

新疆北部石炭纪-二叠纪独特的构造-成矿作用： 对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约^{*}

肖文交¹ 韩春明¹ 袁超² 陈汉林³ 孙敏⁴ 林寿发⁵ 厉子龙³ 毛启贵¹ 张继恩¹ 孙枢¹ 李继亮¹
XIAO WenJiao¹, HAN ChunMing¹, YUAN Chao², CHEN HanLin³, SUN Min⁴, LIN ShouFa⁵, LI ZiLong³, MAO QiGu¹, ZHANG JiEn¹, SUN Shu¹ and LI JiLiang¹

1. 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室, 北京 100029

2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

3. 浙江大学理学院, 杭州 310027

4. 香港大学地球科学系

5. Department of Earth Sciences, University of Waterloo, 200 University Avenue West, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1

1. State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China

3. Faculty of Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, Zhejiang, China

4. Department of Earth Sciences, The University of Hong Kong, Hong Kong, China

5. Department of Earth Sciences, University of Waterloo, 200 University Avenue West, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1

2005-12-20 收稿, 2006-04-10 改回.

Xiao WJ, Han CM, Yuan C, Chen HL, Sun M, Lin SF, Li ZL, Mao QG, Zhang JE, Sun S and Li JL. 2006. Unique Carboniferous-Permian tectonic-metallogenetic framework of Northern Xinjiang (NW China): Constraints for the tectonics of the southern Paleoasian Domain. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5):1062–1076

Abstract The late Paleozoic tectonic-metallogenetic framework of North Xinjiang of the southern Paleoasian Domain was characterized by a series of Carboniferous-Permian events, including: (1) late Carboniferous-Permian Chinese Altay island arc and its metamorphism, granulite in the Chinese Altay, radiolarian chert and high-pressure/ultra-high-pressure metamorphism; (2) late Carboniferous-early Permian adakites, Alaskan-type mafic-ultramafic complexes, and calc-alkaline magmatism, together with porphyry copper deposits, which occurred in the North Xinjiang; and (3) late Carboniferous ophiolite and island arc volcanic rocks located in the Tian Shan. Combined with the facts that there was no typical foreland basin, no typical collisional-type granitoid, and there were large amount of strike-slip faulting, it is suggested that in the Carboniferous-early Permian North Xinjiang was characterized by the coexistence of compression-extension-strike-slip structures with active magmatism and metallogenesis. These phenomena all indicate that there were active margins during the late Carboniferous-early Permian, leading to the notion that the complicated accretionary orogeny along the southern Paleoasian Domain may have lasted to the latest Carboniferous-Permian.

Key words North Xinjiang, Carboniferous-early Permian tectonic-metallogenetic framework, Southern Paleoasian Domain

摘要 新疆北部晚古生代独特的构造-成矿作用以发育大量石炭纪-二叠纪构造-成矿事件为特征,其中包括:(1)发育于晚石炭世-二叠世的阿尔泰岛弧及其变质事件、阿尔泰麻粒岩与基性杂岩、西南天山放射虫硅质岩和高压-超高压-低压麻粒岩相变质事件;(2)北疆发育的石炭纪(-二叠世)埃达克岩-高镁安山岩-富Nd玄武质岩组合、阿拉斯加型基性-超基性杂岩和大量的与俯冲相关的钙碱性岩浆活动与斑岩型铜矿床成矿作用;(3)天山晚石炭世晚期蛇绿岩与岛弧火山岩等。结合北疆地区相关的前陆盆地发育不明显、碰撞型花岗岩欠发育与大量发育平行造山带大型走滑构造等现象,可以认为新疆北部在石炭

* 国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409801)、国家重点攻关项目(96-915-07)与香港研究基金项目(HKU7040/04P、HKU7058/04P 和 HKU7055/05P)联合资助。

第一作者简介:肖文交,男,1967年生,研究员,博士生导师,构造地质学与大地构造学专业, E-mail: wj-xiao@mail.igcas.ac.cn

纪-二叠纪挤压-伸展-走滑并存, 岩浆活动与成矿作用活跃。这些新进展表明新疆北部在晚石炭世-二叠纪可能仍存在活动陆缘, 因此, 古亚洲洋构造域南部复杂增生造山作用最后延至晚石炭世晚期-二叠纪。

关键词 新疆北部; 石炭纪-二叠世构造-成矿事件; 古亚洲洋构造域南部

中图法分类号 P542.2

北疆地区及其邻区占据中亚增生造山带的关键部位, 西联哈萨克斯坦, 东接蒙古(图1), 发育有由多微陆块或弧地质体拼贴而成的多聚合带、多成矿带(Coleman, 1989; 肖序常等, 1991; 陈哲夫, 1993; 陈哲夫等, 1997; 李锦铁和肖序常, 1999; Li et al., 2003), 其独特的造山-成矿作用是国际地球科学的一个前沿课题, 对解剖大陆造山作用类型与探索大陆的侧向生长过程特征具重要意义 Sengör et al., 1993; Carroll et al., 1995; Jahn et al., 2000; Buckman and Aitchison, 2004; Xiao et al., 2004a; 2004b; Guo et al., 2005; 李锦铁等, 2006a; Li et al., 2006)。

然而, 该地区前中生代的洋-陆格局演变与复杂造山作用一直存在争论, 特别是在造山作用方式和时限等问题上仍未达成共识(中国科学院地学部和新疆石油管理局, 1989; 何国琦等, 1994; Coleman, 1989; 肖序常等, 1990; 1991; Windley et al., 2002; Sengör et al., 1993; Sengör and Natal'in, 1996; Gao et al., 1995; 1998; 1999; Gao and Klemd, 2001; 2003; Xiao et al., 2004a; 2004b; 郭召杰等, 2006)。存在争议的主要原因是对许多关键的地质体的构造

属性的厘定与鉴别等方面仍存在重大分歧以及缺乏精确的年代学资料。近年来, 随着一系列重大研究计划在新疆北部及其邻区的开展, 已经积累了丰富的资料, 取得了一些重要进展。因此, 本文根据我们的研究工作进展, 结合最近有关研究区的大量成果, 讨论有关北疆地区大地构造格局的基本问题, 并在此基础上试图探讨北疆及中亚邻区大地构造演化格局。

1 大地构造背景及相关的关键进展

中亚造山带或阿尔泰造山带为安加拉(西伯利亚)克拉通与中朝、塔里木板块之间的古亚洲洋消减而形成的巨型缝合带(如 Coleman, 1989; 肖序常等, 1991, 1992; Sengör et al., 1993; Mossakovskiy et al., 1994; Xiao et al., 2003, 2004a, 2004b)。北疆地区位于中亚造山带西段的南部, 其构造演化主体记录了安加拉克拉通南部增生北缘与塔里木板块之间的拼合作用, 因而记录了古亚洲洋构造域最后的大地构造演化历史(Coleman, 1989; Windley et al., 1990; 肖序常等,

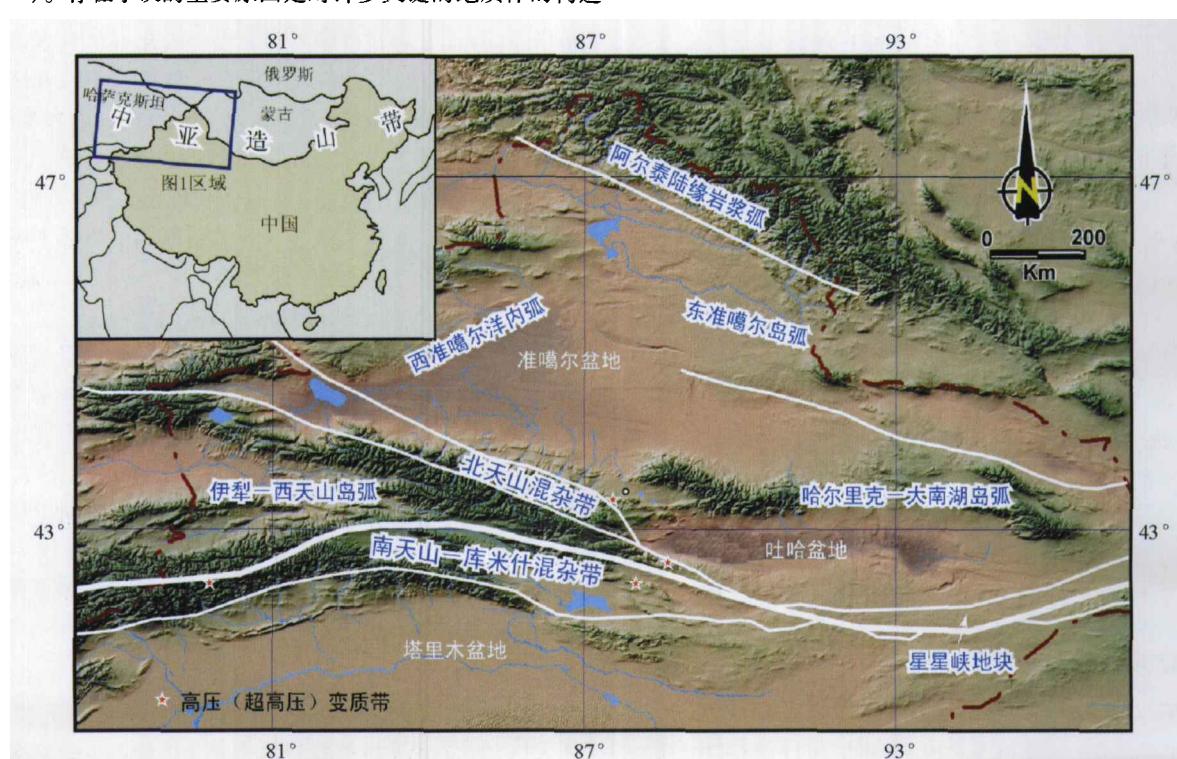


图1 北疆大地构造分区及其大地构造位置(修改自 Xiao et al., 2004a; 2004b; 王广瑞等, 1995; 马瑞士等, 1997; 姬金生等 1994a; 1994b)

Fig. 1 Tectonic division of the North Xinjiang region and its tectonic position in Central Asia (modified after Xiao et al., 2004a; 2004b; Wang et al., 1995; Ma et al., 1997; Ji et al., 1994a; 1994b)

1991; 1992; Sengör *et al.*, 1993; 王广瑞等, 1996; Li *et al.*, 2003; 李锦轶等, 2006a; Xiao *et al.*, 2004a; 2004b)。

北疆地区的大地构造格局主要以塔里木地块以北由不同成因的构造地体组成为特征: 由北往南为阿尔泰、东准噶尔、西准噶尔、天山等造山拼贴体(图1)。而南侧的塔里木地块北缘层序主体为被动陆缘(Coleman, 1989; 肖序常等, 1990; 1991; Xiao *et al.*, 1994; 舒良树等, 2001; Windley *et al.*, 2002; Xiao *et al.*, 2004a; 2004b)。

1.1 石炭世-早二叠世的阿尔泰岛弧及其变质事件

阿尔泰地区发育大量的片麻岩, 其时代和属性一直存在重大分歧, 或认为古-中元古界或新元古代基底(李天德等, 1996; 2001), 或认为古生代变质地层(庄育勋, 1994a; 1994b)。在青河县西南地区的发育的正变质岩的成分相当于安山岩、英安岩至流纹岩(或闪长岩质、花岗闪长岩质至花岗岩)质岩石, 变质岩主体为泥质粉砂质沉积岩(胡霭琴等, 2006)。主量和微量元素特征显示其原岩可能形成于岛弧构造环境(胡霭琴等, 2006)。

胡霭琴等(2006)应用 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年, 获得了青河县西南地区变质岩中英安岩质正片麻岩的形成年龄为 281 ± 3 Ma。该片麻岩中锆石 U-Pb 年龄测定结果反映出该区的变质作用与岩浆活动发生的时间范围大体相同, 其高峰期应该是 281 ± 3 Ma。

综合分析该片麻岩中锆石 U-Pb 年龄与同一构造带上片麻岩中角闪石和黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄($275 \sim 270$ Ma, 胡霭琴等, 1997; 2006), 记录了阿尔泰造山带晚古生代时期与俯冲增生造山作用相关的一次重要的构造热历史。

1.2 阿尔泰麻粒岩与基性杂岩

在阿尔泰地区最近已经发现基性麻粒岩为角闪长二辉麻粒岩(厉子龙等, 2004; Chen *et al.*, 2006)。麻粒岩矿物组合以斜长石 + 紫苏辉石 + 普通辉石 + 角闪石 + 黑云母 + 石英为代表。该区麻粒岩不但存在无水矿物斜方辉石和单斜辉石, 还普遍存在含水矿物角闪石和黑云母, 且前者的含量大于后者的含量。紫苏辉石为变质成因、二辉石共生、角闪石和黑云母形成的温压条件达到麻粒岩相以及斜长石具膝折带和变形特征, 被确认为变质成因的麻粒岩, 而非变辉长岩。阿尔泰麻粒岩的原岩为形成于岛弧构造环境的钙碱性玄武岩(厉子龙等, 2004)。通过对富蕴乌恰沟基性麻粒岩四个样品中锆石 SHRIMP 定年研究, 其年龄值为 271 ± 6 Ma、 279 ± 5.6 Ma、 268 ± 5.8 和 271 ± 5.4 Ma(陈汉林等, 2006a)。陈汉林等(2006a)认为富蕴基性麻粒岩的原岩形成时代、变质作用发生的时代, 均在早二叠世中-晚期, 原岩时代为 279 Ma, 麻粒岩岩相变质作用的时间稍晚(陈汉林等, 2006a)。厉子龙等(2004)认为该区麻粒岩形成与板块的俯冲及其相关冲断作用有密切的关系, 即在早期的洋壳俯冲阶段, 岛弧的钙碱性玄武岩在地壳深部发生麻粒岩相的变质作用形成

