

柴达木盆地 及其周缘

山系盆山耦合与构造演化

陈宣华 党玉琪 尹 安 汪立群 等著



地质出版社

地质力学研究所基本科研业务费项目 联合资助
海油田分公司科技项目

柴达木盆地及其周缘山系 盆山耦合与构造演化

陈宣华 党玉琪 尹安 汪立群
蒋武明 蒋荣宝 周苏平 刘明德 著
叶宝莹 张敏 马立协 李丽

地质出版社

· 北京 ·

内 容 提 要

柴达木盆地是青藏高原内部大型中、新生代含油气盆地。本专著应用地质热年代学方法和前陆盆地断层相关褶皱理论,研究了柴达木盆地周缘阿尔金山、祁连山、东昆仑山和柴达木盆地东部山系的构造演化,及其与柴达木盆地的盆山耦合关系,重新解释了部分地震勘探剖面,重点解剖了柴北缘逆冲断层系和典型构造区,建立了柴北缘被动顶板双重构造控制、以三角楔形体为主的厚皮构造型式,探讨了断裂构造体系的形成演化及其对柴达木盆地的控制作用,提出新生代柴达木盆地作为柴北缘逆冲断层系的陆内前陆盆地和东昆仑逆冲断层系的背驮式盆地的新认识,为柴北缘中西段油气勘探提出了有利预测区。

本书可供地学科研人员和相关院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

柴达木盆地及其周缘山系盆山耦合与构造演化 / 陈
宣华等著. —北京:地质出版社, 2010. 8
ISBN 978 - 7 - 116 - 06800 - 1

I. ①柴… II. ①陈… III. ①柴达木盆地 - 地质构造 -
研究 IV. ①P618. 130. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 149130 号

CHAIDAMU PENDI JIQI ZHOUYUAN SHANXI PENSHAN OUHE YU GOUZAO YANHUA

责任编辑: 宫月萱 孙亚芸

责任校对: 杜 悦

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)82324569 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 刷: 北京天成印务有限责任公司

开 本: 889mm × 1194mm 1/16

印 张: 23.5 插 页: 1

字 数: 730 千

版 次: 2010 年 8 月第 1 版

印 次: 2010 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 80.00 元

书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 06800 - 1

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行处负责调换)

前 言

中国石油青海油田分公司勘探开发研究院委托中国地质科学院地质力学研究所和美国加利福尼亚大学洛杉矶分校(UCLA)地球与空间科学系进行了柴达木盆地构造几何的再造(编号:ZLJL-7.2-13)和柴达木盆地北缘逆冲断层系及相关褶皱研究(编号:QHKT/JL-03-14),对柴达木盆地地质构造以及大煤沟以西和阿尔金山以东、俄博梁三号以北的柴达木盆地北缘中西段地区进行了系统深入的构造演化与热年代学研究。在此基础上,中国地质科学院地质力学研究所基本科研业务费项目(编号:DZLXJK200703)资助进行了柴达木盆地及其周缘山系盆山耦合与构造演化的进一步研究工作。同时,地质力学研究所课题组主要成员与加利福尼亚大学洛杉矶分校地球与空间科学系等进行了中美合作新生代阿尔金断裂系滑移量、滑移速率和滑移量分配研究(编号:DF2001CB711001)。本书是在上述项目研究成果基础上编写而成。

柴达木盆地是世界屋脊——青藏高原内部最大的、沉积巨厚的山间盆地,也是我国西部一个大型的中、新生代含油气盆地。地貌上,柴达木盆地周缘分别被祁连山、东昆仑山和阿尔金山所限,具有特殊的盆山构造格局和岩石圈板块地球动力学背景。构造上,柴达木盆地的北西边界是左行走滑的阿尔金断裂,东北边界为祁连山-南山逆冲断层带,南界为东昆仑山及其西部的祁漫塔格逆冲断层带。柴达木盆地被认为是一个大型的叠含含油气盆地,具有多沉积物源、岩相复杂多变、构造活动频繁的特点,保存了完整的新生代沉积作用记录。近年来,由于柴达木盆地北缘高压超高压变质带和盆山耦合构造体系研究的兴起,使得柴达木盆地及其北缘地区成为国际地学研究的热点之一。

20世纪50年代,孙殿卿先生等利用地质力学观点,根据旋卷构造的分析,深入研究和探讨了柴达木盆地的地质构造和新生代变形问题,对柴达木盆地新生界背斜所显示的雁行排列和反“S”形构造进行了详细而深入的经典研究。后来的区域构造研究显示,柴达木盆地在新生代以前很可能与西北侧的塔里木地块为一体,而周缘山系是在新生代才逐渐抬升的,从而使得柴达木盆地具有陆内前陆盆地或称之为中国型盆地的特征。

由于其面积之大,海拔之高,新生代沉积物又如此之厚,所以柴达木盆地的成因一直是青藏高原发育历史中一个还没有解决的重大问题,多年来一直存在争议。目前,关于柴达木盆地的成因主要有以下几种模式和观点:复向斜模式认为,柴达木盆地是一个大的新生代复向斜,是一个沿中地壳滑脱带拆离的褶皱带;阶梯跳跃与澡盆充填模式认为,柴达木盆地是一个在中新世的时候由于青藏高原北缘不连续、阶梯跳跃式的高原生长而被“捕获”的盆地;推拉门模式认为,柴达木盆地是由于阿尔金断裂新生代左行走滑作用而使得阿尔金山沿断裂向西南方向的推拉门式递进运动以及东昆仑和祁连山新生代逆冲断层带的发育而被关闭的盆地;更有学者推测,柴达木盆地是从青藏高原西部的帕米尔向东挤出的结果。柴达木盆地的形成与演化,与印度-亚洲大陆碰撞、青藏高原隆升等显著的新生代地质过程存在着紧密的动力学联系。

盆地和山岭是岩石圈动力学作用下两种主要的地貌形态和地壳结构,是岩石圈变形的两个侧面。盆地与造山带之间存在着构造上的耦合性、旋回上的反转性和沉积上的互补性。作为陆内前陆盆地,柴达木盆地与周缘造山带构成了一个在统一构造应力场作用下的盆山耦合构造体系,具有深部构造的垂向耦合关系,以及平面上的构造组合关系。总体上,柴达木盆地是祁连山-南山(特别是柴达木盆地北缘)逆冲断层系的前陆盆地,同时也是东昆仑山逆冲断层系的背驮式盆地。

