

第一章 阿尔泰山大型变形构造 和泥盆纪火山—沉积盆地的形成和演化

第一节 大型变形构造的形成和演化

阿尔泰山造山带位于西伯利亚壳块的西南边缘，为加里东—海西阶段形成和发展的陆缘增生型造山带。它处于两大板块——西伯利亚板块和哈萨克斯坦—准噶尔板块的接合部位，后者在早古生代开始沿玛尔卡库里—额尔齐斯—玛因鄂博一线发生俯冲作用，导致阿尔泰山地区由北东向南西形成逐渐迁移和逐渐加强的陆缘岩浆活动和褶皱造山作用。由北东向南西依次发育有阿尔泰山区加里东构造—岩浆带、阿尔泰山前海西构造—岩浆带、额尔齐斯海西构造—岩浆带和乌伦古—斋桑泊海西末期碱性杂岩带，它们在时间上逐渐变新。造山带内褶皱—冲断构造的形成和发展也有与构造—岩浆带相对应的迁移格局（张湘炳、杨新岳，1993）。

乌伦古—斋桑泊海西末期碱性杂岩带代表了海西末期造山作用之后应力松弛阶段的产物。该杂岩带与哈萨克斯坦—准噶尔板块的北侧活动边缘相邻。两大板块的海西晚期沿科克森它乌—乌伦古—阿尔曼泰一线缝合，沿该带形成以构造侵位机制为主的超基性岩带，由变质橄榄岩、超镁铁质—镁铁质堆晶岩、中基性火山岩和放射虫硅质岩共同构成蛇绿岩层序。阿尔曼泰超基性岩体的围岩为一套海相中—基性火山碎屑岩和深海沉积硅质岩建造。据报道（肖序常等，1992），放射虫硅质岩中有晚泥盆世和奥陶纪放射虫。该蛇绿岩带应为碰撞缝合过程中的洋壳残留物质（张湘炳，杨新岳，1993）但其最终形成的时代仍有待进一步研究确定，根据现有资料倾向于该带为晚泥盆世—晚石炭世的碰撞缝合带。

由于阿尔泰山南缘地区位于古生代不同板块俯冲消减的接合部位，因此古生代期间哈萨克斯坦—准噶尔板块向北俯冲作用导致位于西伯利亚板块西南陆缘的阿尔泰山南缘地区发生大规模地壳缩短和褶皱造山作用，并伴有强烈的冲断推覆作用和重熔岩浆岩的产生和侵入，至古生代末，随着阿尔泰山造山带的最终形成，奠定了该区区域构造的基本格局，具有如下显著特点：

1) 区内发育的区域性褶皱构造方位较为单一，褶皱轴以 $290^{\circ} \sim 310^{\circ}$ 展布为主，发育于泥盆—石炭纪地层之中，具典型的线性紧密型褶皱特点，即大多为两翼陡倾或南西翼倒转、轴面近直立的褶皱形态。褶皱岩层强烈劈理化，发育区域性透入劈理，为区域性褶皱构造的轴面劈理。区域性褶皱构造代表了造山作用早期阶段形成的基本构造格局，随着造山作用的加强，早期形成的褶皱构造可能被构造置换作用和冲断推覆作用所改造，前者导致强烈变形岩石中形成大量的片内无根褶曲和近于同方向的叠加褶皱，使得沿轴面劈理产出的分异层理发生再褶皱。后者导致大量中型规模的平卧型褶皱的形成和发育。

2) 区域断裂（剪切带）构造极为发育，具有多阶段、多期次形成和活动的特征，在展布方向上有北西—南东、北西西—南东东、北北西—南南东和北东—南西 4 组。其中，北西—南东、北西西—南东东和北北西—南南东走向的断裂带多为区域性的大型断裂带，不仅地表呈

现显著的构造变形（包括脆性和韧性变形）特征，而且在卫星照片上显示出典型的线性构造特征。

虽然，该区不同走向的断裂（剪切带）构造均形成于古生代造山作用过程中统一的构造应力场之中，但是它们各自的形成动力和活动环境与造山作用过程中某一特定的构造动力条件有关，并为地壳不同变形层次的产物，因此它们分别具有其各自的特征（表 1-1）。北西-南东向大型断裂带构成了阿尔泰造山带的主体断裂构造格局，发育于阿尔泰山南缘地区的有额尔齐斯深断裂、特斯巴汗大断裂和阿巴宫-库尔提大断裂。这些断裂带的延伸均大于 200 km 特别是额尔齐斯深断裂 国境内延伸大于 400 km 向南东和北西分别延入蒙古和哈萨克斯坦境内，与哈萨克斯坦境内的同名构造带相连，而与蒙古境内的中蒙古深断裂相接。北西-南东走向的大型断裂带以冲断-推覆作用为典型特征 构成了多个大型推覆片体的前缘推覆面，并发育由北东向南西的叠瓦式冲断-推覆格局。它们在平面上的展布特征是向北西撒开 向南东收敛 并被北北西-南南东走向的右型走滑断裂带所切错。

表 1-1 阿尔泰山南缘地区不同方向断裂（剪切带）的构造特征

方位	产状及规模	运动学	变形性质	活动历史	实例
北西-南东	倾向北东，倾角 70°~80°，多为区域性大型断裂带，延伸可达数百公里，至少数百公里	以逆冲推覆为主，具右型走滑性质	以韧性和脆-韧性变形作用为主，代表地壳较深层次的变形作用	形成于早古生代，强烈活动于泥盆、石炭纪，晚古生代末和中生代仍有继承性活动	额尔齐斯深断裂、特斯巴汗大断裂、阿巴宫-库尔提大断裂
北西-南东	近于直立，延伸长达数十公里，宽约 300~500 m	为右型走滑剪切	为典型的韧性剪切带，形成于地壳深度 10~15 km 处	形成于早古生代或晚古生代初，中生代基本未活动	富蕴-锡伯渡韧性剪切带
北北西-南南东	倾向东，倾角 80°~85°，延伸长达 100 多公里，发育宽约 100 m 的断裂破碎带	右型走滑为主	为典型的走滑型断裂破碎带，具脆性变形特征，其中发育假玄武玻璃，反映约在地壳 1.5 km 深度的剪切熔融和快速冷却	形成于晚古生代初，中生代强烈活动，现代仍为重要的地震构造带	二台-可可托海断裂、萨热朔克断裂
北东-南西	近于直立，规模较小，延长多为数百米到 2 km 左右	具左型走滑性质	表现为张性破碎带，且其中大多充填有二叠纪的酸性岩脉	酸性岩脉的铷-锶等时线年龄为 241 Ma，代表了造山后期的最后一次构造-岩浆活动	富蕴县以西萨勒巴斯地区的岩脉群

一、变形构造的几何学和运动学

（一）冲断-推覆构造的几何学特征

大型冲断变形带和推覆体构成了阿尔泰山南缘的基本构造格局。深部地球物理场信息显示，在阿尔泰造山带南缘地壳中 8 km、17 km 和 27 km 的深度 存在三个地震 P 波反射界面 并在 17~26 km 的深度范围内存在一纵波速度为 7.31 km/s、横波速度为 4.39

km/s 的高速层 袁学诚等,1991)。这些 P 波反射界面可能反映了造山带地壳的构造分层和壳内薄皮状滑脱构造的滑动界面。在地壳 10~29 km 深度范围内存在 6~65 $\Omega \cdot m$ 的区域性低阻层 (张朝文等,1992)。该低阻层和 P 波高速层的存在应反映造山带地壳内存在含熔融体或流体较多的滑脱构造面,正是该滑脱面构成了造山带内的主滑脱构造,地表发育的各级冲断-推覆体的形成和发展格局受到该滑脱面的控制,并由南向北形成了五个大型推覆体 分别为 额尔齐斯推覆体、特斯巴汗推覆体、阿巴宫-库尔提推覆体、巴塞推覆体和库热克特推覆体。这里将着重研究发育于阿尔泰山南缘地区的额尔齐斯、特斯巴汗和阿巴宫-库尔提三个大型推覆体。