麻粒岩; 该麻粒岩在晚期的造山作用阶段, 由冲断作用麻粒岩被带到地壳的浅部而出露于地表, 并以断层接触的方式与中低变质的晚古生代的变质地层相接触。

阿尔泰地区南缘出露-套呈透镜状存在于晚古生代片麻状花岗岩中的基性杂岩(陈汉林等, 2006b)。在阿拉尔克获得基性杂岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 262.7 ± 1.1 Ma(陈汉林等, 2006b)。基性杂岩的地球化学分析结果显示除富蕴乌恰沟的个别样品落在火山弧玄武岩范围内, 阿拉尔克、塔尔浪的基性岩样品落入洋中脊玄武岩和洋岛玄武岩(陈汉林等, 2006b)。综合分析认为该基性杂岩形成于洋岛 - 海山的构造环境(陈汉林等, 2006b), 基性杂岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄代表了晚二叠世时期的一次构造事件的年龄, 基性杂岩寄生于花岗岩中是通过构造混杂作用实现的(陈汉林等, 2006b)。其形成过程可能包括晚古生代早期的俯冲阶段(花岗岩与含洋中脊玄武岩的增生楔形成阶段)、二叠纪晚期的强烈造山阶段, 导致花岗岩和增生楔物质的变形和构造混杂(陈汉林等, 2006b)。

1.3 放射虫硅质岩及其增生杂岩组合

南天山西端的乌帕塔尔坎群为一套灰色、深灰色细碎屑岩, 夹火山岩、硅岩和碳酸盐岩, 其中分布有一些基性-超基性岩(块), 与其它碎屑岩、火山碎屑岩、中酸性火山岩一同构成了南天山南部的增生杂岩组合(李曰俊等, 2002; 2005; 龚福华等, 2003)。以往曾据灰岩夹层中的化石将其划归志留系-中泥盆统或前泥盆系。李曰俊等(2002, 2005)对乌帕塔尔坎群中所采集的 24 块硅岩样品进行室内分离和鉴定, 发现有放射虫化石并可划分出两个放射虫化石组合, 一个是早石炭世早期的化石组合; 另一个是晚二叠世化石组合。说明乌帕塔尔坎群至少可能包含有志留系到二叠系不同时代的岩石, 可能是古生代蛇绿混杂岩的组成部分(Liu, 2001; Li *et al.*, 2002; 李曰俊等, 2002, 2005)。

李曰俊等(2005)在乌帕塔尔坎群南侧的艾克提克群中发现早石炭世早期、早石炭世晚期和晚二叠世 3 个放射虫化石组合。这些放射虫化石, 特别是再次发现晚二叠世放射虫化石, 进一步证实了南天山西段晚二叠世增生杂岩的可能性。龚福华等(2003)测得西南天山西段英安岩角砾样品全岩 Ar-Ar 年龄为坪年龄为 288.2 ± 0.4 Ma, 等时线年龄 289.2 ± 2.0 Ma, 也从另一方面对该增生杂岩的可能的存在时限进行了年代学制约。

1.4 天山石炭纪蛇绿岩

天山北缘的巴音沟蛇绿岩属于北天山晚古生代蛇绿岩带。其中伊连哈比尔尔蛇绿岩中发现早、中石炭世的放射虫硅质岩(徐新, 1998)。侵位于巴音沟蛇绿岩辉长岩中的斜长花岗岩为亏损地幔来源花岗岩, 是蛇绿岩的组成部分(徐学义等, 2006)。该斜长花岗岩的 SHRIMP 锆石年龄为 324.8 ± 4.8 Ma(徐学义等, 2006), 表明巴音沟蛇绿岩形成于石炭纪。

巴音沟蛇绿岩中辉长岩、辉绿岩、基性熔岩 REE 球粒陨石标准化和微量元素原始地幔标准化分配型式呈平坦型分布,表明其岩浆主体来源于 N-MORB,但在形成过程中有 OIB 组分的加入(徐学义等,2006)。

南天山也发育了宽阔的蛇绿岩或者蛇绿混杂岩。王学潮等(1995)将南天山蛇绿混杂岩分成北部基性-超基性岩带、中部蛇绿混杂岩带和南部的南天山南缘蛇绿混杂带。构造地质学和区域资料显示南天山这些蛇绿岩不是完整的蛇绿岩套(王学潮等 1995)。较为系统的岩石地球化学研究表明南天山南缘蛇绿岩具有洋中脊特征,形成于洋中脊环境。Ar-Ar 同位素年代学研究工作表明该蛇绿岩具有 335.5 ± 8.8 Ma 的坪年龄和 329.9 ± 8.1 Ma 的等时线年龄,以及 258Ma 与 146Ma 的地质热事件。Ar-Ar 同位素年龄表明南天山地区在石炭纪末仍存在洋盆,而 258Ma 与 146Ma 的地质热事件可能对应于南天山地区的推覆-走滑等地质作用。

1.5 高压-超高压与低压麻粒岩相变质事件

新疆西南天山出露有榴辉岩、蓝片岩、多硅白云母片岩,向西可延入哈萨克斯坦与含柯石英假象的 Atbashi 榴辉岩-蓝片岩带相连接(高俊,1997; 张立飞等,2005)。西南天山变质带通常被认为是南天山古洋盆在向北俯冲过程中所形成(高俊等,1994; 高俊,1997; Gao *et al.*, 1995, 1998, 1999; Gao and Klemd, 2001, 2003; Klemd *et al.*, 2005; 张立飞等,2005)。该变质带中的榴辉岩发现于 1997 年(高俊,1997)。根据野外地质产状、岩石学、矿物学、地球化学和年代学等方面成果与进展,高压变质岩的原岩形成于海山环境(Gao and Klemd, 2003)。Klemd *et al.* (2005)认为高压变质岩的峰期变质为 345Ma、退变质为 331~310Ma。张立飞等的工作成果是提出该带中可能有超高压变质岩石的产出(张立飞等,2005)。张立飞等(2005)查明高压-超高压变质岩的原岩相当于海山环境下的洋壳残片(艾永亮等,2005)。榴辉岩中锆石 SHRIMP 定年结果表明榴辉岩的原岩形成于 310~405Ma (张立飞等,2005)。通过系统的岩石学、地球化学和年代学分析研究,产于高压-超高压变质带的原岩组合可能为海山环境,并构造就位于增生杂岩中(艾永亮等,2005)。发育于其北侧的低压麻粒岩相变质带中的二辉麻粒岩原岩锆石的年龄为 298.5 ± 4.9 Ma (李强和张立飞,2004)。因此,张立飞等(2005)推断在 280~290Ma(早二叠世)存在俯冲作用(李强和张立飞,2004; 艾永亮等,2005)。根据锆石边部年龄为 225~230Ma(张立飞等,2005),张立飞等(2005)认为峰期变质为 230~225Ma,可能代表碰撞造山事件(张立飞等,2005)。

1.6 埃达克岩-高镁安山岩-富 Nb 玄武质岩组合

新疆天山北部地区存在有石炭纪的埃达克岩-高镁安山岩-富 Nb 玄武质岩组合,并且其中许多岩石与铜(金)矿床伴生(如达巴特、阿希、土屋-延东、赤湖,等等)。高镁安山(闪

长)岩是最新发现的研究成果(王强等,2006),其中阿希金矿区一些样品类似于日本西南新生代 Setouchi 弧火山岩带中的赞岐岩类(王强等,2006)。克拉玛依南的埃达克岩分布于达拉布特断裂的东南侧包古图地区,主要以石英闪长岩、花岗闪长斑岩等中酸性小岩体产出(赵振华等,2006)。

王强等(2006)的研究表明,天山北部地区石炭纪埃达克岩-高镁安山岩-富 Nb 玄武质岩组合可能是“埃达克岩交代的岛弧岩浆岩系列”。埃达克岩最有可能由石炭纪北天山洋的年轻洋壳在俯冲过程中熔融形成。另外,俯冲板片产生的熔体以及所释放的少量流体在上升过程中可能交代地幔楔橄榄岩或与其发生反应:一方面,触发地幔楔橄榄岩发生熔融形成富 Nb 岛弧玄武质岩;另一方面,地幔组分迅速进入到板片熔体中,导致其地幔组分增加,乃至形成高镁安山岩。因此,天山北部地区石炭纪埃达克岩-高镁安山岩-富 Nb 玄武质岩组合(王强等,2006)表明:(1)天山北部地区石炭纪可能为岛弧环境;(2)天山地区石炭纪的地壳生长可能以侧向增生为主;(3)除了亏损地幔之外,俯冲洋壳的熔融可能也在地壳的生长中发挥了重要的作用;(4)俯冲板片产生的埃达克质岩浆具有高的氧逸度,而其与地幔楔橄榄岩的强烈相互作用将导致地幔中的金属硫化物分解,成矿金属元素进入到岩浆中。这可能是新疆北部铜金矿化与一些埃达克岩、高镁安山(闪长)岩或富 Nb 岛弧玄武质岩密切共生的基本原因。

1.7 阿拉斯加型基性-超基性杂岩

在新疆东天山东部头苏泉一大南湖岛弧和康古尔塔格-黄山断裂带北部发育有一系列镁铁质-超镁铁质岩体,侵入于石炭纪地层中。这些镁铁-超镁铁岩石具有以下特征:(1)平面上具有岩相从中心向外逐渐基性降低之趋势;(2)与围岩石炭纪复理石具有清晰的侵入热接触变质关系;(3)含有大量含水矿物-角闪石,且部分镁铁质岩石含有黑云母;(4)从岩体中心向外各岩相带 $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ 比值依次降低;(5)具有与岛弧相似的轻稀土元素富集型配分曲线;(6)与区域性岛弧单元或者缝合带近于平行展布(Xiao *et al.*, 2004b)。杂岩体中各岩相辉石的化学成分的变化,尤其是单斜辉石中 Al_2O_3 的变化(倪志耀,1994)以及含水矿物(角闪石、云母)的存在,表明这些杂岩体是由类似富水和 Fe_2O_3 的岛弧岩浆所形成,进而显示出岛弧环境特征。同时,杂岩体初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 $0.6996 \sim 0.7059$,其中斜长角闪橄榄岩最低,角闪辉长闪长岩最高(王润民等,1987),具有幔源岩浆特征。这些特征表明,黄山杂岩体可能是由与地幔柱相关的含水亚碱性岛弧岩浆结晶分异在俯冲带附近形成的富 TiO_2 、 SiO_2 不饱和的阿拉斯加型侵入杂岩体(刘德权,1983; 胡受奚等,1990; 倪志耀,1994; 顾连兴等,1994; 朱文斌等,1996; Xiao *et al.*, 2004b)。

这些阿拉斯加型侵入杂岩体主要产于黄山-康古尔早、中石炭世的弧间或弧前小洋盆等大地构造单元(李文铅等,

2000; Xiao et al., 2004b)。秦克章(2000)获得香山角闪辉长岩单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄 285 ± 1.2 Ma; 毛景文等(2002a)通过对黄山东铜镍矿石进行 Re-Os 同位素精测, 获得其成矿年龄为 282 ± 20 Ma; 韩宝福等(2004)获得黄山东岩体锆石 U-Pb SHRIMP 年龄为 274 ± 3 Ma。Zhou et al. (2004)系统地分析了黄山地区与铜镍硫化物矿床有关的基性杂岩的与俯冲带相关地球化学特征, 其锆石 SHRIMP 年代学结果表明形成于 269 ± 2 Ma (Zhou et al., 2004)。吴华等(2004)、Chai et al. (2005)和毛启贵等(2006)先后报道了白石泉阿拉斯加型基性-超基性杂岩大地构造背景和就位时代。吴华等(2005)用锆石 SHRIMP 方法测定了石英闪长岩 (285 ± 10 Ma)、辉长闪长岩 (284 ± 9 Ma) 和辉长岩 (284 ± 8 Ma)。毛启贵等(2006)采用锆石激光剥蚀法 (LA-ICP-MS) 测得矿化辉长岩中锆石 U-Pb 年龄为 281.2 ± 0.9 Ma。Chai et al. (2005) 和毛启贵等(2006)通过地球化学研究表明白石泉岩体具有幔源特征和受到了俯冲物资污染等特征。结合对白石泉岩体地质特征和区域地质背景的综合分析, 表明白石泉岩体形成于岛弧或活动陆缘环境。