柴达木盆地北缘具有典型的新生代陆内前陆盆地性质,而在中生代可能具有伸展盆地的性质,侏

罗系烃源岩发育,是柴达木盆地重点勘探地区之一。由于断层活动与生烃、排烃时期是否匹配是确定断层封闭性的关键,而断层相关褶皱是可能的最有利的构造圈闭,突破断层和导油构造对油气的改造和分配具有重要的控制作用,因此,柴达木盆地北缘逆冲断层系及相关褶皱的研究在柴达木盆地油气资源勘查中具有重要意义。

本书是关于柴达木盆地及其周缘山系的盆山耦合与构造演化的一部专著。在柴达木盆地类型、构造体系划分、盆地周缘断裂系统和盆山耦合关系分析的基础上,应用国内外先进的地质热年代学方法和前陆盆地断层相关褶皱理论,研究了柴达木盆地周缘阿尔金山、祁连山、东昆仑山和柴达木盆地东部山系的深成岩浆活动、区域热演化历史和构造演化,特别是东昆仑山脉的隆升历史,以及各个山系与柴达木盆地的盆山耦合关系;深入研究了柴达木盆地周缘阿尔金断裂、柴达木盆地北缘逆冲断层系、柴达木盆地东部逆冲断层系等地质构造特征、变形序列和演化历史,探讨了走滑和逆冲断裂在柴达木盆地形成与演化过程中所起的作用,以及逆冲断层系三维几何形态中走滑与逆冲断层的关系,有利于增强对青藏高原构造演化过程、柴达木盆地成因和印-亚板块碰撞远程效应的认识;根据现有的地震勘探资料,结合地表地质调查,进行了柴达木盆地反射地震剖面的构造解释、柴达木盆地北缘典型构造解剖和平衡剖面的制作,建立了柴达木盆地北缘的构造格架和构造样式,特别是柴达木盆地北缘以被动顶板双重构造所形成的三角楔形体构造为主的厚皮构造型式,分析了从柴达木盆地西部到东部的地壳缩短量及其变化,探讨了柴达木盆地北缘逆冲断层系的发育与新生代前陆盆地的形成之间的关系,厘定了柴达木盆地的构造性质,提出了柴达木盆地北缘为典型的中生代伸展盆地群和新生代陆内前陆盆地的认识,从而深化了柴达木盆地中、新生代构造演化的研究。最后,本书结合国际上断层相关褶皱理论在油气勘探中成功应用的实例,为柴达木盆地北缘中西段油气勘探提出了有利预测区。通过三维构造分析技术,特别是双重构造、低角度逆冲断层和三角剪切带等的识别,为柴达木盆地的油气勘探提供了新的思路。

本书由陈宣华执笔,全部作者均参加了部分工作。本项研究工作得到了中国石油青海油田公司领导、支持和关怀,并得到青海油田公司勘探开发研究院和东方地球物理公司研究院地质研究中心敦煌办事处的大力协助、积极支持和热情帮助,并提供了地震剖面资料。青海油田公司徐凤银、陈志勇、马达德、陈新领、江波、彭德华、冯云发、刘云田、高荐、孙立平、司道志、王文第、管志强、濮人龙、梅建森、聂占业、张金岗、许常兴、王铁成、王永秀、唐瑞英、彭晓群、张道伟、尹成明、张启全、张跃中、吴光大、马文雄、谭彦虎、宋兵、杨刚、薛建勤、申玉山、杨乾政、张聚生、靳春花、谢建民等和东方地球物理公司研究院敦煌分院陈元忠、王云波等做了大量实际工作和重要贡献。中国地质科学院、中国地质科学院地质力学研究所和中国地震局地质研究所的领导和专家们对本项研究工作给予了大力支持与热情帮助。中国地质科学院地质力学研究所王小凤、周显强、马寅生、陈柏林、陈正乐、武红岭、区明益、霍光辉、李会军、李国岐、施炜、王连庆、田晓娟、张西娟等,美国亚利桑那大学地球科学系 George Gehrels 等,加利福尼亚大学洛杉矶分校地球与空间科学系 Craig E. Manning、Carrie A. Menold、Michael W. McRivette、William Paul Burgess 和 Stephanie M. Briggs 等,加利福尼亚大学戴维斯分校地质学系 Eric S. Cowgill 和 Ryan D. Gold 等及亚利桑那州立大学地球与空间探测学院 Ramon Arrowsmith 等参加了部分野外和室内研究工作。本研究 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年在亚利桑那大学地球科学系激光测年中心完成。中国地震局地质研究所、国家地质实验测试中心、国土资源部同位素地质重点实验室完成了部分样品的测试分析。本研究分别得益于孙殿卿院士和马宗晋院士对本书第一作者在博士生学习阶段(1996~2000)和博士后工作阶段(2004~2007)的教诲和指导。作者在此一并表示衷心感谢。

目 录

前 言

第一章 柴达木盆地地质概况与构造体系特征	(1)
第一节 概 述	(1)
第二节 盆地类型与构造单元划分	(5)
一、盆地类型	(5)
二、构造单元划分	(6)
第三节 柴达木盆地基底	(6)
一、结晶基底	(6)
二、未变质和浅变质基底	(7)
三、基底岩浆活动	(7)
第四节 中生代地层与沉积特征	(10)
一、侏罗系	(10)
二、白垩系	(11)
三、中生界沉积特征	(12)
第五节 新生代地层与沉积特征	(12)
一、古近系—新近系	(13)
二、古近系—新近系沉积特征	(13)
三、第四系及其沉积特征	(14)
第六节 构造体系基本特征及其演化	(15)
一、早古生代阿尔金—柴北缘沟—弧—盆构造体系	(15)
二、晚古生代西域系	(16)
三、二叠纪—三叠纪古特提斯构造体系	(16)
四、中生代伸展构造体系	(17)
五、阿尔金走滑断裂系	(17)
六、柴北缘逆冲断层系	(18)
七、柴达木盆地褶皱—逆冲断层系	(18)
八、东昆仑逆冲断层系和昆仑走滑断裂系	(19)
九、温泉走滑断裂系	(20)
第二章 盆山耦合研究的地质热年代学方法	(21)
第一节 引 言	(21)
第二节 地质热年代学基础	(21)
第三节 地质热年代学方法	(24)
一、U—Pb 地质年代学	(24)
二、Sm—Nd 地质年代学	(26)
三、Rb—Sr 地质年代学	(28)
四、Lu—Hf 地质年代学	(29)
五、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法和钾长石 MDD 模拟	(29)

