

中蒙边界地区构造单元划分

李俊建¹, 张 锋¹, 任军平¹, 唐文龙¹, 付 超¹, 陈 正², 李承东¹, 赵丽君¹,
冯晓曦¹, 党智财¹, 赵泽霖¹, 刘晓雪¹, Tomurtogoo Onongyn³, Delgersaikhan
Adiya⁴, Enkhbat Tserendash⁵, Altankhundaga Batsaikhan⁵, Dorjsuren

Byambaadash⁵, Batbayar Jargalsaikhan⁵

LI Junjian¹, ZHANG Feng¹, REN Junping¹, TANG Wenlong¹, FU Chao¹, CHEN Zheng²,
LI Chengdong¹, ZHAO Lijun¹, FENG Xiaoxi¹, DANG Zhicai¹, ZHAO Zelin¹, LIU Xiaoxue¹,
TOMURTOGOO Onongyn³, DELGERSAIKHAN Adiya⁴, ENKHBAT Tserendash⁵,
ALTANKHUNDAGA Batsaikhan⁵, DORJSUREN Byambaadash⁵, BATBAYAR Jargalsaikhan⁵

1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170;

2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;

3. Institute of Geological and Mineral Resources, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 210351, Mongolia;

4. Mineral Resources Authority of Mongolia, Ulaanbaatar 211238, Mongolia;

5. Geological Information Center of Mineral Resources Authority of Mongolia, Ulaanbaatar 211238, Mongolia

1. Tianjin Center of Geological Survey, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;

2. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China;

3. Institute of Geological and Mineral Resources, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 210351, Mongolia;

4. Mineral Resources Authority of Mongolia, Ulaanbaatar 211238, Mongolia;

5. Geological Information Center of Mineral Resources Authority of Mongolia, Ulaanbaatar 211238, Mongolia

摘要:以板块构造理论为指导,中蒙合作完成中蒙边界地区1:100万地质编图成果的基础上,对中蒙边界地区构造格架进行了统一厘定和划分。该区Ⅰ级构造单元主体隶属于中亚构造带的阿尔泰—兴蒙造山系,部分属塔里木—华北陆块区。阿尔泰—兴蒙造山系可划分为10个Ⅱ级、27个Ⅲ级和69个Ⅳ级构造单元。塔里木—华北陆块部分划分出2个Ⅱ级、2个Ⅲ级和4个Ⅳ级构造单元。这些不同级别的构造单元较全面地概括了中蒙边界地区的地质面貌。

关键词:大地构造;构造单元;造山系;陆块区;中蒙边界

中图分类号:P544 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2015)04-0636-27

Li J J, Zhang F, Ren J P, Tang W L, Fu C, Chen Z, Li C D, Zhao L J, Feng X X, Dang Z C, Zhao Z L, Liu X X, Tumurtogoo O, Delgersaikhan A, Enkhbat Ts, Altankhundaga B, Dorjsuren B, Batbayar J. Tectonic units in China-Mongolia border area and their fundamental characteristics. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(4):636-662

Abstract: Guided by theories of plate tectonics and based on the result of geological map compilation (1:1,000,000), the authors have first divided the tectonic units in China-Mongolia border area. In this area, the main bodies of grade I tectonic units belong to the Altay-Xingmeng orogenic system of the Central Asian Orogenic belt, while the other parts belong to the Tarim-North China

收稿日期:2014-06-25;修订日期:2014-12-23

资助项目:中国地质调查局项目(编号:1212010561510、1212010811061、1212011120330、12120114001201、1212010781028、1212011085488、1212011220912)、国土资源公益性行业科研专项(编号:200811010)和国家国际科技合作项目(编号:2012DFB20220)

作者简介:李俊建(1962-),男,博士,研究员,博士生导师,从事矿床学、成矿地质背景研究及矿产勘查工作。E-mail: tjlijunjian@163.com

block domain. The tectonic units include 10 grade II units, 27 grade III units, and 69 grade IV units for the Altay-Xingmeng orogenic system, and include 2 grade II units, 2 grade III units and 4 grade IV units for the part of Tarim-North China blocks in this area. These tectonic units comprehensively generalize the geological features of the China-Mongolia border area.

Key words: tectonics; tectonic unit; orogenic system; continental block domain; China-Mongolia border area

中蒙边界地区成矿地质条件优越,是世界上最重要的金属成矿省和全球三大斑岩型铜(金、钼)成矿带之一,分布有Oyu Tolgoi超大型斑岩型铜金矿、查干苏布尔嘎大型斑岩型铜钼矿等,资源潜力巨大,是目前国际、国内地质研究和勘查的热点地区之一。国际地质对比计划IGCP480、IGCP592项目都把对该区大地构造背景的研究作为其主要内容。中国地质调查局、中国科学院亦把该区列为重要的找矿勘查和科研基地。本文所指的中蒙边界地区包括中国的新疆、甘肃和内蒙古与蒙古国接壤的边界地区,其主体构造为阿尔泰—南蒙古—大兴安岭造山系。在中国诸多造山带中,该造山带可能是目前已知发展历史最长、构造岩浆活动最复杂的一条巨型造山带。该区地质构造方面的研究历史悠久,涉及该区的国内代表性图件有1:800万亚洲大地构造图、中国及邻区大地构造图、中国大地构造相图、1:1000万中国陆区地球动力学纲要图、1:150万中国新疆及邻区大地构造图等。Sengör等^[1-2]、Coleman^[3]、Jahn等^[4]在地质构造及其演化方面提出了新的认识。

本文在前人工作基础上,参考潘桂棠等^[5]、叶天竺等^[6]提出的大地构造相图的编制方法,在中蒙合作完成的本区1:100万建造—构造图的基础上,结合特定构造部位和构造时期所发生的主要地质事件,并将在这一事件中所形成的独特的岩石—构造组合厘定为优势大地构造相亚相,分析其与相邻构造部位优势大地构造相之间的时空联系和动力学背景,并综合地球物理、地球化学等信息厘定出了各级大地构造单元。

1 构造单元划分

中蒙边界地区I级构造单元主体为隶属于中亚构造带的阿尔泰—兴蒙造山系,以及位于洗肠井—红柳河—牛圈子和华北陆块北缘断裂以南的塔里木—华北陆块区的一部分。阿尔泰—兴蒙造山系又细分为10个II级、27个III级和69个IV级构造单元,在部分IV级构造单元中还划分出13个V级构造单元。塔里木—华北陆块部分划分出2个II

级、2个III级和4个IV级构造单元(图1),各构造单元名称如表1。本文的大地构造分区主要服务于中蒙合作成矿区带的划分和成矿规律的对比研究工作,I、II、III级构造单元所对应的成矿域、成矿省和成矿带的划分与特征将另文赘述。

2 构造单元特征

2.1 阿尔泰—兴蒙造山系

阿尔泰—兴蒙造山系位于中亚造山带的东段,塔里木—华北陆块群之北,亲西伯利亚陆块群之南,是由古生代多岛洋弧盆系及一系列结合带和前南华系—震旦系裂解地块镶嵌组成的复杂构造区域^[5]。研究区范围涉及潘桂棠等^[5]、李春昱等^[7]划分的天山—兴蒙造山系、阿尔泰—兴安褶皱带、萨彦—蒙古早古生代褶皱带和Tomurtogoo^[8]划分的蒙古阿尔泰和南蒙古构造带的大部分地区。以迭布斯格—东蒙古断裂为界(这是本次编图工作新厘定出的跨境断裂,将另文专述),本文将中蒙边界地区的阿尔泰—兴蒙造山系划分为东、西两段。西段自新疆阿尔泰—富蕴—北塔山牧场—巴里坤—伊吾经甘肃红石山—马鬃山至内蒙古西部阿拉善一带,以红山嘴断裂、额尔齐斯断裂、卡拉麦里断裂为界,划分出阿尔泰构造带、阿尔泰南缘弧盆系、东西准噶尔弧盆系、准噶尔—吐哈地块、戈壁阿尔泰构造带、北山—戈壁天山构造带和巴音毛道—雅干—Baruun Tsohio构造带。东段位于华北陆块北缘断裂带以北,迭布斯格—东蒙古断裂以东的宽广区域,主要分布于蒙古南戈壁省南部—东戈壁省东南部—苏赫巴托省东南部—东方省东北部地区,在中国境内沿乌拉特后旗—二连—阿巴嘎旗—东乌旗—柴河镇—海拉尔—一线分布,包括Ereen Davaa—额尔古纳微陆块、Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山弧盆带和Sulinheer—满都拉—霍林郭勒弧盆系。

2.1.1 I-1 阿尔泰构造带

阿尔泰构造带位于中蒙边界两侧的阿尔泰山区,包括阿尔泰被动大陆边缘盆地、Huhei—Huurai结合带和Hovd—Ölgii结合带。

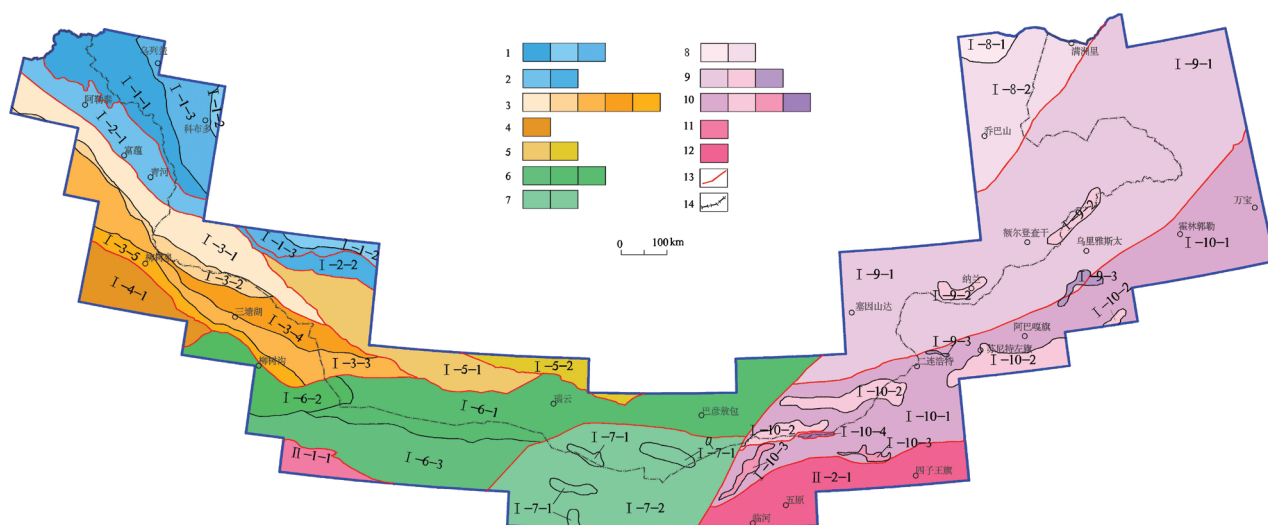


图1 中蒙边界地区大地构造(构造单元编号同表1)

Fig. 1 Tectonic map of China-Mongolia border area

- 1— I-1 阿尔泰构造带; 2— I-2 阿尔泰南缘弧盆系; 3— I-3 东西准噶尔弧盆系; 4— I-4 准噶尔地块;
5— I-5 戈壁阿尔泰弧盆系; 6— I-6 北山-戈壁天山弧盆系; 7— I-7 巴音毛道-雅干-Baruun
Tshobio 构造带; 8— I-8 Ereen Davaa-额尔古纳微陆块; 9— I-9 Baruun Urt-Hutag
Uul-东乌旗-阿尔山弧盆带; 10— I-10 Sulinkeer-满都拉-霍林郭勒
弧盆系; 11— II-1 塔里木陆块; 12— II-2 华北陆块; 13— 断裂

(1) I-1-1 阿尔泰被动大陆边缘

该构造单元位于哈巴河—额尔齐斯断裂北东的新疆北部哈巴河—阿勒泰—富蕴—清河地区,呈北西—南东向展布,向东延入蒙古境内,与蒙古阿尔泰相连。包括的Ⅳ级构造单元为阿尔泰早古生代陆缘盆地(Pt_3-S)(I-1-1'),分布于哈巴河、阿勒泰北部,南西以康布铁堡断裂、红山嘴断裂和图尔根断裂为界,向南西与额尔齐斯构造带分隔。岩性建造为震旦纪—志留纪一套弱变质的以砂砾岩—砂岩—粉砂岩建造为主的类复理石沉积岩建造,包括震旦系—寒武系喀纳斯岩群,蒙古阿尔泰地区的 Gorno-altay 组(ϵ_2-O_1ga)的石英绢云母绿泥石页岩,长石石英砂岩、砂砾岩、砾岩、棕红色粉砂岩和乌列盖组(ϵ_{ul})的玄武岩、细碧岩、安山岩和硅质岩(北部),以及变质火山岩、绿片岩、石英岩(南部)和志留系(S_2-k^{4-5})第4~5岩性段,上覆晚古生代陆源碎屑岩和火山碎屑岩盖层。

(2) I-1-2 Huhei—Huurai 结合带

该构造单元主要位于蒙古国境内,主要划分出 I-1-2' Huhei—Huurai 早古生代俯冲增生杂岩楔(Pt_3-O_1),由 Altan Huhei 早古生代海山地体

($Pt_3-\epsilon_1$)和 Huurai 早古生代增生楔地体(Pt_3-O_1)两部分构成。

I-1-2¹⁻¹ Altan Huhei 早古生代海山地体($Pt_3-\epsilon_1$):沿蒙古阿勒泰山脉的东部山麓呈狭长连续的带状分布,由绿片岩化的拉斑玄武岩和亚碱性玄武岩组成,并且被含古杯类化石的石灰岩整合覆盖。Altan Huhei 海山地体也包括一些产状与其一致的镁铁质侵入体,其间由 Tohtohyn Shil 英云闪长岩—花岗闪长岩侵入体与 Lake 地体相隔。

I-1-2¹⁻² Huurai 早古生代蛇绿混杂岩带(Pt_3-O_1):位于 Har Azargyn Nuruu 山脉西部,是一个南北向分布的小型蛇绿混杂岩带。其中含镁铁质火山岩和石灰岩块体,以及大量的绿紫色高压片岩岩块。