1.8 与俯冲-消减相关的其它岩浆活动

阿尔泰南缘萨吾尔山早石炭世黑山头组火山岩地球化学特征。萨吾尔火山岩主要由安山岩及其相应的火山碎屑岩组成, 并有少量的玄武岩, 火山岩成分从低钾、中钾到高钾钙碱性岩石, 具有富铝、低镁的特点, 富集大离子亲石元素 (LILE) 和轻稀土元素 (LREE), 亏损高场强元素 (HFSE), 指示火山岩来源于与俯冲有关的源区, 火山岩形成的构造环境为板块俯冲带的岛弧环境(Shen et al., 2005)。

位于东准噶尔地区扎河坝煤矿附近的上石炭统巴塔玛依内山组地层内发育有玄武岩及玄武安山岩, 最近的岩石学、地球化学以及同位素等综合分析(龙晓平等, 2006)表明显示典型的消减带岩浆特征, 说明东准噶尔晚石炭世仍存在洋内的消减俯冲环境。区域上, 该套晚石炭世的地层主体由基性及中酸性火山熔岩组成, 被认为是一套典型的陆相火山沉积体系(朱志新等, 2005), 代表了活动陆缘张性构造环境。

新疆北东部边缘的三塘湖盆地发育早石炭世安山岩、早二叠世粗面岩类以及中二叠世玄武岩(林克湘等, 1997a; 1997b; 赵泽辉等, 2006; 郝建荣等, 2006)。通过常量、微量元素的分析测试及讨论, 郝建荣等(2006)确认主要岩石类型为玄武岩、安山玄武岩、辉绿岩、安山岩以及少量英安岩和流纹岩, 显示亚碱性系列特征。玄武岩常量元素总体显示高 Ti 的特征, 轻、重稀土元素分馏明显, LREE/HREE 比值在 3.8 和 8.35 之间变化, 不同岩石类型均具有 LREE 富集的特征, 玄武岩和玄武安山岩 Eu 异常不明显 ($\delta\text{Eu} = 0.92 \sim 1.13$); 微量元素 LILE 富集, Nb、Ta 相对于 Th、Ce 强烈亏损, 携带俯冲带地球化学信息(赵泽辉等, 2006; 郝建荣等, 2006)。综合区域地质特征, 主体在二叠纪时期盆地内部发生伸展裂陷, 其岩浆活动已经显示了板内岩浆演化的特征, 但存在俯

冲消减作用的影响而表现出钙碱性玄武岩的特征(楼法生和唐春发, 1995; 林克湘等, 1997a; 1997b; 龚文平等, 1997)。因此, 三塘湖地区在早二叠世很可能存在洋盆的俯冲作用的影响。

博格达一带主体为岛弧或活动陆缘建造(方国庆, 1993; 王宗秀等, 2003; Xiao et al., 2004b), 主要由钙碱性火山岩、火山碎屑岩组成(王宗秀等, 2003; Xiao et al., 2004b)。方国庆(1993)认为博格达地区巨厚的安山质火山-沉积组合为岛弧型建造, 其中石炭系火山岩和下二叠统火山碎屑岩的地球化学分析表明它们属岛弧-造山环境。下二叠统砂岩地球化学分析表明为大洋岛弧-残余洋盆环境中(方国庆, 1993); 下二叠地层的重矿物分析表明物源区为弧造山带(方国庆, 1993)。王宗秀等(2003)报道博格达地区剪切变形带内同构造的石英脉中的锆石 U-Pb SHRIMP 测年结果为 316 ± 3 Ma 311 ± 4 Ma, 与山链中花岗岩、辉长岩年龄颇为一致($311 \sim 316$ Ma) (王宗秀等, 2003), 反映在结束洋盆散聚、拼贴焊接的晚华力西期造山过程中, 博格达古岛弧内存在一次虽不甚强烈、但又较为明显的构造岩浆事件(王宗秀等, 2003)。

李文铅等(2006)对东天山康古尔塔格地区彩霞山一带的彩中岩体黑云母二长花岗岩进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年, 结果为 $316 \pm 4(2\sigma)$ Ma, 并厘定彩中岩体为铝弱过饱和型钙碱性系列花岗岩, 形成于岛弧环境。彩中黑云母二长花岗岩具有高的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值 ($+8.5 \sim +7.4$) 和低的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位素比值 ($I_{\text{Sr}} = 0.7034 \sim 0.7036$), 表明其物质来源为亏损的地幔源区。低的 Nd 模式年龄 ($T_{\text{DM}} = 0.38 \sim 0.47$ Ga), 暗示其源区物质基本上未受到古老大陆地壳物质的混染(李文铅等, 2006)。

东天山雅西 371-西北坡铜金化带中下石炭统火山岩属钙碱性系列(方维萱等, 2006)。微量元素和稀土元素分析结果显示流纹岩类可能形成在活动大陆边缘上的陆缘岛弧构造背景中(方维萱等, 2006)。东天山黄山-雅满苏地区中安山岩曾获得 Rb-Sr 等时线年龄为 290 ± 5 Ma、石英斑岩 Rb-Sr 等时线年龄为 282 ± 16 Ma、流纹岩 Rb-Sr 等时线年龄为 300 ± 13 Ma 以及 U-Pb 锆石年龄为 300 ± 13 Ma(姬金生等, 1994a; 1994b)。根据区域对比研究, 这些火山岩组合均与活动陆缘相关(姬金生等, 1994a; 1994b; 马瑞士等, 1997; 李锦铁等, 2002; 2006b; 毛景文等, 2002b; Xiao et al., 2004b)。

天山北缘发育了一套火山-沉积组合(大哈拉军山组火山岩), 以流纹岩、粗面岩、粗面安山岩、中酸性凝灰岩和少量玄武岩为主体(Xia et al., 2004; Zhu et al., 2005)。Zhu et al. (2005)通过详细的岩石学和地球化学研究, 指出该火山岩具有典型大陆岩浆弧的地球化学特征。其 SHRIMP 锆石测年结果(Zhu et al., 2005)表明西部最早玄武岩中锆石的表观年龄为 $334 \sim 394.9$ Ma 之间; 东部最早粗面安山岩它们主体为泥盆纪-石炭纪的岛弧火山岩中锆石的表观年龄为 $293 \sim 465.4$ Ma 之间。因此, Zhu et al. (2005)推断这些火山岩代表古南天山大洋的火山弧。

东天山地区梧桐窝子岩组为晚石炭世海底扩张喷发形成的一套中基性火山岩-细碧岩-硅质岩-碳酸盐岩建造。通过对剖面组合特征研究,贺军慧等(2005)认为该岩组是由辉长岩-辉绿岩-玄武岩-放射虫硅质岩组成的洋壳残片和岛弧物质的安山岩、凝灰岩、沉凝灰岩及弧前沉积的凝灰质砂岩、钙质砂岩、微晶大理岩、正常碎屑岩(糜棱岩、千糜岩)3部分组成的蛇绿混杂岩带。三者所处构造背景、沉积环境不同,在岩石学、岩石化学及岩石地球化学特征上亦有较大差异(贺军慧等,2005)。因此,晚石炭世梧桐窝子岩组实际上为该地区岛弧及弧前增生边缘组合中的重要成分(Xiao et al., 2004b)。

1.9 斑岩型铜矿床

斑岩型铜矿床在新疆北部主要有分布于阿尔泰南缘、西准噶尔、东准噶尔和东天山等地区(秦克章,2000; 2002; Qin et al., 2005; 王福同等,2001; 芮宗瑶等,2002; Han et al., 2006a; 2006b; Zhang et al., 2006)。在阿尔泰南缘卡拉先格尔斑岩铜矿带内分布有希勒克特哈腊苏铜矿,初步研究表明希勒克特哈腊苏铜矿中含矿斑岩属于埃达克岩(杨文平等,2005);其Rb-Sr等时线年龄为 332.8 ± 8.5 Ma(杨文平等,2005),其形成与古大洋板块的俯冲造成的洋壳部分熔融有关(杨文平等,2005)。

在东准噶尔琼河坝地区一套中晚古生代岛弧背景中性、中酸性钙碱性的厚层火山岩系中,有晚古生代花岗斑岩分布,发育有斑岩型Cu-Au矿床(陈仁义等,1995)。其中琼河坝202斑岩型铜矿处于中蒙边境地区的晚古生代增生构造带,成矿作用与晚古生代花岗斑岩有关,并具有明显的斑岩铜矿床蚀变分带特征(陈仁义等,1995)。

西准噶尔托里县包古图斑岩型铜金矿床位于西准噶尔造山带达尔布特向斜东段南翼。矿区内地层主要为下石炭统包古图组,岩性主要为凝灰岩、凝灰质粉砂岩、硅质岩和含砾砂岩等。矿化主要产于花岗闪长斑岩附近围岩中,矿体呈板状和似板状(许发军和夏芳,2003)。包古图斑岩铜矿母岩的侵入年龄为 $330 \sim 320$ Ma,含矿斑岩主量和微量元素分析表明,大多数斑岩满足埃达克岩的条件(张连昌等,2006b)。Nd和Sr同位素组成与洋中脊玄武岩(MORB)以及起源于俯冲洋壳的埃达克岩的Nd和Sr同位素组成相似,并且含矿斑岩 $Mg^{\#} > 40$ (张连昌等,2006b),表明他们可能是俯冲洋壳熔融的产物(张连昌等,2006b)。根据斑岩的地球化学组成并结合区域地质特征,张连昌等(2006b)认为包古图含矿斑岩形成于与洋内俯冲有关的岛弧环境。

包古图地区花岗岩广泛分布,岩性为石英闪长斑岩、花岗岩闪长斑岩、花岗斑岩,呈小岩株状产出,岩体面积一般为数平方千米,共有近20个岩体,同位素年龄为 $300 \sim 320$ Ma(李华芹等,1998)。包古图地区这些晚古生代花岗闪长岩和石英闪长岩小岩体,为准铝质岩石,稀土配分曲线表现为轻

稀土富集的真正铕异常的模式(张连昌等,2006b)。具低的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始锶比值和氧同位素组成,这些特征反映其岩浆物质来源是深源的,属板块碰撞前的花岗岩类(张连昌等,2006b)。在花岗岩微量元素构造环境判别图解中,包古图含矿斑岩位于岛弧区(张连昌等,2006b)。

在东天山一带,斑岩铜矿床自西向东分布有延东、土屋、灵龙、赤湖、鸭子泉铜矿等,其中延东、土屋已经达到大型规模(王福同等,2001; 芮宗瑶等,2002)。与土屋斑岩铜矿密切相关的企鹅山群火山岩的中-基性火山岩和酸性火山岩SHRIMP锆石U-Pb同位素年龄测定结果为石炭纪(基性火山岩的成岩年龄为 322.6 ± 2.0 Ma, 酸性火山岩的成岩年龄为 319.9 ± 1.6 Ma, 李向民等,2004),最年轻年龄值为 304.5 ± 1.6 Ma(李向民等,2004)。锆石U-Pb年代学结果表明土屋斑岩铜矿的形成时代是 301 ± 13 Ma(李文明等,2002)。陈富文等(2005)对土屋和延东斑岩铜矿区的矿化斜长花岗斑岩开展了SHRIMP锆石U-Pb定年研究,获得土屋和延东矿区矿化斜长花岗斑岩体的年龄分别为 334 ± 3 Ma和 333 ± 4 Ma(陈富文等,2005)。而赤湖斑岩型铜钼矿的形成时代为 292 ± 4 Ma(李文明等,2002)。最近SHRIMP锆石U-Pb年代学表明,三岔口铜矿矿化斜长花岗斑岩的岩浆侵位年龄为 278 ± 4 Ma(李华芹等,2004)。

北疆地区的斑岩型矿床成矿作用的成矿构造背景为板块汇聚晚期阶段陆缘挤压环境(毛景文等,2002b; 秦克章等,2002; 韩春明等,2002; Qin et al., 2005; Han et al., 2006a; 2006b; Zhang et al., 2004; 2005; 2006)。吐哈盆地南缘斑岩样品微量元素构造环境判别结果表明除两个成矿后斑岩外,其它样品均位于火山弧花岗岩(张连昌等,2006a)。这些最新的高精度年代学证据表明北疆地区在晚石炭世-二叠纪早期仍然可能还存在活动陆缘。

2 讨论

综上所述,新疆北部发育了大量石炭纪-二叠纪构造-成矿事件,构成晚古生代独特的构造-成矿作用。这些最新的进展,特别是高精度年代学证据均表明北疆地区在晚石炭世-二叠纪仍然可能还存在活动陆缘。值得注意的是目前国际上关于二叠纪时限的绝对年龄值是定在 299.0 ± 0.8 Ma ~ 251.0 ± 0.4 Ma(Gradstein et al. 2004),与过去传统的二叠纪时限具有不同之处(如有些文献中将 $230 \sim 270$ Ma定为二叠纪的时限,中国科学院地学部和新疆石油管理局,1989)。

由于北疆地区及其邻区占据中亚增生造山带南部的关键部位,在讨论北疆乃至整个中亚地区大地构造演化或者探讨相关成矿作用时必须考虑这些重要而又关键的石炭纪-二叠纪构造-成矿事件。这里仅就这些进展与基本地质事实对古亚洲洋构造域南部的意义,特别是对中亚增生造山作用与古亚洲洋最后消减过程的时空制约进行探讨。