1. 额尔齐斯推覆体

额尔齐斯推覆体以额尔齐斯主断面与下伏岩系相接触,其北侧边界为特斯巴汗冲断裂。推覆体呈狭长带状展布,宽度 7~15 km 地表出露较完整的地段为富蕴、青河的东部地区,锡伯渡以西被第四系覆盖,但在哈巴河以北地区以玛尔卡库里冲断带出露,哈萨克斯坦境内的布赫塔尔明水库地区仍表现为强烈的逆掩推覆变形带 (Chikov and Solovjev, 1983) 因此,额尔齐斯推覆体在规模上是阿尔泰山造山带南缘的一级冲断-推覆带。额尔齐斯断裂具俯冲带性质,地表以较大的倾角 ($70^{\circ} \sim 80^{\circ}$) 向深部延伸 在壳内 20 km \pm 的深度分为两支,一支继续以高倾角向深部切割,切穿岩石圈;另一支以较低倾角在壳内延伸,构成壳内的主滑脱面。

额尔齐斯推覆体内部发育一套强烈变形的火山岩和火山沉积岩,其变形构造组合具典型的深层次韧性变形特征 (杨新岳等,1994)。在萨勒巴斯地区,由滑脱-推覆面向北东方向发育一套与劈人性劈理倾向相同的递增变质带。依次发育:绢云母绿泥石带、角闪石-阳起石带、黑云母-铁铝榴石带、夕线石带、糜棱岩带、混合岩带和混合花岗岩带 为一典型的倒转递增变质带 (曲国胜,张进江,1991 杨新岳等,1994) 反映了地壳中大型冲断推覆构造带典型的变形和变质特征,并与喜马拉雅造山带内大型推覆构造中发育的倒转递增变质带相似 (Windley,1985)。

额尔齐斯冲断推覆面在东段被二台-可可托海走滑断裂右型错断,其东侧与玛因鄂博大断裂相连。由于玛因鄂博断裂带的大规模逆掩推覆,导致一套厚约 4 000 m 强烈变形的糜棱岩-片岩-片麻岩-混合岩组合 (前人称为下泥盆统玛因鄂博组) 被逆冲推覆于下石炭统那林卡拉组之上。并且在冲断面上盘附近发育一宽约 700 m 的糜棱岩-超糜棱岩带,系冲断推覆面附近的强烈塑性流变带。在推覆体内部的次级推覆滑动面均向南西推覆,导致代表更老变质基底的哈巴河群 ($\epsilon_2 - O_1$) 被逆冲推覆于玛因鄂博组之上。推覆体中的哈巴河群显示出与玛因鄂博组不同的强烈动-热变质作用特征,岩石均经历混合岩化和高温重结晶作用,发育产状向北东缓倾的分异层理和大量由长英质脉和分异层理构成的流动状褶曲和轴面倾向北东的近平卧褶曲。在变质基底内部发育大量向北东缓倾的低角度逆掩断层,形成有露头规模的逆掩双层构造 (thrusting duplex)。双层构造的底部冲断层和双层构造体均向北东方向缓倾,反映出向南西方向的强烈逆掩作用。

额尔齐斯推覆体西段大部分被第四系覆盖,仅在哈巴河阿舍勒地区和布尔津北东部部分出露。在阿舍勒地区推覆体大部分被哈巴河花岗岩基所破坏,但冲断变形带和冲断面在阿舍勒和赛都等地出露较明显,习惯称其为玛尔卡库里断裂带,表现为倾角在 $75^{\circ} \sim$

80°之间波状起伏的断层面和宽约数十米的断层破碎带，具脆性变形的特征，赛都金矿床也就产在该断层破碎带之中。玛尔卡库里断裂带下盘发育近南北走向的次级张性断层破碎带，这些南北走向的张性断层是重要的容矿构造，多拉纳萨依金矿床的成矿空间与这组次级张性断裂有关。

玛尔卡库里断裂带向东延伸处被北北西走向的萨热朔克断裂带右型错断，东侧出露额尔齐斯推覆体北侧边界断裂——特斯巴汗断裂带，但推覆体大部分被第四系覆盖，仅出露北侧的少部分露头。野外观察发现，以萨热朔克断裂为界，西部的变形以脆性变形为主而东部的窝依莫克村附近变形则表现为较强烈的韧性变形发育S-C糜棱岩其中C面产状 $25^{\circ}/\angle 56^{\circ}$ ，S面产状 $55^{\circ}/\angle 80^{\circ}$ ，出现两翼同斜、褶皱轴直立的叠加褶皱和复杂的叠加褶皱形式（图1-1）。

褶皱岩层在该处被北西走向的断裂面右型走滑错断（图1-2），反映该处的下泥盆统岩层在经历了强烈的逆冲挤压变形之后，还经历过右型走滑剪切，平面上的S-C构造和被动褶曲也反映了右型走滑剪切的性质。

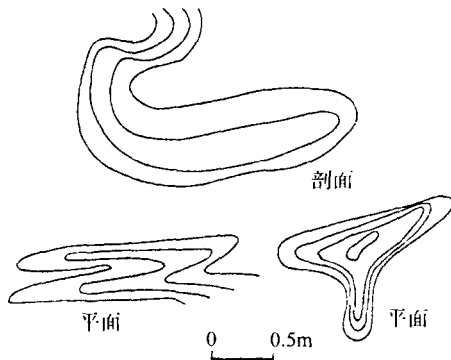


图 1-1 布尔津北东窝依莫克村附近特斯巴汗断裂带下盘下泥盆统岩石中的叠加褶皱形式素描

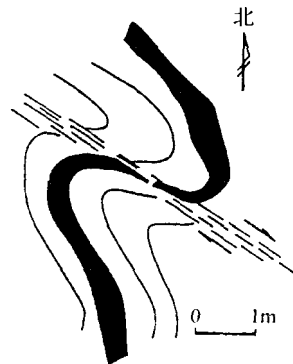


图 1-2 窝依莫克村附近的右型走滑剪切带和被动褶曲（据照片素描）

前人根据在锡伯渡附近浅变质岩石中发现的孢粉组合和芦木化石，将推覆体中的变形和变质杂岩的时代厘定为上石炭统，称为卡拉额尔齐斯组。然而近年来的研究发现推覆体内部的变形和变质岩石可能为不同时代岩块，在俯冲削刮和逆掩推覆等构造混杂过程中形成的一套变形变质杂岩，以推覆体轴部发育的富蕴-锡伯渡韧性剪切带为界，其南侧的一套混合岩化斜长片麻岩的时代引起了较多争议，曲国胜等（1991）在混合岩中获得长石多阶段铅模式年龄 $t_1 = 1849 \text{ Ma}$, $t_2 = 412 \text{ Ma}$ ，认为带内深变质杂岩体是由元古宙一早泥盆世多时代地层组成。胡霏琴等（1990）在斜长角闪岩中获得钐-钕模式年龄 1588 Ma ，据此认为该套深变质杂岩的时代可能与乌恰沟上游出露的蓟县系的时代相同。因此，不能排除该推覆体中存在古老结晶基底的可能性。

特斯巴汗推覆体

特斯巴汗推覆体位于额尔齐斯推覆体的北侧，沿特斯巴汗冲断带逆冲推覆于额尔齐

① 新疆地质局区域地质调查大队. 1978. 1:20万区域地质调查报告, 富蕴幅。

斯推覆体之上。该推覆体平面上呈北西宽向南东收敛，并在富蕴附近尖灭的形态，其主体岩层为中泥盆统阿勒泰组，岩性以一套长石石英砂岩、变砂岩、千枚岩、大理岩等为主，变形和变质程度北西段较低，南东段强。北西段的阿勒泰市附近出露海相枕状熔岩，南东段由一较为完整的紧密背斜——苏普特背斜构成，岩石变形和变质程度明显高于北西段。背斜两翼为中泥盆统的片岩、片麻岩，核部出露下泥盆统深变质混合岩和混合花岗岩。