六、裂变径迹热年代学	(31)
七、(U-Th)/He 定年技术与氦热年代学	(34)
八、铀系法定年	(35)
九、放射性碳 (^{14}C) 测年	(36)
十、宇宙成因核素定年	(36)
第四节 与沉积作用有关的地质热年代学	(38)
一、碎屑矿物热年代学	(38)
二、沉积成岩作用的高精度定年	(41)
三、沉积盆地热年代学	(42)
第五节 小结	(42)
第三章 断层相关褶皱理论与平衡剖面技术	(43)
第一节 前陆逆冲断层带与前陆盆地	(43)
一、前陆褶皱-逆冲断层带及其板块构造环境	(43)
二、前陆盆地	(44)
三、陆内前陆盆地	(45)
第二节 与逆冲断层系相关的褶皱及其分类	(46)
一、断弯褶皱	(47)
二、断展褶皱	(50)
三、断滑褶皱	(51)
四、基底卷入构造	(53)
五、生长地层	(53)
六、逆冲叠瓦状断弯褶皱	(53)
七、双重构造	(54)
八、楔形构造带	(55)
九、干涉构造	(57)
第三节 断层相关褶皱运动学模型	(57)
一、膝折带迁移模型	(58)
二、递进翼旋转模型	(58)
三、三角剪切带模型	(58)
第四节 地震剖面解释和平衡剖面制作的基本原则	(60)
一、地震剖面层位标定	(60)
二、地震剖面解释的基本步骤	(61)
三、逆冲断层带地震剖面解释的基本原则	(62)
四、平衡剖面解释的基本步骤	(62)
五、地震剖面的时-深转换	(62)
六、地质平衡剖面制作	(62)
七、平衡剖面解释的快速检验	(63)
八、平衡剖面的恢复	(63)
九、构造趋势分析	(64)
第五节 小结	(64)
第四章 阿尔金山构造演化与盆山耦合	(65)
第一节 阿尔金山地质概况	(65)
第二节 区域岩浆活动与构造热事件	(67)
一、区域岩浆活动	(67)

二、构造热事件	(72)
第三节 构造体系及其演化	(74)
一、构造体系的划分	(74)
二、构造体系的演化	(76)
第四节 中生代伸展构造——拉配泉断裂	(77)
第五节 阿尔金断裂系	(80)
一、阿尔金断裂系的构成与展布特征	(80)
二、阿尔金断裂系运动学特征与力学性质	(80)
三、古地磁研究揭示的阿尔金断裂系运动学特征	(81)
四、关于阿尔金断裂右行走滑运动的讨论	(83)
五、阿尔金断裂滑移量和滑移速率	(83)
六、阿尔金断裂系的形成时代	(85)
七、现今地壳运动	(89)
八、阿尔金走滑断裂系对柴达木盆地发育的控制作用	(89)
第六节 阿尔金山与柴达木盆地的盆山耦合	(90)
第五章 祁连造山带构造演化与盆山耦合	(92)
第一节 祁连造山带基本地质特征	(92)
一、北祁连造山带	(92)
二、中祁连地体	(94)
三、南祁连造山带	(95)
四、柴达木盆地北缘	(95)
第二节 柴达木盆地北缘前中生代基底性质	(99)
一、达肯大坂群	(99)
二、滩间山群	(101)
三、蛇绿岩套	(102)
第三节 柴达木盆地北缘岩浆活动	(105)
第四节 榴辉岩与高压-超高压变质作用	(106)
一、榴辉岩产状和变质特征	(106)
二、高压-超高压变质作用年代学	(107)
三、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 热年代学	(107)
四、榴辉岩的折返和剥露过程	(107)
第五节 古生代以来构造格架	(112)
一、早古生代构造格架	(112)
二、晚古生代构造格架	(113)
三、中生代构造格架	(113)
四、新生代构造格架	(113)
五、新生代和古生代变形的相互作用	(113)
第六节 祁连山与柴达木盆地的盆山耦合	(115)
第六章 东昆仑造山带构造演化与盆山耦合	(116)
第一节 概述	(116)
第二节 东昆仑造山带变质基底与岩浆活动	(117)
一、变质基底	(117)
二、岩浆活动	(117)
第三节 昆仑断裂与东昆仑-柴达木南缘逆冲断层系	(118)

一、昆仑断裂	(118)
二、东昆仑 - 柴达木南缘逆冲断层系	(121)
三、昆仑断裂与东昆仑 - 柴达木盆地南缘逆冲断层系的关系	(127)
第四节 东昆仑 - 柴达木盆地南缘逆冲断层系活动的热年代学证据	(128)
一、样品描述	(128)
二、实验条件与结果	(133)
三、热历史模拟	(136)
四、FT 测年揭示的东昆仑山构造活动期次	(136)
五、东昆仑隆升、青藏高原生长及其与气候变化的关系	(139)
第五节 东昆仑山和柴达木盆地南缘的活动构造	(141)
一、水系型式	(141)
二、构造地貌分析和卫星照片解译	(143)
第六节 东昆仑山脉隆升、高原生长与盆 - 山耦合	(143)
第七节 小 结	(145)
第七章 柴达木盆地东部构造演化与盆山耦合	(147)
第一节 柴达木盆地东部地质概况	(147)
一、柴达木盆地东部变质基底	(147)
二、柴达木盆地东部前中生代地层	(147)
三、柴达木盆地东部中、新生代地层与沉积环境	(149)
第二节 柴达木盆地东部构造地质特征	(149)
一、柴达木盆地东部逆冲断层系	(149)
二、温泉断裂带	(150)
三、共和盆地	(152)
第三节 柴达木盆地东部岩浆活动的 U - Pb 年代学	(152)
一、区域岩浆活动概述	(152)
二、样品采集与描述	(153)
三、样品制备与测试条件	(156)
四、LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 分析结果	(157)
五、柴达木盆地东部基底岩浆活动的期次划分	(179)
六、柴达木盆地东部基底与盆地周缘其他地区岩浆活动之间的关系	(180)
七、从岩浆活动的空间分布看柴达木盆地基底的缩短变形	(181)
第四节 柴达木盆地东部岩浆活动的成因探讨	(182)
一、岩石地球化学特征	(182)
二、同位素示踪	(191)
第五节 柴达木盆地东部断裂发育历史的裂变径迹测年	(197)
一、实验条件	(197)
二、FT 测年结果	(198)
三、FT 测年和热历史模拟揭示的断裂活动历史	(202)
第六节 柴达木盆地东部区域冷却历史	(206)
第七节 小 结	(207)
第八章 柴达木盆地中、新生代构造演化	(209)
第一节 概 述	(209)
第二节 地震反射层的标定	(209)
第三节 穿盆地震剖面的构造解释	(212)

