

西天山造山带区域构造演化及其大陆动力学解析

于海峰, 王福君, 潘明臣, 梁有为, 郭洪方

(辽宁省地质勘查院, 辽宁 大连 116100)

摘 要: 西天山位于哈萨克斯坦-准噶尔板块与塔里木-华北板块两大板块之间, 在漫长的构造演化过程中历经前震旦纪基底形成演化阶段 (D1)、震旦纪至早奥陶世稳定陆壳发展阶段 (D2)、中奥陶世至石炭纪末板块裂解与再拼合阶段 (D3)、二叠纪陆陆叠覆造山阶段 (D4) 和中新生代盆地耦合阶段 (D5) 等 5 个大的发展阶段, 其古生代时期中奥陶世至石炭纪末板块裂解与再拼合阶段 (D3) 又可细化为 4 个次级演化阶段: 中奥陶世至晚志留世早古南天山洋盆形成阶段 (D3¹)、晚志留世至晚泥盆世俯冲造山阶段 (D3²)、晚泥盆世至早石炭世初陆陆碰撞造山阶段 (D3³) 和早石炭世至晚石炭世后碰撞阶段 (D3⁴)。西天山造山带自中新元古代以来历经俯冲造山、陆陆碰撞造山、陆陆叠覆造山和陆内再生造山等多机制多旋回的造山作用, 终成为横亘于中亚地区的宏伟的复合型造山带。

关键词: 区域构造演化; 大陆动力学; 复合型造山带; 西天山造山带

中图分类号: P541

文献标识码: A

西天山造山带是一个经历了多期次俯冲、碰撞和陆-陆叠覆造山而形成的复合造山带, 变形和运动图像非常复杂。大型韧性挤压-剪切系统 (那拉提-红柳河缝合带)、叠瓦状逆冲构造系统、伸展断陷构造系统 (特克斯-昭苏断陷盆地)、复杂的线性叠加褶皱干扰格式等都很发育, 共同反映了西天山造山带的变形和构造演化历史, 以及硅铝壳的形成、韧性再造和脆性改造的流变学演化轨迹。

笔者近来所从事区域地质调查项目的研究区自北向南自西向东几千平方千米, 覆盖西天山造山带的核心部位, 构造的变形和运动图像丰富, 基本反映了中国西天山造山带的总体大地构造特征。

1 西天山造山带构造单元划分及其岩石学记录

按传统槽台学说的观点, 天山划为亚一级构造

单元——天山褶皱系, 西天山横跨伊宁中央地块和哈尔克地槽褶皱带 2 个二级构造单元 (新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993)。王宝瑜等以天山主干断裂和中天山构造带中的那拉提南缘断裂为界, 将天山西段由北向南划分为 3 个主要构造单元: 准噶尔-北天山晚古生代非并置聚合带、伊犁地块和南天山晚古生代碰撞聚合带 (王宝瑜等, 1994)。高俊等将西天山造山带自北向南划分为伊犁中天山板块之伊犁地块、中天山南缘活动陆缘、中天山南缘早古生代增生楔和塔里木板块之南天山早古生代被动陆缘等 4 个次级构造单元 (高俊等, 1997)。陈哲夫等将西天山归为一级构造单元——天山陆缘开合构造系中, 跨越 2 个二级构造单元西天山古生代开合带和南天山古生代开合带 (陈哲夫等, 1997)。张良臣等将新疆北部哈萨克斯坦-准噶尔板块又进一步划分为准噶尔微板块、伊犁-伊赛克湖微板块、巴仑台-

收稿日期: 2011-03-24; **修回日期:** 2011-05-25

基金项目: 新疆维吾尔自治区 1:5 万区域地质矿产调查项目 (XJQDZ2006-06、XJQDZ2006-05、XJQDZ2003-23)

作者简介: 于海峰 (1975-), 男, 高级工程师, 1996 年毕业于中国地质大学 (武汉) 地质学专业, 长期从事区域地质矿产调查和矿区普查勘探等工作。E-mail: hfyu001@163.com & 248721138@qq.com

星星峡离散地体 3 个二级构造单元, 将塔里木—华北板块在西天山范围内细划为塔里木微板块 (二级) —哈尔克—东阿莱早古生代复合沟弧带 (三级) (张良臣等, 2006)。

笔者以那拉提南缘深断裂为界, 将西天山地区一级构造单元自北向南划分为哈萨克斯坦—准噶尔

板块 (Ⅱ) 和塔里木—华北板块 (Ⅲ), 二者之间为那拉提—红柳河缝合带 (NHT)。二级构造单元分属伊犁—伊赛克湖微板块 ($Ⅱ_2$)、巴仑台—星星峡离散地体 ($Ⅱ_3$) 和塔里木微板块 ($Ⅲ_1$)。三级构造单元自北向南可划分为: 伊宁中央地块 ($Ⅱ_2^5$)、东阿莱—哈尔克古生代复合沟弧带 ($Ⅲ_1^1$) (图 1)。

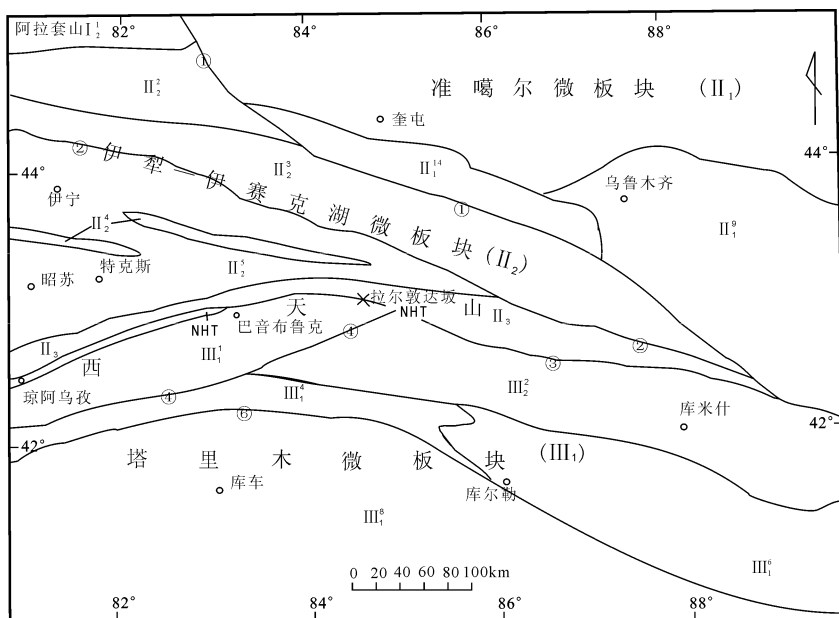


图 1 西天山造山带大地构造单元划分图

Fig. 1 Tectonic map showing geotectonic units of Western Tianshan orogen

Ⅱ. 哈萨克斯坦—准噶尔板块; $Ⅱ_1$. 准噶尔微板块; $Ⅱ_1^8$. 准噶尔中央地块; $Ⅱ_1^9$. 博格达晚古生代弧后裂陷盆地; $Ⅱ_1^{14}$. 依连哈比尔尕晚古生代沟弧带; $Ⅱ_2$. 伊犁—伊赛克湖微板块; $Ⅱ_2^1$. 阿拉套晚古生代陆缘盆地; $Ⅱ_2^2$. 赛里木地块; $Ⅱ_2^3$. 博罗科努古生代复合沟弧带; $Ⅱ_2^5$. 伊宁中央地块; $Ⅱ_3$. 巴仑台—星星峡离散地体; NHT. 那拉提—红柳河缝合带; Ⅲ. 塔里木—华北板块; $Ⅲ_1$. 塔里木微板块; $Ⅲ_1^1$. 东阿莱—哈尔克早古生代复合沟弧带; $Ⅲ_1^2$. 艾尔宾晚古生代残余盆地; $Ⅲ_1^4$. 虎拉山晚古生代裂陷槽; $Ⅲ_1^6$. 库鲁克塔格陆缘地块; $Ⅲ_1^8$. 塔里木中央地块;

①. 天山主干断裂带; ②. 博罗科努—阿其库都克断裂带; ③. 那拉提南缘—库米什断裂带;

④. 哈尔克山断裂带; ⑤. 乌尊布拉克断裂带; ⑥. 塔里木北缘断裂带

1.1 伊犁—伊赛克湖微板块—伊宁中央地块 ($Ⅱ_2^5$)

伊宁中央地块具有前震旦纪变质结晶基底 (王宝瑜等, 1994), 主要包括古元古界木札尔特岩群陆缘裂陷盆地火山岩建造、长城系特克斯岩群含双峰式火山岩的类复理石建造、蓟县系科克苏群—青白口系库什台群碳酸盐岩建造, 共同构成中哈萨克斯坦古陆东延部分, 其基底岩系在早古生代和泥盆纪因相关板块的聚合作用曾一度受到动力热流低角闪岩相变质作用改造。到石炭纪早期, 伊宁中央地块内部开始扩张发育裂陷盆地, 形成新的活动大陆边缘, 导致其现在主要被晚古生代裂陷盆地喷发—沉积物和中新生代陆相

沉积物所覆盖, 包括下石炭统大哈拉军山组活动大陆边缘岛弧型碱性—钙碱性中基性火山熔岩—中酸性火山碎屑岩—正常碎屑岩建造和上石炭统伊什基里克组偏碱性—中性火山熔岩夹火山碎屑沉积岩建造。特克斯达坂一带在早石炭世则有极为典型的 O 型埃达克岩——钙碱性系列岛弧浅成斑岩的侵位 (李永军等, 2008; 潘自力等, 2009)。

1.2 巴仑台—星星峡离散地体 ($Ⅱ_3$)

区域范围内该离散地体西起中吉、中哈边界, 沿那拉提山北缘展布, 延伸至独库公路拉尔敦达坂以东, 中国境内达 600 km 以上。主体大面积分布着

石炭纪混源序列侵入体,古元古代木札尔特岩群呈较大的捕虏体形式产出,北部边缘则有以下石炭统大哈拉军山组中酸性火山熔岩-酸性火山碎屑熔岩-中酸性火山碎屑岩及酸性潜火山岩分布,并有零星出露下石炭统阿克沙克组碳酸盐岩沉积上叠于大哈拉军山组火山岩系之上。广泛分布的石炭纪混源序列侵入体主体分布于那拉提北缘深断裂以北,有多个侵入次,由早到晚依次为橄榄岩-辉长岩、石英二长岩、闪长岩、石英闪长岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、似斑状二长花岗岩、花岗岩、正长花岗岩和花岗斑岩等。以壳幔混源的钙性-钙碱性I型花岗岩为主,少量早期侵入体具有碱钙性S型花岗岩特征,S型花岗岩处于同碰撞区,I型花岗岩则处于活动陆缘和碰撞隆起区,代表了石炭纪由后碰撞造山到造山后活动陆缘的岩浆演化趋势。