该推覆体出露于阿勒泰市至富蕴县城之间（约 120 km 的范围内）阿勒泰市以西地区被大规模的海西花岗岩岩基所破坏，东段在苏普特村附近尖灭。在东段的达拉维孜村附近可见中泥盆统阿勒泰组的混合岩沿特斯巴汗冲断裂逆冲于片岩之上（图 1-3A），上盘混合岩的分异层理与下盘片岩中的透入片理表现为方位完全不同的面状构造，上盘混合岩中的分异层理与下盘片岩中的透入片理表现为方位完全不同的面状构造，上盘混合岩中的分异层形成断层弯曲褶皱（fault-bend fold）（图 1-3B）但下盘的片理基本未褶皱，反映逆冲过程中变形主要发生在上盘

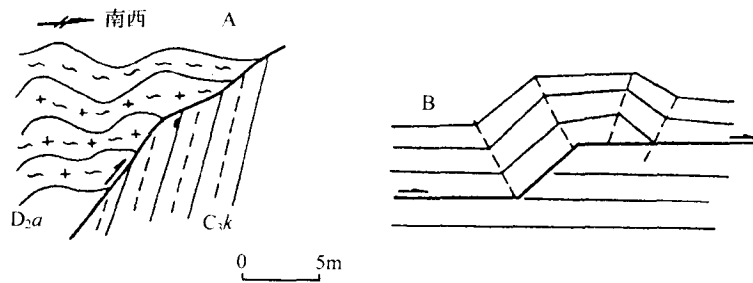


图 1-3 富蕴达拉维孜村附近阿勒泰组 (D_2a)沿特斯巴汗冲断层逆冲于卡拉额尔齐斯组 (C_3k)的片岩之上，上盘混合岩分异层形成断层弯曲褶皱 (A)；断层弯曲褶皱的几何形式 (B)

推覆体内部发育的褶皱-冲断系代表了冲断推覆变形的主要几何学特征，冲断面上部陡倾下部逐渐变缓的铲形断层形态，冲断面上盘岩层常发生为强烈褶皱变形，形成的褶皱形态表现为北东翼倾角较缓，而南西翼陡倾成倒转（图 1-4），反映了断层扩展褶皱（fault-propagation fold）的典型几何形式（图 1-5A）。剖面上测量获得冲断角 $\alpha = 43^\circ$ （图

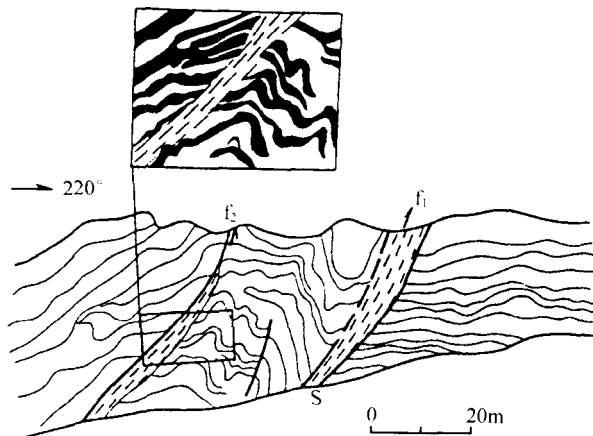


图 1-4 特斯巴汗冲断推覆体内部的褶皱-冲断形式（地点：达拉维孜村以北 2 km）褶皱岩层为能干层（黑色层）和非能干层构成的多层岩层，S代表糜棱岩顶理

1-4中的 f_1) 在其上盘测量岩层形成的 5 条褶皱, 获得褶皱两翼夹角分别为 $35^\circ, 41^\circ, 60^\circ, 37^\circ$ 和 47° 在几何分析图上 这些褶皱均落在“前翼减薄”区内(图 1-5B) 其前翼南西翼减薄为 30%~80%, 反映逆冲推覆过程中, 多层岩系中的岩层发生褶皱时, 前翼通常变形较后翼强烈, 发生半塑性-塑性流变, 这种特征的褶皱-冲断形式通常发生于地壳较深层次(Tamison, 1992)。

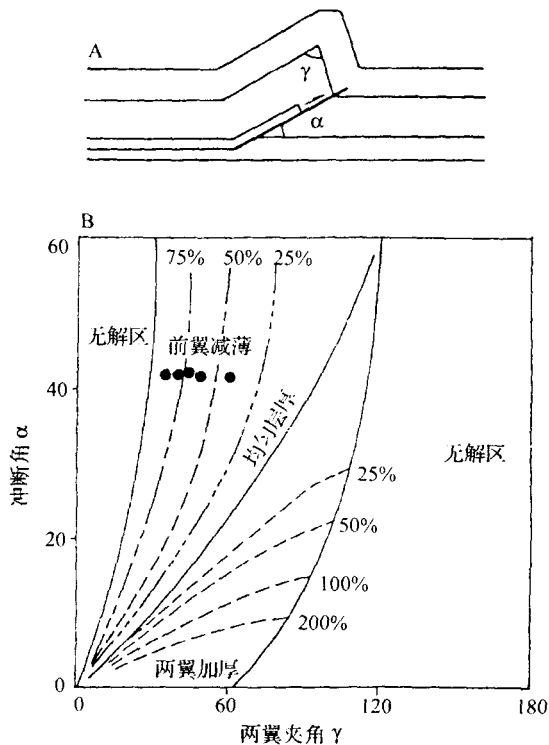


图 1-5 冲断-推覆体上盘断层扩展褶皱的几何学分析 (Tamison, 1987)

3. 阿巴宫-库尔提冲断-推覆体

阿巴宫-库尔提冲断-推覆体分布于阿尔泰山前地区, 呈狭长带状展布, 南界为阿巴宫-库尔提冲断裂, 北界为巴塞冲断裂, 宽度约为 8~15km 北西-南东向延长超过 150 km。沿阿巴宫-库尔提冲断裂该推覆体内的一套下泥盆统中-酸性火山岩和海西花岗岩基推覆于中泥盆统阿勒泰组之上, 南界冲断面倾向北东, 地表附近倾角 $60^\circ \sim 80^\circ$ 向深部延伸, 倾角逐渐变小, 并最终与地壳内滑脱面归并。该冲断-推覆体内部发育一组北西走向的逆冲断层。该组近于平行的逆冲断层呈叠瓦状逆冲的几何形式(图 1-6) 冲断-推覆体的北西段被该组冲断裂破碎较强, 主要表现为脆性或脆-韧性变形的特征。在南东段的库尔提一带变形作用明显加强, 阿巴宫-库尔提冲断裂上盘出现大量的不对称紧密褶皱, 其北东翼倾角较缓, 均为正常层序, 而南西翼为直立或倒转层序, 这种几何形式的褶皱系应为阿巴宫-库尔提冲断带大规模冲断-推覆变形时, 上盘岩层经历挤压缩短的产物, 具有断层扩展褶皱的几何特征。

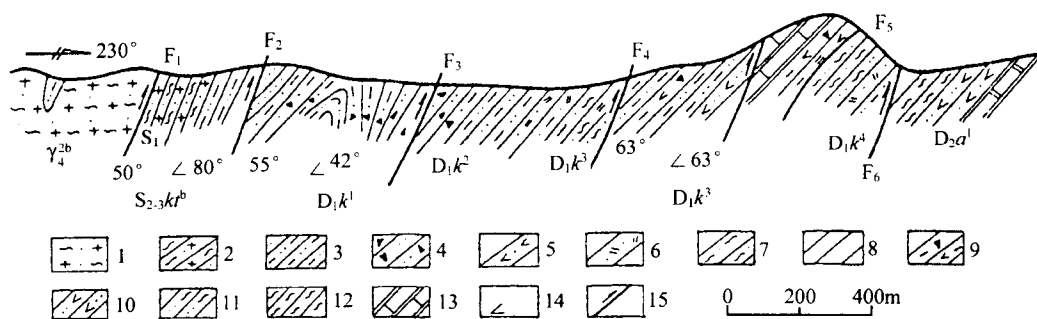


图 1-6 铁木尔特一带叠瓦式冲断构造剖面

1. 花岗岩; 2. 十字红柱石英片岩; 3. 云母石英片岩; 4. 晶屑凝灰岩; 5. 磁铁矿化凝灰质熔岩;
6. 变质霏细岩脉; 7. 绿泥石英片岩; 8. 晶屑凝灰熔岩; 9. 角砾晶屑凝灰岩; 10. 凝灰质砂岩;
11. 石英钠长斑岩; 12. 千枚岩; 13. 大理岩; 14. 劈理及产状; 15. 断层