一、CDM-7 剖面 (柴达木盆地西部)	(212)
二、CDM-160 剖面	(214)
三、CDM-200 剖面	(217)
四、CDM-246 剖面	(219)
五、CDM-330 剖面	(220)
六、CDM-392 剖面	(222)
七、横穿柴达木盆地地震剖面解释的主要认识	(225)
第四节 中、新生代沉积作用及其演化	(226)
一、侏罗-白垩纪伸展断陷-挤压拗陷沉积阶段	(226)
二、古近纪-新近纪拗陷沉积阶段	(226)
三、第四纪拗陷沉积阶段 (2.6Ma 至今)	(230)
第五节 柴达木盆地成因与新生代构造演化	(230)
一、中生代变形	(230)
二、新生代变形: 通过天山方式形成青藏高原	(231)
三、前陆盆地与轴心盆地	(233)
四、柴达木盆地变形作用与阿尔金断裂活动之间的关系	(234)
五、上地壳变形与下地壳变形之间的关系	(235)
第六节 小 结	(238)
第九章 柴达木盆地北缘逆冲断层系及断层相关褶皱	(239)
第一节 柴达木盆地北缘逆冲断层系构造特征	(239)
一、赛什腾山逆冲断层带	(239)
二、赛南逆冲断层带	(241)
三、绿梁山逆冲断层带	(244)
四、柴达木山逆冲断层带	(249)
五、锡铁山逆冲断层带	(250)
六、埃姆尼克山和欧龙布鲁克逆冲断层带	(250)
七、褶皱-断层的三维形态——走滑与逆冲的关系	(252)
八、柴达木盆地北缘逆冲断层系构造演化与沉积历史	(253)
第二节 柴达木盆地北缘骨干地震剖面的结构特征	(257)
一、主干剖面的结构特征	(257)
二、侧向断坡	(276)
三、区域构造纲要	(277)
第三节 柴达木盆地北缘逆冲断层系的形成时代与运动学历史	(277)
第四节 柴达木盆地北缘的形成与青藏高原生长之间的关系	(280)
第五节 柴达木盆地北缘中、新生代盆地沉积与构造演化	(281)
一、柴达木侏罗纪原型沉积盆地的形成	(281)
二、中-晚侏罗世拗陷盆地	(283)
三、白垩纪晚期 (晚燕山运动) 的构造变形	(283)
四、柴达木盆地北缘逆冲断层系的发育与新生代前陆盆地的形成	(284)
第六节 小 结	(285)
第十章 柴达木盆地北缘典型构造区带断层相关褶皱	(286)
第一节 冷湖构造带	(286)
一、概 况	(286)
二、Line 剖面	(286)

三、Trace 剖面	(295)
四、构造特征及其演化	(297)
五、圈闭条件、油藏类型及油气成藏潜力分析	(301)
第二节 潜伏构造带	(301)
一、剖面构造特征	(302)
二、构造特征及其演化	(310)
三、油气成藏潜力分析	(311)
第三节 南八仙地区	(312)
一、概 况	(312)
二、Trace 剖面	(312)
三、Line 剖面	(313)
四、构造特征及其演化	(317)
五、圈闭条件、油气藏类型及油气成藏潜力分析	(319)
第四节 尕丘地区	(319)
一、地质概况	(319)
二、与区域构造线垂直的地震剖面	(319)
三、与区域构造线平行的地震剖面	(321)
四、构造特征及其演化	(321)
五、油气成藏潜力分析	(321)
第五节 小 结	(323)
第十一章 柴达木盆地北缘中西段油气有利区预测	(324)
第一节 断层相关褶皱理论在油气勘探中成功应用的实例	(324)
一、尼日尔三角洲多层拆离断层对圈闭的控制	(324)
二、马来西亚婆罗洲西北深海：活动褶皱和逆冲断层带油气聚集	(324)
三、委内瑞拉马拉开波盆地的山前深部构造	(326)
四、小 结	(329)
第二节 柴达木盆地北缘油气形成与聚集的生、储、盖条件分析	(330)
一、烃源岩	(331)
二、储集层	(334)
三、盖层	(334)
第三节 断层相关褶皱与储油构造分析	(335)
一、双重构造	(335)
二、主逆冲断层的下盘	(337)
三、生长地层的尖灭部位	(338)
四、断弯及断展背斜	(338)
第四节 柴达木盆地北缘中西段油气聚集有利区预测	(338)
结 语	(340)
参考文献及资料	(343)

第一章 柴达木盆地地质概况与构造体系特征

第一节 概 述

新生代喜马拉雅-青藏高原造山带由4个构造域组成。从南到北分别是夹在喜马拉雅主前缘逆冲断裂(MFT)、印度-雅鲁藏布缝合带(ITS)之间的喜马拉雅域, ITS与班公-怒江缝合带(BNS)之间的藏南域, BNS与柴达木盆地南缘之间的青藏高原中央域以及柴达木盆地南缘以北的青藏高原北缘域(图1-1)。青藏高原北缘域和中央域的一级新生代构造, 从北向南依次为: 北西延伸的祁连山-南山逆冲带, 北东走向的左行走滑阿尔金断裂系, 柴达木盆地, 东西延伸的昆仑-祁漫塔格逆冲带, 东西向左行走滑的昆仑断裂, 可可西里盆地以及风火山逆冲断裂带(图1-1)。

柴达木盆地是世界屋脊——青藏高原内部最大的、沉积巨厚的山间盆地(图1-1, 图1-2), 地处青藏高原北部, 总面积约 $1.2 \times 10^5 \text{ km}^2$, 其平均海拔为2500~3000m。柴达木盆地具有三角形几何形状, 北缘边界约650km, 南部边界约700km, 西部边界约300km。地貌上, 柴达木盆地周缘分别被祁连山、东昆仑山和阿尔金山所限, 具有特殊的盆山构造格局和岩石圈板块地球动力学背景。构造上, 柴达木盆地的西北边界是左行走滑的阿尔金断裂(Meyer et al., 1998; Yin et al., 2002; Cowgill et al., 2000, 2003, 2004a, b; Cowgill, 2007), 东北边界为祁连山-南山逆冲断层带(Burchfiel et al., 1989; Tapponnier et al., 1990), 南界为东昆仑山及其西部的祁漫塔格逆冲断层带(Tapponnier et al., 1990; Jolivet et al., 2003)。