(3) I-1-3 科布多(Hovd)—乌列盖(Ölgi)结合带

该构造单元主要位于蒙古国境内,包括科布多早古生代陆缘盆地(浊积岩地体)(ϵ_2-O_1)和乌列盖早古生代蛇绿混杂岩带(地体)(Pt_3-O_1)两部分。

I-1-3¹ 科布多早古生代陆缘盆地(ϵ_2-O_1):覆盖了蒙古阿勒泰山脉东部的大片地区,主要组成为砂

表 1 中蒙边界地区构造单元划分

Table 1 Tectonic units of China–Mongolia border area

I 级构造单元	II 级构造单元	III 级构造单元	IV 级构造单元	
I 阿尔泰— 兴蒙造山系	I -1 阿尔泰 构造带	I -1-1 阿尔泰被动大陆边缘盆地	I -1-1 ¹ 阿尔泰早古生代陆缘盆地(Pt ₃ -S)	
		I -1-2 Huhei—Huurai 结合带	I -1-2 ¹ Huhei—Huurai 早古生代俯冲增生杂岩楔(Pt ₃ -O ₁)	
			I -1-2 ¹⁻¹ Altan Huhei 早古生代海山(Pt ₃ - ϵ_1)	
			I -1-2 ¹⁻² Huurai 早古生代蛇绿混杂岩带(Pt ₃ -O ₁)	
		I -1-3 科布多—乌列盖结合带	I -1-3 ¹ 科布多早古生代陆缘盆地(ϵ_2 -O ₁)	
			I -1-3 ² 乌列盖早古生代蛇绿混杂岩带(Pt ₃ -O ₁)	
	I -2 阿尔泰 南缘弧盆系	I -2-1 额尔齐斯构造带	I -2-1 ¹ 可可托海—清河古生代岩浆岩带(D-P)	
			I -2-1 ² 清河—Bodonch(TS-1)早古生代岛弧(O)	
			I -2-1 ³ 额尔齐斯晚古生代增生杂岩(D-C)	
			I -2-1 ⁴ 哈巴河晚古生代弧前盆地(D-C)	
		I -2-2 采勒弧盆带	I -2-2 ¹ Bij 古生代岛弧(S ₂ -S ₃)	
			I -2-2 ² Tsogt 古生代岛弧(O-D)	
	I 阿尔泰— 兴蒙造山系	I -3 东西准 噶尔弧盆系	I -3-1 萨吾尔—二台— Hrairhan 弧盆带	I -3-1 ¹ 萨尔布拉克—铁买克弧前盆地(D-C)
				I -3-1 ² 萨吾尔—二台— Hrairhan 古生代弧后盆地(O,D-C)
				I -3-1 ²⁻¹ 巴依斯南早古生代弧后盆地(O)
				I -3-1 ²⁻² 萨吾尔—二台— Hrairhan 晚古生代弧后盆地(D-C)
			I -3-1 ³ 萨吾尔—二台— Hrairhan 晚古生代岛弧(D-C)	
			I -3-2 洪古勒楞—阿尔曼 太—Baitag 弧盆带	I -3-2 ¹ 恰库尔特南—阿克贝提弧前盆地(D)
		I -3-2 ² 加波萨尔早古生代弧后盆地(O)		
		I -3-2 ³ 洪古勒楞—阿尔曼太—Baitag 晚古生代弧后盆地(D-C)		
		I -3-2 ⁴ 结尔得嘎拉奥陶系岛弧(O)		
		I -3-2 ⁵ 洪古勒楞—阿尔曼太—Baitag 晚古生代岛弧(D-C)		
			I -3-2 ⁶ 阿尔曼太蛇绿混杂岩(ϵ -O)	
			I -3-3 谢米斯台—库 兰喀孜干弧盆带	I -3-3 ¹ 库兰喀孜干—科克巴斯套弧前盆地(D)
				I -3-3 ² 谢米斯台—库兰喀孜干弧后盆地(S,D-C)
		I -3-3 ²⁻¹ 谢米斯台—库兰喀孜干早古生代弧后盆地(S)		
		I -3-3 ²⁻² 谢米斯台—库兰喀孜干晚古生代弧后盆地(D-C)		
		I -3-4 三塘湖弧盆带	I -3-3 ³ 谢米斯台—库兰喀孜干古生代岛弧(ϵ ,D-C)	
			I -3-3 ³⁻¹ 契里巴斯他乌寒武系岛弧(ϵ)	
			I -3-3 ³⁻² 喀拉扎哈铁—库图晚古生代岛弧(D-C)	
			I -3-4 ¹ 三塘湖晚古生代弧间盆地(D ₁ -C ₂)	
			I -3-4 ² 三塘湖古生代岛弧(O ₂₋₃ ,D ₁ -D ₂)	
	I -3-4 ²⁻¹ 乌须苏克塔格早古生代岛弧(O)			
	I -3-5 唐巴勒—卡 拉麦里结合带	I -3-4 ²⁻² 三塘湖晚古生代岛弧(D ₁ -D ₂)		
		I -3-5 ¹ 塔克尔巴斯陶—柳树泉弧后盆地(D-C)		
		I -3-5 ² 唐巴勒—卡拉麦里岛弧(O-D)		
		I -3-5 ²⁻¹ 唐巴勒—卡拉麦里早古生代岛弧(O ₁ -S ₃)		
		I -3-5 ²⁻² 唐巴勒—卡拉麦里晚古生代岛弧(D ₁ -D ₂))		
		I -3-5 ³ 卡拉麦里蛇绿混杂岩(C ₁)		
		I -4 准噶 尔地块	I -4-1 准噶尔地块	I -4-1 ¹ 东准噶尔早古生代陆缘盆地(S ₂ -S ₃)
				I -4-1 ² 东准噶尔晚古生代陆缘盆地(D ₁ -C ₁)
I -4-1 ³ 准噶尔中央地块(Ch)				
I -4-1 ⁴ 博格达晚古生代裂谷带(C ₁ -P ₂)				
I -5 戈壁阿 尔泰弧盆系	I -5-1 南戈壁 阿尔泰构造带	I -5-1 ¹ 外阿勒泰晚古生代岛弧(D ₁ -C ₁)		
		I -5-1 ² Nemegt 古生代增生楔(O ₂ -D ₂)		
	I -5-2 北戈壁 阿尔泰弧盆带	I -5-2 ¹ Baruun Urt 古生代陆缘盆地(O ₃ -S ₁)		
		I -5-2 ² Gurvan Saihan 古生代岛弧(S ₄ -D ₁)		
		I -5-2 ³ Gurvan Saihan 晚古生代岛弧(D ₂ -C ₁)		
		I -5-2 ⁴ Gurvan Saihan 早古生代蛇绿岩(O)		

续表 1

I 级构造单元	II 级构造单元	III 级构造单元	IV 级构造单元		
I 阿尔泰—兴蒙造山系	I -6 北山—戈壁天山弧盆系	I -6-1 戈壁天山弧盆带	I -6-1 ¹ 红石山—园包山—戈壁天山弧后盆地(∈-D)		
			I -6-1 ¹⁺¹ 红石山—园包山—戈壁天山弧后盆地(∈-S ₃)		
			I -6-1 ¹⁺² 戈壁天山弧后盆地(S ₄ -D ₂)		
			I -6-1 ²⁺¹ 牛毛泉—园包山—戈壁天山早古生代岛弧(S _{1,2} -D ₁)		
			I -6-1 ²⁺² 红石山-雀儿山—戈壁天山岛弧(D _{1,2})		
			I -6-1 ²⁺³ 梧桐大泉—黑石山晚古生代岛弧(D ₁ -C ₁)		
			I -6-1 ³ 圆包山—红石山—戈壁天山裂谷带(C-P)		
			I -6-1 ⁴ 吐哈微陆块(Ar ₃ -Nh ₁)		
		I -6-2 哈尔力克—大南湖岛弧带	I -6-2 ¹ 红井子—塔勒早古生早古生代岛弧(O _{2,3})		
			I -6-2 ² 双产棚—大河乡晚古生代岛弧(D ₁ -D ₃)		
			I -6-3 北山构造带	I -6-3 ¹ 明水—马鬃山裂谷带(C-P)	
				I -6-3 ² 觉罗塔格晚古生代裂谷带(C-P)	
		I -6-3 ³ 星星峡—红石山微陆块(Ch)			
		I -6-3 ⁴ 北山古陆块(Ar _{2,3} -Pt ₃)			
		I -6-3 ⁵ 马鬃山岛弧带(O ₂ -S ₃)			
		I -6-3 ⁶ 红柳河—牛圈子蛇绿混杂岩(Nh-O)			
	I -7 巴音毛道—雅干—Baruun Tsohio 构造带	I -7-1 巴音毛道—雅干—Baruun Tsohio 微陆块	I -7-1 ¹ 巴音毛道—雅干—Baruun Tsohio 微陆块(Ar _{2,3} -Pt ₃)		
			I -7-1 ² 珠斯楞—杭乌拉—Baruun Tsohio 裂陷盆地(∈-S)		
		I -7-2 巴音毛道—雅干—Baruun Tsohio 弧盆带	I -7-2 ¹ 巴音毛道—雅干—Baruun Tsohio 弧后盆地(C-P)		
			I -7-2 ² 巴音毛道—雅干—Baruun Tsohio 岛弧(D)		
		I -8 Ereen Davaa—额尔古纳微陆块	I -8-1 Onon 结合带	I -8-1 ¹ Onon 增生楔(P ₂ -T ₁)	
			I -8-2 Ereen Davaa—额尔古纳微陆块	I -8-2 ¹ Ereen Davaa—额尔古纳微陆块(Pt ₁ -Pt ₃)	
				I -8-2 ² Ereen Davaa—额尔古纳陆缘盆地(D, P)	
				I -9 Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山弧盆带	I -9-1 Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山弧盆带
		I -9-1 ² Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山早古生代弧后盆地(∈ ₁ , O ₁ -S ₄)			
		I -9-1 ³ Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山晚古生代陆缘弧(D ₁ -P ₁)			
	I -9-1 ⁴ Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山晚古生代弧后盆地(D ₁ -C ₂)				
	I -9-1 ⁵ Ih Bogd 新元古代岛弧(Pt ₃)				
	I -9-2 Nuhetdavaa 微陆块(Pt ₃)				
	I -9-3 Hutag Uul—二连—贺根山结合带				
	I -9-3 ¹ Hutaguul—二连—贺根山蛇绿混杂岩(D)				
	I -10 Sulinheer—满都拉—霍林郭勒弧盆系	I -10-1 Sulinheer—满都拉—霍林郭勒弧盆系	I -10-1 ¹ 达茂旗—白乃庙早古生代岛弧(O ₁ -O ₃)		
			I -10-1 ² Duulgant—甘其毛都早古生代增生楔(O _{1,2})		
			I -10-1 ³ 朱日和早古生代前陆盆地(S ₂)		
			I -10-1 ⁴ Sulinheer—满都拉—霍林郭勒晚古生代岛弧(C ₂ -P ₁)		
			I -10-1 ⁵ Sulinheer—满都拉—霍林郭勒晚古生代弧后盆地(C ₂ -P ₃)		
			I -10-1 ⁶ 达茂旗—阿巴嘎旗晚古生代前陆盆地(S ₂ -D ₁ , C ₂)		
			I -10-2 托托尚—锡林浩特微陆块		
			I -10-2 ¹ 托托尚—锡林浩特元古代微陆块(Pt ₁ -Pt ₃)		
			I -10-2 ² 洪格尔中元古代拼贴带(Pt ₂)		
			I -10-3 宝音图地块(Pt ₁)		
	I -10-4 索伦山结合带				
I -10-4 ¹ 索伦山晚古生代蛇绿混杂岩块(P ₁)					
II 塔里木—华北陆块	II -1 塔里木陆块	II -1-1 敦煌陆块	II -1-1 ¹ 敦煌古陆块(Ar ₃ -Pt ₃)		
	II -2 华北陆块	II -2-1 华北陆块北缘	II -1-1 ² 笔架山柳园裂谷带(∈ ₁ -S ₃)		
			II -2-1 ¹ 乌拉山—色尔腾山古陆块(Ar ₂ -Ar ₃)		
			II -2-1 ² 白云鄂博元古代陆缘裂谷(Pt ₁ -Pt ₃)		

岩-片岩组合,时代为中寒武世—早奥陶世。在该构造单元最西部地区发现的火山杂岩和超镁铁质岩可能比科布多早古生代陆缘盆地形成时间要早。

I-1-3²乌列盖早古生代蛇绿混杂岩带(ϵ_3 - O_1):沿蒙古阿勒泰山脉的轴向延伸,形成一个大型 Delun-Sagsai 叠加地槽的褶皱基底。乌列盖蛇绿岩是由经历强烈变形和裂解的蛇绿混杂岩组成,包括蛇纹岩、辉石岩、辉长岩类、玄武岩和石英片岩。乌列盖蛇绿混杂岩的准确地质年龄还不清楚。然而,石英质片岩组和 Gorny—阿勒泰山脉的 Zasurin 组非常相似,通过微生物化石确定其时代为晚寒武世—早奥陶世。

中新元古代—志留纪,该区作为西伯利亚古陆西南缘一直处于稳定沉积发展阶段,新元古代末期,札布汉地区拉张形成洋盆,该区仍处于(西南)开阔海盆的边缘。随着札布汉洋盆向北、东俯冲乃至闭合拼贴于古陆后,这里开始了构造—岩浆活动,使原来处于被动状态的西伯利亚古陆西南缘开始向活动大陆边缘转化^①。故而在新元古代—早古生代加里东晚期,该构造单元一直处于被动大陆边缘环境下,形成了新元古代—早古生代的一套开阔海类复理石(浊积岩)沉积和陆缘碎屑沉积建造。

2.1.2 I-2阿尔泰山南缘弧盆系

阿尔泰山南缘弧盆系北东以红山嘴断裂和图尔根断裂为界,南西以哈巴河断裂和额尔齐斯断裂为界,呈北西—南东向展布,包括额尔齐斯构造带和采勒弧盆带,二者间以中蒙古构造线为界。

(1) I-2-1额尔齐斯构造带

该构造单元主要包括可可托海—清河古生代岩浆岩带、清河—Bodonch(TS-1)早古生代岛弧、额尔齐斯晚古生代增生杂岩和哈巴河晚古生代弧前盆地,分述如下。

① I-2-1¹可可托海—清河古生代岩浆岩带(D-P):北东以红山嘴断裂为界,南西以康布铁堡断裂为界,向南东与清河—Bodonch早古生代岛弧相连,主要由华力西期早泥盆世基性—超基性侵入岩和中酸性侵入岩构成。基性—超基性侵入岩为以橄榄辉长岩组合和辉长岩+闪长岩组合为主的岛弧拉斑玄武岩系,中酸性侵入岩为以英云闪长岩+奥长花岗岩+花岗闪长岩(TTG)组合为主的岛弧偏铝质中钾钙碱系列岩石。石炭纪碱性系列岩浆岩和二叠纪碱性花岗岩+钙碱性花岗岩组合主要属后碰

撞型花岗岩。

分布于冲乎尔、阿勒泰、可可托海和清河县的泥盆纪英云闪长岩锆石 U-Pb 年龄为 407 ± 5 Ma 和 416 ± 9 Ma,二长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 403.7 ± 0.95 Ma 和 401.1 ± 3.3 Ma,大地构造环境为活动大陆边缘岛弧环境;正长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 408 ± 5 Ma,为活动大陆边缘环境;闪长岩、石英闪长岩的化学成分为壳幔混源偏铝质中钾钙碱性系列,岩石构造组合为辉长岩+闪长岩组合,大地构造环境为岛弧环境;石英闪长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 381 ± 8 Ma 和 364 ± 8 Ma,成分上属于低钾钙碱性系列,为活动大陆边缘岛弧环境^②。

可可托海的石炭纪花岗斑岩锆石 Pb-Pb 年龄为 329 ± 13 Ma,成分上属于偏铝质高钾钙碱性系列,大地构造环境为活动大陆边缘弧环境。分布于清河县晚石炭世二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 315 ± 7 Ma,为活动大陆边缘环境。出露于哈巴河县、阿勒泰东北部和可可托海的二叠纪二长花岗岩($\eta\gamma P_1$)锆石 U-Pb 年龄为 274.8 ± 4.1 Ma,三叠纪二云母花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 228 ± 5 Ma,大地构造背景为后碰撞环境^③。

② I-2-1²清河—Bodonch早古生代岛弧(O):为位于南西部的康布铁堡断裂和北东部的红山嘴断裂所限定范围之内的一套以早中奥陶世斜长角闪岩—斜长角闪片麻岩为主的基性火山岩建造构成的早古生代岛弧。