沿该冲断-推覆体内部发育的这组逆冲断层南东段的乌恰沟上游附近发育更为强烈的逆冲抬升作用, 导致抬升出阿尔泰造山带深部结晶基底——蓟县系。在二台-可可托海走滑断裂以东地区, 该推覆体主要出露哈巴河群一套片岩、片麻岩和混合岩等, 反映东段的冲断抬升和剥蚀程度普遍高于二台-可可托海断裂以西地区, 一方面沿冲断面, 东段逆冲较强, 另一方面倾向北东东的二台-可可托海断裂的右型走滑作用导致东部被强烈抬升有关。

4. 巴塞推覆体

巴塞推覆体以大桥-巴塞-恰尔沟-拜城冲断裂为南界。二台-可可托海断裂以西地区, 推覆体主要由志留纪地层和大型海西花岗岩体组成, 北部大面积出露的基底岩系——寒武系-奥陶系被逆冲推覆于下泥盆统火山岩之上, 南界冲断-推覆面发育于大型复式背斜——哈龙复背斜的南西翼, 地表附近倾向北东, 倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 向深部延伸逐渐变缓, 并与主滑脱面——额尔齐斯滑脱面归并。二台-可可托海走滑断裂以东地区出露哈巴河群, 产出较深层次变形-变质岩石。

5. 库热克特推覆体

库热克特推覆体南界为红山嘴-库热克特冲断带, 发育于哈龙复背斜的北东翼, 加里东-海西早期沿该冲断带发生较大规模褶皱-推覆作用, 形成推覆体。但中泥盆统以后, 阿尔泰造山带内冲断-推覆系发生后缘拉张, 在冲断带以北地区形成中泥盆世-早石炭世的上叠盆地, 形成一套碎屑岩、碳酸盐岩和中酸性喷发岩组合。早石炭世末结束后缘拉张, 红山嘴-库热克特冲断裂继续发生逆冲-推覆作用, 导致上叠盆地中形成的中泥盆统一早石炭统被逆冲-推覆于基底变质岩之上。

(二) 冲断-推覆构造的运动学规律

1. 冲断-推覆过程的变形运动学

阿尔泰山南缘地区的古生代变形变质岩石中广泛发育与剪切变形有关的下述几种变

形构造。

(1) 剪切被动褶皱 阿尔泰南缘地区发育的冲断-推覆体经历了多期褶皱变形，形成了多期叠加的褶皱形式，我们在这里讨论的目的是希望从错综复杂的褶皱形式中筛选出与剪切变形有关的所谓被动褶曲，研究其几何特征与剪切运动学的对应关系。

当逆冲推覆剪切开始时，在变形岩层产状较为平缓的情况下，岩层经历与之斜交的简单剪切变形，导致岩层首先可能形成对称褶曲。但随着递进剪切和褶皱翼的被动旋转，逐渐形成不对称褶皱，这种类型褶皱的前翼通常呈高倾角或倒转，而后翼呈低倾角的正常层序，由褶皱后翼向前翼方向代表了逆冲-推覆作用的运动方向。额尔齐斯冲断-推覆体中发育的断层弯曲褶皱（图 1-3）和特斯巴汗冲断-推覆体中发育的断层扩展褶皱（图 1-4）属于该种类型的褶皱。此外，在阿巴宫-库尔提冲断-推覆带和玛因鄂博冲断带上盘均大量发育这种类型的褶皱形式。根据这种类型褶皱的方位关系和被动应变标志层的标准方程（Ramasay and Huber, 1983），可计算剪切变形的最终剪应变。研究表明，当剪应变达到 2.5 以上时，岩层将能形成典型不对称被动褶曲（Rowan and Kligfield, 1992）。

当褶皱先于剪切变形发育时，剪切变形强烈改造先成褶皱。特别是，如果剪切方向与先成褶皱轴直立成大角度相交时，将会导致先成褶皱轴的强烈弯曲，从而形成刀鞘状的褶皱形态，即所谓的鞘褶曲。

鞘褶曲的褶皱轴呈弧形弯曲，其弯曲的曲率半径越小反映剪应变值越大，弯曲的褶皱轴的突出方向代表了剪切指向。阿尔泰南缘冲断-推覆体中广泛发育两种产状的鞘褶曲。第一种为长轴方向基本平行透人性劈理倾向，且倾角在 65° 左右的鞘褶曲，该种类型鞘褶曲多发育于岩石强烈变形、变质的混合岩之中，伴有流动状构造生成，野外观察多见其水平断面形态（图 1-7a）。这种产状的鞘褶曲反映了深层次逆冲剪切的运动学性质。第二种为长轴近水平产出的鞘褶曲（图 1-7b），长轴方向和其中发育的矿物拉伸线理方向与透人性劈理走向近平行，反映了走滑剪切的运动学性质。

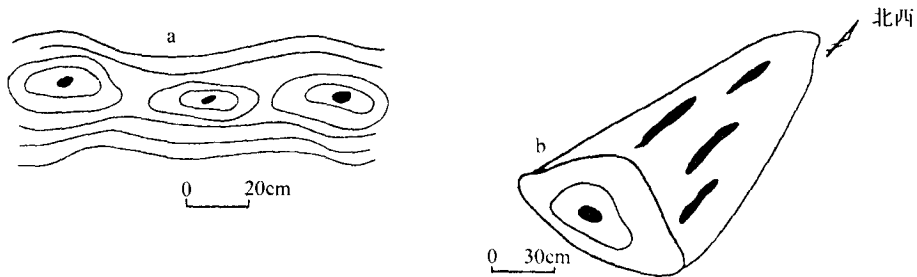


图 1-7 阿尔泰南缘地区鞘褶皱形态

- a. 水平切面上:的鞘褶皱断面，鞘褶曲长轴呈较高倾角，指示逆冲剪切，地点为萨勒巴斯处额尔齐斯河北岸；
b. 长轴北西-南东走向的鞘褶皱，其中发育矿物拉伸线理，富蕴以西约 4 km

前人多认为鞘褶曲为狭长的韧性剪切带的标志性构造（郑亚东，常志忠，1985）。然而经历了区域性剪切变形，特别是以韧性逆冲-推覆剪切为主的变形地质体中可能广泛地发育鞘褶曲，因而鞘褶皱并非接近剪切带或位于剪切带之中的绝对标志（Ramasay and Huber, 1987）。

除了断层弯曲褶皱、断层扩展褶皱，以及鞘褶皱以外，经历剪切变形的地质体中还广

泛发育尺度较小的膝折构造(图 1-8)这也是被动剪切褶皱的一种常见类型。膝折面通常代表了物质被压溶的构造面(Gray and Durney, 1979; Cosgrove, 1976)因此平行于应变椭球的 X 轴,据此可判别富蕴-锡伯渡韧性剪切带具右型走滑剪切。

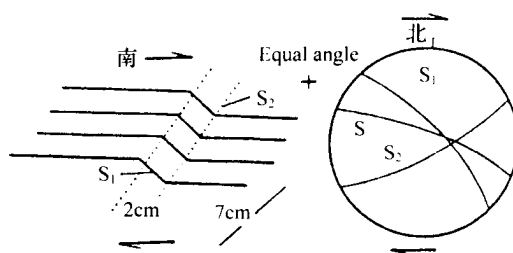


图 1-8 富蕴-锡伯渡韧性剪切构造片岩中的膝折构造和剪切指向

(2) 旋转布丁构造和多米诺骨牌构造

这两种构造基本上属一种成因类型,为剪切变形过程中变形岩块的旋转作用所形成,许久以来这两种构造形式被认为是判别剪切指向的较可靠的证据(Bell and Johnson, 1992; Brunel, 1986;任建业 1988),然而最近对这种类型构造的详细几何学和运动学分析,发现它们可能在几种剪切形式下形成,特别是当碎块中先存裂隙面与剪切方向呈高角度相交时,碎块旋转方向通常与剪切方向相反,只有当剪切方向与碎块位移面相平行时,才能准确地判别剪切指向。因而在研究旋转布丁和多米诺骨牌构造时必须结合其他相伴构造的几何形式,特别一种与碎块旋转相伴产生的 V-型拉裂隙(V-pull apart)是判别剪切指向的有效判据(Hippertt, 1993)这种 V-型拉裂隙代表了剪切变形中的拉伸面其中是流体沉淀和矿物重结晶的场所,或者被韧性基质所填充(图 1-9)结果碎块的旋转方向和 V-型拉裂隙的产状,能有效地判别剪切指向。