柴达木盆地是我国西部一个大型的中、新生代含油气盆地, 也被认为是一个大型的叠合含油气盆地(张一伟等, 2004), 而柴达木盆地北缘地区是青海省重要的含煤区之一(曹代勇等, 2007)。柴达木盆地具有多沉积物源、岩相复杂多变、构造活动频繁的特点, 保存了完整的新生代沉积作用记录, 其陆相中、新生界沉积厚度一般为6~7km, 部分地区可达10km以上至16km。因此, 柴达木盆地是许多沉积学和地层学研究的重要对象(Bally et al., 1986; Wang & Coward, 1990; Song & Wang, 1993; 黄汉纯等, 1996; 张渝昌, 1997; Metivier et al., 1998; Xia et al., 2001; Yin et al., 2002; Sobel et al., 2003; Sun et al., 2005; Rieser et al., 2005, 2006a, b; Zhou et al., 2006)。例如, 前人通过分析地层厚度的分布(黄汉纯等, 1996), 古水流分析(Hanson, 1999), 岩相学(张渝昌, 1997), 砂岩岩石学(Rieser et al., 2005), $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 碎屑云母年龄(Rieser et al., 2006a, b), 建立了柴达木盆地新生代沉积和演化历史。此外, 前人通过化石(如孢粉和介壳类等)记录的详细研究、全盆地地震剖面的层序对比、磁性地层学和碎屑颗粒的裂变径迹定年(青海省地质矿产局, 1991; Yang, 1988; Yang et al., 1992, 1997; Song & Wang, 1993; 黄汉纯等, 1996; Xia et al., 2001; Qiu, 2002; Sun et al., 1999; Sun, 2005)等, 研究了柴达木盆地的年代地层学。这些研究认为, 柴达木盆地新生代沉积作用在西部首先沉积古新世和早始新世地层, 然后向东扩展, 在东部沉积了中新世和上新世地层, 而其主要的沉积中心一直稳定地处在盆地的中部。

柴达木盆地岩石圈的力学强度显得非常的强, 其有效弹性厚度(T_e)约为70km, 远远大于青藏高原其他部位的有限弹性厚度(T_e 值一般在10~30km左右)(Braitenberg et al., 2003)。可能是由低的地热梯度或明显不同的岩石圈组成, 使得柴达木盆地具有如此异常高的强度。例如, 新生代期间, 柴达木盆地地幔岩石圈可能表现为在东昆仑山和祁连山之下向下俯冲的岩片, 由于缺少地幔的热

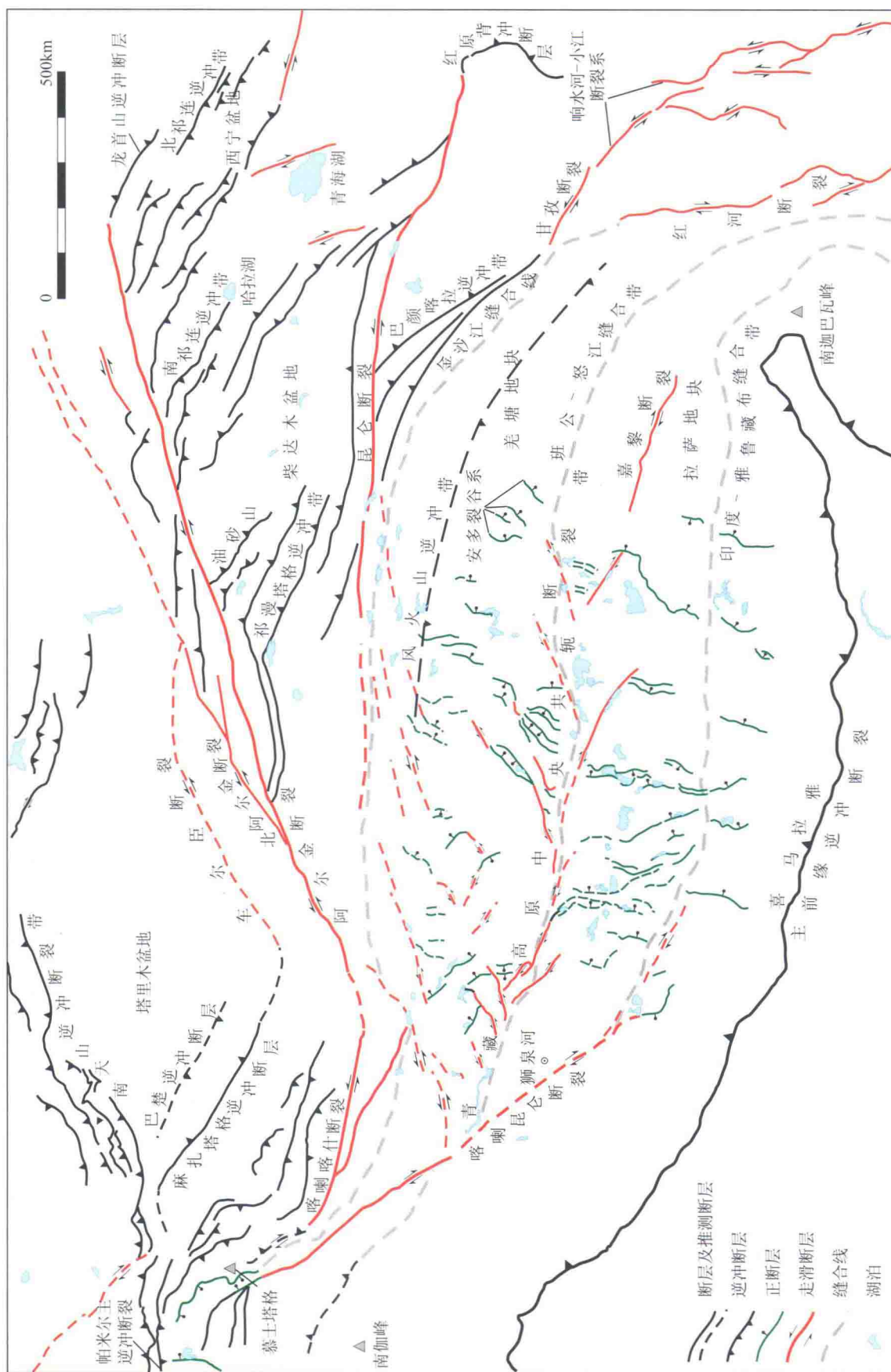


图 1-1 青藏高原新生代构造地质图

(据Taylor et al., 2003; Yin et al., 2007a, 2007b, 2008a, 2008b, 2008c, 修改)