早古生代以基性变质火山岩建造为主的岛弧,由中国境内的早中奥陶世清河群($O_{1-2}Q$)和向南东延入蒙古国境内与 Tomurtogoo^[8]划分的采勒(Tseel)构造单元的 Bodonch 岛弧相连。该群自下而上可分为3个岩性建造组:第一岩性段为斜长角闪岩—黑云斜长片麻岩—变粒岩变质建造,主要分布于可可托海镇东南和清河县中部,变质矿物组合为十字石+铁铝榴石+黑云母+白云母+斜长石+石英和普通角闪石+斜长石+透辉石,原岩恢复为基性火山岩—粘土岩—镁质碳酸盐岩建造。第二岩性段为黑云变粒岩—云母石英片岩—斜长角闪岩变质建造,主要分布于可可托海镇东南和清河县北东,变质矿物组合为十字石+红柱石+黑云母+白云母+斜长石+石英和普通角闪石+斜长石+透辉石,原岩恢复为砂泥质—基性火山岩建造。第三岩性段为黑云变粒岩—云母石英片岩—大理岩变质建造,主要分布

于可可托海镇东南,变质矿物组合为十字石+红柱石+铁铝榴石+黑云母+白云母+斜长石+石英和矽线石+红柱石+铁铝榴石+白云母+黑云母+斜长石+石英,原岩恢复为浊流岩建造。胡霭琴等^[9]对该岩群中片麻岩的主量、微量元素和Nd-Sr同位素特征研究显示,其原岩可能形成于岛弧构造环境。

③ I-2-1³额尔齐斯晚古生代增生杂岩(D-C):沿哈巴河—阿勒泰—富蕴—清河一带呈北西—南东向发育的一套增生杂岩,被可可托海断裂分割为北西和南东两部分。北西部,北以康布铁堡断裂为界,南以额尔齐斯断裂为界,主要包含长城系和南华系基底岩片、早古生代中上志留统变质碎屑岩岩片、晚古生代下泥盆统火山碎屑岩岩片和基性火山岩岛弧岩片,以及中泥盆统海相碳酸盐岩、浅海沉积岩岩片;南东部,北以额尔齐斯断裂为界,南以卡拉通克断裂为界,主要为下泥盆统陆源碎屑岩岩片。各个岩片的主要岩石建造如下所述。

长城系岩片:主要由苏普特岩群构成,出露于阿勒泰、苏普特和富蕴一带。该岩群中片麻岩和斜长角闪岩的Sm-Nd同位素年龄为 $1357 \pm 52 \text{ Ma}$ ^[10]。该岩群可分为3个岩性组:第一岩性组为石英片岩—黑云斜长片麻岩—大理岩变质建造,原岩恢复为砂泥质—基性火山岩建造。第二岩性组为变粒岩—黑云斜长片麻岩—斜长角闪岩变质建造,原岩恢复为砂泥质—基性火山岩建造。第三岩性组为变粒岩—石英片岩变质建造,原岩恢复为砂泥质—基性火山岩建造。

南华系岩片:主要由以斜长角闪岩—黑云斜长片麻岩—大理岩变质岩石组合为主的富蕴岩群构成,呈北西—南东向分布于锡伯渡—富蕴一带。原岩恢复为基性火山岩—粘土岩—镁质碳酸盐岩建造。胡霭琴等^[10]对其片麻岩的Sm-Nd等时线年龄进行了研究,推断富蕴群变质岩原岩的形成年龄应该为700~900Ma。

下泥盆统岩片:由康布铁堡组构成,为长石石英砂岩—石英斑岩建造、石英片岩—黑云斜长片麻岩—大理岩建造及变流纹质晶屑凝灰岩、片麻岩变质建造。主要呈北西—南东向分布于哈巴河县北部、冲乎尔东南部、阿勒泰东北部、可可托海镇西北部、富蕴东北部和清河中部。

中泥盆统岩片:由阿勒泰组(D_{2a})变粉砂岩—变泥岩夹硅质泥岩建造和变玄武质凝灰岩—凝灰质砂

岩建造及变粒岩—石英片岩—黑云斜长片麻岩夹大理岩建造构成。主要分布于哈巴河东部和阿勒泰中部。含腕足、珊瑚、苔藓虫、海百合茎 *Cymostrophia* cf. *stephani*(Barrande), *Brachyprion* spp., *Pachyfauosites yui*, *Fauosites Spwxgrforbesi*, *Cyxlocyclicus* sp.。

④ I-2-1⁴哈巴河晚古生代弧前盆地(D-C):位于哈巴河西南,呈楔状自哈巴河向南东尖灭。北以额尔齐斯(向东与得尔布干断裂相连)为界,南以哈巴河断裂为界。由以早中泥盆世滨海相杂砂岩夹结晶灰岩为主的碎屑沉积建造和早石炭世火山碎屑岩建造构成。早中泥盆世的沉积单元为托克萨雷组,岩性特征为变砂岩—变砂砾岩建造和杂砂岩—结晶灰岩建造,含化石海百合茎、珊瑚、孢粉 *Syringopora* sp., *Cymbosporites* sp., *Chelinospora* sp., *Heliolites* sp., *Striatopora* sp.和 *Pachyfauosites* sp.。早石炭世红山嘴组(C_{1h})为变质英安质—流纹质火山岩建造,分布于哈巴河县西北部。

(2) I-2-2采勒岛弧带

该构造单元位于蒙古国境内,占据了整个蒙古阿勒泰山脉的南部地区,并一直延伸至E98°以东,主要由Bij和Tsogt古生代岛弧构成,分述如下。

① I-2-2¹Bij古生代岛弧(S₂-S₃):位于外阿勒泰岛弧的最北部。Ruzhentsev等^[11]认为,Bij岛弧与Huvihar构造带展布方向一致。拉斑玄武岩和含放射虫燧石的志留纪—泥盆纪火山岩系成了Bij岛弧的基底。

② I-2-2²Tsogt古生代岛弧(O-D):由Gegeet组安山质变质火山岩,Gashuun Nuur变质镁铁质杂岩体(岩墙杂岩)和混合岩化的花岗岩构成。

综上所述,阿尔泰南缘弧盆带位于西伯利亚古陆南缘,是在东侧札布汉洋盆闭合—碰撞造山后的地壳均衡调整作用和南侧古亚洲洋向北俯冲,使原处于稳定发展的西伯利亚古陆南缘由安第斯型向活动陆缘转变,在这种联合作用下形成的一套沟—弧—盆系。中晚奥陶世—志留纪由早期被动大陆边缘的陆缘沉积,逐渐转变为主动大陆边缘。该带由北向南依次分布有早中奥陶世清河—Bodonch岛弧,奥陶纪—志留纪采勒岛弧带,早泥盆世—石炭纪可可托海—清河岛弧岩浆岩、额尔齐斯增生杂岩及哈巴河弧前盆地及二叠纪后碰撞型岩浆岩带。它们的形成反映出古亚洲洋板块依次向北、向西伯利亚板块西南边缘的俯冲碰撞。

2.1.3 I-3东西准噶尔弧盆系

该弧盆系北东以哈巴河断裂—额尔齐斯—布尔根断裂为界,南以卡拉麦里断裂为界,呈北西—南东向展布,向北西延入哈萨克斯坦,向南东延入蒙古国境内。主要包含萨吾尔—二台—Hrairhan晚古生代弧盆带、洪古勒楞—阿尔曼太—Baitag弧盆带、谢米斯台—库兰喀孜干古生代弧盆带、三塘湖晚古生代弧盆带和唐巴勒—卡拉麦里缝合带。

(1) I-3-1 萨吾尔—二台—Hrairhan 古生代弧盆带

该弧盆带北以哈巴河断裂—额尔齐斯断裂中段—喀拉通克断裂一线为界,南以吉木乃断裂北西部分和阿尔曼泰断裂北段连线为界,中间被可可托海左旋走滑断裂错断进入蒙古境内,与Tomurtogoo^[8]划分的BaruunHuurai地体主动大陆边缘的Baaran、Ulaan Us、Hrairhan、Suhait亚单元相连接,总体呈北西—南东向展布。该构造带的演化自早泥盆世开始,至晚石炭世结束,涉及的构造单元包括泥盆纪、石炭纪岛弧和弧前、弧后盆地。岩浆岩主要有石炭纪和二叠纪碱性系列后碰撞型中酸性侵入岩和石炭纪钙碱性系列岛弧型超基性岩。

① I-3-1¹ 萨尔布拉克—铁买克乡转运站弧前盆地(D₂):主要由分布于中国新疆的萨尔布拉克、铁买克乡转运站东南和扎河坝地区的中泥盆统库鲁木迪组构成。

该区中泥盆统库鲁木迪组(D_{2k})为夹有放射虫硅质岩的安山质角砾岩—玄武岩—凝灰质砂岩的火山岩建造。含化石 *Phacops* sp., *Atrypa* sp., *Xinjiangolites* sp., *Hoplothecia* sp., *Thamnopora* sp., *Hexagonaria* sp. 和 *Barrandeophyllum* ? sp., *Protolipidodendron* *Scharyanum* *Krejci*。

② I-3-1² 萨吾尔—二台—Hrairhan 古生代弧后盆地(O, D-C):包含加里东期弧后盆地和华力西期弧后盆地。主要由华力西期弧后盆地沉积的泥盆系和石炭系组成,局部见有加里东期沉积的奥陶系呈孤立断块产于泥盆系硬砂岩、砂岩、硅质粉砂岩、粘土页岩中,表明该弧后盆地是在南侧阿尔曼泰弧盆带的基础上发展起来的。

I-3-1²⁻¹ 巴依斯南早古生代弧后盆地(O):主要由分布于中国富蕴县巴依斯南部地区的加里东期奥陶系加波萨尔组灰岩—杂砂岩—凝灰质粉砂岩夹硅质岩建造,以及分布于加波萨尔一带的巴斯他

乌组晶屑凝灰岩—凝灰质砂岩夹安山岩建造两部分组成^[12]。

I-3-1²⁻² 萨吾尔—二台—Hrairhan 晚古生代弧后盆地(D-C):由华力西期泥盆纪和早石炭世地层构成。前者在中国境内主要为分布于新疆巴依斯北部和木沙拜西北部的晚泥盆世卡希翁组玄武岩—凝灰岩—凝灰质砂岩和粉砂岩建造,分布于阿拉塔斯—阿比金一带地区的卡希翁组以玻屑岩屑凝灰岩—凝灰质粉砂岩—火山角砾凝灰岩建造为主,以及分布于阿拉塔斯—阿比金一带地区的晚泥盆世—早石炭世江孜尔库都克组以角砾状凝灰岩—晶屑凝灰岩建造为主;延伸到蒙古国境内主要为中晚泥盆世Havtag组的英安岩—流纹岩—凝灰岩建造和安山岩—英安岩—凝灰岩夹灰岩建造,以及Baruunhuurai组安山岩—玄武质安山岩—凝灰岩夹硅质凝灰岩、燧石团块、砂岩、页岩及含煤建造。

早石炭世黑山头组分布于萨尔布拉克地区,主要以凝灰质砂岩—粉砂岩—安山质凝灰岩建造为主;姜巴斯套组分布于北塔山牧场以凝灰质砂岩—细砂岩—灰岩—砾岩建造为主;对应的蒙古国境内早石炭世Nuhniinuruu组主要分布于Baaran、Ulaan Us地区,主要为砂岩—粉砂岩—泥岩夹砂砾岩和灰岩建造。

③ I-3-1³ 萨吾尔—二台—Hrairhan 晚古生代岛弧(D-C):分布于新疆科克布哈—扎河坝北—阿克加尔—蒙古Hrairhan一带,主要由早泥盆世托让格库都克组(D_{1t})复凝灰岩—凝灰砂岩夹安山岩建造,中泥盆统库鲁木迪组(D_{2k})安山质角砾岩—玄武岩—凝灰质砂岩建造和巴尔雷组(D_{2b})以砂岩、粉砂岩、泥岩为主的浊积岩建造和玄武岩—流纹岩—凝灰质砂岩建造构成。延伸到蒙古国境内主要为分布于Baaran地区的Baaran组(D_{2br})玄武岩—安山岩、火山碎屑岩和硅质岩建造,分布于Hrairhan地区的Nariinkhar组(D_{1-nh})玄武岩—安山岩及火山碎屑岩和火山角砾岩建造,主要分布于Hrairhan地区的早石炭世Noyonuul组(C_{1nm})玄武岩—安山岩—火山碎屑岩建造。

(2) I-3-2 洪古勒楞—阿尔曼太—Baitag 弧盆带

该带呈北西—南东向展布,分南、北两部分。北段北部以阿尔曼泰断裂和可可托海断裂中部为界,南部以阿尔曼泰蛇绿岩片南部边缘断裂为界;

南段北部向北延入蒙古国境内,与 Tomurtogoo^[8]划分的 Baruun Huurai 地体的 Baitag 地块相连,南部边界以阿尔曼泰断裂为界。该带包括早古生代的蛇绿岩片和弧后盆地、岛弧残片,以及晚古生代的弧前、弧后盆地和岛弧。

① I-3-2¹ 恰库尔特南—阿克贝提弧前盆地(D₂):主要由分布于恰库尔特南的库鲁木迪组(D_{2k})安山质角砾岩—玄武岩—凝灰质砂岩夹放射虫硅质岩建造和分布于其灭特—阿克贝提一带的巴尔雷组(D_{2b})组凝灰岩—凝灰质砂岩夹放射虫硅质岩建造构成。

② I-3-2² 加波萨尔早古生代弧后盆地(O):主要由分布于中国新疆富蕴县中东部加波萨尔一带的奥陶系加波萨尔组(O_{2j})灰岩—杂砂岩—凝灰质粉砂岩夹硅质岩建造构成^[12]。

③ I-3-2³ 洪古勒楞—阿尔曼太—Baitag 晚古生代弧后盆地(D-C):主要由分布于奥依托让格北部、东部以玻屑岩屑凝灰岩—凝灰质粉砂岩—火山角砾凝灰岩建造为主和分布于老爷庙西北部以安山岩—安山玢岩—凝灰岩建造为主的晚泥盆世卡希翁组(D_{3kx}),以及以中酸性火山岩和火山碎屑岩建造为主的江孜尔库都克组(D_{3Cj})、蒙古国境内老爷庙西北部边境线附近早中泥盆世火山角砾岩—凝灰岩夹安山岩建造等构成。分布于老爷庙北部地区的早石炭世沉积黑山头组(C_{1hs})以凝灰质砂岩—粉砂岩—安山质凝灰岩建造为主。

④ I-3-2⁴ 结尔得嘎拉奥陶纪岛弧(O):主要由分布于结尔得嘎拉南东一带的奥陶系乌列盖组(O_{2-3w})凝灰砾岩—凝灰砂岩—凝灰粉砂岩夹凝灰岩建造和大柳沟组(O_{2-3d})凝灰质粉砂岩—凝灰细砂岩—泥质粉砂岩夹晶屑岩屑凝灰岩建造构成。

⑤ I-3-2⁵ 洪古勒楞—阿尔曼太—Baitag 晚古生代岛弧(D-C):早泥盆世—早中石炭世,涉及的岩石建造单元主要有分布于中国新疆扎河坝西北部、喀拉扎哈铁东部的下泥盆统托让格库都克组(D_{2t})复凝灰岩—凝灰砂岩夹安山岩建造和分布于温和多尔山、大哈提克山、乎洪得雷山一带的库鲁木迪组(D_{2k})安山质角砾岩—玄武岩—凝灰质砂岩建造。向东延伸到蒙古国境内 Baitag 地区,为 Baytag 组(D_{1-2bt})玄武岩、玄武质安山岩、安山岩、英安岩和凝灰岩、火山质砂岩、粉砂岩、页岩,局部夹有灰岩透镜体, Bastuual 组(D_{1-2bs})流纹岩、粗面流纹岩、火