发育于额尔齐斯冲断推覆体轴部的富蕴-锡伯渡韧性剪切带中的旋转布丁构造和与其相伴的 V-型拉裂隙指示该剪切带具右型走滑剪切性质(图 1-9a)。而玛因鄂博逆冲-推覆带中,在水平面上观察到平行于劈理方向的分异长英质脉形成的多米诺骨牌构造(图 1-9b),反映玛因鄂博构造带在较晚阶段发生了右型走滑剪切。



图 1-9 旋转布丁构造和多米诺骨牌构造素描图

- a. 富蕴-锡伯渡韧性剪切带的旋转布丁构造和剪切指向;
- b. 玛因鄂博构造带混合岩中分异长英质脉形成的多米诺骨牌构造

(3) 不对称显微构造 阿尔泰山南缘地区构造岩中广泛发育各种类型的不对称显微构造,包括单斜对称的压力羽晶 σ 和 δ 型残斑系、鱼形云母 S-C 面理组构、旋转石榴子石斑晶、石榴子石雪球构造和长石多米诺骨牌构造及 V-型拉裂隙等。对阿尔泰山南缘地区构造岩进行了系统的显微运动学分析,采样范围遍及整个研究区,样品均为定向样品,并切制两个互相垂直的切片,分别为: XZ 切片方向为垂直劈理面并平行劈理倾向, YZ 切片方向为垂直劈理面并平行劈理走向。在这两个方向的切片上观察到了丰富的不对称显微构造(图 1-10),反映阿尔泰山南缘地区经历普遍的剪切变形,剪切指向具有显著的规律性在 XZ 切片上的显微构造(图 1-10a-f)指示了逆冲剪切变形。在研究区内几条主干的北西-南东走向冲断推覆带 额尔齐斯-玛因鄂博冲断带、特斯巴汗冲断带、阿巴宫-库尔

提冲断带的构造岩在 XZ 切片和 YZ 切片上均发育大量的不对称显微构造，前者指示逆冲剪切，后者指示右型走滑剪切，说明冲断构造带除了发生了大规模逆冲推覆作用外，在平面上具有右型走滑分量。呈北西西走向的韧性剪切带，如富蕴-锡伯渡韧性剪切带、克孜勒他乌韧性剪切带，仅在 YZ 切片上发育不对称显微构造，指示右型走滑剪切。

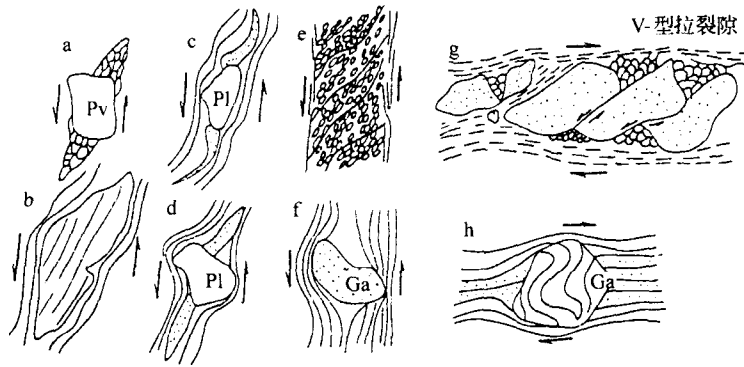


图 1-10 阿尔泰山南缘地区构造岩中的显微剪切判据（显微镜下素描）

a. 黄铁矿不对称压力影；b. 鱼形云母；c. δ型残斑系；d. σ型残斑系；e. S-C 组构；f. 旋转变斑晶；g. 多米诺骨牌构造和 V-型拉裂隙；h. 石榴子石雪球构造。a-f. 为 XZ 切片样品 g, h. 为 YZ 切片样品

2. 冲断-推覆构造的运动学规律

由于区域性构造变形的运动学形式与变形构造（露头规模和显微尺度）的几何形式具有密切的成因联系，因此区域性变形的运动学特征必然是通过小尺度（露头规模和显微尺度）的变形运动学特征体现出来的。根据构造相似性原理，显微尺度、露头规模和区域性规模甚至到壳块尺度的构造变形运动学特征是可以类比的，问题的关键是怎样对研究区建立一套合适的运动学判别标志。根据下面详述的运动学判别标志，将阿尔泰山南缘地区发育的主要构造带的运动学特征归纳成表 1-2。

根据阿尔泰山南缘地区大型变形构造的变形运动学分析（表 1-2）阿尔泰山造山带的变形运动学具有显著的规律性 表现为大型冲断-推覆体的边界断裂均具有强烈的逆冲推覆剪切性质 因此冲断-推覆体内部的变形几何学表现为以逆冲剪切变形为主，反映了加里东-海西期俯冲造山作用同期的变形作用性质，这些大型边界冲断-推覆断裂伴随强烈的挤压造山作用发生大规模的逆冲-推覆，为造山带内典型的收缩冲断构造，在逆冲剪切的同时或稍后阶段 逆冲-推覆构造带发生了右型走滑剪切，这些构造带包括：额尔齐斯构造带、特斯巴汗构造带、阿巴宫-库尔提构造带、巴塞构造带和库热克特构造带。它们的右型走滑剪切分量与该区另一类北西西走向的韧性剪切带的右型走滑剪切构成了本区另一个具普遍性的变形运动学特征——区域性的右型走滑剪切变形。

逆冲-推覆变形和右型走滑剪切构成了本区主体的变形运动学特征，也反映了造山作用过程中的变形运动学性质，这些运动学特征反映了造山作用过程中，沿额尔齐斯构造带的俯冲作用方向可能发生了偏转，早期下盘壳块主要向北东方向俯冲。随着造山作用的进行，俯冲方向可能逐渐向北偏转，导致区域性规模的右型走滑剪切。

表 1-2 阿尔泰山南缘地区大型构造带的运动学

构造带	产状	剪切判据		运动学	变形性质
		露头规模	显微尺度		
额尔齐斯-玛因鄂博	走向 280°~310°，倾向北东，地表倾角 60°~80°	被动褶皱、鞘褶皱、a 轴线理、逆掩双层构造、骨牌构造	σ, δ 型残斑系、鱼形云母、S-C 面理、长石骨牌构造	逆冲为主，具右型走滑剪切	韧性和脆-韧性变形为主
特斯巴汗	走向 290°~300°，倾向北东，倾角 70°~80°	断层弯曲褶皱、断层扩展褶皱、a 型褶曲	S-C 面理、σ 型残斑系、骨牌构造、旋转变斑晶	逆冲为主，具右型走滑	脆-韧性变形为主
阿巴宫-库尔提	走向 310°~320°，倾向北东，倾角 60°~80°	叠瓦式逆冲带、断层扩展褶皱	不对称压力影、石榴子石雪球构造、鱼形云母	逆冲为主，具右型走滑	脆性、脆-韧性变形为主
富蕴-锡伯渡	走向 280°左右，近直立	鞘褶曲、a 轴线理、膝折带、a 型褶皱、旋转布丁构造	σ, δ 型残斑系、S-C 面理	右型走滑剪切	韧性剪切带
克孜勒他乌	走向 290°左右，倾向北东，倾角 80°左右	鞘褶曲、a 型褶皱、膝折带	S-C 面理、σ, δ 型残斑系	右型走滑剪切	脆-韧性剪切带
二台-可可托海	走向 345°~350°，倾向北东，倾角 70°~85°	断层擦痕	σ 型残斑系	右型走滑剪切，东盘具向下运动分量	正-平移断层，脆性变形为主