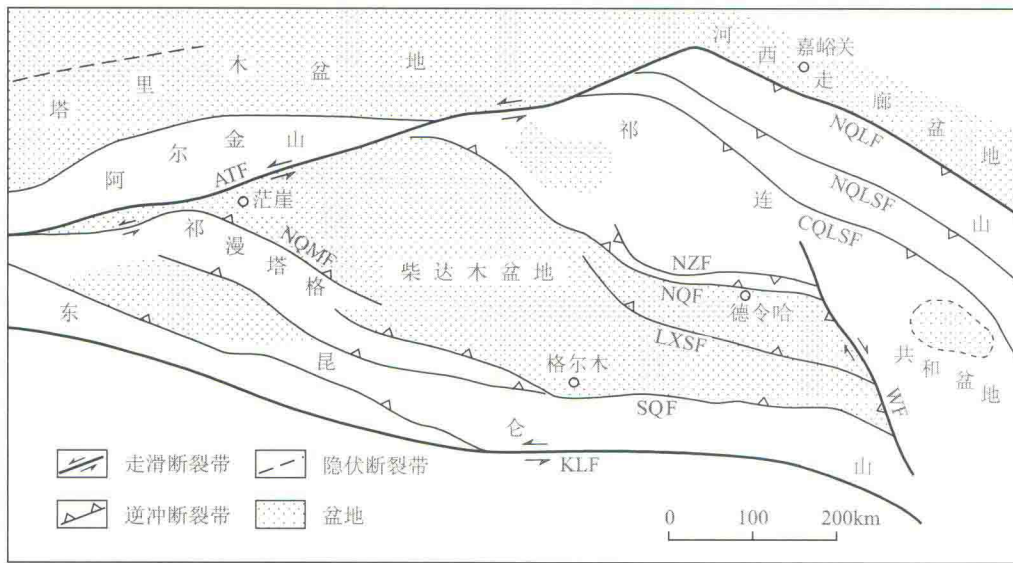


图 1-2 柴达木盆地及周缘造山带区域断裂系统

(据汤良杰等, 2002, 修改)

NQLF—北祁连山前断裂带; NQLSF—北祁连山南缘断裂带; CQLSF—中祁连山南缘断裂带; NZF—北宗务隆山断裂带; NQF—柴北缘断裂带; LXSF—绿梁山—锡铁山南缘断裂带; NQMF—祁漫塔格北缘断裂带; SQF—柴达木南缘断裂带; KLF—昆仑断裂带; ATF—阿尔金断裂带; WF—温泉断裂带(也称为鄂拉山断裂带)

干扰, 柴达木盆地保持了冷的地热梯度。或者, 柴达木盆地可能具有海洋性质的地壳组成 (Hsü, 1988; Gehrels et al., 2003a, b), 或缺乏下地壳流体 (Jackson et al., 2004), 使得它具有异常的强度。然而, 尽管柴达木盆地具有如此高的强度, 其地壳厚度却是青藏高原上最薄的, 根据多项地震研究, 地壳厚度只有约 45km (Zhu & Helmberger, 1998; Zhao et al., 2006; S. L. Li et al., 2006; 李永华等, 2006)。

根据盆地中部东西向过渡带, 柴达木盆地可以分为两个具有不同变形特征的构造单元。盆地西北部变形强烈, 盖层挤压缩短明显; 而南东部盖层变形较弱, 仅形成宽缓褶皱 (翟光明等, 2002; Zhou et al., 2006)。

柴达木盆地新生代变形的研究始于孙殿卿等 (1956, 1958, 1959), 他们利用地质力学观点深入研究和探讨了柴达木盆地的地质构造问题, 对柴达木盆地内新生界地层的背斜所显示的雁行排列和反“S”形构造进行了详细而深入的经典研究, 认为可以根据旋卷构造的分析而得到比较全面的解释。后来的区域构造研究显示, 柴达木盆地在新生代以前很可能与西北侧的塔里木地块为一体, 而周缘山系是在新生代才逐渐抬升的 (党玉琪等, 2003)。

柴达木盆地内部新生代变形表现为一系列北西走向褶皱的发育 (刘增乾, 1988; 图 1-3), 这些褶皱的核部可能是卷入基底的逆冲断层系, 它们向下插入到中地壳层次的近水平拆离滑脱面上 (Burchfiel et al., 1989)。柴达木盆地西部地区地表褶皱的表现最为明显, 其褶皱轴都近于垂直阿尔金断裂排列, 说明阿尔金断裂作用的强度十分弱, 因为褶皱排列方式要求最大主压应力的方向近于平行阿尔金断裂。基于古地磁观测, Dupont - Nivet et al. (2003) 也得出了同样的结论, 认为与阿尔金断裂活动有关的简单剪切应变集中在离断裂迹线小于 5 ~ 10km 的范围内。

盆地四周的古地磁研究揭示了新生代旋转的空间变化 (Dupont - Nivet et al., 2002; Chen et al., 2002; Halim et al., 2003; Sun et al., 2006)。盆地四周的变形作用具有穿时性。柴达木盆地西部的阿尔金断裂和柴西构造自始新世中期开始活动 (Bally et al., 1986), 而盆地西南部的逆冲断层作用开始于新近纪 (Song & Wang, 1993)。

由于其面积之大, 海拔之高, 新生代沉积物又如此之厚, 因而柴达木盆地的成因一直是青藏高原发育历史中一个还没有解决的重大问题, 多年来一直存在争议。Bally et al. (1986) 认为柴达木盆地