山角砾岩、凝灰岩和熔结凝灰岩, Hurendosh 组(D_{2hd})玄武岩、玄武质安山岩、安山岩、英安岩、流纹质英安岩、流纹岩、凝灰岩、凝灰质火山角砾岩、凝灰质砂岩、粉砂岩,局部夹有灰岩,内含腕足类化石,以及 Noyonuul 组(C_{1nn})安山岩、玄武岩、凝灰岩、凝灰质砂岩和凝灰质粉砂岩。

⑥ I-3-2⁶ 阿尔曼太蛇绿混杂岩(ε-O):呈北西—南东向展布,主要由位于中国新疆富蕴县扎河坝和清河县二台地区的蛇绿岩带和北塔山牧场地区的阿尔曼泰蛇绿岩带组成。扎河坝蛇绿岩带的形成时代为寒武纪—奥陶纪,主要由构造蛇绿混杂岩、硅质岩单元、镁铁质岩单元和超镁铁质岩单元组成。硅质岩单元的岩石组合类型为放射硅质岩+泥钙质石英粉砂岩+沉凝灰岩。镁铁质岩单元的岩石组合类型为细碧岩化玄武岩+细碧岩+辉绿岩脉+辉长岩,其中辉长岩中斜长石 Ar-Ar 法坪年龄为 $467 \pm 2 \text{ Ma}$ ^[13]。超镁铁质岩单元主要为强蛇纹石化斜辉橄榄岩和部分橄榄斜(方)辉(石)岩、纯橄榄岩,属于拉斑玄武岩系列,其中蛇纹石化斜辉橄榄岩和斜辉橄榄岩的 Sm-Nd 同位素年龄为 $479 \pm 27 \text{ Ma}$ ^[14]。清河县的二台蛇绿岩片主要由超镁铁质岩单元构成,且以斜辉橄榄岩为主,含少量橄榄岩及纯橄榄岩,其 Sm-Nd 同位素年龄为 $493 \sim 525 \text{ Ma}$ ^[14]。北塔山牧场的阿尔曼泰蛇绿岩带主要由远洋沉积单元、火山沉积单元、基性岩墙群单元、枕状玄武岩单元、斜长花岗岩单元、镁铁质堆晶单元、镁铁质堆晶杂岩单元组成,其 Sm-Nd 等时线年龄为 $561 \pm 41 \text{ Ma}$ ^[15], 锆石 U-Pb 同位素年龄为 $503 \pm 7 \text{ Ma}$ ^[16]。

(3) I-3-3 谢米斯台—库兰喀孜干弧盆地

该带呈北西—南东向展布,北东大致以纳尔曼得逆冲断裂为界,南西大致以卡拉麦里断裂带为界,向东延伸入蒙古国境内。

① I-3-3¹ 库兰喀孜干—科克巴斯套弧前盆地(D):主要由分布于库兰喀孜干地区的卓木巴斯套组(D_{2z})钙质砂岩—砂砾岩—生屑灰岩建造,分布于库兰喀孜干西北部地区的乌鲁苏巴斯套组(D_{2w})和铁列克提群(D_{3T})砂岩—粉砂岩—砂砾岩夹凝灰质细砂岩建造,以及位于科可巴斯套地区的(D_{2b})砂岩—粉砂岩—泥质粉砂岩夹放射虫硅质岩建造构成。

② I-3-3² 谢米斯台—库兰喀孜干古生代弧后盆地(S, D-C):可划分出早古生代和晚古生代 2 期盆地。

I-3-3²⁻¹谢米斯台—库兰喀孜干早古生代弧后盆地(S):主要为早古生代志留系白山包组(S_{2b})和志留系—泥盆系红柳沟群(S_{3D₁H})。白山包组主要分布于库兰喀孜干南部、北塔山牧场及卡拉麦里山区,以长石砂岩—钙质砂岩—英安质凝灰岩夹硅质岩建造为主。红柳沟群主要出露于卡拉麦里山、巴里坤哈萨克自治县、库图等地区,以钙质砂岩—灰岩—凝灰岩建造为主夹安山玢岩建造,含化石 *Encrinurus* sp., *Phaoops* sp., *Calymene* sp. (三叶虫), *Thamnopora* sp. (珊瑚), *Platyceras* sp. (腕足), *Pratobactrites* sp. (头足), *Isorthis* sp., *Leptostrophia* sp., *Stegrhynchus* sp. (腕足), *ptychopteria*(*Actinoptera*) sp., *P. (ptychoptenia)* sp.等双壳类。

I-3-3²⁻²谢米斯台—库兰喀孜干晚古生代弧后盆地(D-C):在中国一侧主要由分布于喀勒恰盖牧场东南部及下马崖东部至中蒙边境地区的库鲁木迪组(D_{3k})角砾凝灰岩—凝灰质砂岩—岩屑凝灰岩建造,位于纸房北部和巴里坤地区的卡希翁组(D_{3kx})凝灰岩—火山角砾凝灰岩—凝灰质砂岩夹安山岩建造和英安岩建造,分布于三塘湖西南地区的黑山头组(C_{1hs})凝灰质砂岩—粉砂岩—安山质凝灰岩夹长石砂岩流纹岩建造和主要分布于塔克尔巴斯他乌北部的早石炭世姜巴斯套组(C_j)凝灰质细砂岩—凝灰岩—凝灰质粉砂岩夹凝灰质砾岩建造组成。延伸到蒙古国境内则以中晚泥盆世火山碎屑岩为主,局部夹陆源碎屑岩建造,以及早石炭世粉砂岩—泥岩—泥质粉砂岩建造等。

③ I-3-3³谢米斯台—库兰喀孜干岛弧(ε, D-C):由加里东期和华力西期岛弧组成。

I-3-3³⁻¹契里巴斯他乌寒武纪岛弧(ε):主要分布于契里巴斯他乌地区,为寒武系阿拉安道群(εA)凝灰岩—凝灰质粉砂岩—凝灰质砂岩夹中酸性火山灰凝灰岩和以火山碎屑岩建造为主的构造岩片组成。含小壳化石 *Maximostoma elliptica wang*(Ms), *Retlicu latopora* sp., *Pylococyus cf. dipostomatus wang*, *P. ylococyus projectus wang*(Ms), *Asteropyla formosa wang*(Ms), *Pylocorpus indus*, *Sachites* sp.等。

I-3-3³⁻²喀拉扎哈铁—库图晚古生代岛弧(D-C):由早泥盆世托让格库都克组(D_{1t})复凝灰岩—凝灰砂岩夹安山岩建造构成的岛弧,主要分布于中国新疆喀拉扎哈铁西北部、大石头山东部、科可巴斯套—库图一带,呈北西—南东向带状分布;由中泥

盆世乌鲁苏巴斯套组(D_{2w})安山岩—玄武岩—凝灰岩—砂岩建造构成的岛弧型火山岩及火山碎屑岩建造,主要分布于科可巴斯套—库图一带中部地区;以中泥盆世库鲁木迪组(D_{3k})安山质角砾岩—玄武岩—安山质凝灰岩建造为主的一套岛弧型火山岩建造,主要分布于科可巴斯套西北部及南东部地区;以泥盆纪—早石炭世江孜尔库都克组(D_{3C_j})玄武质凝灰岩—安山质凝灰岩—角砾凝灰岩建造为主的岛弧型火山碎屑岩建造,主要分布于喀拉扎哈铁西北部地区;早石炭世姜巴斯套组(C_j)以凝灰质砂岩—细砂岩—灰岩—砾岩建造为主,仅分布于大石头山以东地区。

(4) I-3-4三塘湖弧盆带

该带呈近东西向展布,位于洪古勒楞—阿尔曼太弧盆带和谢米斯台—库兰喀孜干弧盆带之间,北部以阿尔曼泰断裂为界,向北西被托让格库都克断裂截断,向南东延伸到蒙古国境内与Tomurtogoo^[8]划分的Hrairhan地体南东部相连。

① I-3-4¹三塘湖晚古生代弧间盆地(D₃-C₂):早中泥盆世岩石组合主要为分布在纸房三塘湖地区以凝灰岩—凝灰质砂岩—凝灰质角砾建造和奥依托让格—三塘湖一带和额仁山—苏海廷山一带以玄武岩—英安岩—角砾凝灰岩夹火山碎屑岩建造为主的江孜尔库都克组(D_{3C_j})。石炭纪岩石组合主要由分布于额仁山—苏海廷山一带以凝灰质砂岩—粉砂岩—安山质凝灰岩建造为主的早石炭世黑山头组(C_{1hs}),分布于伊吾东部中蒙边境地区以炭质泥岩—砂砾岩—砂岩夹凝灰岩、安山质凝灰岩建造为主的姜巴斯套组(C_j)和以流纹岩—安山玢岩—凝灰砂岩—英安斑岩夹含煤建造的巴塔玛依内山组(C_{2b})组成,还包含向东南延伸入蒙古国境内的早中泥盆世火山角砾岩—凝灰岩夹安山岩建造等和早石炭世Noyonuul组(C_{1nn})安山岩—凝灰岩—凝灰质砂岩夹凝灰质粉砂岩建造等。

② I-3-4²三塘湖古生代岛弧(O₂₋₃, D₁-D₂):由早古生代岛弧和晚古生代早中泥盆世岛弧构成。

I-3-4²⁻¹乌须苏克塔格早古生代岛弧(O₂₋₃):主要由分布于乌须苏克塔格地区,以角闪安山岩—晶屑凝灰岩—凝灰质砂岩建造为主的乌列盖组(O_{2-3w})构成。

I-3-4²⁻²三塘湖晚古生代岛弧(D₁-D₂):主要由分布于奥依托让格—三塘湖一线中部地区以玄武岩—安山岩—凝灰质砂岩建造为主的库鲁木迪组

(D_{2k})岛弧型火山岩和分布于克孜勒塔格山地区以安山岩-英安岩-英安质凝灰岩建造为主的托让格库都克组(D_{1t})火山岩及火山碎屑岩建造构成。

(5) I-3-5 唐巴勒—卡拉麦里结合带

唐巴勒—卡拉麦里缝合带主要沿卡拉麦里—二连断裂带分布,在西部呈北西—南东向展布,从三塘湖往东转为近东西向展布。

① I-3-5¹ 塔克尔巴斯陶—柳树泉弧后盆地(D₁-C₁):主要由分布于喀木斯特—柳树泉一带以砂岩-粉砂岩-泥质粉砂岩夹放射虫硅质岩建造的巴尔雷组(D_{2b})和分布于喀木斯特及其以南地区以凝灰质砂岩-凝灰砾岩-长石砂岩夹玄武岩建造为主的最早石炭世那林卡拉组(C_{1n})构成。

② I-3-5² 唐巴勒—卡拉麦里岛弧(O-D):是由早古生代与晚古生代的岛弧叠合而成的复合岛弧带。

I-3-5²⁻¹ 唐巴勒—卡拉麦里早古生代岛弧(O₁-S₃):主要由分布于向阳牧场一队一带的早—中奥陶世恰干布拉克组(O_{1-2q})一套以拉斑玄武岩—英安质玻璃凝灰岩—放射虫凝灰岩夹少量安山岩建造为主的拉斑玄武岩系列和晚志留世—早泥盆世红柳沟群(S₃D_{1H})以安山岩—玄武岩—凝灰岩建造为主的火山岩及火山碎屑岩建造构成。

I-3-5²⁻² 唐巴勒—卡拉麦里晚古生代岛弧(D₂):主要由分布于巴里坤县考克赛尔盖山西南坡克安库都克东南1.8km处的早泥盆世卓木巴斯套组(D_{2z})浅海—滨海相富含钙质的碎屑岩及碳酸盐岩沉积建造,分布于巴里坤县考克赛尔盖山克安库都克东南的中泥盆世乌鲁巴斯套组(D_{2w})海陆交互相碎屑岩、火山碎屑岩夹碳酸盐岩沉积建造,以及分布于塔克尔巴斯陶和奥塔乌克日什地区的巴尔雷组(D_{2b})玄武岩—流纹岩—复凝灰质凝灰岩建造和以岩屑砂岩—砂岩—钙质粉砂岩为主夹放射虫硅质岩建造构成。

③ I-3-5³ 卡拉麦里蛇绿混杂岩(C₁):位于唐巴勒—卡拉麦里古生代复合岛弧带内,由远洋沉积单元、火山岩单元、基性岩墙群单元、斜长花岗岩单元、铁镁质堆晶杂岩单元和地幔岩单元组成。远洋沉积单元为硅质岩、放射虫硅质岩,古生物测年为点球桩虫 *Stigmosphaerostylus* sp.,毳姆哈点球桩虫 *S. oumonhaoensis* (Wang),新疆点球桩虫 *Palaeoscenidium cladophorm* Defcandre.2003^[17];火山岩单元为火

山角砾岩、英安质凝灰岩、火山灰凝灰岩、枕状玄武岩、杏仁玄武岩、安山岩、英安岩;基性岩墙群单元为块状辉绿岩、辉石闪长岩,呈席状岩墙群;斜长花岗岩单元为斜长花岗岩,侵入于石英闪长岩中,派生脉岩有斜长花岗斑岩、细粒斜长花岗岩,锆石U-Pb同位素年龄为373Ma^[18];铁镁质堆晶杂岩单元为辉长岩、蛇纹石化橄榄辉长岩、蛇纹石化—水钙榴石岩,堆晶构造不发育,锆石U-Pb同位素年龄为329.9±1.6Ma^[19]。

综上所述,早古生代期间西伯利亚板块西南部的古亚洲洋内发育众多由中酸性火山岩及火山碎屑岩构成的岛弧。早古生代末期,伴随着古亚洲洋向北东西伯利亚板块的俯冲,位于洋盆内的众多早期岛弧也发生弧—弧碰撞和拼贴,形成该构造域内早古生代加里东期的岛弧和弧后盆地。到了晚古生代华力西期,随着西部古亚洲洋的持续闭合,构造—火山活动强烈,形成了晚古生代岛弧和弧前/弧后盆地,其构造表现形式为上文所述的复杂的东准噶尔弧盆系内众多的弧盆带构造单元。

2.1.4 I-4 准噶尔地块

(1) I-4-1 准噶尔地块

该地块由东准噶尔早古生代陆缘盆地、东准噶尔晚古生代陆缘盆地、准噶尔中央地块和博格达晚古生代裂陷盆地构成。

① I-4-1¹ 东准噶尔早古生代陆缘盆地(S₂-S₃):大部分被新生代第四系所覆盖,仅在北缘出露有早古生代地层。主要由分布于桥子大队—北山煤窑以北地区的志留系白山包组(S_{2b})陆源碎屑岩建造和红柳沟群(S₃D_{1H})砂岩—粉砂岩—钙质粉砂岩建造构成。

② I-4-1² 东准噶尔晚古生代陆缘盆地(D₁-C₁):主要由分布于桥子大队—北山煤窑以北地区的卡拉麦里组(D_{1-3k})碎屑岩—火山碎屑岩沉积建造,以及早石炭世黑山头组(C_{1hs})的凝灰岩—凝灰砂岩夹砾岩建造,那林卡拉组(C_{1n})凝灰质砂岩—凝灰砾岩—长石砂岩夹玄武岩建造,姜巴斯套组(C_{1j})的炭质泥岩—砂砾岩—砂岩夹凝灰岩、安山质凝灰岩建造构成。