在阿尔泰山冲断-推覆-滑脱-褶皱造山过程中，发生了四期（6 次）主要的构造变形，各变形期的主要特征如表 1-3 所示。

表 1-3 阿尔泰山地槽造山带南缘地槽阶段变形期次表

变形期	变形叠加次数	代号	变形时代	代表性构造	变形性质	运动学性质
第一期	1	B ₁	D ₁ -D ₂	产生早泥盆世北西走向展布的火山岩带，发育高温低压的大陆裂谷型变质作用	地壳浅部层次的脆性张裂作用	北东-南西方向拉张为主
第二期	3	B ₂₋₁	D ₃ -C ₁	形成轴向北西-南东的区域褶皱和逆冲断层，进而出现大规模地壳缩短和加厚	地壳中部层次的脆-韧性变形为主	北东-南西方向挤压缩短
		B ₂₋₂	C ₂	强烈劈理化和构造置换作用，形成透入性流劈理(S ₁)和早期构造分异层理(S ₂)	发生于下部构造层次的韧性变形和分异作用	由北东向南西逆冲-推覆，并具右型走滑剪切
		B ₂₋₃	C ₂ -C ₃	强烈逆冲-推覆作用，早期分异层理(S ₂)被褶皱成紧密褶皱，并再次发生轴面劈理置换形成新一代透入性劈理(S ₃)和分异层理(S ₄)，并发生剪切加热和部分熔融作用	下部构造层次的韧性变形和流动变形	由北东向南西逆冲-推覆，并具右型走滑剪切
第三期	1	B ₃	C ₃ -P ₁	沿倾向北东的断裂带发生高角度叠瓦式逆冲作用	地壳浅部层次的脆性变形为主	由北东向南西逆冲为主
第四期	1	B ₄	P ₂	产生北东-南西走向的张性断裂并沿断裂侵入酸性岩脉	地壳浅部层次的脆性张裂作用	拉张背景下的右型走滑

综上所述,阿尔泰造山带,实际上是一个呈北西向展布的巨型变形构造,具体地说是一个由多个大型推覆体所组成的巨型变形构造。如在阿尔泰山可分出 5 个大型冲断-推覆体(各推覆体均呈北西向带状展布)自北东向南西依次为 库热克特冲断-推覆带、巴塞冲断-推覆带、阿巴宫-库尔提冲断-推覆带、特斯巴汗冲断-推覆带和额尔齐斯滑脱-冲断-推覆带(如图 1-11 所示)。图中所示区域性断裂分别为各同名推覆体的主冲断-推覆面出露线;图中并标出了各推覆体沿推覆面在各变形期、次的运动方向水平投影。

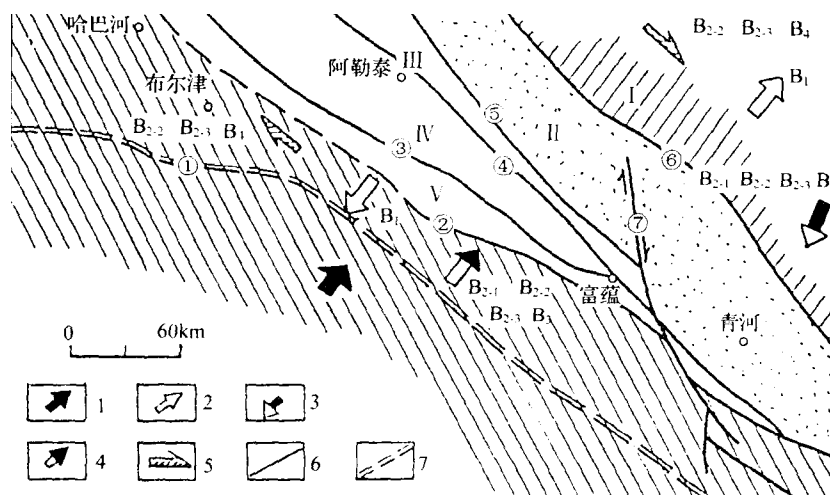


图 1-11 阿尔泰山运动学示意图

1. 哈萨克斯坦-准噶尔壳块运动方向; 2. 拉张方向; 3. 推覆体沿南西推覆面逆冲方向投影; 4. 推覆体沿北东推覆面相对俯冲方向投影; 5. 走滑剪切方向; 6. 主干断裂; 7. 壳块接合带; $B_{x,y}$ 变形期次(各变形期、次特征见“变形期次”表); ① 哈萨克斯坦-准噶尔壳块和西伯利亚壳块的接合线(斋桑-阿尔曼泰蛇绿岩带); ② 额尔齐斯深断裂; ③ 特斯巴汗大断裂; ④ 阿巴宫-库尔提大断裂; ⑤ 巴塞大断裂; ⑥ 库热克特大断裂; ⑦ 可可托海-二台走滑断裂; I. 库热克特冲断-推覆带; II. 巴塞冲断-推覆带; III. 阿巴宫-库尔提冲断-推覆带; IV. 特斯巴汗冲断-推覆带; V. 额尔齐斯滑脱-冲断-推覆带

(三) 构造变形过程的 $P-T$ 演化^①

根据石榴子石-白云母-斜长石-黑云母温压计计算的温度、压力在 $P-T$ 图上显示一较完整的变质演化曲线(图 1-12), 具有造山带逆冲推覆作用导致地壳叠置加厚的热演化模式(England and Thompson, 1984; St-Onge, 1987) 的典型特征。由 550°C 、5.5 kbar 向 550°C 、7.5 kbar 的温压条件演化, 代表了造山作用前期大规模推覆叠置作用和地壳快速加厚过程。若以 $250\sim 300\text{ bar/km}$ 的压力梯度估算, 地壳加厚可达 6.5~8 km 这一过程时间上为早古生代末一晚古生代初。随着造山作用的加强, 沿大型滑脱构造——额尔齐斯断裂发生大规模韧性剪切和剪切加热, 导致沿剪切带边界开始的部分熔融作用,

^① 鉴于篇幅所限, 将属于该部分的“同位素年代学证据”和“变质作用 P/T 条件计算”的内容删去, 详细内容请见 1995, 85-902-01 课题组, 阿尔泰黄金有色金属开发区成矿地质条件与矿产资源评价研究, 科研报告, 国家①五项目办公室, P69~74

熔体的出现同时也强化变形，促使部分熔融的扩展，这一过程使得糜棱岩向混合岩过渡，并最终形成花岗岩。斜长石变质年龄（308 Ma）应代表了这一过程开始的时间。晚古生代末造山作用进入晚期，一方面沿高角度（ $> 70^\circ$ ）断层的逆冲作用使深部环境的变质岩系到达地壳浅部，另一方面山脉经历快速剥蚀作用，导致推覆片体中温度、压力逐渐降低，岩石经历退化变质作用，最终沿额尔齐斯断裂形成由南向北的倒转递进变质带，角闪石-黑云母组合的变质年龄（270~280 Ma）相当于退化变质开始的时间。北东走向张性断裂带之中产生的酸性岩脉的铷-锶等时线年龄（241 Ma）则代表了该区剪切加热和变形、变质作用的结束时间。据此可以初步估算，沿额尔齐斯构造带发生的俯冲导致的造山作用过程持续时间至少有 60 Ma 以上，相应的变形和变质作用高峰为 300~320 Ma 之间（相当于早石炭世末—晚石炭世初（石炭纪二分））。