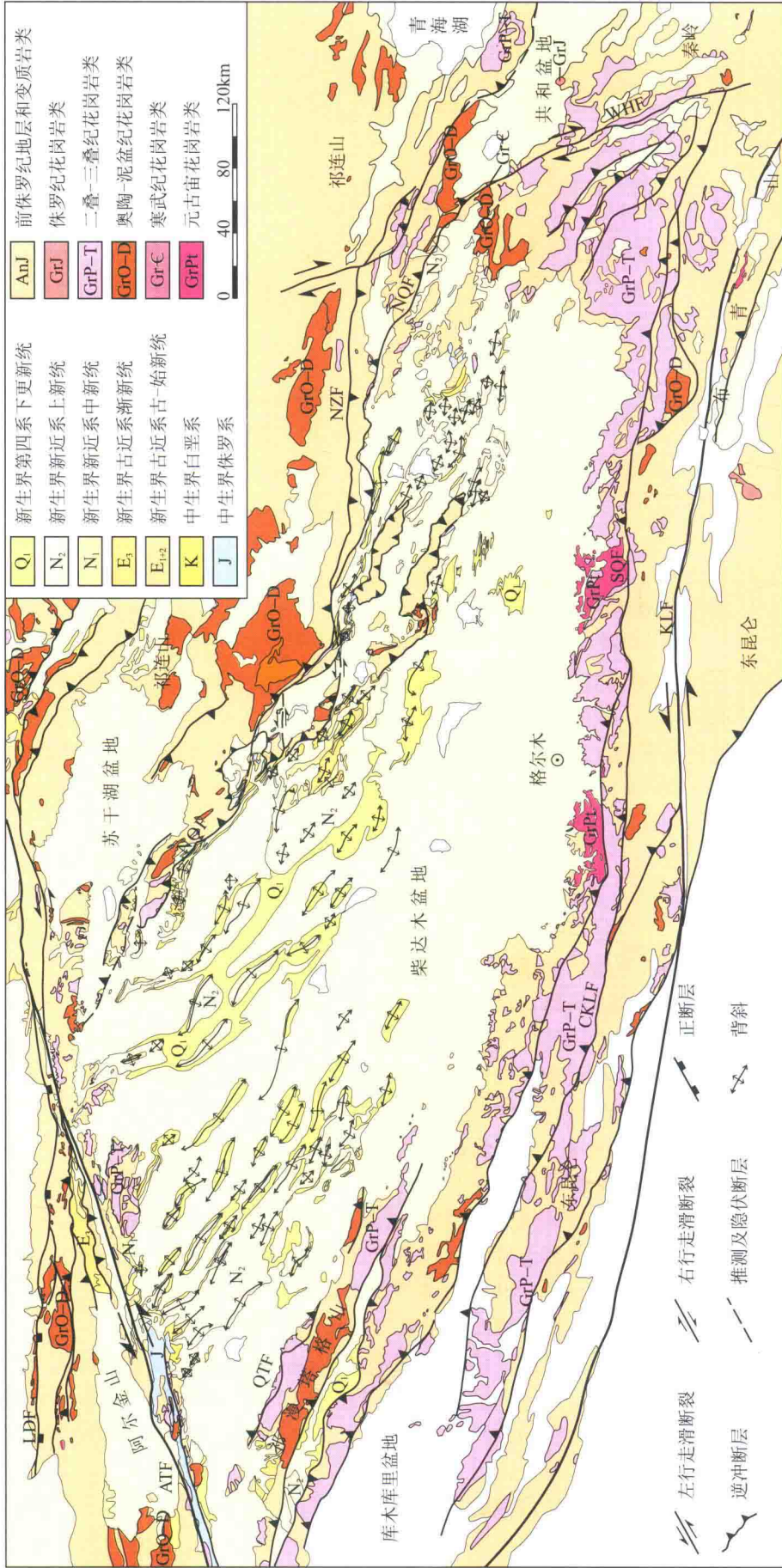


图 1-3 柴达木盆地地质构造简图

NZF—北宗务隆山断裂带; NOF—柴北缘断裂带; QTF—祁漫塔格北缘断裂带; SQF—柴达木南缘断裂带; KLF—昆仑断裂带; ATF—阿尔金山断裂带; WHF—哇洪山断裂带(温泉断裂带); LDF—拉配泉拆离断层; CKLF—中昆仑断裂带

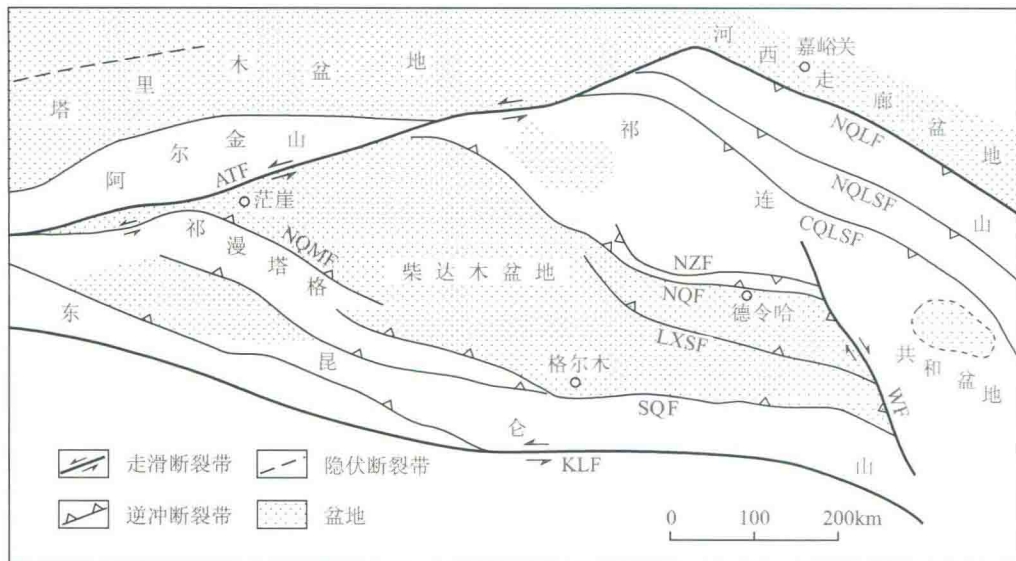


图 1-2 柴达木盆地及周缘造山带区域断裂系统

(据汤良杰等, 2002, 修改)

NQLF—北祁连山前断裂带; NQLSF—北祁连山南缘断裂带; CQLSF—中祁连山南缘断裂带; NZF—北宗务隆山断裂带; NQF—柴北缘断裂带; LXSF—绿梁山—锡铁山南缘断裂带; NQMF—祁漫塔格北缘断裂带; SQF—柴达木南缘断裂带; KLF—昆仑断裂带; ATF—阿尔金断裂带; WF—温泉断裂带(也称为鄂拉山断裂带)