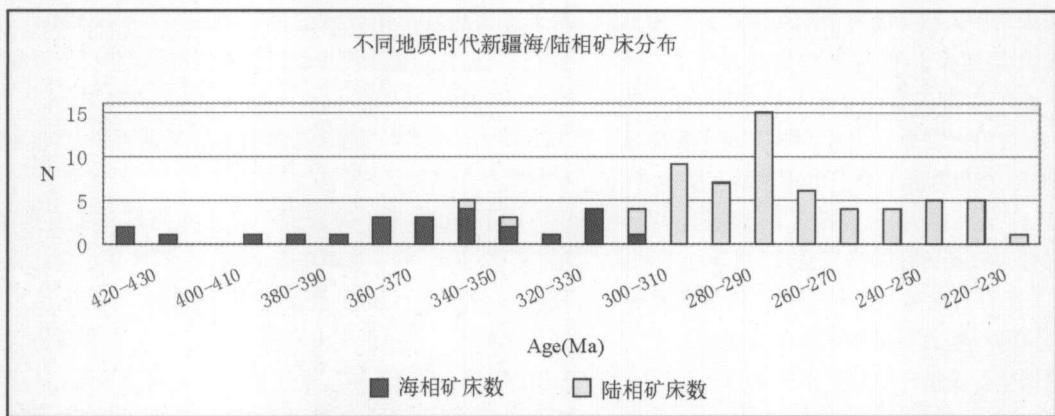


图2 北疆地区不同地质时代矿床直方图(引自秦克章,2000)

Fig. 2 Histogram of the distribution of mineral deposits of the Northern Xinjiang (After Qin, 2000)

长期以来关于古亚洲洋南部(南天山古洋盆)最终闭合和中亚南部增生造山的结束时间,存在较大争议。目前主要有如下几种认识:早-中泥盆世(王作勋等,1990),晚泥盆世-早石炭世(Gao et al., 1998; Windley et al., 1990; Allen et al., 1993),晚泥盆世-石炭纪(高长林等,1995),晚泥盆世-早二叠世(卢华复等,1996),晚石炭世-早二叠世(郝杰和刘小汉,1993)。

前人关于亚洲洋早期闭合的观点多主要根据蛇绿岩的时代或者岛弧火山岩的大致时代。如南天山蛇绿岩多发育有早古生代-泥盆纪同位素年代学成果或者相关泥盆世-早石炭世的放射虫化石(Gao et al., 1998; 王作勋等,1990; Windley et al., 1990; Allen et al., 1993; 卢华复等,1996; Liu, 2001; 龙灵利等,2006),但是南天山蛇绿岩实质上多产于活动陆缘增生带中(王学潮等,1995; Xiao et al., 2004b; 高俊等,2006),构造地质学和区域资料显示南天山这些蛇绿岩不是完整的蛇绿岩套,如库勒湖蛇绿岩是一个推覆体,它们并不代表不同的洋中脊扩张中心(王学潮等,1995)。在增生杂岩中最年轻的组分(放射虫硅质岩、蛇绿岩残片、海山-洋底高原、高压-超高压变质岩等)可能对整个增生杂岩或者增生过程的上限具有决定性的制约意义。本文所阐述的主要构造-成矿作用等基本科学事实,特别是南天山增生杂岩中晚二叠世放射虫化石与海山成因的高压-超高压变质岩带的发现(李曰俊等,2002; 2005; 李强和张立飞,2004; 艾永亮等,2005; 张立飞,2005),进一步证明南天山西部在晚二叠世仍然有一定规模的古洋盆及其俯冲作用的存在。在南天山东段红柳河地区由于中新生代走滑构造的影响使得在该地区建立清晰的构造格局仍需详细的研究工作(Zhou and Graham, 1996; 李景轶等,2002),但初步的大地构造解析研究表明也存在相似的情形(Xiao et al., 2004b)。同时,在环准噶尔的块体(阿尔泰、东准噶尔、哈尔里克-大南湖、西准噶尔、和伊犁-西天山等)上不同程度发育有与俯冲-增生或者活动陆缘的记录。这证明古亚洲洋南部(南天山古洋盆)最终闭合和中亚南部增生造山的最终结束时间可能在二叠纪,

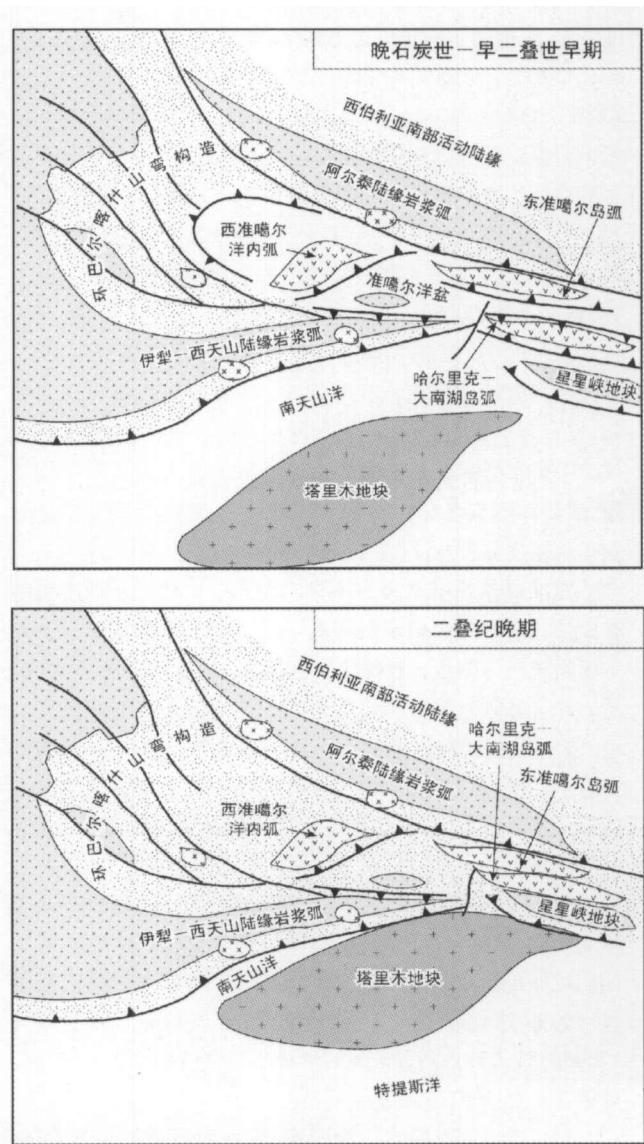


图3 北疆地区晚石炭世-二叠纪早期复杂活动陆缘古地理图

Fig. 3 Paleogeography of the late Carboniferous-early Permian complex active margin of the Northern Xinjiang

甚至是二叠纪晚期。

根据前人资料(徐新,1998; 卢华夏等,1996; 郝杰和刘小汉,1993; 马瑞士等,1997),新疆北部地区碰撞型花岗岩欠发育(王廷印,1985; Han *et al.*, 1997; 韩宝福等,1998)。早二叠世或者以前的与造山作用相关的前陆盆地发育不明显,仅在西南天山南麓报道存在上二叠统-三叠统前陆盆地磨拉石沉积(蔡东升等,1995; 1996)。这些均表明可能在晚石炭世-早二叠世期间,并未发生塔里木与北面西伯利亚活动陆缘的大规模的碰撞造山作用,相关的增生造山作用一直延续至二叠纪早期。晚石炭世-二叠纪早期挤压-伸展-走滑并存,岩浆活动活跃(赵振华等,2003; Zhou *et al.*, 2004)。而南天山洋盆闭合、塔里木与北面西伯利亚活动陆缘的拼合造山等过程可能发生在晚二叠世-三叠纪(李继亮,1989; 中国科学院地学部和新疆石油管理局,1989; Sun *et al.*, 1991; 郝杰和刘小汉,1993; Carroll *et al.*, 1995; Xiao *et al.*, 2004a; 2004b; 张立飞等,2005)。整个北疆地区在该阶段是成矿作用高峰期(图2),大量斑岩铜金矿床与阿拉斯加型铜镍矿床等都从一个侧面支持了这种认识,表明了造山作用与成矿作用的密切关联性。

众所周知,在更大区域尺度上来看,中亚造山带大地构造演化历史发育有大规模的同俯冲山弯-横切堆叠(oreocline duplexing)构造(Sengör *et al.*, 1993; 李锦铁等,2006a),只是在具体细节方面尚存争议(Sengör *et al.*, 1993; 李锦铁等,2006a)。目前认为关于伊犁-西天山陆缘岩浆弧的归属是与环巴尔喀什山弯构造或者堆叠的Kipchak弧地质体相联系(Sengör *et al.*, 1993)。由于北疆地区大量发育晚石炭世-二叠纪早期平行造山带大型走滑构造(Laurent-Charvet *et al.*, 2002; 陈文等,2005)等现象,因此,这些平行造山带大型走滑构造很可能与同俯冲的大规模走滑运动具有某种关联。具体如何匹配尚需要进一步的详细研究工作。尽管对准噶尔盆地的性质具有各种认识(详见Carroll *et al.*, 1990; 李锦铁等,2006a),目前的资料说明准噶尔盆地很可能主体是圈闭的洋盆、岛弧与增生杂岩组合(Carroll *et al.*, 1990; Chen and Jahn, 2002; 2004),局部可能存在微块体(李锦铁等,2006a)。由于处于特殊的会聚板块边缘,具有独特几何学边

界条件,该圈闭洋盆可能在合适的条件下发生有限消减,在环准噶尔的块体(阿尔泰、东准噶尔、哈里克-大南湖、西准噶尔、和伊犁-西天山等)上留下与俯冲-增生或者活动陆缘的记录。

根据此推测,新疆北部晚石炭世-二叠纪古地理格局以发育北面的西伯利亚南部活动陆缘体系,通过南天山洋与塔里木隔岸相对(图3)。这一阶段早期,北面的西伯利亚南部活动陆缘体系在新疆北部主体包括分布于北部的阿尔泰陆缘岩浆弧、紧邻其产出的东准噶尔、哈里克-大南湖岛弧与星星峡地块,以及分布与西部的西准噶尔洋内弧与南面的伊犁-西天山陆缘岩浆弧(图4)。这一阶段晚期(主体为二叠纪早期),可能发生塔里木拼贴到北面的西伯利亚南部活动陆缘体系的构造事件,导致南天山洋主体逐渐封闭,其中南天山西段残余古洋盆最终闭合的时间应为二叠纪末(李曰俊等,2002; 2005; 张立飞等,2005)。这一阶段构造-成矿演化应该归纳为具有以下特征:

(1) 新疆区域早古生代是古大洋和洋内古块体群发育时期,早古生代开始了洋盆俯冲消减、洋内块体拼贴增生。古亚洲洋南部构造域在晚泥盆世-早石炭世,由于北天山洋盆向北部俯冲,形成大南湖-头苏泉岛弧,并伴有高侵位的花岗岩体分布和铜-钼-金-银矿体的形成。

(2) 复杂增生造山作用最后结束于晚石炭世晚期或者甚至二叠纪早期。与复杂拼贴增生造山期相关的前陆盆地发育不明显,也没有大规模发育碰撞型花岗岩;

(3) 晚石炭世-二叠纪早期岩浆活动活跃,壳幔物质交换复杂,形成过渡性地壳,为成矿作用提供了良好条件。在晚石炭世-早二叠世,大量镁铁-超镁铁质和碱性花岗岩岩浆侵位,形成大量的岩浆铜镍硫化物。

3 结论

新疆北部晚古生代发育了一系列独特的构造-成矿作用,特别是以发育大量石炭纪-早二叠世构造-成矿事件为特征,其中主要包括:(1)发育于晚石炭世-二叠纪的阿尔泰岛

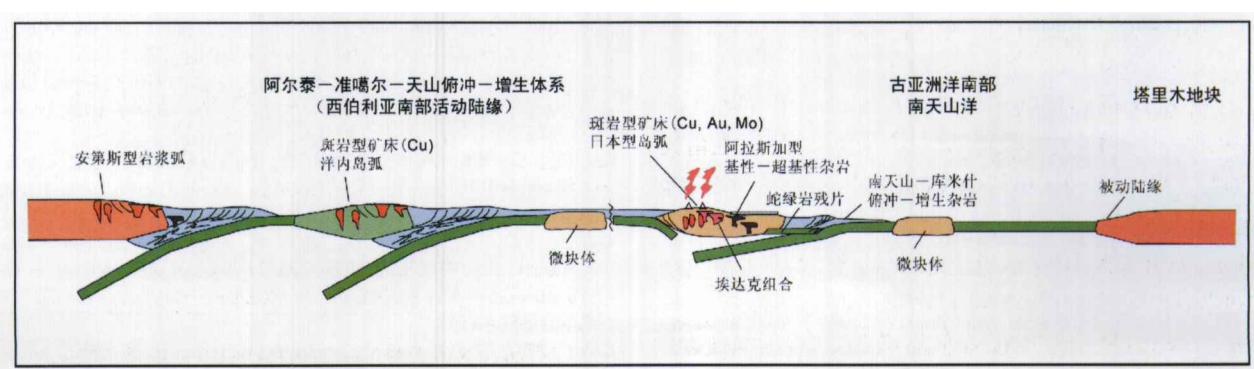


图4 北疆地区晚石炭世-二叠纪复杂活动陆缘概念剖面图

Fig. 4 Conceptual cross-sectional model of the late Carboniferous-early Permian active margin of the Northern Xinjiang