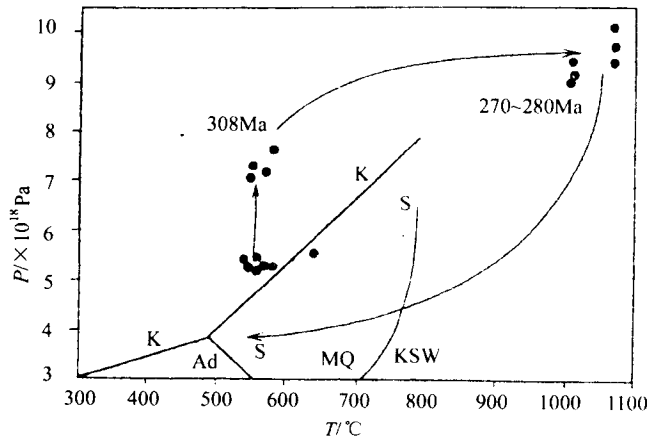


图 1-12 额尔齐斯冲断-推覆体 $P-T-t$ 演化曲线
K. 蓝晶石; S. 夕线石; Ad. 红柱石; M. 白云母; Q. 石英; W. 水

二、构造分带富集的模拟试验

构造分带富集的机理，是通过构造运动产生的力效应、热效应和能效应达到使分散的矿物质迁移聚集而形成矿化富集。可以借助高温高压的试验来模拟之

（一）对多种地质现象的思考

很多的地质现象常常引起人们的费解和深思，仅举几例如下：

1) 阿尔泰山地区 自北向南存在 3 条构造岩浆带，3 条二级变质相带和 3 条稀有金属、铜多金属和铜-金构造矿带，它们都呈北西向分布。岩浆岩带、变质带和成矿带的伸展方向 均与区域构造线一致。

2) 在阿尔泰山南缘地区，特别是在额尔齐斯挤压带内，无论在何处自南西向北东都可分出变质相带 如在萨勒巴斯 自南西向北东可以分出绢云母-绿泥石带、角闪石-阳起石带、黑云母-铁铝榴石带、夕线石带、糜棱岩带、混合岩带和混合花岗岩带等 7 个变质相带，

共处于额尔齐斯冲断-推覆体内，呈北西向分布。

3) 在萨尔布拉克金矿和科克萨依金矿区，每条矿脉都产在构造破碎带中，其中央是矿化富集带，向两侧则是含矿碎裂岩带，边部则是糜棱岩带。

4) 阿拉那提金矿的含金石英脉产于层间破碎带中，含金黄铁矿和含金黄铜矿均集中于石英脉两侧呈带状分布，更边部则是薄层糜棱岩带。

5) 在研究大量的薄片和光片中 发现很多蚀变矿物、变余矿物、金属矿物和变形矿物的显微带状分布现象。

上述与构造线分布方向相一致的带状分布现象，表面上是受构造所控制，其实质是：构造运动所引起的力效应、热效应和能效应促成了诸如上述岩石、变质矿物、碎裂矿物和矿石矿物的分带富集。

(二) 模拟试验

俄罗斯学者在对阿尔泰造山带的动力变质带进行地球动力学、运动学和成矿研究的同时，特别注意到了动力变质带形成过程的连续性，即动力变质带的形成过程是改造（构造变形）和建造（变质建造、成矿建造）同时进行的两个不可分割的过程。他们认为，在应力（如冲断-推覆和剪切过程中所释放的应力）作用下，原岩发生破坏和位移时就会出现物质的重新分配和组合，最终形成一套不同于原岩和围岩的特殊建造——动力变质带。

俄罗斯科学院 Б. М. Чиков 教授受邀来本专题组工作（1993.11.~1994.5）在前人单矿物冲压实验成果（Дерибас и др., 1966; Нестеренко, 1985; Чиков и др., 1991）的基础上，进行了花岗质碎裂岩的冲压实验和普通辉石的单轴压力实验，获得了有意义的成果。

笔者和 Б. М. Чиков 等对实验成果及其地质意义分述如下：

实验一：花岗质碎裂岩冲压实验

1. 实验

样品为采自阿尔泰南缘的松散状花岗质碎裂岩，粒径 0.16~0.5 mm 密度 1.4 g/cm³ 原岩由含量约相等的石英和长石、10%黑云母及少量分散状矿石矿物（赤铁矿）组成。无需包装地置于一圆柱形钢质容器中。系列实验中均使用硝酸炸药和里索金炸药（环三亚甲基三硝胺）作为引爆炸药。引爆器置于钢质容器的上方，因而碎裂岩的热加工是通过滑动爆炸的方法，对容器进行圆周挤压来进行的。样品热加工参数是根据减压波通过后样品量无损的条件下允许装载的最大炸药量来计算的（Штерцер, 1988）。计算结果是，实验进行时，接近冲击波前锋的样品所受最大压力为 100~200 MPa（使用硝酸炸药和 400~500 MPa 使用里索金炸药）冲击波作用时间持续 $1 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5} s$ 。

2. 实验结果及其分析

对实验后的样品取样进行了显微镜下观察、X 衍射和电子顺磁共振分析，具地质意义的实验结果主要有：

(1) 粘结作用 实验后的样品中，矿物集合体和碎裂物变得致密；相邻颗粒在接触

处互相渗透，导致粒间压密；实验后样品的矿物成分和基本构造特征与自然界的变余碎裂岩相似，但裂隙化非常明显。这说明脉冲应力作用可使矿物结构趋向致密、碎裂物可重新胶结（胶结物可以是变形体系内的原始物质）。这一结果与自然界断裂带内的现象相符。

(2) 实验样品的构造分带富集 实验后样品出现明显的带状构造，晶屑排列的优选方向与楔形变质带的延伸方向一致。变质带与容器轴呈 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的发散角。一系列的实验都重现了这种带状分布形式。在纵切面图中，结晶程度不同的不定形矿物集合体呈轴对称带状分布，显微镜下可清晰地分出 4 个对称带图 1-13)：I 带靠近钢质容器壁分布基本能代表原组分和含量但较原岩破碎 碎裂物呈尖棱状；II 带灰色除了有与 I 带矿物组合相似的成分外，还含大量片状黑云母；III 带较清晰几乎不含黑云母呈点状分布的不定物非常醒目；IV 带分布于容器的中央接近底部处 主要为球形玻璃物质 粒径大于 1 mm。

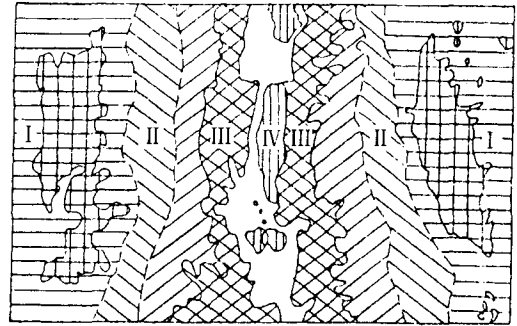


图 1-13 构造-动力变质分带富集纵剖面图
显微照片素描，透射光， $\times 10$ ；
I II III, IV. 构造富集分带编号

X衍射分析结果表明，I 带为石英（主相）、钾长石、斜长石和黑云母集合体（样品 311, 331），在近容器底部结晶程度下降（样品 351）；II 带中有与 I 带相似的矿物集合体，亦存在具特殊意义的不定形物质。近底部其结晶程度降低，但石英含量增高（样品 352）；III 带中主要为 R 型不定形物质（鳞石英或方石英）另有少量石英和微量长石（样品 353）；IV 带内主要为方石英和微量石英。在横切面上，上述 4 带还清晰可辨 呈似同心环带状分布。显然，经过冲击波作用，在钢质容器这个封闭体系内发生了相变和物质的重新分配。这个改造-建造过程至少包括了热传导、应力传导、部分熔融、对流驱动、重力扩散、元素活化和分离结晶等作用，这些大都是不可逆和非线性的动力学过程。在同一带内，从上到下其物质结晶程度下降，比重小的物质趋向于在容器的中间部位；构造分带富集现象说明实验样品由无序转变为有序；所有这些变化均在极短的时间（ $1 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5} \text{ s}$ ）内发生。

实验后样品的顺磁共振相对强度分析表明，冲击效果导致了样品中 Fe^{3+} 的增长 表明瞬间脉冲应力作用可以促进某些化学过程的发生，代表着机械能—热能—化学能的连续过程。另应说明的是，该封闭体系内还发生了氧化还原反应。

(3) 分凝作用 实验后的变余碎裂岩中除了新出现的不定形物呈带状集合体富集外 原来分散状矿物质（赤铁矿）亦呈透镜带状富集集中 并局限于 I 带内以及 I 带和 II 带的交汇处。人们不禁要将该实验结果与自然界的成矿现象结合起来一并考虑，与构造关系密切的内生矿床的成矿实质可能是：成矿物质的富集是与构造应力过程密切相关的。

