段。该段可细分为上、中、下三段。上段为灰色泥岩和灰黄色泥灰岩，中段主要为灰黄色泥灰岩和含灰质泥岩互层，下段以灰色泥岩、泥灰岩和灰质泥岩为主。与下伏地层整合接触。上油砂山组沉积时期，昆仑山迅速抬升，湖盆面积迅速缩小，第三纪湖盆进入收缩期，半深湖相在下油砂山组下段沉积时期，仅分布在茫崖附近，至下油砂山组上段沉积时期，沉积中心往茫崖东部迁移，且分布更为局限。在阿尔金山前西段的扇三角洲、三角洲相沉积分布面积逐渐变小，并向山前逐渐收缩。沉积相特征变化较大的要数西部跃进地区，由于昆仑山的抬升和湖水的减退，该地区古地形坡度变陡，河流作用相对增强，在古阿拉尔水系的作用下形成水退环境下的扇三角洲相沉积，并且向盆地内部延伸更远。北缘地区河流作用增强，三角洲相