弧及其变质事件、阿尔泰山麻粒岩、西南天山放射虫硅质岩和高压-超高压-低压麻粒岩相变质事件；(2) 北疆发育的石炭世(-早二叠世)埃达克岩-高镁安山岩-富Nd玄武质岩组合、阿拉斯加型基性-超基性杂岩和大量的与俯冲相关的钙碱性岩浆活动与成矿作用；(3) 天山晚石炭世晚期蛇绿岩与岛弧火山岩等。因此，新疆北部在石炭纪-早二叠世挤压-伸展-走滑并存，岩浆活动与成矿作用活跃。

本文认为所有这些新进展表明新疆北部在晚石炭世-二叠纪早期仍存在活动陆缘。因此，很可能在晚二叠世新疆北部或其局部地区仍然可能存在有一定规模的古洋盆及其相关的俯冲作用。进一步推论古亚洲洋构造域南部复杂增生造山作用最后结束于晚石炭世晚期-二叠纪。

致谢 涂光炽院士、肖序常院士与何国琦教授对本研究工作进行了指导。赵振华研究员、胡震琴研究员、于学元研究员、王京彬研究员、高俊研究员、秦克章研究员、韩宝福教授、郭召杰博士、刘伟研究员、马瑞士教授以及“中国西部中亚型造山与成矿”项目全体科研人员与作者进行了讨论。李锦轶研究员、徐新教授、周鼎武教授、秦克章研究员、王志洪研究员、张连昌博士和王涛研究员多次与第一作者就中亚大地构造问题进行过详细研讨。侯泉林教授与中国科学院研究生敖松坚、龙晓平、蔡克大以及香港大学研究生王步云曾一同野外考察新疆北部。审稿人提出了建设性修改意见。一并谨致谢忱。

References

- Ai YL, Zhang LF, Li XP, and Qu JF. 2005. Geochemistry and tectonic significance of the UHP eclogite and blueschist from the southwest Tianshan, Xinjiang. *Progresses in Natural Sciences*, 15(11): 1346 - 1355
- Allen M B, Windley B F, and Zhang C. 1993. Palaeozoic collisional tectonics and magmatism of the Chinese Tien Shan, central Asia. *Tectonophysics*, 220: 89 - 115
- Buckman S, and Aitchison J C. 2004. Tectonic evolution of Paleozoic terranes in West Junggar, Xinjiang, NW China. In: Malpas J, Fletcher CJN, Ali J, Aitchison JC (eds.). *Aspects of the Tectonic Evolution of China*. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 226: 101 - 129
- Carroll AR, Liang Y, Graham S, Xiao X, Hendrix MS, Chu J, and McKnight CL. 1990. Junggar basin, northwestern China: trapped Late Paleozoic ocean. *Tectonophysics*, 181: 1 - 14
- Carroll AR, Graham SA, Hendrix MS, Ying D, and Zhou D. 1995. Late Paleozoic tectonic amalgamation of northwestern China: sedimentary record of the northern Tarim, northwestern Turpan, and southern Junggar basins. *Geological Society of American Bulletin*, 107: 571 - 594
- Chai DS, Lu HF, Jia D, and Wu SM. 1995. Paleozoic plate tectonic evolution of the Southern Tianshan. *Geological Review*, 46(5): 432 - 443 (in Chinese with English abstract)
- Chai DS, Lu HF, Jia D, Wu SM, and Chen CM. 1996. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of the ophiolite mélange in the southern Tianshan and the mylonites in the southern rim of the Central Tianshan and their tectonic significance. *Scientia Geologica Sinica*, 31(4): 384 - 390 (in Chinese with English abstract)
- Chai F, Zhang Z, Mao J W, Dong L, Wu H and Mo X. 2005. Geology, petrology and geochemistry of the Baishiwan Cu-Ni-bearing mafic-ultramafic intrusions in Xinjiang, NW China. In: Mao J & Bierlein F R. *Mineral deposit research: meeting the global challenge*. Springer, 12: 1293 - 1296
- Chen B, and Jahn BM. 2002. Geochemical and isotopic studies of the sedimentary and granitic rocks of the Altai orogen of northwest China and their tectonic implications. *Geological Magazine*, 139: 1 - 13
- Chen B, and Jahn BM. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China; Nd-Sr isotopic and trace element evidence, *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 691 - 703
- Chen FW, Li HQ, Chen YC, Wang DH, Wang JL, Liu DQ, Tang YL, and Zhou RH. 2005. Zircon shrimp U-Pb dating and its geological significance of mineralization in the Tuwu-Yandong porphyry copper mine, East Tianshan Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 79(2): 256 - 261 (in Chinese with English abstract)
- Chen HL, Li ZL, Yang SF, Dong CW, Xiao WJ, and Tainosh Y. 2006a. Mineralogical and geochemical study of a newly discovered mafic granulite, northwest China: Implications for tectonic evolution of the Altay Orogenic Belt. *The Island Arc*, 15(1): 210 - 222
- Chen HL, Yang SF, Li ZL, Yuan C, Xiao WJ, Li JL, Yu X, and Lin XB. 2006b. Tectonic setting of mafic rocks in southern Altay orogenic belt and its geodynamic implication. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 127 - 124 (in Chinese with English abstract)
- Chen HL, Yang SF, Li ZL, Yu X, Xiao WJ, Yuan C and Li JL. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb chronology of the Fuyun basic granulite and its tectonic significance in the Altay orogenic belt. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1351 - 1358
- Chen RY, Liu GH, and Ma WY. 1995. Geological characteristics and genetic mechanism of Cu-Au mineralization in Qiongheba, Xinjiang. *Geology and Prospecting*, 31(1): 26 - 31
- Chen W, Sun S, Zhang Y, Xiao WJ, Wang YT, Wang QL, Jiang LF and Yang JT. 2005. Ar-Ar geochronological study on the Qiugemingtashi-Huangshan ductile shear zone. *Acta Geologica Sinica*, 79(6): 790 - 804 (in Chinese with English abstract)
- Chen ZF, Cheng SD, Laing YH et al. 1997. *The opening-closure tectonics and metallogeny*. Urumqi: Xinjiang People Publishing House, 1 - 394 (in Chinese with English abstract)
- Chen ZF. 1993. *Regional Geology of Xinjiang Autonomous Region*, Geological Memoirs, Ser. 1, No. 32, Map Scale 1: 1,500,000, Geological Publishing House, Beijing, 1 - 841
- Coleman R. 1989. Continental growth of Northwest China. *Tectonics*, 8: 621 - 635
- Earth Science Department of Chinese Academy of Sciences, Xinjiang Petroleum Administrative Bureau. 1989. Formation and evolution of the Junggar Basin and oil-gas formation. Beijing: Science Press. 1 - 173
- Fang GQ. 1993. Sediment Lithology evidence of island in Late-Paleozoic, the Bogda Island-arc. *Acta Sedimentologica Sinica*, 11(3): 31 - 36 (in Chinese with English abstract)
- Fang WX, Gao ZQ, Jia RX, Huang ZY, Liu ZT, Li FS and Xu GD. 2006. Metallogenic background and geochemical characteristics of Lower Carboniferous volcanic rocks in the No. 371-Xibeipo copper-gold mineralization belt in the Yaxi area, east Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 215 - 224 (in Chinese with English abstract)
- Gao CL, Cui KR, Qian YX, Liu B, Ding DG and Yin Y. 1995. Microplate Tectonics in the Tianshan and the North Tarim Basin. Beijing: Geological Publication House, 1 - 265
- Gao J, Xiao XC, Tang YQ, Zhao M and Wang J. 1994. The metamorphic P-T-D path of blueschists and tectonic evolution in the southwestern Tianshan Mountains, Xinjiang. *Geological Review*, 40(6): 544 - 553
- Gao J. 1997. The discovery of eclogites and its tectonic implications, southwestern Tianshan. *Chinese Science Bulletin*, 42(7): 737 - 740
- Gao J, Li MS, Xiao XC, Tang YQ and He GQ. 1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan Orogen, northwestern China.

- Tectonophysics, 287: 213 - 231
- Gao J and Klemd R. 2003. Formation of HP-LT rocks and their tectonic implications on the western Tianshan orogen, NW China: geochemical and age constraints. *Lithos*, 66: 1 - 22
- Gao J, He GQ, Li MS, Xiao XC and Tang YQ. 1995. The mineralogy, petrology, metamorphic PTDt trajectory and exhumation mechanism of blueschists, South Tianshan, northwestern China. *Tectonophysics*, 250: 151 - 168
- Gao J and Klemd R. 2001. Primary fluids entrapped at blueschist to eclogite transition: evidence from the Tianshan meta-subduction complex in northwestern China. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 142: 1 - 14
- Gao J, Klemd R, Zhang L, Wang Z and Xiao X. 1999. P-T path of high-pressure/low temperature rocks and tectonic implications in the western Tian Shan Mountains, NW China. *Journal of Metamorphic Geology*, 17: 621 - 636
- Gao J, Long LL, Qian Q, Huang DZ, Su W and Klemd R. 2006. South Tianshan: a Late Paleozoic or a Triassic orogen? *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1049 - 1061
- Gong FH, Li YJ, Wang QH, Hu SL, Huang ZB and Luo JC. 2003. New Ar-Ar geochronological data of Paleozoic volcanic rocks in western segment of the Chinese Southern Tianshan. *Geological Journal of China Universities*, 93(3): 494 - 498 (in Chinese with English abstract)
- Gong WP, Lin KX and Li YB. 1997. Geochemistry and tectonic setting significance of the Early Carboniferous volcanic rocks in the Santanghu Basin, Xinjiang. *Oil and Gas Geology*, 3(2): 202 - 211 (in Chinese with English abstract)
- Gradstein FM, Ogg J G, Smith A G, Bleek W, and Lourens L J. 2004. A new Geological Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene. *Episodes*, 27: 83 - 100
- Gu LX, Zhu JL, Guo JC, Liao JJ, Yan ZF, Yan H, and Wang JZ. 1994. The East Xinjiang-type mafic-ultramafic complexes in orogenic environments. *Acta Petrologica Sinica*, 10(4): 339 - 355 (in Chinese with English abstract)
- Guo ZJ, Shi HY, Zhang ZC, and Zhang JJ. 2006. The tectonic evolution of the south Tianshan paleo-oceanic crust inferred from the spreading structures and Ar-Ar dating of the Hongliuhe ophiolite, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 95 - 102
- Guo ZJ, Yin A, Alexander R, and Cheng ZJ. 2005. Geochronology and geochemistry of deep-drill-core samples from the basement of the Central Tarim Basin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25: 45 - 56
- Han B, Wang S, Jahn B-m, Hong D, Kagami H, and Sun Y. 1997. Depleted mantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang, China: geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence, and implications for the Phanerozoic crustal growth. *Chemical Geology*, 138: 135 - 159
- Han BF, He GQ, Wang SG et al. 1998. Post-collisional mantle magmatism in the Northern Xinjiang and vertical continental growth. *Geological Review*, 44 (4): 396-406 (in Chinese with English abstract)
- Han BF, Song B, Chen LH, et al. 2004. SHRIMP zircon U-Pb dating on the mafic-ultramafic complexes from Kelatongke and Huangshandong, Xinjiang, and their geological significance. *Chinese Science Bulletin*, 49: 2324 - 2328
- Han CM, Mao JW, Yang JM, Wang ZL and Cui B. 2002. Research on metallogenetic series of copper-polymetallic deposits in East Tianshan Mountains. *Mineral Deposits*, 21 (Suppl.) : 125 - 27 (in Chinese with English abstract)
- Han CM, Xiao WJ, Zhao GC, Mao JW, Li SZ, Yan Z and Mao QG. 2006a. Major types, characteristics and geodynamic mechanism of Late Paleozoic copper deposits in Northern Xinjiang, Northwestern China. *Ore Geology Review*, 28: 308 - 328
- Han CM, Xiao WJ, Zhao GC, Mao JW, Rui ZY, Yang JM, and Wang ZL. 2006b. Geological characteristics and genesis of the Tuwu porphyry copper deposit, Hami, Xinjiang, Central Asia. *Ore Geology Review* (in press)
- Hao J and Liu XH. 1993. The formation age of the ophiolitic m lange of the Southern Tianshan and its tectonic significance. *Scientia Geologica Sinica*, 28 (1): 93 - 95 (in Chinese with English abstract)
- Hao JR, Zhou DW, Liu YQ, and Xing XJ. 2006. Geochemistry and tectonic settings of Permian volcanic rocks in Santanghu Basin, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 189 - 198 (in Chinese with English abstract)
- He GQ, Li MS, Liu DQ et al. 1994. The Paleozoic crust evolution and metallogeny of Xinjiang, China. Hong Kong: Hong Kong Culture and Education Publishing House; Urumqi: Xinjiang People Publishing House (in Chinese with English abstract)
- He JH, Xia M, and Zhang XL. 2005. Discussion on the structural environment of the Wotongwozi Group at Jue-Luo-Ta-Ge Region in the East Tianshan, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 23(1): 23 - 27
- Hu AQ, Wang ZG, and Tu GZ. 1997. Geological evolution and diagenic and metallogenetic regularity in northern Xinjiang. Beijing: Science Press. 9-105 (in Chinese with English abstract)
- Hu AQ, Wei GJ, Deng WF and Chen LL. 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating and its significance for gneisses from the southeast area to Qinghe County in the Altai, China. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (1): 1 - 10 (in Chinese with English abstract)
- Hu SX, Guo ZJ, Gu LX, et al. 1990. Important role and geological characteristics of Caledonian orogenic belt in Tianshan tectonic frame. *Geological Science of Xinjiang* (No. 1). Beijing: Geological Publication House, 32 - 46 (in Chinese with English abstract)
- Jahn BM, Wu FY, and Chen B. 2000. Granitoids of the Central Asian Orogenic Belt and continental growth in the Phanerozoic. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 91: 181 - 193
- Ji JS, Tao SX, and Yang XK. 1994b. Geological characteristics of volcanic rocks within the different tectonic settings in the East Tianshan Mountains. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 13(4): 297 - 304 (in Chinese with English abstract)
- Ji JS, Tao SX, Zeng ZR, et al. 1994a. The Kangurtag gold belt in the East Tianshan and its metallogeny. Beijing: Geological Publication House, 1 - 204 (in Chinese with English abstract)
- Klemd R, Brocker M, Hacker BR, Gao J, Gans P and Wemmer K. 2005. New age constraints on the metamorphic evolution of the high-pressure/low-temperature belt in the Western Tianshan Mountains, NW China. *The Journal of Geology*, 113: 157 - 168
- Laurent-Charvet S, Charvet J, Moni P, and Shu L. 2003. Late Paleozoic strike-slip shear zones in eastern central Asia (NW China): new structural and geochronological data. *Tectonics*, 22(2): doi. 10.1029/2001TC901047
- Li HQ, Chen FW, Lu YF, Yang HM, Guo J and Mei YP. 2004. Zircon SHRIMP U-Pb age and strontium isotopes of mineralized granitoids in the Sanchakou copper polymetallic deposit, East Tianshan Mountains. *Acta Geoscientica Sinica*, 25 (2): 191-195 (in Chinese with English abstract)
- Li HQ, Xie CF, Chang HL, Cai H, Zhu JP, and Zhou S. 1998. Study on metallogenetic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in north Xinjiang. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 264
- Li JL, 1989. The Junggar backarc remnant basin and its tectonic relationship to the Tianshan Orogenic belt. *Journal of Sedimentology*, (Supp.) : 112 - 120
- Li JY, Wang KZ, Mo SH, Sun GH, Li WQ, Yang TN and Gao LM, 2006b. Paleozoic active margin slices in the southern Turfan-Hami Basin: geological records of subduction of the Paleo-Asian Ocean plate in central Asian regions. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5):1087 - 1102
- Li JY and Xiao XC. 1999. Brief reviews on some issues of framework and tectonic evolution of Xinjiang crust, NW China. *Scientia Geologica Sinica*, 34(4): 405 - 419 (in Chinese with English abstract)
- Li JY, Wang KZ, Li WQ, Guo HC, Song B, Wang Y, Mo SG, Zhao ZR, Zhu ZX and Pan CZ. 2002. Tectonic evolution since the late Paleozoic and mineral prospecting in eastern Tianshan mountains, NW China. *Xinjiang Geology*, 22(4): 295 - 301 (in Chinese with English abstract)