(4) 塑性流动 实验后样品出现物质流动现象。点状和透镜状分凝体分布在不定形物质集中区（方石英带），IV 带内只出现塑性流动现象。

实验二 普通辉石单轴压力实验

1. 实验

样品是经挑选提纯的普通辉石（粒径小于 8mm）被置于一圆柱状钢质容器中。容器衬料为含结构水的矿物粉末集体，加压方式为单轴定向，压力值为 29 MPa 以室温为初始温度。

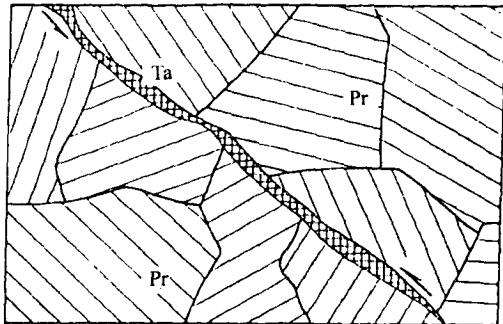


图 1-14 实验使普通辉石 Pr 出现剪裂隙和裂隙中出现滑石 (Ta) 化蚀变

2. 实验结果

实验后样品中出现与应力方向呈锐角斜交的微型剪切破裂面。经薄片观察，发现沿剪切破裂面出现新相矿物——滑石 $[Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2]$ (图 1-14)。延长实验时间 样品中出现叶理构造，剪切破裂面上滑石含量增高。剪切面旁侧辉石的光性特征（如干涉色）明显不同于外围辉石，尽管二者相距不足 1 cm。实验结果——不含水矿物（普通辉石）转变为含水矿物（滑石）表明样品与衬料间发生了物质交换，应力作用过程中产生了矿物的退变质。应力的作用在于，破坏了衬料和辉石的结构而导致水的析出和迁移、限制了水发生停滞的部位、促进了蚀变并控制蚀变作用的范围。显然，应力所导致的蚀变不同于岩浆期后和一般的热液蚀变，是有序的蚀变。其过程包括了原始物质结构的破坏、元素的迁移、元素间的化学反应和矿物的分离结晶等。实验表明，化学过程（成矿）与机械改造过程（构造变形）是同时进行的。但后者是“因”前者是“果”。

品与衬料间发生了物质交换，应力作用过程中产生了矿物的退变质。应力的作用在于，破坏了衬料和辉石的结构而导致水的析出和迁移、限制了水发生停滞的部位、促进了蚀变并控制蚀变作用的范围。显然，应力所导致的蚀变不同于岩浆期后和一般的热液蚀变，是有序的蚀变。其过程包括了原始物质结构的破坏、元素的迁移、元素间的化学反应和矿物的分离结晶等。实验表明，化学过程（成矿）与机械改造过程（构造变形）是同时进行的。但后者是“因”前者是“果”。

结论：

构造分带富集的起因是冲击作用前后的应力降，其过程的现象是构造—物质的转换，而实质则是构造运动引起的力效应、热效应和能效应的综合场对物质的改造，这正是构造成矿理论的核心要点。②自然界岩石构造化、相变和物质再分配不仅是漫长的岩浆作用和变质作用的结果，也有应力作用的瞬间效果。地震的时间效应与此相似，从而引起人们对地震脉冲过程的物质改造和再造引起重视。瞬间的差异应力作用伴随着强烈的热效应。然而在很小范围内，效应亦有差异，导致矿物结晶程度和塑性变形强度的不同。

即使在封闭体系内，处于分散状态的物质也可在应力作用下选择性地某些特定的构造部位集中富化，这为构造成矿理论提供了有益的证据。虽然，构造成矿涉及矿质从地幔（或深部）带出→分散于各类建造→富集成矿这样一个由构造动力为主导因素所推动的长时间的构造成矿作用过程，而试验所模拟的脉冲引起矿化富集仅是构造成矿作用过程的最后阶段，但这已经解决了构造成矿的一些重要理论问题。具体地说，阿尔泰造山带有的金属矿产形成的时间和空间分布，与造山过程大型冲断—推覆体形成的时、空关系是极其吻合，绝不是偶然的。可以说，阿尔泰造山过程中变形构造的形成和演化促成了阿尔泰一部分金属矿产的形成和演化。应力作用下，不同体系物质间的化学反应能得到加速和促进。在封闭体系内，不同相之间彼此发生反应；在开放体系中，应力梯度驱使某些物质进入体系而发生反应。因而，可从应力对化学反应起催化的角度，去深刻认识构造在某些

矿床及其特殊蚀变形成过程中所起的主导作用。

第二节 泥盆纪岩相古地理和火山-沉积盆地的形成和改造

一、变质火山岩系的原岩恢复

阿尔泰山南缘的山前部位范围系东北断裂南延部分——萨热朔克断裂(阿巴宫-库尔提断裂、巴塞断裂北界)、额尔齐斯深断裂(南界)和可可托海-二台断裂(东界)所围定的宽30~60 km、长320 km的北西向狭长地带。该带除中部偏南地段被新生界所覆盖外,所出露的其余地质体主要为泥盆纪-石炭纪火山-沉积建造,又以泥盆系为主体,和海西中-晚期花岗岩岩体。另外,在富蕴县城以东的乌恰沟一带,出露由北西向断裂控制的元古宙蓟县系(黑云母斜长片麻岩和变斑状混合岩,钎-钨等时线年龄1588 Ma)系冲断-推覆造山过程由阿巴宫-库尔提推覆体推覆出露的古老基底。由于造山过程中的推覆-冲断-走滑-滑脱构造活动引起区域变质热事件和动力变质热事件的影响,因此波及区内火山-沉积建造杂岩均已变质。以北北西向的萨热朔克断裂为界,西部相对变质较浅,为低压绿片岩相;东部变质稍深,达低压低角闪岩相和中压角闪岩相。

泥盆纪古火山-沉积构造盆地自北西向东南依次是:阿舍勒古构造盆地、冲乎尔古构造盆地、克朗-铁木尔特古构造盆地和蒙库-可可塔勒古构造盆地。这些古构造盆地在阿尔泰山前呈北西向左型斜列式等距离分布。

(一) 火山-沉积建造的岩类组合特征

与铜多金属矿床有关的火山-沉积建造岩性组合具如下特征:

1) 萨热朔克断裂以东的铁木尔特和可可塔勒矿区及其外围,均出现火山角砾岩和晶屑凝灰岩,沿阿巴宫断裂南侧呈线状分布。往南出现溢流相岩石,如流纹岩和安山岩类。这些火山碎屑岩和火山熔岩类均不同程度地变质,但仍能辨认出火山岩的结构和构造特征。离阿巴宫断裂愈远,火山成分逐渐降低,而沉积物相对增高,在铁木尔特和可可塔勒矿区及外围,变质火山岩系中往往夹有灰岩(热变质为大理岩)、砂岩及页岩(变质为片岩)且在矿区多呈加厚趋势。砂、页岩层面上并出现海相波痕构造,其内含腕足类等古生物化石。这是火山喷发和溢流间隙沉积的海相沉积岩。火山岩系岩石中,出现细碧-角斑岩建造的变质矿物组合,如绿泥石、角闪石、钠长石、绿帘石和阳起石。矿区火山-沉积建造中出现较多的蚀变矿物,常见者为石榴子石,大者粒径达3 cm。

2) 萨热朔克断裂以西的阿舍勒地区,喷发相和溢流相的火山岩兼而有之。集块岩、火山角砾岩分布于玛尔卡库里断裂一带。近矿区则主要产出凝灰岩和溢流相岩石,如细碧岩、石英角斑岩和角斑岩,镜下见斜长石都已钠长石化。

3) 萨热朔克东、西两部分的火山-沉积岩系,由于变质程度的深浅不一(东深西浅),出现了岩系颜色的差别。东部为浅-深色相杂岩,而西部则为绿色-深部新鲜色岩系。

4) 由于山前受长期构造运动的挤压、拉张和变质,火山-沉积建造的岩石层理以及其