1.3 那拉提-红柳河缝合带 (NHT)

那拉提-红柳河缝合带为哈萨克斯坦-准噶尔板块与塔里木-华北板块间的构造缝合带,其向西延入吉尔吉斯境内,北界为“尼古拉耶夫线”(阿登布拉克—那拉提北缘一线),南界为阿特巴希断裂(琼阿乌孜—那拉提南缘一线),向东进入甘肃省境内,总体延伸达1 000 km以上。那拉提-红柳河缝合带是由晚志留世—早泥盆世蛇绿岩和元古界及奥陶—志留系的混杂岩块组成。沿该缝合带分布的蛇绿岩由琼阿乌孜—乌瓦门—榆树沟—红柳河,纵贯天山中部,两端均延伸出新疆境外,沿蛇绿岩带出现大型韧性剪切带和构造混杂岩带。西天山沿线还形成双变质带。西天山段沿缝合带展布的“俯冲增生杂岩”经历了多期变质变形作用的叠加改造和构造混杂作用,特别是早古生代末—晚古生代初期板块间的俯冲会聚,导致其遭受高压低温变质作用改造而形成展布于板块俯冲带南侧的高压低温变质带,这一变质带与中天山南缘早古生代蛇绿混杂岩伴生,并与板块俯冲带北侧离散地体内的高温中(低)压变质带构成俯冲带两侧的“双变质带”。该双变质带在板块聚合碰撞过程中进一步发生构造混杂,使得缝合带内蓝闪石片岩相变质岩石中出现以堇青石、铁铝榴石等为代表的高温低压变质矿物组合,形成“双变质带混杂体”。

1.4 塔里木微板块 (Ⅲ₁) -东阿莱-哈尔克古生代复合沟弧带 (Ⅲ₁)

东阿莱-哈尔克古生代复合沟弧带 (Ⅲ₁) 物质基

础为形成于被动陆缘的一套奥陶—志留纪浅海陆棚-陆坡相奥陶—志留纪陆源碎屑岩-碳酸盐建造夹少量火山岩沉积建造。在托木尔峰有新元古界 (729 Ma) 变质岩系 (中国科学院登山科学考察队, 1985), 北缘出现晚志留-早泥盆世的琼阿乌孜-榆树沟蛇绿岩 (王宝瑜等, 1994; 陈哲夫等, 1997; 郝杰等, 1993)。在南缘出现米斯布拉克晚泥盆世—早石炭世蛇绿岩和复理石建造, 在虎拉山出现以红柱石为代表的高温低压变质带 (王宝瑜等, 1994; 陈哲夫等, 1997)。区内岩浆侵入活动十分微弱, 仅在黑英山有加里东晚期花岗岩, 在科克苏河谷附近有华力西早期花岗岩株, 在汗腾格里峰东出现华力西晚期花岗岩斑岩小岩体和岩株。沿塔里木北缘断裂南北缘出现有造山后深源碱性正长岩、碱性花岗岩、花岗伟晶岩和碳酸岩。变质相以绿片岩相为主。其中, 科克苏河谷附近的华力西早期侵入岩以泥盆纪二长花岗岩为代表, 主要沿那拉提南缘深断裂及其南缘分布, 大致为北东东方向呈带状分布, 总体为钙碱性I型花岗岩, 为同碰撞造山期受那拉提南缘深断裂控制形成于陆缘弧附近的同碰撞花岗岩, 反映了同碰撞造山期的岩浆演化特征。

2 西天山造山带构造学记录

从显微尺度到造山带尺度的变形分解作用, 是众多造山带变质岩的一个共同特征。在西天山造山带双变质带内, 多期幕式或递进变形分解作用使得不同构造变形变质阶段的构造学及岩石学记录保存于不同应变强度的域内。各个阶段的变形叠加和改造关系往往可以直接在野外进行观察和解析。笔者通过近几年在西天山地区的1:5万区域地质填图和区域上的观察对比, 逐步将与西天山区域构造演化相对应的5个主要构造阶段(D1—D5) 识别出来。

2.1 D1 构造 (前震旦纪)

西天山造山带最古老的变质岩系——古元古代木札尔特岩群中相对刚性的斜长角闪岩构造包体内保存了D1构造阶段的岩石学和构造学记录。斜长角闪岩构造包体多呈大小不等的透镜状、假层状或斑块状赋存于透入性面理发育的片麻岩、变粒岩、浅粒岩及大理岩中, 单体厚一般为5~30 cm, 沿长轴延伸一般几十厘米至几米, 大者可延伸十几米。矿

物组合简单, 多为斜长石、角闪石、石英、黑云母、磷灰石等, 具粒状柱状变晶结构, 弱片麻状构造。由斜长石和角闪石晶体定向排列, 显示微弱的面状和线状组构 (S1、L1), 代表了前震旦纪 D1 阶段的面线构造。野外测量其面线产状相当困难, 多已与晚期面理复合, 此类复合面理总体走向多近东西向或北东—南西走向, 以倾向南或南东为主, 局部北倾或北西倾, 倾角一般为 $60^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 。露头尺度斜长角闪岩包体 D1 构造最直接的表现即无根状寄生褶皱

(f1), 其以区域性面理为轴面面理, 属于形成面理过程中强烈递进变形的产物, 反映出顺层剪切强烈横向构造置换的特征 (图 2)。斜长角闪岩包体总体岩石学及构造学特征表明, 其是在角闪岩相高温中压 ($p > 6 \times 10^8 \sim 8 \times 10^8 \text{ Pa}$, $t > 520 \sim 730^{\circ}\text{C}$) (笔者测试) 变形变质条件下形成的, 角闪石起着主动相功能, 调整了斜长角闪岩的主要应变。在整个西天山地区, 能干性强的斜长角闪岩包体是前震旦纪基底深层剪切变形变质的记录器。

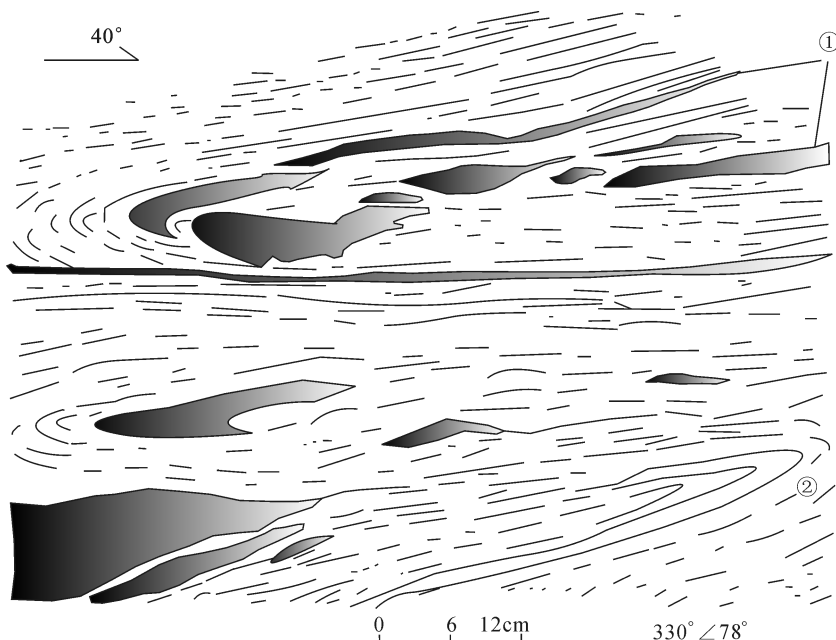


图 2 木札尔特岩群中斜长角闪岩包体无根寄生褶皱 (f1) (西天山卡拉旁子)

Fig. 2 Parasitic folds (f1) in the amphibolite inclusion of Muzhaerte Group comloex (Kalapangzi of western Tianshan)

①. 斜长角闪岩构造包体; ②. 长英质注入脉体
(围岩: 黑云斜长变粒岩)

2.2 D2 构造 (震旦纪—早奥陶世)

该阶段区域上以短暂的升降运动、稳定的克拉通盖层沉积建造及局部的双峰式火山岩喷发为特点, 总体为陆壳基底上的陆表海稳定盖层, 各盖层岩系内透水性发育的层理构造和震旦纪末局部存在的区域平行不整合界面是该阶段构造的直观反映。

区域范围内该阶段的稳定沉积盖层在科古琴山和博罗科努山地区相对发育, 震旦纪时为一套冰碛和冰水沉积 (凯拉克提群), 寒武纪早期为含磷硅质-碳质、泥质沉积 (磷矿沟组及霍城组), 寒武纪中晚期为碳酸盐夹碎屑沉积 (肯萨依组、阿合恰特组、将军沟组、果子沟组)。早奥陶世早期有不同程度的

中基性火山活动 (物质记录为奈楞格勒达坂群), 早奥陶世晚期为碳酸盐岩沉积 (阿克塔什组和呼独克达坂组) (新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993)。

西天山造山带核心部位在该阶段总体处于隆起剥蚀状态而缺失相应的物质记录。

2.3 D3 构造 (中奥陶世—石炭纪末)

现今观察到的西天山造山带的区域构造框架主要是在 D3 变形变质阶段奠定的, 是西天山造山带在古生代构造演化过程中的主期变形变质阶段, 主要变形形迹在显微尺度至区域尺度均能观察到, 其主要构造组合样式为区域性北东东向展布的大型韧性挤压-剪切构造系统和走滑构造系统, 那拉提-红柳

河缝合带内集中表现为北东东向大型网结状韧性剪切带阵列和其边界深断裂的递进走滑活动,东阿莱-哈尔克古生代复合沟弧带内集中表现为区域性北东东向展布的同劈理同斜倒转褶皱。岩浆活动以大规模碰撞前-同碰撞-后碰撞混源序列花岗岩浆的多期次就位为特点。D3 构造阶段可进一步划分为若干次级发展演化阶段。