- English abstract)
- Li JY, He GQ, Xu X, Li HQ, Sun GH, Yang TN, Gao LM and Zhu ZX. 2006a. Crustal tectonic framework of Northern Xinjiang and adjacent regions and its formation. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 148–168 (in Chinese with English abstract)
- Li JY. 2006. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions; closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(3-4): 207–224
- Li JY, Xiao WJ, Wang KZ, Sun GH and Gao LM. 2003. Neoproterozoic-Paleozoic tectonostratigraphic framework of Eastern Xinjiang, NW China. In: Mao JW, Goldfarb R, Seltmann R, Wang DH, Xiao WJ and Hart C. (eds.). *Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan, IGCP 473 Workshop 2003*, Urumqi, International Association on the Genesis of Ore Deposits (IAGDO), CERAMS, Natural History Museum, London. p. 31–74
- Li Q, and Zhang LF. 2004. The P-T path and geological significance of the low-pressure granulite-facies metamorphism in Muzhaerte, Southwest Tian Shan. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 583–594 (in Chinese with English abstract)
- Li TD and Poliyangjiji BH. 2001. Tectonics and crustal evolution of Altai in China and Kazakhstan. *Xinjiang Geology*, 19(1): 27–32 (in Chinese with English abstract)
- Li TD, Qi ZM, Wu BQ, Xiao SL, Zhao CL, Беспаев Х А, Полянский Н В, Дьячков А, Ганженко Г Д, Евтушенко Н П, and Евтушенко О П. 1996. New improvements of comparative study of geology and mineralization of Altai between China and Kazakhstan. In: Chinese Geological Society (ed.). *Thesis Volume of the Symposium of the 8th Five-Year Plan of Geoscience for Contribution to 30th IGC*. Beijing: Metallurgical Industrial Publ. House. 256–259
- Li WM, Ren BC, Yang XK, Li YZ and Chen Q. 2002. The intermediate-acid intrusive magmatism and its geodynamic significance. *Geology of Northwest China*, 35(4): 41–63 (in Chinese with English abstract)
- Li WQ, Dong RF and Zhou RH. 2000. The ophiolite found in the Kangurtag region and its characteristics. *Xinjiang Geology*, 18(2): 122–127 (in Chinese with English abstract)
- Li WQ, Xia B, Wang KZ, Wang Q and Wang H. 2006. Zircon SHRIMP age and geochemistry of Caizhong Granite from East Tianshan, Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 43–52 (in Chinese with English abstract)
- Li XM, Xia LQ, Xia ZC, Xu XY, Ma ZP, and Wang LS. 2004. U-Pb zircon geochronology on the Qieshan Group volcanics in the Eastern Tianshan. *Geological Bulletin of China*, 23(12): 1215–1230 (in Chinese with English abstract)
- Li Yuejun, Wang Zhaoming, Wu Haoruo, Huang Zhibin, Tan Zejin, and Luo Juncheng. 2002. Discovery of radiolarian fossils from the Aiketik Group distributed at the western end of the South Tianshan Mountains of China and its implications. *Acta Geologica Sinica* (English Ed.), 76(2): 146–154
- Li YJ, Sun LD, Wu HR, Wang GL, Yang CS and Peng GX. 2005. Permo-Carboniferous radiolaria from the Wupatarkan Group, west terminal of Chinese South Tianshan. *Chinese Journal of Geology*, 40(2): 220–226
- Li YJ, Wang ZM, Mai GR, Wu HR, Huang ZB, and Tang ZJ. 2002. Discovery of the Permo-Carboniferous radiolaria from the Aiketik Group in Tarim Basin and its significance. *Xinjiang Petroleum Geology*, 20(3): 494–495 (in Chinese with English abstract)
- Li ZL, Chen HL, Yang SF, Xiao WJ and Tainosh Y. 2004. Discovery of the basic granulite from the Altai area; evidence from mineralogy. *Acta Petrologica Sinica*, 20(6): 1445–1455 (in Chinese with English abstract)
- Lin KX, Yan CD and Gong WP. 1997a. Geochemistry and tectonics setting analysis of the Early Permian volcanic rocks in the Santanghu Basin, Xinjiang. *Bulletin of Mineralogy and Petrology Geochemistry*, 16(1): 39–42 (in Chinese with English abstract)
- Lin KX, Li YB, Gong WP and Yu HL. 1997b. Geochemistry and tectonics setting analysis of the Late Paleozoic volcanic rocks in the Santanghu Basin, Xinjiang. *Geological Journal of China Universities*, 3(2): 202–211 (in Chinese with English abstract)
- Liu DQ. 1983. Plate tectonic and distribution of mineral resources. *Northwestern Geology*, 4(2): 1–12 (in Chinese with English abstract)
- Liu Y. 2001. Early Carboniferous radiolarian fauna from Heiyingshan south of Tianshan and its geotectonic significance. *Acta Geologica Sinica* (English Ed.), 75(1): 101–108
- Long LL, Gao J, Xiong XM, and Qian Q. 2006. The geological characteristics and the age of the Kule Lake ophiolite in the southern Tianshan. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 65–73
- Long XP, Sun M, Yuan C, Xiao WJ, Chen HL, Zhao YJ, Chai KD and Li JL. 2006. Genesis of Carboniferous Volcanic Rocks in the Eastern Junggar: Constraints on the Closure of the Junggar Ocean. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 31–40 (in Chinese with English abstract)
- Lou FS and Tang CF. 1995. Tectonics setting significance of the Carboniferous volcanic rocks in the Hongjingzi area, Balikun, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 13(1): 67–75 (in Chinese with English abstract)
- Lu HF, Jia D, Cai DS, Wu SM, Chen CM, and Shi YS. 1996. Plate tectonic evolution of the Tarim and West Tianshan. In: Tong XG, Liang DG, Jia CZ. eds. *New Development in Petroleum Geological Research*, Tarim Basin. Beijing: Science Press. 235–245
- Ma RS, Shu LS and Sun JQ. 1997. Tectonic evolution and metallogeny of Eastern Tianshan Mountains. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Yang JM, Qu WJ, Du AD, Wang ZL, and Han CM. 2002a. Re-Os dating of Cu-Ni sulfide ores from the Huangshandong Deposit in Xinjiang and its geodynamic significance. *Mineral Deposits*, 21(4): 323–330 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Yang JM, Han CM, and Wang ZL. 2002b. Metallogenic systems of polymetallic copper and gold deposits and related metallogenic geodynamic model in Eastern Tianshan, Xinjiang. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 27(4): 414–424 (in Chinese with English abstract)
- Mao QG, Xiao WJ, Han CM, Sun M, Yuan C, Yan Z, Li JL, Yong Y, and Zhang JE. 2006. Zircon U-Pb age and the geochemistry of the Baishiquan mafic-ultramafic complex in the Eastern Tianshan, Xinjiang Province: Constraints on the closure of the Paleo-Asian Ocean. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 153–162 (in Chinese with English abstract)
- Mossakovskiy AA, Ruzhentsov SV, Samygin SG and Kheraskova TN. 1993. The Central Asian fold belt: geodynamic evolution and formation history. *Geotectonics*, 26: 455–473
- Ni Z. 1994. Chemical composition of pyroxenes from the Huangshandong mafic-ultramafic complex in Hami, Xinjiang. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 13(1): 55–66 (in Chinese with English abstract)
- Qin KZ, Sun S, Li JL and Xiao WJ. 2002. Division of six tectonic stages of major metallic deposits in Northern Xinjiang and its implications. *Mineral Deposits*, 21(Suppl.): 203–206 (in Chinese with English abstract)
- Qin KZ. 2000. Metallogenesis in relation to the Central Asian-style orogeny in northern Xinjiang. Postdoc Report. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 1–194
- Qin KZ, Xiao WJ, Zhang LC, Xu XW, Hao J, Sun S, Li JL and Tosdal RM. 2005. Eight stages of major ore deposits in northern Xinjiang, NW-China: Clues and constraints on the tectonic evolution and continental growth of central Asia. In: Mao JW and Bierlein FP. (eds.). *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*. Springer: Berlin, pp. 1327–1320
- Rui ZY, Wang LS, Wang YT and Liu YL. 2002. Discussion on metallogenic age of the Tuwu and Yandong porphyry copper deposit in the East Tianshan Mountains. *Mineral Deposits*, 21(1): 16–21 (in Chinese with English abstract)
- Sengör AMC, and Natal'in BA. 1996. Turkic-type orogeny and its role in the making of the continental crust. *Annual Review of Earth and*