③ I-4-1³ 准噶尔中央地块(Ch):大致相当于地理上准噶尔盆地中央的范畴,全部被新生界覆盖。关于其基底,长期以来存在2种争议:一种认识^[19-21]认为有古老岩石基底;另一种则持相反意见^[22-23]。袁学

诚等^[24]通过可可托海—阿克塞地球物理测深断面研究认为,准噶尔盆地古生界盖层为10~12km,其下到30(北侧)~27km为太古宇—元古宇。彭希龄^[25]也提出准噶尔盆地存在古老基底。它是准噶尔地区地质构造发展的基础^①。

研究区准噶尔地块主要出露的基底岩石为长城系扎慢苏岩群强糜棱岩化的中酸性火山熔岩—凝灰岩—砂岩建造,以及稻草沟岩群(ChD)强糜棱岩化的中基性熔岩—凝灰岩—炭质页岩建造。

④ I-4-1⁴ 博格达晚古生代裂谷带(C_1-P_2):南以博格达断裂为界,北接唐巴勒—卡拉麦里弧盆带和准噶尔中央地块的东南部。主要由早石炭世七角井组(C_{1q})、晚石炭世柳树沟组(C_{2l})和祁家沟组(C_{2qj})、中二叠世卡拉冈组(P_k)和二叠纪哈尔加乌组(P_{1h})板内裂谷型火山碎屑岩建造构成。七角井组(C_{1q})为一套拉张背景下的火山岩建造,上段为中—粗砾砂岩,不均匀互层的细砂岩和粉砂岩、凝灰砂岩、凝灰粉砂岩、中酸性晶屑—岩屑凝灰岩及薄层状凝灰岩;中段为薄层状粉砂—细砂岩—中粒砂岩的韵律层夹杏仁状玄武岩、硅质岩、炭质泥岩及灰岩;下段为杏仁状玄武岩,玄武岩和薄层状粉砂岩多次互层。柳树沟组(C_{2l})为海相中酸性火山碎屑岩、火山岩、凝灰质碎屑岩,夹少量正常碎屑岩。祁家沟组(C_{2qj})为一套陆源碎屑岩、火山碎屑岩夹碳酸盐岩沉积^[26]。中二叠世卡拉冈组(P_k)为中基性火山岩夹火山碎屑岩,其火山岩岩性以安山岩、玄武岩及自碎角砾状安山岩为主,火山碎屑岩以安山质火山角砾岩、凝灰岩及沉凝灰岩为主。

综上可知,准噶尔地块东北部在古生代为被动大陆边缘,中志留世至石炭纪处于被动大陆边缘的开阔海沉积环境。南部边缘则为主动大陆边缘,随着陆块南部小洋盆的碰撞闭合及早中泥盆世一系列岛弧建造的消失,准噶尔地块与其南部陆块(推测)完成了拼贴合并,到石炭纪发生陆内裂谷,在博格达晚古生代裂陷盆地发育了石炭纪七角井组(C_{1q})、柳树沟组(C_{2l})、祁家沟组(C_{2qj})和中二叠世卡拉冈组(P_k)的陆内裂谷型火山岩及其碎屑岩建造。

2.1.5 I-5戈壁—阿尔泰弧盆系

主要分布于中蒙边界的蒙古一侧,包括南戈壁—阿尔泰构造带和北戈壁—阿尔泰弧盆带。

(1) I-5-1 南戈壁阿尔泰构造带

该构造带由外阿勒泰晚古生代岛弧和Nemegt古生代增生楔构成。

① I-5-1¹ 外阿勒泰晚古生代岛弧(D_1-C_1):以Bulga断裂与北戈壁地块相隔离,分布于Suman Hairhan、Aj Bogd山地区,由晚泥盆世—早石炭世火山岩、广泛分布的硅酸盐岩—陆源碎屑岩及凝灰岩—陆源碎屑岩杂岩建造组成。

② I-5-1² Nemegt古生代增生楔(O_2-D_2):斜向与西南边的Gurvan Saihan地体毗邻,从Seruun Hairhan山脉东南部边缘开始,向东沿Ongon Ulaan山脉,穿过Nogoon Tsav荒地,继续沿Nemegt、Sevrei和Deng Nuruu山脉延伸。Nemegt增生楔是一个厚层的蛇绿混杂岩块,包括超镁铁质块体、辉长岩类、玄武质枕状熔岩及石英—碳酸盐岩(滑石菱镁片岩),也有志留纪—早泥盆世绿片岩和中—晚泥盆世浊积岩块。在Nemegt山脉,浊积岩块被小型的英云闪长岩体侵入,其碎屑在早石炭世海相火山—磨拉石杂岩的底砾岩中被发现。

(2) I-5-2 北戈壁阿勒泰弧盆带

该构造单元位于蒙古国境内,主要由Baruun Urt早古生代被动大陆边缘盆地、Gurvan Saihan古生代岛弧和Gurvan Saihan早古生代蛇绿岩构成。

① I-5-2¹ Baruun Urt早古生代被动大陆边缘盆地($O-S$):东部与戈壁—阿勒泰地体毗邻,沿Mandal Ovoo山麓和Baruun Urt山丘延伸至Dalai Nuur湖地区。Baruun Urt盆地由奥陶纪—早志留世火山岩—碳酸盐岩—陆源碎屑杂岩组成。

② I-5-2² Gurvan Saihan早古生代岛弧(S_1-D_1):分布于Gurvan Saihan、Zöölön和Shanh山地区,并沿Ih Nart和Öndör Üd山脉至Buir Nuur湖。由晚志留世—早泥盆世的绿片岩建造构成。

③ I-5-2³ Gurvan Saihan晚古生代岛弧(D_2-C_1):分布于Gurvan Saihan、Zöölön和Shanh山地区,沿Ih Nart和Öndör Üd山脉至Buir Nuur湖。由中—晚泥盆世含混合岩的陆源碎屑凝灰岩及早石炭世复理石(包括陆源碎屑火山岩)建造构成。

④ I-5-2⁴ Gurvan Saihan早古生代蛇绿岩(O):以玄武岩薄层、源自镁铁质基底和燧石—蛇纹大理岩层建造为特殊标志。

2.1.6 I-6 北山—戈壁天山构造带

北山—戈壁天山构造带北以蒙古国境内的

Sevrei 断裂为界,南以北山陆块南部边缘为界,向西与大南湖—哈尔力克构造带相连。该构造带在石炭纪之前为活动大陆边缘,出露早古生代岛弧和弧后盆地残留体,石炭纪之后转变为被动大陆边缘,广泛发育石炭纪—二叠纪裂谷型火山岩及其火山碎屑岩建造。

(1) I-6-1 戈壁天山弧盆带

该构造带呈东西向展布,向北延伸到蒙古国境内,向南以红山嘴—小冀山断裂为界。基底出露长城系星峡群(ChX)变质岩系,早古生代—泥盆纪为主动大陆边缘环境;石炭纪—二叠纪该构造带演化为被动大陆边缘环境,发育一套石炭纪—二叠纪板内裂谷型火山岩系。

① I-6-1¹ 红石山—园包山—戈壁天山弧后盆地(ϵ -D₂):包括红石山—园包山—戈壁天山早古生代弧后盆地和戈壁天山晚古生代弧后盆地。

I-6-1¹⁻¹ 红石山—园包山—戈壁天山早古生代弧后盆地(O₁-S₃):分布于额济纳旗北部边界甜水井—老点一带,由咸水湖组(O_{3x})基性—酸性火山岩及碎屑岩沉积建造,白云山组(O_{3by})长石石英砂岩—杂砂质石英砂岩夹结晶灰岩和硅质岩建造和罗雅楚山组(O_{1-2l})长石石英砂岩—粉砂岩—粉砂质泥岩夹硅质岩建造、粉砂质泥岩—泥岩夹灰岩和硅质岩建造构成。向北进入蒙古国境内戈壁—天山地区,为早中奥陶世陆源碎屑岩和滨浅海沉积碳酸盐岩。在阿拉善左旗北部出露园包山组(S_{1y})粉砂岩—粉砂质泥岩—长石杂砂岩夹细砂岩和灰岩建造,在北山地区安西县塔水井—玉石山、肃北牛圈子—通畅口、额济纳旗尖山至白板井及白云山、新疆塔水等地,发育公婆泉组(S_{2-3g})安山质—英安质火山岩建造,向北延伸入蒙古国境内为戈壁—天山地区的晚志留世—早泥盆世陆源碎屑岩、碳酸盐岩及中晚泥盆世陆源碎屑岩。

I-6-1¹⁻² 戈壁天山晚古生代弧后盆地(S₄-D₁):主要分布于蒙古国境内的戈壁天山地区,包括晚志留世—早泥盆世碳酸盐岩—碎屑岩建造,岩性主要为粉砂岩、砂岩、页岩、灰岩等,偶夹火山碎屑岩及早—中泥盆世陆源碎屑岩建造,岩性主要为砂岩、粉砂岩、板岩等。

② I-6-1² 红石山—园包山—戈壁天山—Gurvan Saihan 岛弧(S₁₋₂-D₁₋₂):由牛毛泉—Gurvan Saihan 早古生代岛弧(S₁₋₂-D₁)、红石山—雀儿山—戈

壁天山岛弧(D-C)和梧桐大泉—黑石山晚古生代岛弧组成。

I-6-1²⁻¹ 牛毛泉—Gurvan Saihan 早古生代岛弧(S₁₋₂-D₁):形成于早古生代主动大陆边缘环境,在中国境内主要分布有牛毛泉—红柳沟群(S₃D₁H)玄武岩—凝灰岩—长石石英片岩建造,岩石组合上部为岩屑砂岩、粉砂岩、凝灰质砂岩夹火山碎屑岩;中部为安山岩、凝灰岩、凝灰熔岩、火山角砾岩;下部为长石石英片岩、灰色千枚状长石二云片岩,灰色蚀变微晶绢云片岩。在蒙古国境内主要分布于南蒙古中部,经 Gurvan Saihan、Zöölön 和 Shan 山脉,沿 Ih Nart 和 Öndör Üd 山脉至 Buir Nuur 湖,其南西侧与 Zoolen 增生楔接壤,由晚志留世—早泥盆世放射虫燧石、枕状拉斑玄武岩、安山岩、凝灰岩建造构成。该岛弧因具有叠瓦状推覆体构造、混合岩基底及 3 种不同年龄的构造杂岩而与其他构造单元相区别^[27-28]。

I-6-1²⁻² 红石山—雀儿山—戈壁天山岛弧(D-C):分布于红尖山、甜水井、清河沟到哈珠、黄石坪、大狐狸山、巴格洪古尔吉、戈壁天山等地。主要由以中—中酸性火山岩—火山碎屑岩夹陆源碎屑岩—碳酸盐岩沉积建造为主的雀儿山组(D_{1-2q}),蒙古国境内戈壁天山地区的早泥盆世火山碎屑岩夹碳酸盐岩,以及以粉砂岩—灰岩—砾岩建造为主的伊克乌苏组(D_{1-2y})构成。该岛弧形成于晚古生代主动大陆边缘环境,主要沉积地层为泥盆系泥岩、砂砾岩、玄武质熔岩、安山岩和凝灰岩,局部可见奥陶纪—石炭纪中酸性火山岩和沉积岩^[29]。侵入岩有闪长玢岩、斜长花岗斑岩、石英二长闪长岩、正长花岗岩和碱性花岗岩岩株或岩脉群。

泥盆纪玄武岩的主量和微量元素特征显示,其火山活动为岛弧环境^[30]。在戈壁天山岛弧中产出有大型—超大型斑岩型铜矿床,如 Oyu Tolgoi 斑岩型铜金矿和 Tsagaan Suvarga 斑岩型铜钼矿。Tsagaan Suvarga 斑岩型铜矿绢云母 Ar³⁹-Ar⁴⁰ 年龄为 364.9±3.5Ma,辉钼矿 Re-Os 年龄为 370.4±0.8Ma^[31],花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 369±3Ma^④。Oyu Tolgoi 斑岩型铜金矿床位于红石山—雀儿山—戈壁天山岛弧东南缘,从西南欧玉区、中欧玉区和南雨果区采集的辉钼矿的 Re-Os 年龄为 373~370±1.2Ma^[32]。此岛弧构造复杂,以叠瓦状逆冲岩片、破碎地块、混杂岩、强应变带为主。有几个混杂岩带,

包括枕状熔岩,富含化石的灰岩、砂岩、辉长岩、辉绿岩墙和角闪岩碎块。在该岛弧东南部边缘的Hanbogd地区分布有富含钠闪石的球形花岗岩体。

I-6-1²⁻³梧桐大泉—黑石山晚古生代岛弧(D₁-C₁):主要分布于梧桐大泉以北至黑石山地区,主要由大南湖组、头苏泉组和七角井组岩石建造构成。大南湖组(D_{1d})主要分布于梧桐大泉以北至黑石山一带地区,为一套浅海相中基性火山碎屑岩夹中性火山岩建造;中泥盆统头苏泉组(D_{2ts})主要分布于小黑山、红坡北山、米勒特土敖包西黑山等地区,以玄武玢岩—杏仁状安山玢岩夹凝灰岩—凝灰砂岩夹辉石安山玢岩建造和安山玢岩夹少量粉砂岩、炭质粉砂岩建造为特点;下石炭统七角井组(C_{1q})岛弧建造主要分布于红石昌克孜尔山—托热喀拉一带,以安山岩—安山质凝灰岩建造为特点。

③ I-6-1³牛毛泉—红石山—戈壁天山裂谷带(C-P):以康古尔塔格断裂为界,北部为牛毛泉—红石山—戈壁天山裂谷,南部为明水—马鬃山裂谷带。牛毛泉—红石山—戈壁天山裂谷带主要由分布于中国境内梧桐大泉东北地区、伊哈托里、呼鲁赤古特及桃来善旦的早石炭世绿条山组(C_{1l})、白山组(C_{1b})、二叠系双堡塘组(P_{2sb})、金塔组(P_{2j})、方山口组(P_{2f})火山岩—碎屑岩建造,以及蒙古国境内的石炭系火山岩建造组成。

④ I-6-1⁴吐哈微陆块:位于骆驼圈子—沁城一带,北以博格达断裂为界,南以康古尔塔格断裂为界,向南和西延出研究区。主体与现代中新界覆盖区即地理上的吐鲁番—哈密盆地范围相似,盆地中央和边部有少量中生界露头,南缘边部有少量晚古生界残块。张德润^[33]、胡受奚等^[34]、袁学诚^[24]认为,吐鲁番—哈密地块与准噶尔地块原来是相连的一个整体,由于后期的构造活动才分隔于博格达山南北西侧。该构造单元在早古生代以前是由新太古代小铺岩群(Ar_{3X})大理岩—片岩、斜长角闪岩和变粒岩—片麻岩,以及南华系青石峡组(Nh_{1qs})的一套浅变质火山—沉积岩组成的古陆块。其中,青石峡组玄武岩和阳起石片岩的Sm-Nd等时线年龄分别为757±190Ma和707±190Ma^[35]。