干扰, 柴达木盆地保持了冷的地热梯度。或者, 柴达木盆地可能具有海洋性质的地壳组成 (Hsü, 1988; Gehrels et al., 2003a, b), 或缺乏下地壳流体 (Jackson et al., 2004), 使得它具有异常的强度。然而, 尽管柴达木盆地具有如此高的强度, 其地壳厚度却是青藏高原上最薄的, 根据多项地震研究, 地壳厚度只有约 45km (Zhu & Helmberger, 1998; Zhao et al., 2006; S. L. Li et al., 2006; 李永华等, 2006)。

根据盆地中部东西向过渡带, 柴达木盆地可以分为两个具有不同变形特征的构造单元。盆地西北部变形强烈, 盖层挤压缩短明显; 而南东部盖层变形较弱, 仅形成宽缓褶皱 (翟光明等, 2002; Zhou et al., 2006)。

柴达木盆地新生代变形的研究始于孙殿卿等 (1956, 1958, 1959), 他们利用地质力学观点深入研究和探讨了柴达木盆地的地质构造问题, 对柴达木盆地内新生界地层的背斜所显示的雁行排列和反“S”形构造进行了详细而深入的经典研究, 认为可以根据旋卷构造的分析而得到比较全面的解释。后来的区域构造研究显示, 柴达木盆地在新生代以前很可能与西北侧的塔里木地块为一体, 而周缘山系是在新生代才逐渐抬升的 (党玉琪等, 2003)。

柴达木盆地内部新生代变形表现为一系列北西走向褶皱的发育 (刘增乾, 1988; 图 1-3), 这些褶皱的核部可能是卷入基底的逆冲断层系, 它们向下插入到中地壳层次的近水平拆离滑脱面上 (Burchfiel et al., 1989)。柴达木盆地西部地区地表褶皱的表现最为明显, 其褶皱轴都近于垂直阿尔金断裂排列, 说明阿尔金断裂作用的强度十分弱, 因为褶皱排列方式要求最大主压应力的方向近于平行阿尔金断裂。基于古地磁观测, Dupont - Nivet et al. (2003) 也得出了同样的结论, 认为与阿尔金断裂活动有关的简单剪切应变集中在离断裂迹线小于 5 ~ 10km 的范围内。

盆地四周的古地磁研究揭示了新生代旋转的空间变化 (Dupont - Nivet et al., 2002; Chen et al., 2002; Halim et al., 2003; Sun et al., 2006)。盆地四周的变形作用具有穿时性。柴达木盆地西部的阿尔金断裂和柴西构造自始新世中期开始活动 (Bally et al., 1986), 而盆地西南部的逆冲断层作用开始于新近纪 (Song & Wang, 1993)。

由于其面积之大, 海拔之高, 新生代沉积物又如此之厚, 因而柴达木盆地的成因一直是青藏高原发育历史中一个还没有解决的重大问题, 多年来一直存在争议。Bally et al. (1986) 认为柴达木盆地

缘构造有关。柴达木盆地新生代沉积中心大部分位于盆地的中部或北部，向昆仑山方向沉积厚度逐渐减小。

因此，柴达木盆地是南祁连山（特别是柴北缘逆冲断层系）的前陆盆地，同时也是东昆仑山逆冲断层系的背驮式盆地。

二、构造单元划分

柴达木盆地构造单元的划分具有不同的方案。翟光明等（2002）认为，盆地西部分为昆北断阶带、中央拗陷带和北缘断阶带；盆地东部在柴达木地块内包括了昆中地体、昆北地体和柴达木盆地3个二级构造单元。张一伟等（2004）认为，柴达木盆地具有南北分带、东西分块的基本构造格局，可划分为北部块断带、茫崖拗陷、三湖拗陷和德令哈拗陷。

柴达木盆地内部构造具有明显的三分特点。根据地质构造发育历史的差异性，柴达木盆地可以划分为以下3个一级构造单元：北部祁连山前和南部昆仑山前地区均以指向南的冲断构造为特征，分别称为北部块断带和昆北断阶带；中部发育巨厚的中新生界，以褶皱构造为特点，称为中央拗陷（图1-2）。其中，中央拗陷又可分为西部拗陷（包括茫崖拗陷等）和东部拗陷（包括三湖拗陷等）。

北部块断带：位于盆地北部，北界为祁连山，南界为俄博梁-葫芦山构造带、陵间断裂、锡铁山-埃姆尼克山，包括赛北断陷、大红沟隆起、鱼卡-红山断陷和德令哈断陷4个二级构造单元，面积 $3.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

西部拗陷区：位于盆地西部，北界为阿尔金山，南界为昆仑山，东界为俄博梁-葫芦山、陵间断裂，鸭湖、伊克雅乌汝、那北、船形丘为西界，包括尕斯断陷、茫崖拗陷等5个二级构造单元，面积约 $2.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

东部拗陷区：位于盆地中部和东部地区，锡铁山-埃姆尼克山以南，昆仑山以北，西界以那北、船形丘为界，主要包括三湖拗陷，有时也把属于昆北断阶带的盐湖斜坡和格尔木斜坡计算在内，面积约 $3.48 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

第三节 柴达木盆地基底

柴达木盆地基底包括前震旦纪结晶基底（含奥陶纪-志留纪高级变质岩）和震旦纪-三叠纪未变质和浅变质基底两部分，属于双层基底（翟光明等，2002）。盆地基底中西部为浅变质的古元古界稳定型沉积建造及加里东期、海西期与印支期侵入岩；中部主要为古元古界结晶岩系；东部以欧龙布鲁克-察察香卡一线为界分为南、北两区，南区以晚泥盆世-石炭纪稳定型碎屑岩-碳酸盐岩沉积为主，北区则为石炭纪碳酸盐岩沉积，且均已遭受浅变质作用。

一、结晶基底

柴达木盆地的结晶基底可分为两种：一为前震旦纪的一套角闪岩相的深变质岩石（潘裕生等，1998），主要由太古宙-元古宙的片麻岩、片岩和大理岩造成，包括柴达木盆地南缘东昆仑的金水口群、白沙河岩群、小庙岩群、苦海杂岩（王国灿等，2004）和柴达木北缘的达肯大阪群深变质岩石，组成了中元古代形成的柴达木陆块以及北边古元古代形成的欧龙布鲁克古陆块（郝国杰等，2004）；二是早古生代形成的柴达木盆地北缘超高压变质片麻岩和榴辉岩带（Yang et al., 2001a, b; Song et al., 2005; Zhang et al., 2005），含高压和中低压基性麻粒岩（张建新等，2007a）。

柴达木陆块基底的主体，在柴达木盆地南缘为太古宙-古、中元古代白沙河岩群（或称为金水