- Planetary Science, 24: 263–337
- Sengör AMC, Natal'in BA, and Burtman US. 1993. Evolution of the Altai tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 364: 209–304
- Shen P, Shen YC, Zeng QD, Liu TB and Li GM. 2005. Ar-Ar age and geological significance of the Sawur gold belt in Northern Xinjiang. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 79(2): 276–285
- Shu LS, Lu HF, Yin DH, Ma RS, Charvet J and Laurent-Charvet S. 2001. Late Paleozoic continental accretionary tectonics in Northern Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 19(1): 59–63 (in Chinese with English abstract)
- Sun S, Li JL, Lin JL, Wang QC and Chen HH. 1991. Indosinides in China and the consumption of Eastern Paleotethys. In: Muller DW, McKenzie JA, and Weissert H (eds.). *Controversies in Modern Geology*. Academic Press, London, p. 363–384
- Wang FT, Feng J, Hu JW, Wang L, Jiang LF, and Zhang Z. 2001. Characteristics and significance of the Tuwu porphyry copper deposit, Xinjiang. *Geology in China*, 28(1): 37–41 (in Chinese with English abstract)
- Wang GR, Cheng SD, Yang SD, Zhang ZM and Ouyang S. 1995. Map of tectonism-formation in the North Xinjiang, China and its neighboring area, Scale 1: 1500000. Wuhan, China University of Geosciences Press
- Wang Q, Zhao ZH, Xu JF, Wyman DA, Xiong XL, Zi F, and Bai ZH. 2006. Carboniferous adakite-high-Ma andesite-Nb-enriched basalt rock suites in the Northern Tianshan area: implications for Phanerozoic crustal growth in the Central Asian Orogenic Belt and Cu-Au mineralization. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 11–30 (in Chinese with English abstract)
- Wang R, Liu D and Yin D. 1987. The conditions of controlling metallogenesis of Cu-Ni sulphide ore deposits and the orientation of finding ore Hami, Xinjiang, China. *Minerals and Rocks* 7: 1–152 (in Chinese with English abstract)
- Wang TY. 1985. Petro-chemical characteristics of the granitoids in the Altai foldbelt. In: *Papers on Plate Tectonics in North China*. Beijing: Geological Publication House. 55–64
- Wang XC, He GQ, Li MS, Gao J, and Lu SN. 1995. Petrochemical characteristics and isotopic age of the ophiolite in southern part of the South Tianshan. *Journal of Hebei College of Geology*, 18(4): 295–302
- Wang ZX, Wu JY, Liu CD, Lu XC, and Zhang JG. 1990. *Polycyclic Tectonic Evolution and Metallogenesis of the Tianshan Mountains*. Beijing: Science Press. 29–37
- Wang ZX, Li T, Zhou GZ, Lu MA, Liu YQ, and Li Y. 2003. Geological record of the late-Carboniferous orogeny in the Bogedashan, northern Tianshan Mountains, Northwest China. *Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing)*, 10(1): 63–69
- Windley BF, Allen MB, Zhang C, Zhao ZY and Wang GR. 1990. Paleozoic accretion and Cenozoic redefinition of the Chinese Tien Shan Range, Central Asia. *Geology*, 18: 128–131
- Windley BF, Kröner A, Guo J, Qu G, Li Y, and Zhang C. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai orogen, NW China: New zircon age data and tectonic evolution. *Journal of Geology*, 110: 719–739
- Wu H, Li H Q, Mo X H, Chen F W, Lu Y F, Mei Y P and Deng G. 2005. Age of the Baishiqun mafic-ultramafic complex, Hami, Xinjiang and its geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 79(4): 498–502 (in Chinese with English abstract)
- Xia LQ, Xu XY, Xia ZC, Li XM, Ma ZP and Wang LS. 2004. Petrogenesis of Carboniferous rift volcanic rocks in the Tianshan Mountains, northwestern China. *Geological Society of America Bulletin*, 116: 419–433
- Xiao WJ, Windley BF, Hao J, and Zhai MG. 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt. *Tectonics*, 22(6): 1069, doi: 10.1029/2002TC001484
- Xiao WJ, Windley BF, Badarch G, Sun S, Li JL, Qin KZ, and Wang ZH. 2004a. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids: implications for the lateral growth of Central Asia. *Journal of the Geological Society, London*, 161: 339–342
- Xiao WJ, Zhang LC, Qin Z, Sun S, and Li JL. 2004b. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the Eastern Tianshan (China): Implications for the continental growth of central Asia. *American Journal of Science*, 304: 370–395
- Xiao XC, and Tang YQ. 1991. Tectonic evolution of the southern margin of the central Asian complex megasuture belt. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 6–25
- Xiao XC, Tang YQ, Zhao M, and Wang J. 1994. Tectonic evolution of Northern Xinjiang, N. W. China: an introduction to the tectonics of the southern part of the Paleo-Asian Ocean. In: Coleman RG (ed.). *Reconstruction of the Paleo-Asian Ocean*. Proc. 29th Int. Geol. Congr. Part B. Utrecht: VSP. pp. 25–37
- Xiao XC, Tang YQ, Feng YM, et al. 1992. Tectonic evolution of the Northern Xinjiang and its adjacent regions. Beijing: Geological Publishing House, 1–171 (in Chinese with English abstract)
- Xu FJ, Xia F. 2003. Geological characteristics of the Baogutou porphyry-type copper deposits in Tuoli County. *Xinjiang Nonferrous Metal*, Suppliment: 11–14
- Xu X. 1998. On opening-closing tectonics of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 16(1): 1–12 (in Chinese with English abstract)
- Xu XY, Xia LQ, Ma ZP, Xia ZC, Li XM and Wang LS. 2006. SHRIMP zircon U-Pb geochronology of the plagiogranites from Bayingou ophiolite in North Tianshan Mountains and the petrogenesis of the ophiolite. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 83–94 (in Chinese with English abstract)
- Yang WP, Zhang ZC, Zhou G, Yan SH, He LX, and Chen BL. 2005. Discovery of the Xileketehalsu porphyry copper deposit on the southern margin of the Altay copper metallogenic belt. *Geology in China*, 32(1): 107–114 (in Chinese with English abstract)
- Zhang LC, Wan B, Li WQ, and Tang HF. 2006a. Geochemistry and tectonic setting of copper-bearing porphyries on the southern margin of the Tuha Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 225–235 (in Chinese with English abstract)
- Zhang LC, Wan B, Zhang R and Jiao XJ. 2006b. Adakitic characteristics and geological significances of ore-bearing porphyry in Baogutou, western Junggar. *Geological Bulletin of China* (In press)
- Zhang LC, Xiao WJ, Qin KZ, Ji JS, Yang XK. 2004. Types, geological features and geodynamic significances of gold-copper deposits in the Kanggurtag metallogenic belt, eastern Tianshan, NW China. *International Journal of Earth Sciences*, 93: 224–240
- Zhang LC, Xiao WJ, Qin KZ, and Zhang Q. 2006. The adakite connection of the Tuwu Yandong copper porphyry belt, eastern Tianshan, NW China: trace element and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry. *Mineralium Deposita*, in press; DOI 10.1007/s00126-006-0058-6
- Zhang LC, Xiao WJ, Qin KZ, Qu WJ, and Du AD. 2005. Re Os isotopic dating of molybdenite and pyrite in the Baishan Mo Re deposit, eastern Tianshan, NW China, and its geological significance. *Mineralium Deposita*, 39: 960–969, DOI 10.1007/s00126-004-0451-y
- Zhang LF, Ai YL, Li Q, Li XP, Song SG and Wei CJ. 2005. The formation and tectonic evolution of UHP metamorphic belt in southwest Tianshan, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 21(4): 1029–1038 (in Chinese with English abstract)
- Zhao ZH, Guo ZJ, Han BF and Wang Y. 2006. The geochemical characteristics and tectonic-magmatic implications of the latest-Paleozoic volcanic rocks from Santanghu basin, eastern Xinjiang, northwest China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 199–214 (in Chinese with English abstract)
- Zhao ZH, Bai ZH, Xiong XL, Mei HJ and Wang YX. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronological study of Late Paleozoic volcanic-hypabyssal igneous rocks in western Tianshan, Xinjiang. *Geochimica*, 32(4): 317–327 (in Chinese with English abstract)
- Zhao ZH, Wang Q, Xiong XL, Zhang HX, Niu HC, Xu JF, Bai ZH and Qiao YL. 2006. Two types of adakites in north Xinjiang, China.

- Acta Petrologica Sinica, 22(5) : 1249 - 1265
- Zhou D and Graham S. 1996. Extrusion of the Altyn Tagh wedge: A kinematic model for the Altyn Tagh Fault and palinspastic reconstruction of northern China. *Geology*, 24:427 - 430
- Zhou MF, Lesser CM, Yang ZX, Li JW and Sun M. 2004. Geochemistry and petrogenesis of 270 Ma Ni-Cu-(PGE) sulfide-bearing mafic intrusions in the Huangshan district, Eastern Xinjiang, Northwestern China: implications for the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt. *Chemical Geology*, 209: 233 - 257
- Zhu W, Ma R and Wang C. 1996. Tectonic attribute of Huangshan-Jingershan complex in Eastern Xinjiang, China. *Scientia Geologica Sinica* 31(1) : 22 - 32 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, Zhang LF, Gu LB, Guo X and Zhou J. 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 50(19) : 2201 - 2212
- Zhu ZX, Li SZ and Li GL. 2005. The characteristics of sedimentary system-continental facies volcano in later Carboniferous Batamayineishan Formation, Zhi-fang region, East Junggar. *Xinjiang Geology*, 23(1) : 14 - 18 (in Chinese with English abstract)
- Zhuang YX. 1994a. *Tectonothermal Evolution in Space and Time and Orogenic Process of Altaides, China*. Changchun: Jilin Science and Technology Publ. House. 10 - 36
- Zhuang YX. 1994b. The pressure-temperature-splace-timec PTSt evolution of metamorphism and development mechanism of the thermal-structure-gneiss domes in the Chinese Altaides. *Acta Geologica Sinica*, 68 (1) : 35 - 47 (in Chinese with English abstract)
- 东疆雅西 371-西北坡铜金矿化带下石炭统火山岩地球化学特征与成矿背景. *岩石学报*, 22(1) : 215 - 224
- 高长林, 崔可锐, 钱一雄, 刘斌, 丁道桂, 殷勇. 1995. 天山微板块构造与塔北盆地. 北京: 地质出版社. 1 - 265
- 高俊, 肖序常, 汤耀庆等. 1994. 新疆西南天山蓝片岩的变质作用 P-T 轨迹及构造演化. *地质论评*, 40(6) : 544 - 553
- 高俊. 1997. 西南天山榴辉岩的发现及其大地构造意义. *科学通报*, 42(7) : 37 - 740
- 高俊, 龙灵利, 钱青, 黄德志, 苏文, Klemd R. 2006. 南天山: 晚古生代还是三叠纪碰撞造山带? *岩石学报*, 22(5) : 1049 - 1061
- 龚福华, 李曰俊, 王清华, 胡世玲, 黄智斌, 罗俊成, 2003. 南天山西段古生代火山岩 Ar-Ar 年龄新资料. 93(3) : 494 - 498
- 龚文平, 林克湘, 李艺斌, 1997. 新疆三塘湖盆地早石炭世玄武岩地球化学特征及构造环境意义. *石油天然气地质*, 18(4) : 314 - 318
- 顾连兴, 诸建林, 郭继春, 廖静娟, 严正富, 杨浩, 王金珠. 1994. 造山带环境中的东疆型镁铁-超镁铁杂岩. *岩石学报*, 10(4) : 339 - 355
- 郭召杰, 史宏宇, 张志诚, 张进江, 2006. 新疆甘肃交界红柳河蛇绿岩中伸展构造与古洋盆演化过程. *岩石学报*, 22(1) : 95 - 102
- 韩宝福, 何国琦, 王式洸等. 1998. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵向生长. *地质论评*, 44(4) : 396 - 406
- 韩宝福, 宋彪, 陈立辉等. 2004. 新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁-超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *科学通报*, 49, 2324 - 2328
- 韩春明, 毛景文, 杨建民等. 2002. 新疆东天山铜及其多金属矿床成矿系列研究. *矿床地质*, 21(Sup.) : 125 - 127
- 郝建荣, 周鼎武, 柳益群, 邢秀娟. 2006. 新疆三塘湖盆地二叠纪火山岩地球化学及其构造环境分析. *岩石学报*, 22(1) : 189 - 198
- 郝杰, 刘小汉. 1993. 南天山造山带蛇绿混杂岩形成的时代及大地构造意义. *地质科学*, 28(1) : 93 - 95
- 何国琦, 李茂松, 刘德权等. 1994. 中国新疆古生代地壳演化与成矿. 香港: 香港文化教育出版社; 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1994
- 贺军慧, 夏明, 张兴龙, 2005. 新疆东天山觉洛塔格地区梧桐窝子岩组构造环境探讨. *新疆地质*, 23(1) : 23 - 27
- 胡霭琴, 王中刚, 涂光炽等. 1997. 新疆北部地质演化及其成岩成矿规律. 北京: 科学出版社, 9 - 105
- 胡霭琴, 韦刚健, 邓文峰, 陈林丽. 2006. 阿尔泰地区青河县西南片麻岩中锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. *岩石学报*, 岩石学报, 22(1) : 1 - 10
- 胡受奚, 郭继春, 顾连兴等. 1990. 加里东造山带在天山构造格架中的重要地位及其地质特征. *新疆地质科学*, 第 1 辑. 北京: 地质出版社. 32 - 46
- 姬金生, 陶洪祥, 杨兴科. 1994b. 东天山中段不同构造环境火山岩地球化学特征. *岩石矿物学杂志*, 13(4) : 297 - 304
- 姬金生, 陶洪祥, 曾章仁等. 1994a. 东天山康古尔塔格金矿带地质与成矿. 北京: 地质出版社, 1 - 204
- 李华芹, 陈富文, 路远发, 杨红梅, 郭敬, 梅玉萍. 2004. 东天山三岔口铜矿区矿化岩体 SHRIMP U-Pb 年代学及锶同位素地球化学特征研究. *地球学报*, 25(2) : 191 - 195

附中文参考文献

- 艾永亮, 张立飞, 李旭平, 曲军峰. 2005. 新疆西南天山超高压榴辉岩、蓝片岩地球化学特征及大地构造意义. *自然科学进展*, 15 (11) : 1346 - 1355
- 蔡东升, 卢华夏, 贾东, 吴世敏, 1995. 南天山古生代板块构造演化. *地质论评*, 46(5) : 432 - 443
- 蔡东升, 卢华夏, 贾东, 吴世敏, 陈楚铭, 1996. 南天山蛇绿混杂岩和中天山南缘糜棱岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄及其大地构造意义. *地质科学*, 31(4) : 384 - 390
- 陈富文, 李华芹, 陈毓川, 王登红, 王金良, 刘德权, 唐延龄, 周汝洪东天山土屋—延东斑岩铜矿田成岩时代精确测定及其地质意义. *地质学报*, 79(2) : 256 - 261
- 陈汉林, 杨树锋, 厉子龙, 袁超, 肖文交, 李继亮, 余星, 林秀斌, 2006b. 阿尔泰造山带南缘基性杂岩的形成背景及其动力学含义. *岩石学报*, 22(1) : 127 - 124
- 陈汉林, 杨树锋, 厉子龙, 余星, 肖文交, 袁超, 李继亮. 2006a. 阿尔泰造山带富蕴基性麻粒岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及其构造意义. *岩石学报*, 22(5) : 1351 - 1358
- 陈仁义, 刘光海, 马文义. 1995. 新疆琼河坝铜金化地质特征机理. *地质与勘探*, 31(1) : 26 - 31
- 陈文, 孙枢, 张彦, 肖文交, 王义天, 王清利, 姜立丰, 杨俊涛, 2005, 新疆东天山秋格明塔什-黄山韧性剪切带⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学研究. *地质学报*, 79(6) : 790 - 804
- 陈哲夫, 成守德, 梁云海等. 1997. 新疆开合构造与成矿. 新疆科技卫生出版社, 1 - 394
- 陈哲夫等. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 地质出版社: 北京方国庆, 1993, 博格达晚古生代岛弧的沉积岩石学证据. *沉积学报*, 11(3) : 31 - 36
- 方维萱, 高珍权, 贾润幸, 黄转盈, 刘正桃, 李丰收, 徐国端, 2006.