(2) I-6-2 哈尔力克—大南湖构造带

该构造带位于吐鲁番—哈密地块东北,双产棚—塔勒一带,主要由红井子—塔勒早古生代岛弧与双产棚—大河乡晚古生代岛弧构成。岛弧内出露时

代最老的地层是奥陶纪基性、中基性—中酸性火山岩和火山碎屑岩—陆源碎屑岩建造。晚期有海退迹象,出现粗碎屑岩,其中火山岩大部属岛弧拉斑玄武岩系列,部分为钙碱性系列;早期以玄武岩、安山岩为主;中后期以中酸性火山岩为主,其上不整合覆盖志留系陆源碎屑岩—碳酸盐岩沉积。中—晚志留世时出现类似大陆边缘的浅海陆棚相沉积。泥盆纪发展情况相似,早泥盆世以一套拉斑玄武岩和钙碱性系列火山岩喷溢开始,中—晚泥盆世火山活动再次强烈,产出基性—中酸性火山岩及火山碎屑岩建造。总体上,泥盆纪火山岩也以拉斑玄武岩系列及钙碱系列为主,富钠、低钛,稀土元素总量偏高,轻稀土元素富集,重稀土元素曲线平坦,显示出岛弧火山岩的特征。

① I-6-2¹红井子—塔勒早古生代岛弧(O₂₋₃):由大柳沟组、庙尔沟组和乌列盖组岩石组合构成。中晚奥陶世大柳沟组(O_{2-3d})主要分布于小红旗沟和塔勒一带,为钙碱性系列的玄武安山岩—杏仁状玄武岩—凝灰岩—英安岩夹少量霏细岩建造。大柳沟组火山岩以钙碱性系列为主,大离子亲石元素(LIL)Ba、Th等富集,呈现正异常,高场强元素(HFs)Nb、Ta、Zr、Hf和Ti呈负异常。中基性火山岩的稀土元素配分曲线为轻稀土元素富集、重稀土元素亏损型式,其主量和微量元素特征总体上具岛弧火山岩特点^[36]。庙尔沟组(O_{2-3m})主要分布于沙尔桥克、小柳沟地区,为凝灰质砂岩—沉凝灰岩—粉砂质泥岩夹少量灰岩建造。含化石开放光球藻 *Leiopsop hosphaeraapertus schep*, 水刺波罗的刺球藻: *Baltisphaeridium microspinosum*, 双大褶藻 *Macroptycha buplicata Tim.*, 棱形藻 *Leiofuse sp.*。乌列盖组(O_{2-3w})主要分布花园乡、十五里庄子及柳树沟地区,为粉砂质千枚岩—板岩—千糜岩夹安山岩和大理岩建造。

② I-6-2²双产棚—大河乡晚古生代岛弧(D₁-D₃):主要为大南湖组岩石建造和康古尔塔格组。主要分布于双产棚—大河乡一带。大南湖组(D_{1d})为一套浅海相中基性火山碎屑岩夹中性火山岩建造。康古尔塔格组(D_{2kg})以粗安岩—流纹质英安岩—霏细岩—凝灰质泥岩—火山灰凝灰岩建造为主。

(3) I-6-3 北山构造带

该构造单元包括明水—马鬃山裂谷带、觉罗塔格晚古生代裂谷带、星星峡—红石山微陆块、北山古陆块、马鬃山岛弧带和红柳河—牛圈子蛇绿混杂

岩带。

① I-6-3¹明水—马鬃山裂谷带(C-P):主要由明水—纳干莫都一线以北至甜水井—哈珠—哈日敖包一线以南区域内的绿条山组(C_{1l})、白山组(C_{1b}),以及二叠系双堡塘组(P_{1sb})、金塔组(P_{1j})和红岩井组(P_{1hy})岩石建造构成。

② I-6-3²觉罗塔格晚古生代裂谷带(C-P):位于吐鲁番—哈密盆地南部,北界为吐哈断裂,南界为康古尔塔格断裂,裂隙槽整体呈近东西向展布,向东延入甘肃北山红石山东部一带。主要由分布于苦水—四顶黑山地区的早石炭纪雅满苏组(C_{1y})的一套浅海相陆源碎屑岩、碳酸盐岩及火山碎屑岩,夹少量火山熔岩建造,干墩组(C_{1g})深海相陆源碎屑岩、硅质岩及泥质岩建造,以及二叠纪中酸性岩浆岩建造构成。

觉罗塔格地区深成岩浆侵入活动十分发育,自东向西绵延不断,仅新疆段约占裂隙槽总面积的23%,但相对集中在红云滩—康古尔塔格一带及双岔沟口—甘肃一带,其他地区出露较少,以雅满苏北岩体规模较大。依其成因系列可分为2类,黄山以东多属重熔改造的S型,以双岔口岩体为代表;黄山—二红洼以西为I型。所有岩体无论是划分为华力西中期的还是晚期的,其同位素年龄值均偏新,如黄山岩体、双岔沟岩体均被定为华力西中期的产物,但黄山岩体年龄为 $260 \pm 6.2\text{Ma}$,双岔沟岩体年龄为 236.8 ± 2.6 、 232Ma 、 217Ma ,均属二叠纪的产物,前者Sr初始比值为0.7052,后者为0.7065,其 SiO_2 平均值为73%~75%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为1.00,在 R_1 - R_2 图解中投点多在造山晚期区内。分布于红云滩—阿齐山一带的斜长花岗岩和闪长岩类,51个样品的 SiO_2 平均值为74.19%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为0.97,在 R_1 - R_2 图解中主要位于靠近同碰撞造山期的造山前期区内,个别样品点位于同碰撞造山期界线上。据上述资料分析,闪长岩类、斜长花岗岩等可能为造山期前的产物,而大量的花岗岩主要为造山晚期的,表明该裂陷槽闭合可能较晚,大致在早二叠世^①。

③ I-6-3³星星峡—红石山微陆块(Ch):位于吐哈断裂和康古尔塔格断裂所限定的单元内,主要由长城系星星峡群(ChX)变质岩构成。星星峡群为一套角闪岩相—高角闪岩相变质岩系。主要出露于苦水以东和梧桐大泉以东地区。一段为绿泥石

化绢云母石英片岩、黑云母石英片岩、二云母石英片岩夹绿帘石阳起石片岩和磁铁石英岩;二段为斜长角闪片岩、角闪斜长片麻岩、帘石化角闪片岩、糜棱岩化斜长角闪片岩;三段为石英浅粒岩、黑云母斜长变粒岩及蓝晶石榴云母片岩。胡霭琴等^[37]用锆石U-Pb法测得该群的下限年龄约为1900Ma,上限年龄为 $1400 \pm 73\text{Ma}$ 。上覆地层为石炭系—二叠系裂谷型火山岩和火山碎屑岩系。

④ I-6-3⁴北山古陆块(Ar_{2-3} - Pt_2):位于马鬃山岛弧带东北部,呈近东西向展布,主要为中新太古代变质基底和古、中元古代似盖层变质岩系。包括($Ar_{2-3}gn^3$)黑云片麻岩混合岩组合、($Ar_{2-3}gn^2$)角闪片麻岩混合岩组合、敦煌岩群(Pt_1D)、北山岩群(Pt_1Bs)和古铜井群(ChG)。

黑云片麻岩混合岩组合($Ar_{2-3}gn^3$)为黑云斜长片麻岩—黑云斜长混合岩变质建造,岩性为混合岩化黑云斜长片麻岩、长英质黑云斜长条痕状混合岩夹片理化大理岩。变粒岩石英岩混合岩组合($Ar_{2-3}gn^3$)为二云钾长变粒岩、石英变粒岩、石英岩、斜长角闪质条痕状混合岩夹薄层大理岩、黑云石英片岩、磁铁绢云石英片岩。角闪片麻岩混合岩组合($Ar_{2-3}gn^2$)为黑云角闪斜长片麻岩—黑云斜长混合岩变质建造、岩性为黑云角闪斜长片麻岩、角闪黑云斜长片麻岩、黑云斜长条痕状混合岩、均质混合岩夹大理岩、黑云石英片岩和角闪片岩。

敦煌岩群(Pt_1D)主要分布于甘肃安西县、敦煌县、肃北县等地区,自下而上可分为4个岩段:一岩段主要岩性为黑云斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩夹黑云石英片岩、含磁铁石英岩、透辉石岩、斜长角闪岩、含石榴斜长角闪岩、透镜状或薄层状大理岩等;二岩段主要为白云质大理岩、含石墨大理岩、透闪石或蛇纹石大理岩夹黑云斜长片麻岩、含石榴角闪斜长片麻岩、含石榴黑云斜长片麻岩、角闪斜长花岗片麻岩、含石榴石英岩及石榴斜长角闪岩;三岩段主要为二云石英片岩、含石榴黑云石英片岩、白云石英片岩、黑云斜长角闪岩、含石榴斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩夹含石榴黑云斜长片麻岩、含磁铁石英岩、变粒岩、白云岩、蛇纹石化大理岩等;四岩段主要岩性为变流纹岩、变英安岩及其凝灰岩、变安山岩及其凝灰岩、黑云或绿泥石英片岩、绿泥或阳起石片岩、绿泥黑云片岩,含少量斜长角闪岩、石英岩等。该群遭受吕梁

期高绿片岩相—角闪岩相区域变质作用及区域混合岩化作用,具有多期褶皱变形构造。在草呼勒哈德斜长角闪岩中获得的Sm-Nd全岩等时线年龄值为 $1981 \pm 116 \text{ Ma}$,时代为古元古代^[38]。

北山岩群($PtBs$)以额济纳旗雅干一带为中心,呈东西向或北东东向展布,东北端延入蒙古国,总厚度可达2205m。一岩段为黑云石英片岩夹大理岩变质建造,普遍混合岩化;二岩段为绢云石英片岩—黑云石英片岩—石英岩变质建造,含石墨大理岩。在北山岩群西延马鬃山地区测得Rb-Sr法全岩等时线年龄为1755Ma。

中元古代长城系古铜井群(ChG)主要分布于北山南带的金塔县鸡心山、铅炉子沟,肃北县金庙沟—咸水井东南,玉门镇北旱峡山及北山中带的星星峡、白湖南等地,向西延入新疆,向东伸至内蒙古额济纳旗^[39],厚度可达3638m,为石英砂岩—长石石英砂岩—粉砂岩—泥质粉砂岩建造。在北山地区,作为古老褶皱基底之上的第一个沉积盖层,岩石特征极为显著,表明这套以成分成熟度很高的石英砂岩为主的陆源碎屑岩沉积环境为稳定陆缘滨浅海相^[38]。俞伯达^[39]推断,古铜井群为大陆斜坡浅海沉积,并根据上覆铅炉子沟群下岩组基性火山岩Sm-Nd同位素年龄值1622~1624Ma和下伏敦煌岩群上部所夹斜长角闪岩Sm-Nd同位素年龄值2203Ma,推断古铜井群的地质年代应为1624~2203Ma,为长城纪。

⑤ I-6-3⁵马鬃山岛弧带(O_2-S_3):位于北山陆块以南、敦煌陆块以北地区,主要分布于马鬃山—石板井—路井一带。由以陆源碎屑浊积岩建造、玄武质—安山质—英安质火山岩建造和火山碎屑沉积岩建造为特征的窑洞努如(O_{2-3y})组岩片,以长石石英砂岩—杂砂质石英砂岩—结晶灰岩—硅质岩—粉砂岩—粉砂质泥岩—砂岩建造建造为主的白云山组(O_{3by})和以安山质—玄武质火山岩建造为特征的公婆泉组(S_{2-3g})构成。

王立社等^[40]利用LA-ICP-MS锆石U-Pb法定年,发现公婆泉组中含有结晶年龄为早石炭世的玄武岩($333.1 \pm 9.8 \text{ Ma}$),同时发现公婆泉群中存在晚泥盆世物质的信息(继承性锆石年龄 $358 \pm 17 \text{ Ma}$)。从而认为公婆泉组的形成时代可能为志留纪—早石炭世,且塔里木板块与哈萨克斯坦板块的俯冲效应可能延续到早石炭世。

公婆泉组内产有北山地区最大的铜矿床公婆

泉铜矿,其赋矿围岩主要为英安斑岩和花岗闪长斑岩。唐治乾等^[41]野外观察和同位素年龄测定认为,含矿的英安斑岩、花岗闪长斑岩与中志留世火山岩基本上是同源不同期的产物;江思宏等^[42]认为,英安斑岩和花岗闪长斑岩的形成环境为靠近大陆边缘的岛弧环境,花岗岩类的形成过程中,也有来自板内物质的贡献,可能是由上地幔岩浆上升过程中混熔了大量地壳物质并经分异演化而成的。

⑥ I-6-3⁶红柳河—牛圈子蛇绿混杂岩($Nh-O$):呈北西—南东向Y字形展布,主要由震旦纪—寒武纪($Z \in M^{ch}$)马鬃山混杂岩片、马鬃山混杂岩浊积岩岩片($Z \in M^{ts}$)、马鬃山混杂岩玄武岩岩片($Z \in M^B$)、马鬃山混杂岩蛇绿岩岩片($Z \in M^{op}$)和早中奥陶世半深海泥硅质建造组合(西部)与以玄武岩—安山岩—英安岩建造为主的牛圈子混杂岩(O_{1-2N})构成。

新元古代马鬃山混杂岩蛇绿岩岩片($Z \in M^{op}$)的岩性组合为橄榄二辉岩、橄辉岩、蛇纹岩、斜长岩、辉长岩、蛇纹石化透闪石岩、橄榄角闪石岩、角闪辉石岩、变形堆晶辉长岩和斜长花岗岩。

新元古代马鬃山混杂岩玄武岩岩片($Z \in M^B$)的岩性为块状变玄武岩、变安山岩、阳起斜长角闪岩、黑云斜长角闪岩、阳起斜长片岩等。Sm-Nd同位素年龄为 $868 \pm 30 \text{ Ma}$ ^[38]。

新元古代马鬃山混杂岩浊积岩岩片($Z \in M^{ts}$)包括陆源碎屑浊积岩建造和玄武质—英安质—流纹质火山岩建造。岩性组合下部为变砂岩、千枚状板岩、绢云千枚岩夹变含砾砂岩、变凝灰质砂岩、绢云绿泥石英片岩;中部为变玄武岩、变流纹岩、变英安质熔结角砾凝灰岩、变流纹英安凝灰岩,偶夹片理化大理岩;上部以不纯石英岩和大理岩为主,含角藻、微刺藻、片藻等微古植物化石。

新元古代马鬃山混杂岩片岩岩片($Z \in M^{ch}$)主要分布于勒巴泉、草呼勒哈德一带,空间上呈北西—北西西向夹持于被动陆缘冲断层与加里东期火山弧超岩片之间,包括陆源碎屑浊积建造和玄武质—英安质—流纹质火山岩建造。岩性为绿泥钠长石英片岩、斜长黑云石英片岩、绢云绿泥石英片岩、绿泥绿帘斜长片岩、黑云斜长变粒岩、角闪斜长片岩夹变砂岩、变玄武岩、不纯石英岩和变流纹岩。在马鬃山蛇绿混杂岩岩片之上的变质基性火山岩中获得的Sm-Nd全岩等时线年龄为 $868 \pm 30 \text{ Ma}$,在野马

街西侵入韧性变形带中的石英闪长岩的锆石 U-Pb 年龄为 $433 \pm 6.7 \text{ Ma}$, 结合微古植物组合, 将其时代定为震旦纪—寒武纪^[38]。