2.3.1 D3¹⁺² 构造 (中奥陶世—晚泥盆世)

D3¹⁺² 构造主导变形机制为板块持续俯冲闭合引起的深层次构造流动作用和压扁型剪切作用,其导致西天山那拉提-红柳河板块缝合带两侧地质体均发生不同程度的构造重建,多见于显微尺度至露头尺度:前震旦纪基底岩系中出现区域性复合面理(S3¹⁺²)、片内紧闭柔流褶皱—斜卧褶皱(f3¹⁺²)、长英质集合体拉伸线理(L3¹⁺²)、剪切布丁化构造等构造形迹组合。盖层岩系发生顺层剪切变形改造,形成顺层片理(S3¹⁺²)、顺层掩卧型褶皱(f3¹⁺²)、顺层剪切韧变带、同构造分泌透镜体等横向构造转换的构造形迹组合。同期混源序列侵入体也受到不同程度的剪切变形改造而出现透入性分布的糜化面理(S3¹⁺²)。该阶段俯冲剪切变形导致以俯冲带为边界的岩石构造单位或岩片的韧性薄化和近水平方向的剪切流动,调整了整个西天山造山带内的大部分应变,地壳或岩石圈重建成新的流变学分层结构。

前震旦纪基底岩系中该变形阶段的最大特点是刚性体(斜长角闪岩包体)受递进变形分解作用影响,解体成规模不一的构造透镜体或布丁体群,应变主要集中于环绕它们的母岩(基质)片麻岩系中,构成残斑-基质或布丁-基质流变学组合样式。应变主要集中发育于基质中,刚性体仅以旋转为主,宏观上造成其压扁面与区域面理近平行展布。显微尺度基质片麻岩系中角闪石和斜长石发生明显的塑性变形行为,反映的退变质条件相当于低压低角闪岩相。盖层岩系在该变形阶段于俯冲带两侧出现较为典型的双变质带,即低压低角闪岩相组合(上志留统科克铁克达坂岩组为代表, $p \approx 0.15 \times 10^9 \sim 0.20 \times 10^9$ Pa, $t > 495 \sim 565$ °C)(笔者测试)和高压蓝闪片岩相组合(长城系阿克苏群为代表, $p \approx 0.90 \times 10^9 \sim 1.20 \times 10^9$ Pa, $t \approx 420 \sim 450$ °C)(笔者测试),相应的变形行为以透入性的强烈剪切横向置换为特征,面状组构被最大程度地构造平行化。伴随该阶段变形和退变质作用,沿缝合带有志留纪和泥盆纪

混源序列花岗岩的侵位,它们虽大部分与围岩片麻岩(或片岩)成侵入接触关系,但却具有与围岩一致的同期区域性面状和线状组构,并共同遭受强烈的俯冲剪切和褶皱变形。

面理(S3¹⁺²):前震旦纪基底岩系中的 S3¹⁺² 深层剪切面理在区域尺度及露头尺度总体表现为原始岩性层与剪切变形面理的复合面状组构(S₀//S3¹⁺²),为强烈构造平行化的强直区域性透入面理,主要表现为片麻状构造、条纹-条带状构造及片理构造,其条纹-条带状构造包括变质分异条纹-条带、长英质注入条带及斜长角闪岩等透镜体显示的构造置换条带等,多平行共生。盖层岩系中的 S3¹⁺² 复合面理即广泛发育的片理、剪切分异条纹条带和大理岩中的细条纹状构造(包括片理化构造),受后期褶皱构造叠加改造其位态变化较大。此类复合面理总体走向多近东西向或北东—南西走向,以倾向南或南东为主,局部北倾或北西倾,倾角一般为 60°~85°。

线理(L3¹⁺²):一种为仅发育于前震旦纪基底岩系中的长英质集合体拉伸线理,线理较为粗大,由构造分异的长英质脉体剪切拉长显示,宽 2~5 mm,倾伏向与面理倾向线近乎一致,为陡倾伏线理,代表了早期深层剪切过程中近南北向的相对剪切运动方向。另一种为基底岩系中长英质酸性注入脉体的黏滞性石香肠构造形成的大型 B 线理,代表性 250°/15°,反映了早期深熔剪切褶皱的枢纽。

褶皱(f3¹⁺²):此类褶皱均为板块俯冲期导致地质体深层次剪切流动过程中形成的,多见于露头尺度,两翼紧闭同斜,转折端加厚。前震旦纪基底岩系中见有长英质分异条带与暗色矿物条纹共同卷入变形的复杂的顺片翻卷平卧褶皱(图 3),顺片紧闭同斜褶皱。盖层岩系中此类褶皱也仅见于露头及手标本尺度,为顺层面理形成过程中递进变形的产物,多由长英质剪切分异条带显示,轴面平行于顺层面理,两翼紧闭同斜强烈减薄,转折端显著加厚,往往以无根勾状寄生褶皱形成存在,反映了深层次的剪切流动作用。盖层岩系中 f3¹⁺² 褶皱以区域性面理为轴面面理,属于形成剪切复合面理过程中强烈递进变形的产物,反映出顺片剪切构造置换的特征,其枢纽方向多变,一般近东西向倾伏,产状一般为 60°~110°/15°~30°或 245°~260°/10°~30°。此类褶皱

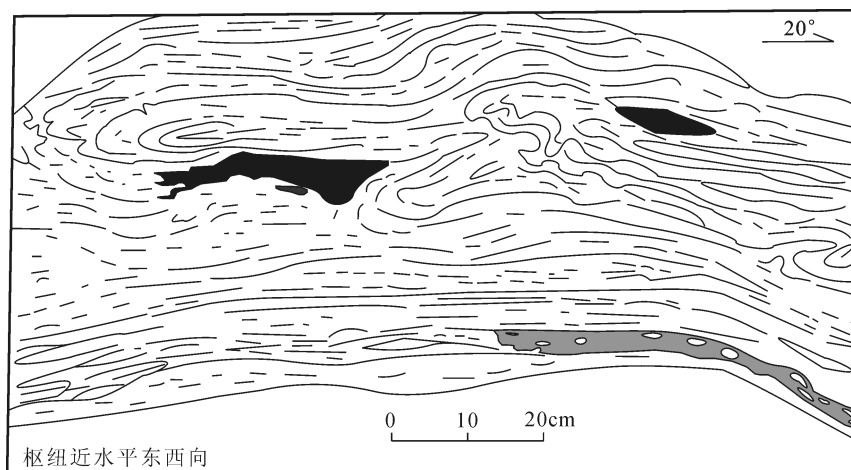


图3 木札尔特岩群条纹状斜长浅粒岩中发育的翻卷平卧褶皱 ($f3^{1+2}$) (霍坦布拉克)

Fig. 3 Facing down-recumbent folds ($f3^{1+2}$) in the streaked structured leptite of Muzhaerte Group comloex (Huotanbulake)

化作用, 目前很难恢枢纽与线理近平行或斜交, 因而总体属于 A 型或 AB 型褶皱。但由于缺乏标志层及强烈的构造平行复此类褶皱中大型尺度的构造形态。

同构造分泌脉体和剪切布丁化构造: 同构造分泌脉体是深层剪切过程中原岩组分发生分解、迁移, 呈脉状聚集于应变场低压区间而形成的, 其在递进变形中强烈剪切拉伸旋转而形成剪切布丁体化构造, 布丁体长轴方向平行于总体的剪切拉伸方向。西天山造山带前震旦纪基底岩系及盖层岩系中随处可见此类长英质分泌脉体及剪切布丁体化构造, 脉体宽一般为 0.5~2 cm, 布丁体长轴一般为 2~3 cm, 局部可达十几厘米, 延伸方向与区域复合面理倾向线小角度斜交, 总体反映了板块俯冲期中深层次压扁型自南向北的逆冲型剪切作用和变质分异作用。此类布丁化构造强烈剪切拉长部位则形成了粗大的透镜体拉伸线理 ($L3^{1+2}$), $L3^{1+2}$ 原始位态代表早期的相对剪切运动方向, 但目前已很难恢复。个别基岩露头显示其近东西向展布, 近水平, 反映了右旋走滑剪特征, 但已被后期构造改造, 不能代表其原始位态。哈拉其阿拉萨依一带测 $L3^{1+2}$ 拉伸线理产状为 $150^\circ \angle 46^\circ$ 。

2.3.2 $D3^3$ 构造 (晚泥盆世—早石炭世初)

目前所观察到的西天山造山带的区域构造框架, 主要是在 $D3^3$ 构造变形变质阶段所奠定的。该阶段主导变形机制为板块同碰撞期中深部层次挤压剪切

变形作用, 伴之以低绿片岩相区域动力退变质作用 ($p \approx 0.20 \times 10^9 \sim 0.40 \times 10^9$ Pa, $t < 400^\circ \text{C}$) (笔者测试), 同期各构造单元之间的分界深断裂表现为不同程度的韧性斜冲活动。该阶段那拉提-红柳河缝合带内北东东走向的具网结状特征的大型韧性剪切带阵列形成。缝合带北侧的前震旦纪基底岩系和志留纪侵入岩体不同程度糜棱岩化, 先期面状组构不同程度地复合变位。缝合带南侧盖层岩系形成区域性北东东走向的复式同斜倒转同劈理褶皱构造, 伴生露头尺度相似褶皱、褶劈理、褶皱纹线理等构造形迹组合。沿那拉提南缘深断裂带两侧展布的泥盆纪二长花岗岩岩浆侵位则是陆陆碰撞造山的构造岩浆响应, 其总体属于受挤压形成的同碰撞型, 岩体内部斑晶的定向趋势面、黑云母类集合体形成的侵位面理显示了壳幔混源酸性岩浆在同碰撞期沿深断裂强力底辟侵位的特征性。 $D3^3$ 构造变形变质阶段的总体构造效应是以韧性剪切带为边界的岩片或透镜状域侧向并置, 地壳垂向增厚, 构建成似推覆体构造堆叠样式, 造山带尺度同陆陆碰撞期的挤压剪切构造系统最终形成。