- 李华芹, 谢才富, 常海量, 蔡红, 朱家平, 周肃. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学. 北京: 地质出版社, 1-264.
- 李继亮. 1989. 准噶尔弧后残留盆地与天山造山带大地构造关系. 沉积学报, 增刊: 112-120.
- 李锦轶, 王克卓, 李文铅, 郭华春, 宋彪, 王瑜, 莫申国, 赵子然, 朱志新, 潘成泽. 2002. 东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查. 新疆地质, 22(4): 295-301.
- 李锦轶, 王克卓, 孙桂华, 莫申国, 李文铅, 杨天南, 高立明. 2006b. 东天山吐哈盆地南缘古生代活动陆缘残片: 中亚地区古亚洲洋板块俯冲的地质记录. 岩石学报, 22(5): 1087-1102.
- 李锦轶, 何国琦, 徐新, 李华芹, 孙桂华, 杨天南, 高立明, 朱志新. 2006b. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨. 地质学报, 80(1): 148-168.
- 李锦轶, 肖序常. 1999. 对新疆地壳结构与构造演化几个问题的简要评述. 地质科学, 34(4): 405-419.
- 李强, 张立飞. 2004. 西南天山木扎尔特一带低压麻粒岩相变质作用 P-T 轨迹及其地质意义. 岩石学报, 20(3): 583-594.
- 李天德, B. H. 波里扬斯基. 2001. 中国和哈萨克斯坦阿尔泰大地构造及地壳演化. 新疆地质, 19(1): 27-32.
- 李天德, 郝志明, 吴柏青, 肖世禄, 赵昌龙, XA 别斯帕耶夫, HB 波利扬斯基, BA 季亚契科夫, ГД 甘任科, НП 叶夫图申科, ОП 叶夫图申科. 1996. 中国和哈萨克斯坦阿尔泰地质及成矿研究的新进展. 见: 中国地质学会编, 献给三十届国际地质大会“八五”地质科技重要成果学术交流会议论文选集. 北京, 冶金工业出版社, 256-259.
- 李文明, 任秉琛, 杨兴科, 李有柱, 陈强. 2002. 东天山中酸性侵入岩浆作用及其地球动力学意义. 西北地质, 35(4): 41-63.
- 李文铅, 夏斌, 王克卓, 王茜, 王核. 2006. 新疆东天山彩中花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄及地球化学特征. 地质学报, 80(1): 43-52.
- 李文铅, 董富荣, 周汝洪. 2000. 新疆鄯善康古尔塔格蛇绿岩带发现及其特征. 新疆地质, 18(2): 122-127.
- 李向民, 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 马中平, 王立社. 2004. 东天山企鹅山群火山岩锆石 U-Pb 年代学. 地质通报, 23(12): 1215-1230.
- 李曰俊, 孙龙德, 吴浩若, 王国林, 杨朝世, 彭更新. 2005. 南天山西端乌帕塔尔坎群发现石炭-二叠纪放射虫化石. 地质科学, 40(2): 220-226.
- 李曰俊, 王招明, 买光荣, 吴浩若, 黄智斌, 谭泽金. 2002. 塔里木盆地艾克提克群中放射虫化石及其意义. 新疆石油地质, 23(6): 496-500.
- 厉子龙, 陈汉林, 杨树锋, 肖文交, Tainosh Y. 2004. 阿尔泰基性麻粒岩的发现: 来自矿物学的证据. 岩石学报, 20(6): 1445-1455.
- 林克湘, 闫春德, 龚文平. 1997a. 新疆三塘湖盆地早二叠世火山岩地球化学特征与构造环境分析. 矿物岩石地球化学通报, 16(1): 39-42.
- 林克湘, 李艺斌, 龚文平, 俞惠隆. 1997b. 新疆三塘湖盆地晚古生代火山岩地球化学特征及构造环境. 高校地质学报, 3(2): 202-211.
- 刘德权. 1983. 新疆板块构造与矿产分布. 西北地质, 4(2): 1-12.
- 龙灵利, 高俊, 熊贤明, 钱青. 2006. 南天山库勒湖蛇绿岩地球化学特征及其年龄. 岩石学报, 22(1): 65-73.
- 龙晓平, 孙敏, 袁超, 肖文交, 陈汉林, 赵永久, 蔡克大, 李继亮. 2006. 东准噶尔石炭系火山岩的形成机制及其对准噶尔洋盆闭合时限的制约. 岩石学报, 22(1): 31-40.
- 楼法生, 唐春花. 1995. 新疆巴里坤红井子地区石炭纪火山岩及其大地构造环境分析. 新疆地质, 13(1): 67-75.
- 卢华夏, 贾东, 蔡东升, 吴世敏, 陈楚铭, 施央申. 1996. 塔里木和西天山古生代板块构造演化. 见: 童晓光, 梁狄刚, 贾承造主编, 塔里木盆地石油地质研究新进展. 北京: 科学出版社, 235-245.
- 马瑞士, 舒良树, 孙家齐. 1997. 东天山构造演化与成矿. 北京: 地质出版社.
- 毛景文, 杨建民, 屈文俊等. 2002a. 新疆黄山东铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测定及其地球动力学意义. 矿床地质, 21(4): 323-330.
- 毛景文, 杨建民, 韩春明, 王志良. 2002b. 东天山铜金多金属矿床成矿系统和成矿地球动力学模型. 地球科学-中国地质大学学报, 27(4): 414-424.
- 毛启贵, 肖文交, 韩春明, 孙敏, 袁超, 闫臻, 李继亮, 雍拥, 张继恩. 2006. 新疆东天山白石泉铜镍矿床基性-超基性岩体锆石 U-Pb 同位素年龄、地球化学特征及其对古亚洲洋闭合时限的制约. 岩石学报, 22(1): 153-162.
- 倪志耀. 1994. 黄山东镁铁超镁铁杂岩中的辉石化学成分研究. 岩石矿物学杂志, 13(1): 55-66.
- 秦克章, 孙枢, 李继亮, 肖文交. 2002. 北疆古生代矿床组合的六大构造阶段划分及其意义. 矿床地质, 21(增刊): 203-206.
- 秦克章. 2000. 新疆北部中亚型造山与成矿作用. 中国科学院地质与地球物理研究所博士后报告, 1-194.
- 芮宗瑶, 王龙生, 王义天, 刘玉琳. 2002. 东天山土屋和延东斑岩铜矿床时代讨论. 矿床地质, 21(1): 16-21.
- 舒良树, 卢华夏, 印栋浩等. 2001. 新疆北部古生代大陆增生构造. 新疆地质, 19(1): 59-63.
- 王福同, 冯京, 胡建卫, 王磊, 姜立丰, 张征. 2001. 新疆土屋大型斑岩铜矿床特征及发现意义. 中国地质, 28(1): 37-41.
- 王广瑞等. 1995. 新疆北部及邻区构造-建造图说明书. 武汉: 中国地质大学出版社, 24-52.
- 王强, 赵振华, 许继峰, Wyman DA, 熊小林, 资峰, 白正华. 2006. 天山北部石炭纪埃达克岩-高镁安山岩-富 Nb 岛弧玄武质岩: 对中亚造山带显生宙地壳增生与铜金成矿的意义. 岩石学报, 22(1): 11-30.
- 王润民, 刘德权, 殷定泰. 1987. 新疆哈密土墩-黄山一带铜镍硫化物矿床成矿控制条件及找矿方向的研究. 矿物岩石, 7(1): 1-152.
- 王廷印. 1985. 阿尔泰褶皱带花岗岩类岩石化学特征及板块运动初探. 中国北方板块构造论文集. 北京: 地质出版社, 55-64.
- 王宗秀, 李涛, 周高志, 卢苗安, 柳永清, 李寅. 2003. 博格达山晚石炭纪造山活动的变形地质记录. 地学前缘, 10(1): 63-69.
- 王学潮, 何国琦, 李茂松, 高俊, 陆书宁. 1995. 南天山南缘蛇绿岩带地球化学与同位素年龄特征. 河北地质学院学报, 18(4): 295-302.
- 王作勋, 邬继易, 刘承德, 吕喜朝, 张经国. 1990. 天山多旋回构造

- 演化及成矿. 北京: 科学出版社. 29 - 37
- 吴华, 李华芹, 莫新华等. 2005. 新疆哈密白石泉铜镍矿区基性—超基性岩的形成时代及其地质意义. 地质学报, 79(4): 498 - 502
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京: 地质出版社, 1 - 171
- 肖序常, 汤耀庆, 李锦轶等. 1990. 试论北疆大地构造演化. 新疆地质科学, 第一辑: 47 - 67
- 肖序常, 汤耀庆. 1991. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化. 北京: 北京科学技术出版社. 150
- 徐新. 1998. 概论新疆开合构造. 新疆地质, 16(1): 1 - 12
- 许发军, 夏芳. 2003. 托里县包古图斑岩型铜金矿地质特征. 新疆有色金属, 增刊: 11 - 14
- 徐学义, 夏林圻, 马中平, 王彦斌, 夏祖春, 李向民, 王立社. 2006. 北天山巴音沟蛇绿岩斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及蛇绿岩成因研究. 岩石学报, 22(1): 83 - 94
- 杨文平, 张招崇, 周刚, 闫升好, 何立新, 陈柏林. 2005. 阿尔泰铜矿带南缘希勒克特哈腊苏斑岩铜矿的发现及其意义. 中国地质, 32(1): 107 - 114
- 张立飞, 艾永亮, 李强等. 2005. 新疆西南天山超高压变质带的形成与演化. 岩石学报, 21(4): 1029 - 1038
- 张连昌, 万博, 李文铅, 唐红峰. 2006a. 新疆吐哈盆地南缘铜矿带含矿斑岩的地球化学及形成环境. 岩石学报, 22(1): 225 - 235
- 张连昌, 万博, 焦学军, 张锐. 2006b. 西准噶尔包古图含铜斑岩的埃达克岩特征及其地质意义. 地质通报, 2006(出版中)
- 赵振华, 白正华, 熊小林, 梅厚钧, 王一先. 2003. 西天山北部晚古生代火山-浅侵位岩浆岩⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素定年. 地球化学, 32(4): 317 - 327
- 赵振华, 王强, 熊小林等. 2006. 新疆北部的两类埃达克岩. 岩石学报, 22(5): 1249 - 1265
- 赵泽辉, 郭召杰, 韩宝福, 王毅. 2006. 新疆三塘湖盆地古生代晚期火山岩地球化学特征及其构造-岩浆演化意义. 岩石学报, 22(1): 199 - 214
- 朱文斌, 马瑞士, 王赐银. 1996. 论新疆东部黄山——镜儿泉杂岩带的构造属性. 地质科学, 31(1): 22 - 32
- 朱志新, 李少贞, 李嵩龄. 2005. 东准噶尔纸房地区晚石炭世巴塔玛依内山组陆相火山-沉积体系特征. 新疆地质, 23(1): 14 - 18
- 庄育勋. 1994a. 中国阿尔泰造山带热动力时空演化和造山过程. 吉林: 吉林科学技术出版社, 10 - 36
- 庄育勋. 1994b. 中国阿尔泰造山带变质作用 PTSt 演化和热-构造一片麻岩穹窿形成机制. 地质学报, 68(1): 35 - 47
- 中国科学院地学部、新疆石油管理局. 1989. 准噶尔盆地形成演化与油气形成. 北京, 科学出版社. 1 - 173