牛圈子混杂岩($O_{1-2}N$)仅分布于牛圈子地区, 包括半深海泥硅质建造组合(西部)和玄武岩—安山岩—英安岩建造(东部), 底部为辉长岩、堆晶辉长岩。牛圈子蛇绿岩已被构造分解为构造岩片等, 一系列逆冲断裂表现为叠瓦状构造, 蛇绿岩变形变质强烈, 韧性剪切发育, 糜棱岩化普遍^[43]。左国朝等^[44]认为, 红柳河—牛圈子蛇绿岩是在陆棚海的基础上于志留纪发生弧后扩张形成的; 郭召杰等^[45]通过 $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$ 年代学研究认为, 洋盆扩张发育在 462Ma 之前; 任秉琛等^[43]认为, 牛圈子蛇绿岩各单元岩石发育齐全, 与东部洗肠井蛇绿岩和西部红柳河蛇绿岩相似, 牛圈子蛇绿熔岩 Rb-Sr 同位素年龄为 $463 \pm 18 \text{ Ma}$, 与洗肠井蛇绿熔岩夹层中放射虫时代一致, 为中奥陶世—晚奥陶世早期; 郭召杰等^[45]通过 $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$ 年代学研究, 认为洋盆在 412Ma 前闭合; 王立社等^[46]研究发现, 与该蛇绿岩带相连的志留系公婆泉组灰绿色变凝灰质砂岩夹硅质岩、安山岩、安山玄武岩、凝灰岩及碳酸岩属岛弧岩石组合, 并沿牛圈子—火石山—红柳河带向西发现大量碰撞型花岗岩($420 \sim 350 \text{ Ma}$), 从而认为该蛇绿岩带可能开始于中—晚奥陶世, 形成时代主体为志留纪。

蛇绿混杂岩是研究板块构造格局的重要线索, 不同的构造环境具有不同的蛇绿岩类型。左国朝等^[44]认为, 该蛇绿混杂岩为北部洋盆向南俯冲形成的弧后盆地型蛇绿岩; 郭召杰等^[45]指出, 其为早古生代大陆裂谷进一步拉伸形成的洋盆蛇绿岩; 王立社等^[46]在火石山地区发现了蛇绿混杂岩, 认为牛圈子—红柳河蛇绿岩带是通过火石山地区相连接的, 甘肃北山地区早古生代时哈萨克斯坦板块和塔里木板块是以红柳河—火石山—牛圈子划分的; 杨合群等^[47]认为, 北山地区可划分为星星峡—旱山微板块和敦煌微板块, 并以红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿岩带为缝合带; 任秉琛等^[43]认为, 北山地区早古生代洗肠井—牛圈子—红柳河蛇绿岩带, 具有早古生代大地构造分割意义, 是早古生代塔里木板块和哈萨克斯坦—准葛尔板块的缝合带。

2.1.7 I-7 巴音毛道—雅干—Baruun Tsohiot 构造带

该构造单元位于额济纳旗及其以北地区, 呈北东—南西向展布, 西以若羌—敦煌断裂为界, 东以

迭布斯格断裂为界, 北以 Borzon 断裂为界, 包括巴音毛道—雅干—Baruun Tsohiot 微陆块和巴音毛道—雅干—Baruun Tsohiot 晚古生代弧盆带两部分。构造演化由早古生代的被动大陆边缘转变为晚古生代的活动大陆边缘。

(1) I-7-1 巴音毛道—雅干—Baruun Tsohiot 微陆块

① I-7-1¹ 巴音毛道—雅干—Baruun Tsohiot 微陆块($Ar_{2-3}-Pt_3$): 位于蒙古最南部, Borzon 断裂两侧及巴音毛道—雅干—Baruun Tsohiot 地区, 主要由太古宇角闪片麻岩混合岩组合($Ar_{2-3}gn^2$)、敦煌岩群(Pt_1D)的片麻岩—片岩建造和斜长角闪岩—变粒岩—含磁铁矿石岩建造和变流纹岩—英安岩—安山岩—凝灰岩建造、北山岩群(Pt_1Bs)和古铜井组(Chg)变质岩系构成。向北跨越国界线进入蒙古国境内, 由古元古界(Pt_1)黑云母片麻岩、角闪片麻岩、角闪岩、麻粒岩、石英岩、大理岩等岩石组合, 以及新元古界 Tsagaanuuul 组($Pt_3^{1-2}cu$)花岗片麻岩、石英岩、大理岩、叠层灰岩和变质砂岩所组成。与上覆志留系和下泥盆统不整合接触。其中片麻岩中含石榴子石细晶岩的锆石 Pb-Pb 年龄为 770 Ma ^[48]。可延伸至中国内蒙古, 其片麻岩的锆石 U-Pb 年龄为 $916 \pm 16 \text{ Ma}$ ^[49]。上覆岩石为石炭纪和二叠纪火山岩及沉积岩, 其中侵入了后增生的二叠纪及中晚侏罗世—早白垩世深成杂岩体, 在东南部边缘与 Onch Hayrhan 变质岩体相毗邻的变质核杂岩中的眼球状片麻岩和糜棱岩的黑云母 Ar-Ar 年龄为 $129 \sim 126 \text{ Ma}$ ^[50]。

② I-7-1² 珠斯楞—杭乌拉—Baruun Tsohiot 裂陷盆地(O_2-S_1): 位于 Borzon 断裂南侧, 走向北西。主要由露奥陶纪咸水湖组(O_{2x})基性—酸性火山岩及碎屑岩沉积建造局部夹结晶灰岩, 白云山组(O_{3by})及长石石英砂岩—杂砂质石英砂岩—结晶灰岩—硅质岩—粉砂岩—粉砂质泥岩—砂岩建造和志留纪园包山组(S_{1y})的粉砂岩—粉砂质泥岩—长石杂砂岩夹细砂岩和灰岩建造构成。

(2) I-7-2 巴音毛道—雅干—Baruun Tsohiot 弧盆带

该构造单元包括巴音毛道—雅干—Baruun Tsohiot 弧后盆地和巴音毛道—雅干—Baruun Tsohiot 岛弧两部分。

① I-7-2¹ 巴音毛道—雅干—Baruun Tsohiot

弧后盆地(C-P):位于阿拉善左旗北部中蒙边境地区,北以恩格尔乌苏断裂为界,呈北东—南西向展布,向北东可延伸至蒙古国境内,主要由本巴图组(C₂bb)英安质凝灰岩—安山玢岩建造和长石石英砂岩—泥岩—泥质粉砂岩建造,绿条山组(C₁d)石英粉砂质泥岩—粉砂质泥岩夹含铁硅质岩建造和灰岩,以及双堡塘组(P₁sb)杂砂岩—砾岩—长石砂岩夹粉砂岩建造构成。在蒙古国 Baruun Tsohio 地区为石炭纪及二叠纪火山岩及沉积岩建造,主要由早石炭世 Ikhhongor 组(C₁ih)砾岩—砂岩—粉砂岩—灰岩夹少量凝灰岩建造,晚石炭纪 Baruun tsohio 组(C₂bc)流纹岩—英安岩—安山岩—玄武岩夹少量凝灰岩建造及粉砂岩—凝灰质砂岩建造,早二叠纪未分的英安岩—流纹岩—安山岩和粉砂岩—凝灰质粉砂岩—凝灰质砾岩建造、早二叠纪 Togoothar 组(P₁th)火山岩—火山碎屑岩建造,晚二叠世未分的砾岩—砂岩—粉砂岩夹凝灰岩建造和粗安岩—安山岩—英安岩夹凝灰岩建造,以及晚二叠世 Luugiingol 组(P₂lg)的砾岩—砂砾岩—互层状复矿碎屑砂岩—泥岩夹灰岩建造构成。

② I-7-2²巴音毛道—雅干—Baruun Tsohiot 岛弧(D):在中国境内主要由分布于额济纳旗、雅干等地以中性—中酸性火山岩—火山碎屑岩夹陆源碎屑岩—碳酸盐岩沉积建造为主的雀儿山组(D₁₋₂Q)构成。在蒙古国境内由 Baruun Tsohio 地区的早泥盆世玄武岩—安山岩—凝灰岩—砂岩—粉砂岩建造和 Tavanhudag 组(D₁th)的灰岩—绿片岩—复理石建造、中基性火山岩—枕状玄武岩建造构成。张国英^[51]认为,雀儿山组形成于活动型滨浅海环境,其沉积的大地构造背景为火山岛弧^[52]

综上所述,巴音毛道—雅干—Baruun Tsohio 构造带于奥陶纪—志留纪在早前寒武纪基底微陆块内裂解,发育双峰式火山岩建造和陆缘碎屑磨拉石建造;泥盆纪早期,以被动陆缘构造环境为主的陆内裂谷小洋盆开始转变为主动大陆边缘,从而发育一系列泥盆纪岛弧火山岩和碎屑岩建造,随着小洋盆的闭合在石炭纪—二叠纪发育面积广泛的弧后盆地沉积建造。

2.1.8 I-8 Ereen Davaa—额尔古纳微陆块

该构造单元位于额尔古纳隐伏活动断裂以北,中蒙古构造线北东端南侧区域,其主要由 Onon 结合带和 Ereen Davaa—额尔古纳微陆块组成。

(1) I-8-1 Onon 结合带

该结合带位于中蒙古构造线北东端北侧,南部边缘有叠瓦状推覆构造,在研究区内仅包括 Onon 晚古生代增生楔 1 个四级构造单元,主要由 2 套岩石建造构成:泥盆纪 Onon 组火山岩—硅酸盐岩—片岩组合和二叠纪—早三叠世 Döch Gol 组硅质岩—陆源碎屑岩组合。

I-8-1¹ Onon 晚古生代增生楔(P₂-T₁):其范围相当于 Tomurtogoo 所划分的南肯特地体,位于西伯利亚赤塔以南,蒙古东北部的鄂嫩河一带,北部毗邻中蒙古构造线的北东端,由覆盖于 Döch Gol 河盆地广大区域的 Döch Gol 增生杂岩组成。主要为二叠纪硅质岩—陆源碎屑岩、晚二叠世—早三叠世陆源沉积复理岩和早三叠世砂岩,缺失火山岩。

(2) I-8-2 Ereen Davaa—额尔古纳微陆块

该微陆块位于额尔古纳隐伏活动断裂以北,是西伯利亚陆块延伸至中国的部分,由 Ereen Davaa—额尔古纳微陆块和 Ereen Davaa—额尔古纳陆缘盆地(D,P)组成。

I-8-2¹ Ereen Davaa—额尔古纳微陆块(Pt₁-Pt₃):在中国境内位于东北部,沿新巴尔虎左旗、新巴尔虎右旗直至海拉尔一线,呈北东向延展,与地层走向一致。出露地层以前寒武系为主,上覆中生代火山岩和少量古生代地层。微陆块主要由出露的兴华渡口岩群(Pt_{1x})、佳疙瘩组(Nhj)和苏中组(εsz)组成。兴华渡口岩群(Pt_{1x})长期以来一直被认为是古元古代变质岩,代表兴安和额尔古纳地块的前寒武纪基底,可能反映了类似于大陆边缘弧后裂谷型火山—沉积盆地的构造环境。最新研究表明,它可能代表了一套寒武纪或稍早的活动大陆边缘的火山—沉积建造^[53],出露岩性主要为二云斜长片麻岩、云英片岩、石英岩、浅粒岩、条带状花岗片麻岩、绢云长英片岩、绿泥斜长角闪片岩等。陆源碎屑岩建造的佳疙瘩组(Nhj)变质岩系主要出露于中俄边境的额尔古纳地区,多分布于加里东期或华力西期岩体边缘或呈孤岛状分布于加里东期或华力西期岩体中,为一套经受了低绿片岩相—低角闪岩相变质作用的变质岩系,变质碎屑岩的物源为古大陆的风化物质。佳疙瘩组变碎屑岩形成的古构造环境为被动大陆边缘,其沉积盆地性质为被动大陆边缘拉张(早期)和弧后拉张(后期)2种深部背景

下的拉张断陷盆地,而基性岩浆的侵入活动代表这一过程的持续和进一步发展^[54]。碳酸盐岩-浊积岩建造的额尔古纳河组(Ze)为一套浅海相碳酸盐岩组合,与佳疙瘩组共同构成一个典型的海侵过程,反映了新元古代—震旦纪额尔古纳地块处于裂解、大洋进一步扩张和形成新洋壳的地球动力学过程^[55]。浅海相的碳酸盐岩夹细碎屑岩组合的苏中组(ϵ_{sz})分布在科尔沁右翼中旗西部,靠近中蒙边境地区。

在蒙古国境内,该微陆块相当于Tomurtogoo^[8]所划分的Ereen Davaa地体东北部的中元古代地层区,分布于额尔古纳隐伏活动断裂以北。在中蒙古构造线北东端南侧区域,呈北东向零星展布,为碳酸盐岩及绿片岩建造。主要岩性包括变质砂岩、片岩、角闪岩、石英岩、大理岩、片麻状花岗岩类等。

I-8-2² Ereen Davaa—额尔古纳陆缘盆地(D, P):形成于晚古生代被动大陆边缘环境,位于蒙古东北部,Onon增生楔地体和中蒙古构造线东北段的南侧,相当于Tomurtogoo^[8]所划分的Ereen Davaa地体中的晚古生代地层分布区,走向和Ereen Davaa山脉一致。由早中泥盆世碳酸盐岩-陆源碎屑岩和中二叠世海相磨拉石建造组成。出露岩性主要为页岩、砂岩、粉砂岩、灰岩、变质流纹岩等。

2.1.9 I-9 Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山弧盆带

该弧盆系位于二连—贺根山断裂北部,额尔古纳隐伏活动断裂南部、东蒙古构造线以东的广大地区。在中国境内沿二连浩特—阿巴嘎旗—东乌旗—阿尔山—海拉尔地区分布。在蒙古国境内相当于Tomurtogoo^[8]所划分的Hutag Uul地体和Baruun Urt地体,呈北东向展布,由Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山弧盆带和Nuhetdavaa新元古代微陆块组成。

(1) I-9-1 Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山弧盆带

该弧盆带主要由早古生代岛弧和弧后盆地、晚古生代岛弧和弧后盆地和新元古代岛弧组成。包括Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山早古生代岛弧,Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山早古生代弧后盆地,Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山晚古生代岛弧,Baruun Urt—Hutag

Uul—东乌旗—阿尔山晚古生代弧后盆地和Ih Bogd新元古代岛弧。

① I-9-1¹ Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山早古生代岛弧(O_1-O_3, S_{1-2}):形成于早古生代主动大陆边缘环境。在中国境内沿二连—东乌旗—阿尔山—扎兰屯—苏格河分布,向东延伸至多宝山地区,断续出露,呈北东向展布。主要出露早古生代地层,包括早中奥陶世碎屑浊积岩建造的铜山组(O_{1-2t})、中基性火山岩-陆源细碎屑岩建造的多宝山组(O_{1-2d})和中晚奥陶世复成分粉砂岩-泥岩建造的裸河组(O_{2-3lh})。铜山组与多宝山组同时产出,岩性以硬砂质长石砂岩、细砂岩、粉砂质板岩及变质长石硬砂岩为主,自下而上粗碎屑岩及凝灰岩增多。多宝山组中基性火山岩在微量元素构造图解中投点于火山弧区^[56],在TFeO/MgO-TiO₂变异图和K₂O-SiO₂变异图中投点于岛弧区^[57],具有岛弧火山岩特征。裸河组岩性层位稳定,具有相对平静和偏还原的深水环境,只发育炭质、硅质和凝灰质沉积岩,岩性较单一,以漂浮或浮游生物为主,是火山弧前宽阔海沟内的沉积,表现出明显的海进层序,下部为砂岩、砂砾岩,上部为粉砂岩、板岩,火山物质含量自下而上减少,多与多宝山组同时产出。

在蒙古国境内,该岛弧相当于Tomurtogoo所划分的Gurvan Saihan地体东北部,出露面积较小,呈北东向展布,为早中志留世中性火山-沉积建造。主要岩性包括安山岩、玄武岩、凝灰岩、细碧岩、砂岩、粉砂岩、结晶灰岩、含金的黑色板岩等。