面理 ($S3^3$): $S3^3$ 面理为同碰撞期糜棱面理。剪切面理 ($S3^3$) 中 Sc 为糜棱面理, 产状一般为 $140^\circ \sim 180^\circ \angle 50^\circ \sim 75^\circ$; Ss 为剪切带内面理, 非透入性分布, 主要由眼球状长石残斑长轴优选定向方位显示, 总体不连续, 与 Sc 面理构成 S-C 组构, 具一定指向意义, 代表性产状 $90^\circ \angle 60^\circ$ 、 $195^\circ \angle 60^\circ$ 、 $330^\circ \angle 80^\circ$ 。

虽然原岩结构构造已基本消失，但在剪切带内依然可以看到此期面理与早期深层剪切复合面理的叠加置换现象，密集平行的糜棱面理置换早期片麻理形成长英质注入脉体的肠状褶皱。

S_3^3 在盖层岩系中以褶劈理形式产出，作为 f_3^3 褶皱的轴面劈理，在片岩中以透入性较强的间隔褶劈理为主（图4），劈理域内既有先期片状矿物的旋转定向，也有新生的绢云母、绿泥石类新生片状矿物的富集，由紧密相间平行排列的小型褶皱的翼部

发展形成。 S_3^3 褶劈理对先期面理 $S_0 // S_3^{1+2}$ 纵向置换强烈，二者多表现为平行化或小角度相交的特点，仅在 f_3^3 褶皱的转折端部位可见 S_3^3 与 $S_0 // S_3^{1+2}$ 正交。露头尺度随处可见早期长英质分异条带被 S_3^3 纵向置换后形成的 M 型、N 型及 S 型条带。露头尺度 S_3^3 产状相对稳定，代表了 f_3^3 褶皱的轴面产状，其总体产状为 $160^\circ \sim 185^\circ \angle 65^\circ \sim 85^\circ$ ，局部为 $320^\circ \sim 350^\circ \angle 50^\circ \sim 80^\circ$ 。

线理 (L_3^3): L_3^3 线理为石英多晶集合拉伸线理

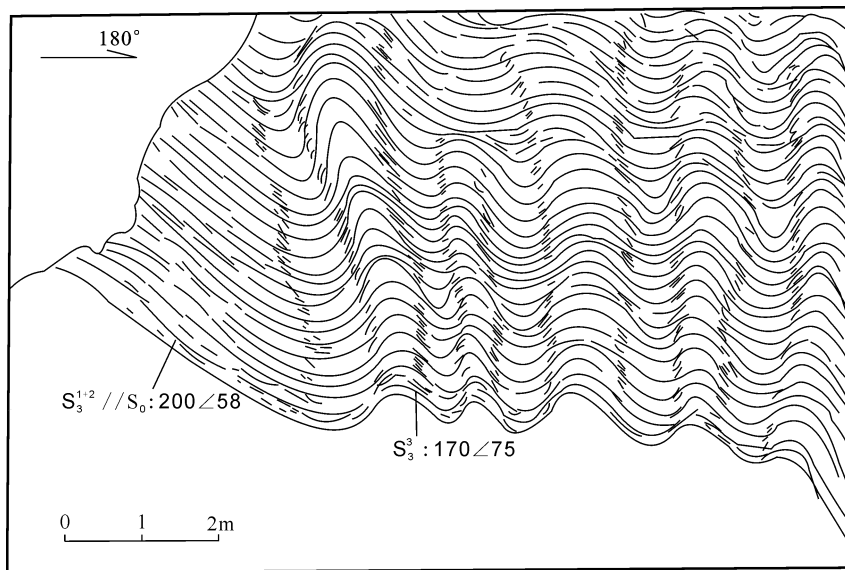


图4 二云堇青片岩中褶劈理 (S_3^3) 与片理 (S_3^{1+2}) 组合发育特征 (西天山卡拉萨依)

Fig. 4 Crenulation cleavage (S_3^3) overprint the continuous cleavage (S_3^{1+2}) in mica-cordierite-schist (Kalasayi of western Tianshan)

或暗色矿物集合体拉伸线理，由 S_c 面理面上的石英多晶集合体或暗色矿物集合体沿剪切运动方向定向排列而成，在基底改造形成的糜棱岩及志留纪糜棱岩化二长花岗岩中均可见到，主体产状为 $90^\circ \sim 160^\circ \angle 46^\circ \sim 70^\circ$ ，反映同碰撞造山期的韧性逆冲推覆型剪切运动（图5-a）。

盖层岩系中 L_3^3 线理有两种表现形式，一种为擦痕线理 (L_3^3)，代表性产状 $120^\circ \sim 160^\circ \angle 45^\circ \sim 70^\circ$ ，总体代表了 f_3^3 纵弯褶皱过程中沿变形面发生的层间相对滑动；另一种为褶皱线理 (L_3^3)，在片岩中大量发育，由小尺度 f_3^3 褶皱枢纽在片理面上密集平行排列显示，属典型的 B 型线理，产状一般为 $245^\circ \sim 255^\circ \angle 18^\circ \sim 42^\circ$ 或 $65^\circ \sim 80^\circ \angle 25^\circ \sim 38^\circ$ ，代表了 f_3^3 褶皱的枢纽方向（新疆维吾尔自治区地质矿产局，1993；王宝

瑜等，1994）。

褶皱 (f_3^3): 同碰撞期剪切流变褶皱多形成于同碰撞造山期，是转换压缩变形的产物，系原岩中先存面状组构进一步剪切演化发展而成，其轴面与剪切带糜棱面理小角度相交或近于平行，局部枢纽与拉伸线理方向一致而形成鞘褶皱，轴面倒向代表逆冲型剪切运动特征，YZ 面呈眼球状或椭圆形半封闭状态。露头及手标本尺度表现为轴面近直立或陡倾 ($340^\circ \sim 360^\circ \angle 70^\circ \sim 85^\circ$ 或 $170^\circ \sim 200^\circ \angle 65^\circ \sim 80^\circ$)、枢纽倾伏 ($240^\circ \sim 250^\circ \angle 10^\circ \sim 30^\circ$ 或 $80^\circ \sim 100^\circ \angle 15^\circ \sim 35^\circ$) 的斜歪倾伏褶皱，其以早期复合面状构造为变形面，局部伴生轴面面理（同碰撞期糜棱面理）。因构造线方位总体一致性，同碰撞期剪切褶皱与早期剪切柔流褶皱表现出共轴叠加的特点（图6）。

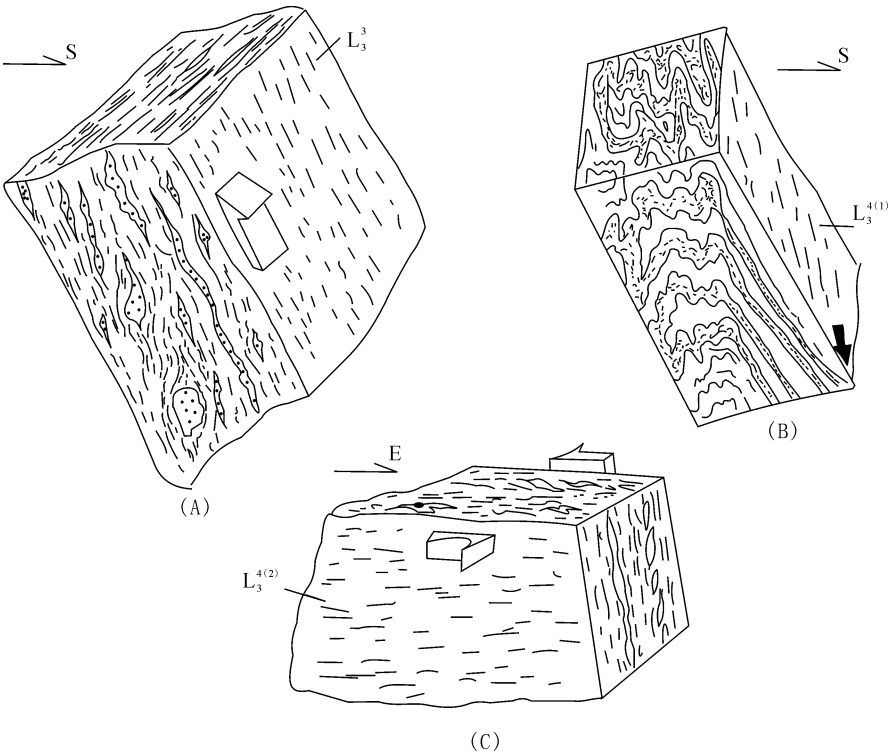


图 5 那拉提-红柳河缝合带内拉伸线理的赋存位态

Fig. 5 Stretching/mineral lineations in Nalati-Hongliuhe suturezone

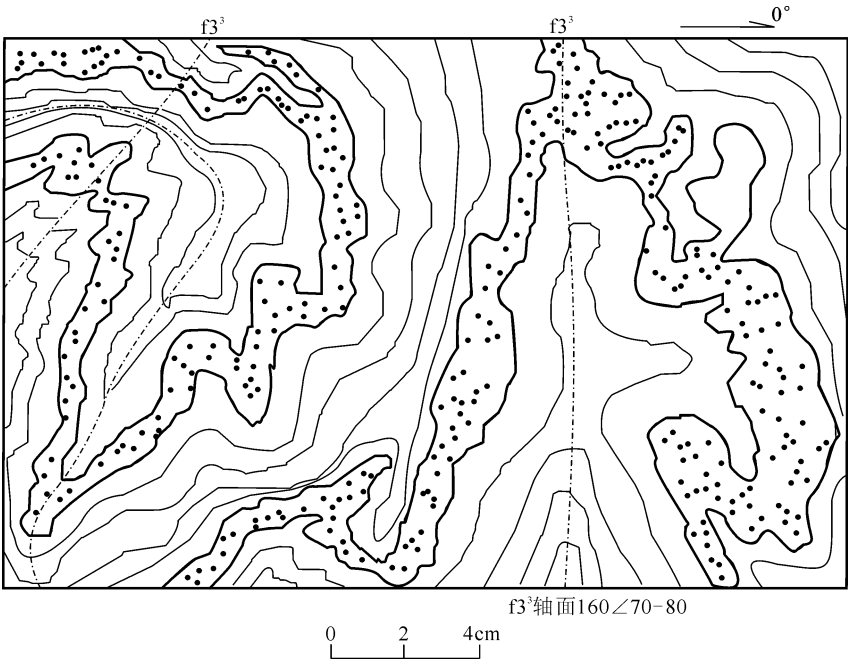


图 6 木札尔特岩群中 $f3^3$ 对 $f3^{1+2}$ 的共轴叠加 (布如力吾赞)

Fig. 6 $F3^3$ folds coaxial-overprint the previously formed folds ($f3^{1+2}$) in Muzhaerte Group comloex (Buruliwuzan)

同碰撞期盖层岩系中 f_3^3 褶皱以先期复合面理 ($S_0 // S_3^{1+2}$) 为变形面, 多为北东东向同斜倒转褶皱或斜歪倾伏褶皱, 轴面劈理为发育于次级褶皱翼部的褶劈理 (S_3^3), 区域性展布的北东东大型同斜倒转复式褶皱 (f_3^3) 奠定了西天山盖层岩系的构造格架。野外露头尺度 f_3^3 褶皱轴面产状与轴面面理产状基本一致, 一般倾向为 $150^\circ \sim 200^\circ$, 倾角为 $60^\circ \sim 85^\circ$, 局部倾向为 $320^\circ \sim 355^\circ$, 倾角为 $65^\circ \sim 85^\circ$ 。枢纽向北东东或南西西倾伏, 倾伏角小于 30° 。轴面面理密集且形成域构造, 局部伴生褶皱纹理, 倾伏向与褶皱枢纽一致。

韧性剪切带: 同碰撞期形成的那拉提-红柳河大型韧性挤压-剪切系统总体构造形式为韧性剪切带 (于海峰等, 2011; 刘亚剑等, 2008), 宏观上出露宽度 $5.5 \sim 6.5$ km, 总体走向 $60^\circ \sim 85^\circ$, 总体南东倾 (边界深断裂近直立), 倾向以 $150^\circ \sim 180^\circ$ 为主, 倾角一般为 $45^\circ \sim 75^\circ$, 局部因绕过透镜状弱应变域而呈北西走向。该韧性剪切带区域上沿西天山造山带的核心部位延伸达几百公里甚至上千米, 属于塔里木-华北板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块之间缝合带内的巨型韧性剪切带 (造山带尺度)。其几何学上总体表现为由弱应变域与强变形带相间组合的网结状构造, 局部范围内具平行线式阵列。韧性剪切带内以平面剪切应变和塑性流动为主, 主要构造形迹组合为: 剪切面理 (S_c 面理和 S_s 面理)、拉伸线理、剪切流变褶皱 (包括鞘褶皱)、小型韧性断层、反向剪切条带、剪切分层构造、黏滞性石香肠构造、构造透镜体化粗大线理、 σ 型长石旋转碎斑系等。结合韧性剪切带的运动学特征和区域地球动力学背景进行分析, 认为剪切带早期活动的构造背景为南天山洋壳俯冲闭合后, 其上部块体向伊犁-伊赛克湖微板块之上仰冲, 总体为收缩机制下的大规模韧性逆冲推覆活动, 与同碰撞造山期相对应。

2.3.3 D_3^4 构造 (早石炭世—晚石炭世)

D_3^4 构造阶段处于板块碰撞后应力释放的均衡调整过程, 无明显区域变质现象。早石炭世以壳—幔混合成因的大量后碰撞花岗岩的发育为其主要特征, 晚石炭世西天山北缘的伸展裂陷活动导致了不同程度的火山喷发活动。该变形阶段区域应力场为伸展应力状态, 西天山造山带北缘大规模伸展裂陷活动的同时, 其核部主要表现为沿分界深断裂的伸展走滑活动, 那拉提-红柳河剪切带内出现反映斜滑和近水平走滑的拉伸线理 (L_3^4), 地质体则遭受中

浅部层次弯滑褶皱变形和差异性韧脆性剪切滑动变形, 于盖层岩系中形成非透入性面理 (S_3^4) 和近南北向无劈理弯滑褶皱系 (f_3^4)。

面理 (S_3^4): 仅见于露头尺度, 以膝折面为代表, 是中浅部构造层次形成的缓倾斜的差异性剪切旋转滑动面, 使先期的面理产生膝状弯曲现象, 属后碰撞阶段的非透入性面理。膝折带宽度一般为 $5 \sim 10$ cm, 局部可达 $10 \sim 20$ cm, 代表性产状 $90^\circ \angle 36^\circ$, 哈尔克山北坡中志留统伊契克巴什组白云母斜长片岩中可见 S_3^4 、 S_3^3 、 S_3^{1+2} 三组面理的叠加现象 (图 7)。

线理 (L_3^4): 为石英多晶集合拉伸线理或暗色矿物集合体拉伸线理, 由糜棱面理面上的石英多晶集合体或暗色矿物集合体沿剪切运动方向定向排列而成。早期线理 L_3^4 主体产状为产状为 $220^\circ \sim 250^\circ \angle 25^\circ \sim 56^\circ$, 反映后碰撞造山期的脆韧性正向斜滑型剪切运动 (图 5-b)。晚期线理 L_3^4 主体产状为产状为 $90^\circ \sim 120^\circ \angle 4^\circ \sim 30^\circ$ 或 $240^\circ \sim 250^\circ \angle 4^\circ \sim 20^\circ$, 反映了碰撞后走滑调整期的近水平走滑型剪切运动 (图 5-c)。

褶皱 (f_3^4): 为一系列发育于盖层岩系中的近南北向展布的无劈理等厚褶皱 (f_3^4), 露头尺度观察, 该期褶皱的次级从属褶皱多为斜歪水平和斜歪倾伏的等厚褶皱, 少数为直立水平的等厚褶皱, 褶皱轴面产状一般为 $60^\circ \sim 110^\circ \angle 65^\circ \sim 80^\circ$, 枢纽多缓倾伏, 产状一般为 $170^\circ \sim 220^\circ \angle 5^\circ \sim 22^\circ$, 局部近水平。 f_3^4 褶皱与早期 f_3^3 、 f_3^{1+2} 褶皱的叠加总体表现为 II 型叠加的特点, 露头尺度出现了一系列叠加后形成的倾坚型褶皱, 轴面走向一般为 $60^\circ \sim 80^\circ$, 近直立, 代表性产状 $330^\circ \angle 85^\circ$ 。枢纽近直立, 代表性产状为 $80^\circ \angle 80^\circ$ 、 $230^\circ \angle 80^\circ$ 。

2.4 D_4 构造 (二叠纪)

这一阶段基本上奠定了西天山造山带逆冲叠覆系统的构造格局, 以沿断裂构造带的逆冲活动为主, 伴生局部的壳源岩浆活动。各逆冲块体继承先期形成的构造面大规模逆冲叠覆, 主体运动方向为自南向北, 后缘局部表现为反冲特点, 总体为中浅部层次的韧脆性逆冲活动, 具有前展式特点, 在其终端 (即逆冲断裂终止位置) 逐渐转化为外缘带的同向褶断构造。那拉提南缘深断裂和那拉提北缘深断裂南北两侧均出现次一级的近东西向或北东东走向的韧脆性逆冲断裂, 次级断裂在垂向上及走向上均与主断裂汇合, 平面上多呈弧形展布, 构造面南

倾或南东倾, 倾角大于 50° 。主要构造单元片体沿深断裂发生自南向北的逆冲活动, 主次级逆冲断裂宏观上构成叠瓦状逆冲叠覆构造格局。各逆冲片体

沿韧性逆冲断裂在地壳中浅部构造层次叠覆堆垛, 使得早石炭世以来碰撞的陆壳板块最终焊合, 形成力学上统一的刚性陆壳板块。

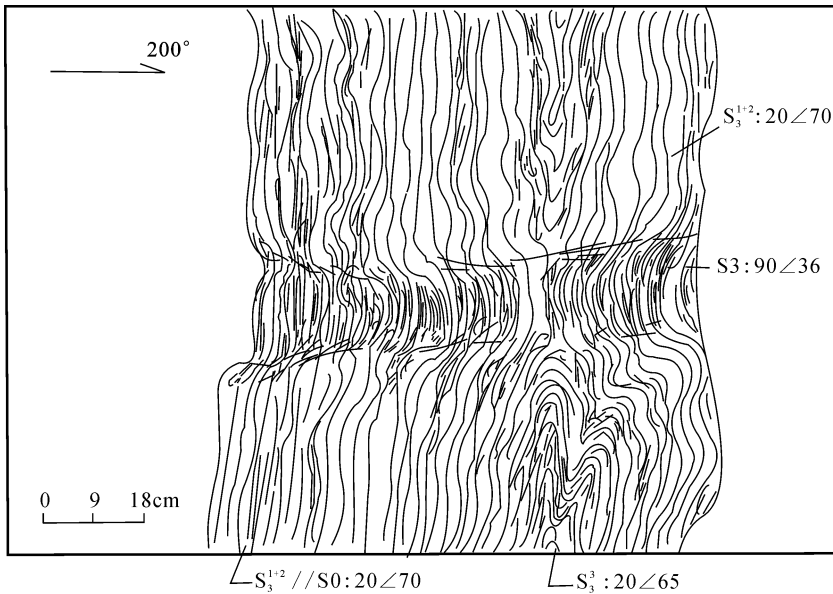


图7 西天山造山带三组面理 ($S_3^4 + S_3^3 + S_3^{1+2}$) 叠加现象 (布特敖萨依)

Fig. 7 Overprinting of three group of foliations in western Tianshan orogen (Buteaosayi Area)

2.5 D5 构造 (中新生代)

该阶段以不均一的断块升降、陆相含煤沉积盆地发育和小规模的浅成脉岩就位为特点, 不同方向断裂的脆性活动和脉岩的边界, 切割和改造了 D1—D4 阶段的先期面线组构, 代表了上地壳造山带伸展塌陷和构造揭顶作用, 使得西天山造山带变质核心大面积出露于地表。西天山地区现今的地貌学特征, 主要是由这一阶段的构造事件所约束的。

3 西天山造山带区域构造演化

西天山造山带是在经历了复杂的裂解、拼合、陆陆碰撞及盆山耦合进程之后而形成的复合型造山带 (郭继易等, 1986; 王作勋等, 1990; 王宝瑜等, 1993; 肖序常等, 1992; 高俊等, 2000; 夏林圻等, 2002; 马宗晋等, 1999; 张国伟等, 1999; 殷鸿福等, 1998; 何国琦等, 1994; 汤耀庆等, 1991, 1995; 索书田等, 2004)。根据以上主要构造单元岩石学及构造学方面的成果, 笔者将西天山造山带的区域构造演化历史概括为 5 个主要阶段

(图 8)。

3.1 前震旦纪基底形成演化阶段 (D1)

西天山在太古代早期形成古陆核, 总体应为塔里木古陆核的一部分, 晚太古代至古元古代与塔里木一起构成统一的古陆台, 其大陆基底形成于 2000~1700 Ma 的壳幔分异事件, 基底物质主要来源于亏损地幔 (胡霏琴等, 1993)。古元古代造山纪在统一陆壳基底上沿西天山一带开始发生陆内裂隙作用, 那拉提-红柳河构造带一线形成古元古代陆缘裂陷带, 相应物质记录为古元古代木札尔特岩群 (笔者 Sm-Nd 等时线年龄 1966 ± 93 Ma) (于海峰等, 2011) 滨浅海环境火山碎屑岩-正常沉积的碎屑岩-碳酸盐岩建造夹基性火山岩建造。中元古代在原始古陆基础上发生大规模裂解作用, 时限始于 1640 Ma (胡霏琴等, 1993)。随着拉张作用进一步加强, 在古陆南侧发展形成南天山元古代洋盆。新元古代晚期, 那拉提-红柳河构造带处于板块汇聚、挤压环境。塔里木板块向北, 准噶尔板块向南的相对运动 (塔里木运动), 使两大板块发生汇聚作用, 进入联合古陆构成阶段。新元古代青白

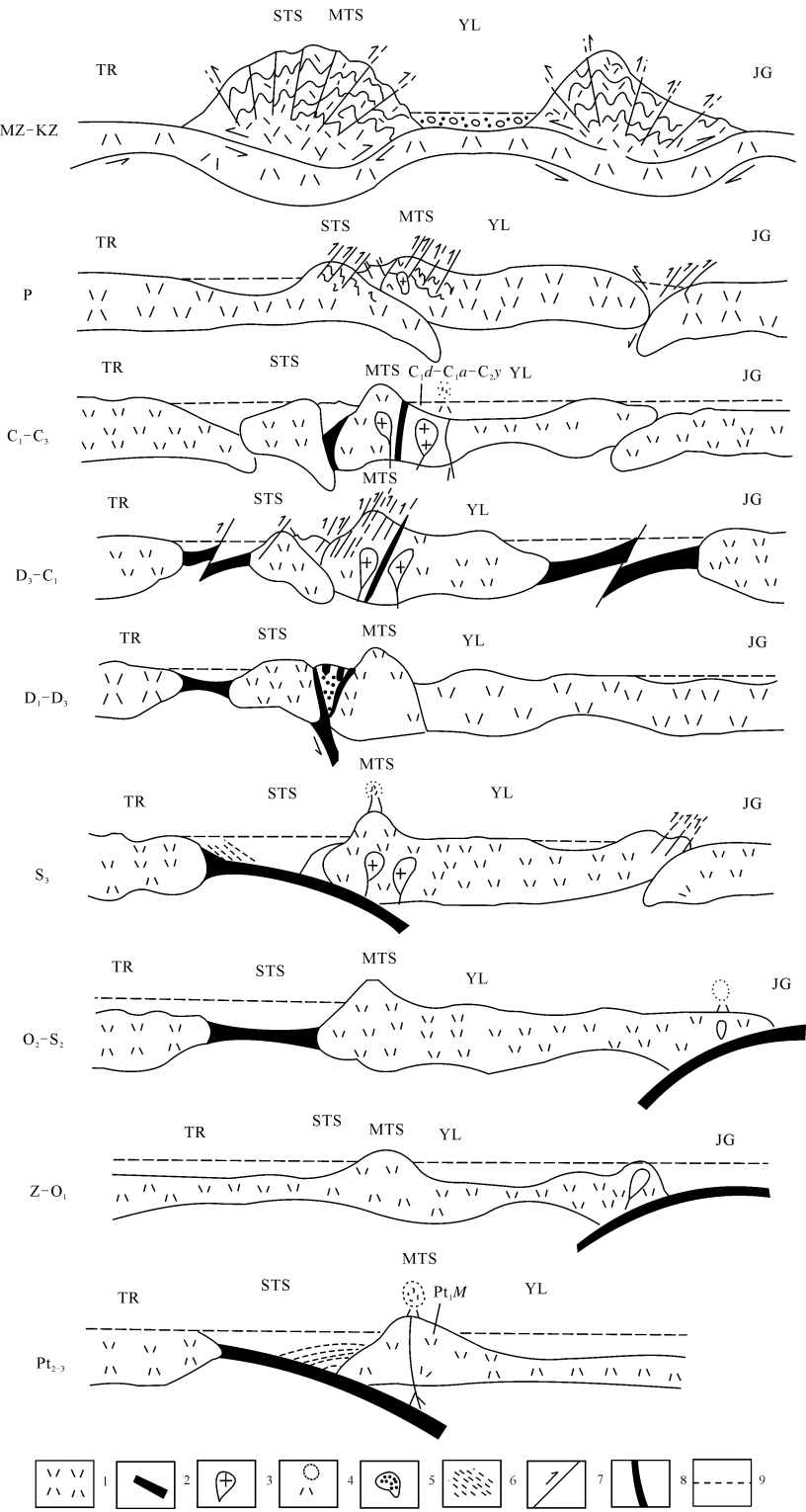


图 8 西天山造山带区域构造演化模式图

Fig. 8 Tectonic evolution model map of Western Tianshan orogen

1. 陆壳；2. 洋壳；3. 岩浆岩；4. 火山弧；5. 俯冲杂岩；6. 沉积岩系；7. 逆冲断裂；8. 深断裂；9. 海（水）平面；C₁d. 大哈拉军山组；C₁a. 阿克沙克组；C₂y. 伊什基里克组；S₂₋₃. 中上志留统；Pt₁M. 木札尔特岩群；TR. 塔里木；STS. 南天山；MTS. 中天山；YL. 伊犁；JG. 准噶尔

口纪末期的塔里木运动起着划时代的作用,它不仅使塔里木大陆克拉通化,成为其后构造演化的陆壳基底,更实现了中国及邻区各大陆碰撞拼合成为罗丁尼亚超级大陆。

3.2 震旦纪—早奥陶世稳定陆壳发展阶段 (D2)

该阶段西天山范围内裂隙作用较弱,除在博罗科努山地区出现少量的基性—酸性火山活动外,大致处于稳定状态,发育克拉通盖层沉积建造。震旦纪时为一套冰碛和冰水沉积。寒武纪早期为含磷硅质-碳质、泥质沉积,寒武纪中晚期为碳酸盐夹碎屑沉积;早奥陶世为碳酸盐沉积。在此阶段,除震旦纪末期有短暂的升降运动之外,寒武纪—早奥陶世基体为连续沉积,表明西天山在震旦纪至早古生代早期同属一体。

3.3 中奥陶世—石炭纪末板块裂解和再拼合阶段 (D3)

3.3.1 中奥陶世—晚志留世早古南天山洋盆形成阶段 (D3¹)

自中奥陶世开始,因塔里木微板块北部的古准噶尔洋向南的俯冲作用,导致塔里木-华北板块北部陆壳逐渐由拉伸解体到扩张,伊犁-伊赛克湖微板块逐渐从塔里木-华北板块北部裂解开来,到志留纪时其与塔里木-华北板块之间出现了具有一定规模的以琼阿乌孜-库米什蛇绿混杂岩所代表的早古南天山洋盆,塔里木-华北板块形成新的北部陆缘。中奥陶统一志留统在西天山的缺失表明西天山所处伊犁-伊赛克湖微板块南缘及离散地体在早古南天山洋形成发育时期仍总体处于隆起状态。中晚志留世塔里木-华北板块前缘接受活动大陆边缘浅海陆棚相沉积,出现了中上志留统细碎屑岩夹碳酸盐岩建造,其沉积过程中构造环境有扩张-汇聚-再扩张特点。

3.3.2 晚志留世—晚泥盆世俯冲造山阶段 (D3²)

晚志留世发育成熟的早古南天山洋壳开始沿琼阿乌孜—阿尔帕沙里斯—巴音布鲁克—巴伦台南—库米什一线向北侧伊犁-伊赛克湖微板块下俯冲消减。俯冲带北侧主动陆缘基底岩系(木札尔特岩群)逐渐隆起,地壳加厚,隆起带后缘在地幔上涌的背景下发生程度不同的火山喷发活动和岩浆侵位活动,形成断续出露的陆缘火山弧和集中分布于那拉提隆起带内的志留纪壳幔混源序列中酸性侵入岩体。东西两侧沿该带均有以上志留统巴音布鲁克组为代表的岛弧型钙碱性系列中基性火山岩、火山碎屑岩和

滨浅海相碳酸盐岩-陆源碎屑岩组合。而广泛分布于那拉提-红柳河构造带内的志留纪侵入期花岗闪长岩、二长花岗岩则构成明显的加里东晚期岩浆弧,其岩浆侵位受控于板块俯冲机制所诱导的幔源与壳源岩浆的混合作用。

由晚志留世至早泥盆世初早古南天山洋壳向北的持续俯冲闭合作用一方面促使塔里木-华北板块北部被动大陆边缘发生地壳拉张作用而裂解,另一方面则导致由早古南天山洋壳岩石圈残块、塔里木-华北板块古陆源沉积物及古陆缘陆壳基底岩石等组成的俯冲杂岩与哈萨克斯坦-准噶尔板块发生构造拼贴,形成哈萨克斯坦-准噶尔板块南缘的构造缝合带。板块俯冲过程中,俯冲带近缘的陆缘隆起带基底岩系受地幔上涌增热和深部构造岩浆增热的影响,发生高温低压区域动力热流变质作用叠加改造,俯冲带南侧的俯冲杂岩系则因伴随洋壳板块的下插而受到高压低温变质作用叠加改造形成蓝闪石片岩系,沿俯冲带附近形成双变质带,由琼阿乌孜—巴音布鲁克—巴伦台南—库米什一线此类双变质带断续出露。早古南天山洋盆最初的闭合作用出现于西天山西段琼阿乌孜一带,时限大致在晚志留世末。进入早泥盆世,因俯冲造山作用,伊犁-伊赛克湖微板块南缘及巴伦台-星星峡离散地体抬升隆起,海水退出,从而缺失了泥盆系地层的沉积,洋盆闭合作用沿俯冲带由琼阿乌孜向东逐渐迁移,穿时性明显。

早泥盆世中后期,南天山微地块由塔里木-华北板块北部被动陆缘解体,继续向哈萨克斯坦-准噶尔板块之下俯冲,原始的早古南天山洋盆逐渐转化为残余海盆,接受巨厚的复理石沉积,中泥盆世以后又逐渐转化为陆表海,区域范围内形成浅海相碎屑岩及碳酸盐岩建造,至晚泥盆世最终闭合。中泥盆世时南天山微地块与塔里木微板块之间已由陆间裂谷逐渐发展成为有限的裂陷槽型初始洋盆,即晚古南天山洋。

综合来看,由晚志留世至晚泥盆世,西天山所经历的俯冲造山可划分为2个主要阶段:第一阶段由晚志留世至早泥盆世,以早古南天山洋壳的俯冲消减作用为主,板块运移速度快,动能巨大,俯冲带产状相对较缓,俯冲造山作用剧烈,总体属于B型俯冲阶段;第二阶段由中泥盆世至晚泥盆世中后期,以南天山微地块和哈萨克斯坦-准噶尔板块南缘离散地体之间的俯冲消减作用为主,板块运移速度

慢,动能小,俯冲带产状较陡,俯冲造山作用不剧烈,总体属于陆壳板块相向俯冲阶段。

3.3.3 晚泥盆世末—早石炭世初陆陆碰撞造山阶段(D3³)

晚泥盆世末至早石炭世初,南天山微地块与哈萨克斯坦-准噶尔板块发生软碰撞,海水退出,沿琼阿乌孜-阿尔帕沙里斯—巴伦台南-库米什一线形成碰撞缝合带。缝合带两侧构造片体均遭受同碰撞期挤压剪切变形作用改造,伴之以低绿片岩相区域动力退变质作用,同期各构造单元之间的分界深断裂表现为不同程度的韧性斜冲活动。沿那拉提南缘深断裂带两侧展布的泥盆纪二长花岗岩岩浆侵位则是陆陆碰撞造山的构造岩浆响应,其总体属于受挤压形成的同碰撞型,岩体内部斑晶的定向趋势面、黑云母类集合体形成的侵位面理显示了壳幔混源酸性岩浆在同碰撞期沿深断裂强力底辟侵位的特征性。与此同时,那拉提-红柳河构造带内北东东走向的具网结状特征的大型韧性剪切带阵列形成。

3.3.4 早石炭世末—晚石炭世后碰撞阶段(D3⁴)

早石炭世初陆陆碰撞造山之后,巴仑台-星星峡离散地体、伊犁伊赛克湖微板块与南天山微地块拼合在一起,随后晚古南天山洋逐渐闭合,巴仑台-星星峡离散地体、伊犁-伊赛克湖微板块与塔里木-华北板块重新拼合在一起。区域范围内在早石炭世后期,因伊犁-伊赛克湖微板块与南侧塔里木-华北板块之间有相向的会聚作用,其内部再次发生大规模裂陷作用,先是在裂陷初级阶段有大哈拉军山期活动陆缘弧边缘岛弧型火山活动,形成碱性-钙碱性钾质火山岩系列。其后于早石炭世末期形成大型裂陷盆地,遭受了陆表海海侵,沉积了以下石炭统阿克苏组为代表的滨-浅海碳酸盐岩夹碎屑岩建造。这一期间那拉提南北缘深断裂的强力伸展活动切穿上地幔,诱发了石炭纪混源序列基性—超基性岩浆沿深断裂岩墙扩展式的侵位,以断续出露于那拉提构造带内的辉石橄榄岩、辉长岩体为代表。

由早石炭世后期至晚石炭世西天山总体处于板块碰撞后的均衡调整过程中,那拉提北缘深断裂带以北的巴仑台-星星峡离散地体内以壳-幔混合成因的大量后碰撞花岗岩的发育为其主要特征,其形成机制可能与后碰撞阶段幔源岩浆的底侵或岩石圈拆沉有关。晚石炭世早期西天山北缘的伸展裂陷活动导致了不同程度的火山喷发活动,以上石炭统伊什

基里克组火山岩系为代表。

3.4 二叠纪陆陆叠覆造山阶段(D4)

二叠纪之初,现今欧亚板块雏形主体已开始形成,西天山已成为这一全球性巨型板块的统一组成部分,但其南侧还面临着古特提斯洋的封闭(C—T)、新特提斯洋的打开与封闭和青藏高原的形成两期全球性重大构造事件的作用和影响。在此背景下,早二叠世开始,西天山发生大规模的陆陆叠覆造山作用,使软碰撞以来长期“联而不合”的哈萨克斯坦-准噶尔板块与塔里木-华北板块最终焊合为动力学统一的整体,结束了海侵历史,山脉雏形形成。晚二叠世发生于欧亚板块南缘松潘-甘孜地体增生事件产生的挤压应力加速了调查区所处古天山山脉的进一步隆升,而区域范围内安加拉植物群的广泛分布也表明西天山地区在晚二叠世已经焊接为统一的整体。

3.5 中生代盆山耦合阶段(D5)

3.5.1 三叠纪山体隆升期(D5¹)

早三叠世初,西天山造山带在二叠纪陆陆叠覆造山的基础上进一步隆升,形成具有一定高度的山脉,地壳相对加厚并形成明显的山根。中晚三叠世,受印支运动的影响,西天山遭受北西—南东向挤压运动,其北部在下石炭统褶皱的背景下出现不同程度的拗陷,西天山地区盆山地貌雏形形成。但因整体的隆升状态,西天山在三叠纪时期主要是蚀源区,主体缺失三叠系沉积。同时,该时期也是西天山周边盆地形成演化中的一个主要的萎缩期。

3.5.2 早中侏罗世山体伸展塌陷和断陷盆地形成期(D5²)

侏罗纪正是大区域古特提斯洋封闭之后新特提斯洋打开之时,应力场挤压应力衰减或撤除,区域范围内是最广泛的一个扩展沉陷的沉积期和成煤期,显示了广阔地区的夷平沉降和断陷沉降。在这一区域构造背景下西天山北侧昭苏—特克斯一线的侏罗纪断陷盆地于侏罗纪初形成,断陷北部接受了巨厚的煤系堆积,西天山范围内一方面表现为沿山前断裂及其次级隐伏断裂组合的伸展断陷,另一方面表现为南部山体在伸展构造背景下的伸展塌陷作用和揭顶作用,造山带核部变质岩系得以出露地表。

3.5.3 晚侏罗世至白垩纪山体隆升和盆地萎缩期(D5³)

晚侏罗世至白垩纪,中生代燕山运动从早期的

扩张而转为中后期的挤压性强烈构造作用,整个天山山脉在燕山运动中后期强烈隆升而普遍缺失上侏罗统和白垩系,早中侏罗世形成的断陷盆地在这一时期普遍萎缩,区域上中下侏罗统地层普遍遭受构造变动。

3.5.4 新生代再生造山期 (D5⁺)

古新世至始新世,西天山仍总体处于隆升剥蚀状态,构造活动相对平稳,古应力场表现为弱挤压。渐新世—上新世是昭苏-特克斯扩展断陷的一个重要发育期,在这一时期,昭苏-特克斯断陷盆地进一步扩展,其所受的构造影响主要以周边断裂伸展、挤压和剪切活动为主。上新世末期,西天山地区盆山接触地带有强烈的断陷逆冲活动,断裂周缘岩系受到不同程度的逆向牵引作用。更新世至今,西天山于新生代断陷盆地及现代河流阶地中接受了半固结-松散沉积物的堆积,海拔 3 000 m 雪线以上则以第四纪冰川作用为主,形成各类冰水沉积和冰碛堆积。

总体上,由于新生代印度板块向欧亚板块的嵌入,使中国中西部地壳产生推覆冲断作用和走滑作用,此再生造山作用使天山地区强烈隆升,在其南北两缘出现库车和乌鲁木齐新生代再生前陆盆地。在这一区域构造背景下,西天山伴随天山整体隆升并有不同程度的差异升降运动,形成现今宏伟的山-盆结构。

4 结论

(1) 西天山造山带自元生代以来至今历经俯冲造山、陆陆碰撞造山、陆陆叠覆造山和陆内再生造山等多机制多旋回的造山作用,最终成为横亘于中亚地区的宏伟的复合型造山带。

(2) 西天山造山带的区域构造演化历程可分为 5 个阶段,即前震旦纪基底形成演化阶段 (D1)、震旦纪至早奥陶世稳定陆壳发展阶段 (D2)、中奥陶世至石炭纪末板块裂解与再拼合阶段 (D3)、二叠纪陆陆叠覆造山阶段 (D4) 和中新世代盆山耦合阶段 (D5)。其古生代时期中奥陶世至石炭纪末板块裂解与再拼合阶段 (D3) 又可细化为 4 个次级演化阶段:中奥陶世至晚志留世早古南天山洋盆形成阶段 (D3¹)、晚志留世至晚泥盆世俯冲造山阶段 (D3²)、晚泥盆世—早石炭世初陆陆碰撞造山阶段 (D3³) 和早石炭世—晚石炭世后碰撞阶段 (D3⁴),该阶段奠

定了西天山造山带的区域构造格架。

(3) 西天山造山带变形和运动图象非常复杂,主体构造组合样式为:大型韧性挤压剪切系统(那拉提-红柳河网结状韧性剪切带)、逆冲叠覆构造系统(脆韧性叠瓦状逆冲构造)、走滑构造系统(韧性-脆韧性)、褶皱冲断构造系统(韧脆性)和伸展断陷构造系统(脆性)。

参考文献 (References):

- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志 [M]. 北京:地质出版社, 1993.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1993 (in Chinese).
- 王宝瑜, 郎智君, 李向东, 等. 中国天山西段地质剖面综合研究 [M]. 北京:科学出版社, 1994.
- Wang B Y, Lang Z J, Li X D, et al. Comprehensive Survey of Geological Sections in the West Tianshan of Xinjiang, China [M]. Science Press, Beijing, 1994 (in Chinese).
- 高俊, 何国琦, 李茂松, 等. 西天山造山带的古生代造山过程 [J]. 地球科学, 1997, 22 (1): 27-32.
- Gao J, He G Q, Li M S, et al. Paleozoic orogenic processes of Western Tianshan Orogen [J]. Earth Science, 1997, 22 (1): 27-32 (in Chinese).
- 陈哲夫, 成守德, 梁云海, 等. 新疆开合构造与成矿 [M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社, 1997.
- Chen Z F, Cheng S D, Liang Y H, et al. Opening-Closing Tectonics and Mineralization in Xinjiang [M]. Xinjiang Technology and Healthy Press, Urumqi: 1997 (in Chinese).
- 张良臣, 刘德权, 王有标, 等. 中国新疆优势金属矿产成矿规律 [M]. 北京:地质出版社, 2006.
- Zhang L C, Liu D Q, Wang Y B, et al. Metallogenic rules of dominant metal minerals in Xinjiang, China [M]. Geological Publishing House, Beijing, 2006 (in Chinese).
- 李永军, 辜平阳, 庞振甲, 等. 西天山特克斯达坂库勒萨依序列埃达克岩的确立及钼找矿意义 [J]. 岩石学报, 2008, 24 (12): 2713-2719.
- Li Y J, Gu P Y, Pang Z J, et al. Identification of the adakite rocks of Kulesayi series and its significance of Mo prospecting in the Tekesidaban of Western Tianshan [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24 (12) (in Chinese): 2713-2719.
- 潘自力, 高占华, 佟黎明, 等. 西天山特克斯达坂地区库勒萨依斑岩地球化学特征及构造意义 [J]. 地质科技情

- 报, 2009, 28 (1): 45-50.
- Pan Z L, Gao Z H, Tong L M, et al. Geochemical character and tectonic significance of the Kulesayi Porphyry in Tekesi Daban, Western Tianshan [J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28 (1) (in Chinese): 45-50.
- 中国科学院登山科学考察队. 天山托木儿峰地区的地质与古生物 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1985.
- Mountain climbing and Science Investigation brigade of Academia Sinica. Geology and Fossils of Tomuer Mountain Area in Tianshan [M]. Xinjiang People's Publishing House, Urumqi, 1985 (in Chinese): 45-50.
- 郝杰, 刘小汉. 南天山蛇绿混岩形成时代及大地构造意义 [J]. 地质科学, 1993, 28 (1): 93-95.
- Hao J, Liu X H. Ophiolite melange time and tectonic evolutional model in South Tianshan Area [J]. Chinese Journal of Geology, 1993, 28 (1): 93-95 (in Chinese).
- 于海峰, 王福君, 梁有为, 等. 西天山那拉提-红柳河缝合带的构造组合样式与变形分析 [J]. 新疆地质, 2011, 29 (2): 141-149.
- Yu H F, Wang F J, Liang Y W, et al. Tectonics Tyle and Deformation Analysis of Nalati-Hongliuhe Suturezone in Western Tianshan Mountains [J]. Xinjiang Geology, 2011, 29 (2) (in Chinese): 141-149.
- 刘亚剑, 范继璋, 王卫江, 等. 西天山包机墩达坂-菁布拉克地区构造特征及控矿作用初探 [J]. 新疆地质, 2008, 26 (2): 123-127.
- Liu Y J, Fang J Z, Wang W J, et al. Research of Structural Geological Feature and it's Controlling Mechanism of Baozhadunbudaban-Jingbulake Area in Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2008, 26 (2): 123-127 (in Chinese).
- 胡霭琴. 新疆北部同位素地球化学与地壳演化 [A]. 涂光炽. 新疆北部固体地球科学进展 [C]. 北京: 地质出版社, 1993, 27-38.
- Hu A Q, et al. Isotope Geochemistry and Crust Evolution of the North of Xinjiang [A]. From: Tu G Z. Progress in Solid Geoscience of the North of Xinjiang [C]. Geological Publishing House, Beijing, 1993, 27-38 (in Chinese).
- 于海峰, 王福君, 潘明臣, 等. 西天山古元古代木札尔特岩群地质特征及时代厘定 [J]. 新疆地质, 2011, 29 (1): 20-25.
- Yu H F, Wang F J, Pan M C, et al. Geological Characteristics and Ages Assurance of The Muzhaerte Group Complex of Palaeoproterozoic in Western Tianshan Mountains [J]. in: Xinjiang Geology, 2011, 29 (1): 20-25 (in Chinese).
- 郭继易, 吕喜朝, 张经国, 等. 中国天山地槽的形成和发展特征 [J]. 新疆地质, 1986, 4 (3): 94-99.
- Wu J Y, Iii X C, Zhang J G, et al. Formation and Development characteristics of Tianshan Geosyncline in China [J]. Xinjiang Geology, 1986, 4(3): 94-99 (in Chinese).
- 王作勋, 郭继易, 吕喜朝, 等. 天山多旋回构造演化及成矿 [M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- Wang Z X, Wu J Y, L ü X C, et al. Polycycle Tectonic Evolution and Mineralization Process of Tianshan [M]. Science Press, Beijing, 1990, 103-128 (in Chinese).
- 王宝瑜, 郎智君, 李向东, 等. 中国天山西段木札尔特河及独库公路地质剖面综合研究报告 [M]. 乌鲁木齐: 新疆地质矿产研究所内部出版, 1993.
- Wang B Y, Lang Z J, Li X D. et al. The Report of Comprehensive Survey of Geological Sections About Muzhaerte River and Du-ku Highway in the West Tianshan of Xinjiang, China [M]. Inner-published by Institute of Geology, Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, 1993 (in Chinese).
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 新疆北部及其邻区大地构造 [M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- Xiao X C, Tang Y Q, Feng Y M, et al. Tectonics of North Xinjiang and its Neighboring Regions [M]. Geological Publishing House, Beijing: 1992 (in Chinese).
- 高俊, 汤耀庆, 赵民, 等. 新疆南天山蛇绿岩的地质地球化学特征及形成环境初探 [J]. 岩石学报, 2000, (增刊): 85-97.
- Gao J, Tang Y Q, Zhao M, et al. Reliminary study on the geochemical characteristics and the Formation environment of the ophiolite in the southern Tianshan [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, (Suppl.) (in Chinese): 85-97.
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山古生代洋陆转化特点的几点思考 [J]. 西北地质, 2002, 35(4): 9-20.
- Xia L Q, Xia Z C, Xu X Y, et al. Some thoughts on the characteristics of Paleozoic ocean-continent transition from Tianshan mountains [J]. Northwestern Geology, 2002, 35 (4) (in Chinese): 9-20.
- 马宗晋, 赵俊猛. 天山与阴山-燕山造山带的深部结构和地震 [J]. 地学前缘, 1999, 6 (3): 95-102.
- Ma Z J, Zhao J M. Deep department structure and earthquake of the Tianshan Orogen and the Yinshan-Yanshan Orogen [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6 (3) (in Chinese): 95-102.
- 张国伟, 李三忠, 刘俊霞, 等. 新疆伊犁盆地的构造特征与形成演化 [J]. 地学前缘, 1999, 6 (4): 203-214.
- Zhang G W, Li S Z, Liu J X, et al. Structural feature and evo-

- lution of Yili Basin, Xingjiang [J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6 (4): 203-214 (in Chinese).
- 殷鸿福, 张克信. 中央造山带的演化及其特点 [J]. *地球科学*, 1998, 23 (5): 437-442.
- Yin H F, Zhang K X. Evolutions and characteristics of the Central Orogenic Belt [J]. *Earth Science*, 1998, 23 (5) (in Chinese): 437-442.
- 何国琦, 李茂松, 刘德全, 等. 中国新疆古生代地壳演化及成矿 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1994.
- He G Q, Li M S, Liu D Q, et al. Paleozoic crustal evolution and mineralization in Xinjiang of China [M]. Xinjiang People's Publishing House, Urumqi, 1994 (in Chinese).
- 汤耀庆, 冯益民. 中国天山板块构造演化 [M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1991.
- Tang Y Q, Feng Y M. Evolution of Plate Tectonics of Tianshan, China [M]. Beijing Science and Technology Press, Beijing, 1991 (in Chinese).
- 汤耀庆, 高俊, 赵民, 等. 西南天山蛇绿岩和蓝片岩 [M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- Tang Y Q, Gao J, Zhao M, et al. The Ophiolite and The glaucophane-Schist in The West Tianshan [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1995 (in Chinese).
- 索书田, 钟增球, 周汉文, 等. 大别—苏鲁超高压和高压变质带构造演化 [J]. *地学前缘*, 2004, 11 (3): 71-82.
- Suo S T, Zhong Z Q, Zhou H U, et al. Tectonic evolution of Dabie-Sulu UHP and HP metamorphic belts, East-Central China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11 (3): 71-82 (in Chinese).

Regional Tectonic Evolution and Continental Dynamic characteristics of Western Tianshan Orogenic Belt

YU Hai-feng, WANG Fu-jun, PAN Ming-chen,

LIANG You-wei, GUO Hong-fang

(*Liaoning Institute of Geological Exploration, Dalian 116100, China*)

Abstract: During early tectonic evolution, Western Tianshan orogenic belt which is located between Kazakhstan Plate and Junggar Plate passes complex geologic evolution as follows: ①the first event (D1) is recognized from the evolution of Pre-Sinian basement; ②the D2 event is mainly the stable continental crust development of Sinian to Early Ordovician; ③the D3 structures and fabrics are plate divergence-fitting of the Middle Ordovician to the end of Carboniferous; ④the D4 event reveals intercontinental overlaying orogeny of Permian; ⑤the final stage of event (D5) largely indicates the basin-range coupling stage of Mesozoic-Cenozoic. The D3 event can be divided into four secondary stages of tectonic evolution, i. e., the D31 stage in the formation of the South Tianshan oceanic basin of the Middle Ordovician to late Silurian, the D32 stage in the subduction-orogeny of the late Silurian to late Devonian, the D33 stage in the intercontinental collision-orogeny of the late Silurian to early Carboniferous, and the D34 stage in the post-collision of the early Carboniferous to late Carboniferous. Western Tianshan orogenic belt becomes a magnificent compound orogenic belt in the central Asia which passes subduction-orogeny, intracontinental collision-orogeny, intracontinental overlaying-orogeny, intracontinental orogenic cycle and so on, Since Meso-Neoproterozoic.

Key words: regional tectonic evolution; continental dynamics; compound orogenic belt; Western Tianshan orogenic belt