② I-9-1² Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山早古生代弧后盆地(ϵ_1, O_1-S_3):形成于早古生代主动大陆边缘环境。在中国境内主要分布于二连—东乌旗—扎兰屯—柴河镇,北东向展布,位于Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山早古生代岛弧北部。主要出露浅海相碎屑沉积岩建造的巴彦乎舒组(O_{1-2by})和卧都河组(S_{3w})。巴彦乎舒组为长石石英砂岩、变质长石砂岩、变质粉砂岩、蚀变安山岩、蚀变玄武安山岩夹少量变质砂岩、泥质粉砂岩,产有腕足和珊瑚化石。其沉积层序反映了沉积物自下向上由细变粗的递变过程,碎屑岩成分成熟度好,海平面在上升,形成了一个弧后盆地的沉积环境。卧都河组主要出露含长石石英砂岩、石英砂岩夹板岩,石英砂岩、泥质板岩夹硅质岩、泥质粉砂

岩夹硅泥质板岩、凝灰质砂岩、灰岩透镜体等。沉积环境为岛弧期后抬升时期的产物,整体为海退沉积层序^[58-60]。

在蒙古国境内相当于Tomurtogoo^[8]所划分的Hutag Uul地体和Baruun Urt地体,分布于二连—贺根山断裂以北、额尔古纳隐伏活动断裂以南的广大区域,呈北东向展布,主要出露早寒武世、奥陶纪—晚志留世碳酸盐岩及陆缘碎屑岩建造,主要岩性包括变质砂岩、变质粉砂岩、砾岩夹层状灰岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、砾岩,少量酸性熔岩、凝灰岩等,含珊瑚等化石。

③ I-9-1³ Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山晚古生代陆缘弧(D₁-P₁):形成于晚古生代主动大陆边缘环境。在中国境内主要分布于二连—东乌旗一线,呈北东向展布,出露地层包括晚石炭世—早二叠世中—酸性火山岩、火山碎屑岩,正常沉积的碎屑岩建造的宝力高庙组(C₂-P₁bl),以及火山碎屑沉积建造及中性火山岩建造的格根敖包组(C₂-P₁g)。宝力高庙组下段为中性火山熔岩、火山碎屑岩,其上火山活动渐强,既有溢流相的安山岩,更有大量的安山质火山碎屑岩夹层,代表了陆相火山活动达到了高潮;上段以流纹岩、英安岩等溢流相酸性熔岩、英安质晶屑(岩屑)凝灰岩及大规模正常沉积的河流相沉积岩为主,在钙质砂岩透镜体和页片状泥岩中常见安哥拉植物群化石,指示了封闭河湾或泻湖相的沉积环境。格根敖包组上部为凝灰质粉砂岩、岩屑晶屑凝灰岩夹长石砂岩、砂砾岩,多层含植物和腕足类化石;下部为安山岩夹少量火山角砾岩,表明格根敖包组为海相地层,属于盆地边缘环境下的产物,而植物与腕足类化石共生说明其为近岸环境。

在蒙古国境内相当于Tomurtogoo^[8]所划分的Gurvan Saihan地体东部,处于Saihandulaan断裂南侧,呈北东向展布,为早泥盆世—早石炭世中性火山岩—碳酸盐岩建造。主要岩性包括玄武岩、安山岩、英安岩、玄武质熔岩、火山角砾岩、凝灰岩、砂岩、页岩、杂砂岩、凝灰岩—砂岩、少量灰岩、凝灰质砾岩等^[61]。泥盆纪玄武岩的主量和微量元素特征显示其火山活动为岛弧环境^[31,62]。

④ I-9-1⁴ Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山晚古生代弧后盆地(D₁-C₂):形成于晚古生代主动大陆边缘环境,主要分布位置与Baruun

Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山早古生代弧后盆地相同,但范围更大,呈北东向展布,主要出露地层包括碳酸盐岩建造的乌奴尔礁组(D_{1url})、碎屑岩夹碳酸盐岩建造的泥鳅河组(D_{1-2n})、长石石英砂岩建造的塔尔巴格特组(D_{1-2t})、火山岩碎屑岩硅质岩生物碎屑灰岩建造的大民山组(D_{2-3d})、砂板岩建造的安格尔音乌拉组(D_{3a})、类复理石建造红水泉组(C_{2h})和碎屑岩建造的新伊根河组(C_{2x})。

在蒙古国境内相当于Tomurtogoo^[8]所划分的Hutag Uul地体,分布于二连—贺根山断裂以北、额尔古纳隐伏活动断裂以南的广大区域,呈北东向展布,为早泥盆世—晚石炭世的碳酸盐岩及陆源碎屑岩建造。主要岩性包括炭质砾岩、灰岩、砂岩、粉砂岩、片岩(石英—云母),少量层状、透镜状页岩、灰岩、安山岩、英安岩、流纹岩、凝灰岩、凝灰质砂岩,含珊瑚等化石。

⑤ I-9-1⁵ Ih Bogd 新元古代岛弧(Pt₃):形成于新元古代主动大陆边缘环境,位于Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山晚古生代弧后盆地内,蒙古国部分相当于Tomurtogoo^[8]所划分的Baruun Urt地体的一小部分,是一个狭窄的推覆褶皱带,走向北东,具有被肢解的蛇绿岩^[63-64]和新元古代玄武岩—安山岩建造的火山岩。这些岛弧拼贴成一个单一超岛弧,以相同的花岗岩侵入体(Rb-Sr等时线年龄为538Ma)产出为特点^[65]。

(2) I-9-2 Nuhetdavaa 微陆块(Pt₃)

该微陆块位于Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山晚古生代弧后盆地的蒙古国一侧,相当于Tomurtogoo^[8]所划分的Hutag Uul地体中的一部分,走向北东,零星出露,主要出露新元古代绿片岩和碳酸盐岩。岩性主要为石英片岩、绿泥石片岩、云母片岩、变质砂岩等。

(3) I-9-3 Hutaguul—二连—贺根山结合带

该构造单元是Sulinheer—满都拉—霍林郭勒弧盆系和Baruun Urt—Hutag Uul—东乌旗—阿尔山弧盆带的分界线,位于二连—贺根山一线,向西延入蒙古Hutaguul地区,出露零星,东乌旗西南侧相对出露面积较大,目前的标志为一套晚古生代蛇绿混杂岩。

I-9-3¹ Hutaguul—二连—贺根山蛇绿混杂岩(D):主要沿二连—贺根山一线分布,零星出露,呈北东向展布,其上部被下二叠统砾岩不整合覆盖,

并在灰岩和硅质岩中分别产有中石炭世化石及中一晚泥盆世放射虫、珊瑚化石,表明其形成于晚古生代^[66]。出露的主要岩性为泥盆纪二辉橄榄岩、斜辉辉橄岩、纯橄岩、含长橄榄岩、辉长岩、玄武岩、橄长岩、硅质岩、辉绿岩、斜长花岗岩等。贺根山地区蛇绿岩各类岩石的稀土元素地球化学特征表明,其为上地幔部分熔融、分异演化的产物。结合蛇绿岩套上部玄武岩和变火山熔岩的岩石化学研究,可以确认蛇绿岩来源于大洋中脊亏损的上地幔。包志伟等^[67]获得的贺根山蛇绿岩中6个样品(纯橄岩、斜辉辉橄岩、2件橄橄岩、辉橄岩和辉长岩)的Sm-Nd等时线年龄为 $403 \pm 27 \text{ Ma}$;苗来成等^[68]得到辉长岩中锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄为 $295 \pm 15 \text{ Ma}$;简平等^[69]和刘建峰^[70]认为,该蛇绿混杂岩形成于早二叠世早期。

2.1.10 I-10 Sulinheer—满都拉—霍林郭勒弧盆系

该弧盆系主要位于二连—贺根山断裂南侧、华北陆块北缘断裂带以北的广大区域,经蒙古 Sulinheer—达茂旗满都拉—锡林浩特林西地区,直至科尔沁右翼中旗,呈北东向展布。主要由 Sulinheer—满都拉—霍林郭勒弧盆系、托托尚—锡林浩特微陆块和宝音图地块组成。

(1) I-10-1 Sulinheer—满都拉—霍林郭勒弧盆系

该弧盆系主要由早古生代岛弧和前陆盆地,晚古生代岛弧、弧后盆地和前陆盆地,早古生代增生楔和元古代隆起组成。包括 Sulinheer—满都拉—霍林郭勒晚古生代岛弧、Sulinheer—满都拉—霍林郭勒晚古生代弧后盆地、朱日和早古生代前陆盆地、达茂旗—阿巴嘎旗晚古生代前陆盆地、达茂旗—四子王旗白乃庙早古生代岛弧和 Duulgant—甘其毛都早古生代增生楔。

① I-10-1¹ 达茂旗—白乃庙早古生代岛弧(O_1-O_3):形成于早古生代主动大陆边缘环境,主要出露于四子王旗的白乃庙和达茂旗北部地区。出露岩性包括早中奥陶世碳酸盐浊积岩建造、白乃庙组中基性火山岩建造和中晚奥陶世石英闪长岩($\text{O}_{2-3} \delta \text{o}$)和英云闪长岩($\text{O}_{2-3} \gamma \delta \text{o}$)。白乃庙组原岩为一套中基性—中酸性海相火山—沉积岩建造,具有岛弧型火山岩的特征,著名的白乃庙斑岩型铜金矿床位于其中。

② I-10-1² Duulgant—甘其毛都早古生代增生楔(O_{1-2}):位于蒙古国南部中蒙边境地区,与中

国境内的乌拉特中旗北部的甘其毛都口岸地区相连,近东西向展布。在中国境内出露地层为早中奥陶世乌宾敖包组($\text{O}_{1-2} \text{W}$),该组为粉砂岩—泥岩—粉细砂岩建造。在蒙古国境内相当于 Tomurtogoo 所划分的 Duulgant 地体,位于乌拉特中旗北部的蒙古一侧,出露面积较为集中,呈东西走向,为奥陶纪绿片岩建造,主要岩性包括片岩、变质砂岩、变质粉砂岩、千枚岩、凝灰岩、石英岩、板岩及少量大理岩等^[71]。

③ I-10-1³ 朱日和早古生代前陆盆地(S_2):主要出露于苏尼特右旗、补力太中部及四子王旗的白乃庙地区,呈近东西向展布。主要出露地层为中志留世徐尼乌苏组,层序底部为火山沉积岩系,中上部为水下三角洲和浊流沉积,含珊瑚、苔藓虫、海百合茎化石等。

④ I-10-1⁴ Sulinheer—满都拉—霍林郭勒晚古生代岛弧(C_2-P_1):形成于晚古生代主动大陆边缘环境。在中国境内主要分布于达茂旗索伦山—满都拉—苏尼特左旗—锡林浩特林西一线,直至科尔沁右翼中旗,分布广泛,呈北东向带状展布,主要出露地层为早二叠世大石寨组($\text{P}_1 \text{ds}$)。大石寨组中的熔岩类以安山岩为主,火山碎屑岩类包括晶屑、岩屑、玻屑凝灰岩、集块角砾岩、角砾凝灰岩、沉凝灰岩;火山碎屑沉积岩类包括凝灰质砾岩、砂岩、粉砂岩等;正常沉积岩类包括长石砂岩、岩屑砂岩、粉砂岩、杂砾岩等。从火山岩的序列看,大石寨组下段以中基性喷发岩为主,中段以大规模的中性喷发岩为主,上段以中酸性英安岩为主,并出现少量粗面岩,总体上反映了一个大的喷发旋回^[72-73]。研究区东部以中基性火山岩为主,西部逐渐过渡为碎屑沉积岩,含腕足化石。达茂旗满都拉地区出露枕状玄武岩、块状玄武岩细碧—角斑岩、蚀变安山玄武岩夹硅质岩、绢云母板岩、凝灰质板岩,硅质岩中含放射虫。

在蒙古国境内相当于 Tomurtogoo^[8]所划分的 Sulin Heer 地体,位于伊林哈别尔尕—西拉木伦断裂带北侧,呈北东向展布,为一套推覆体,由无岩墙侵入的蛇绿岩碎块、具特提斯型早古生代动物化石残留的碳酸盐—火山成因混杂岩组成^[62,65,73]。岩性主要包括晚石炭世—早二叠世安山岩、玄武岩、凝灰岩、砂岩、砾岩、礁灰岩等。

⑤ I-10-1⁵ Sulinheer—满都拉—霍林郭勒晚古生代弧后盆地(C_2-P_3):位于 Sulinheer—达茂旗满

都拉—锡林浩特林西一线,直至科尔沁右翼中旗,出露广泛,呈北东向展布,主要出露地层为晚石炭世本巴图组(C_2bb)、早二叠世三面井组(P_{ism})、早二叠世寿山沟组(P_{iss})、中二叠世哲斯组(P_{iz})和晚二叠世林西组(P_{il})。本巴图组、三面井组、寿山沟组和哲斯组均为浅海相或滨浅海相岩性组合,主要出露炭质泥板岩、斑点状炭质板岩夹变质砂岩透镜体、生物屑泥晶灰岩、炭质钙质泥岩、泥质粉砂岩、含砾杂砂岩、复成分砾岩、细砾岩、含砾砂岩、含砾粉砂岩、介壳砂砾岩层、泥灰岩层等,含植物化石碎片。林西组为一套湖相、泻湖相砂板岩组合,岩性包括粉砂岩、粉砂质泥岩、粉砂质凝灰岩、晶屑凝灰岩夹安山岩、砂岩、泥灰岩,局部发育三角洲相沉积^[74]。

在蒙古国境内相当于Tomurtogoo^[8]所划分的Hutag Uul地体的西南部,位于二连—贺根山断裂以南的广大区域,北东向展布,为晚石炭世—中二叠世陆缘碎屑岩建造。主要岩性包括砾岩、复成分砂岩、粉砂岩、泥岩、砂质灰岩、砂质—粉砂质复理石、少量流纹质和英安质凝灰岩。

⑥ I-10-1⁶达茂旗—阿巴嘎旗晚古生代前陆盆地(S_3-D_1, C_2):分布于达茂旗北部,阿巴嘎旗西南部,出露面积较小,零星出露。出露地层包括晚志留世—早泥盆世长石砂岩建造的西别河组(S_3-D_{1x})和晚石炭世结晶灰岩—砂质灰岩—砾状灰岩建造的阿木山组(C_2a)。西别河组不整合于华北陆块北缘加里东造山带岛弧型沉积之上的第一个沉积盖层,由于古地形的影响,底部碎屑岩分选性差,是一种近源的快速堆积,具有明显的磨拉石建造特征,由一套稳定的被动大陆边缘沉积的滨浅海相陆源碎屑岩、生物碎屑灰岩及生物礁灰岩组成,富含珊瑚、腕足类、层孔虫等化石。阿木山组岩性包括含碎屑亮晶灰岩、结晶灰岩、泥灰岩、砂质灰岩、生物碎屑灰岩、砾状灰岩、鲕状灰岩、假鲕状灰岩为主夹钙质砂砾岩、杂砂岩、长石石英砂岩、板岩、砾岩等。

(2) I-10-2 托托尚—锡林浩特微陆块

该构造单元位于伊林哈别尔尕—西拉木伦断裂以北,二连—贺根山断裂以南,走向北东,主要出露元古宙构造单元,包括托托尚—锡林浩特元古宙微陆块和洪格尔中元古代拼贴带。

① I-10-2¹托托尚—锡林浩特元古宙微陆块(Pt_1-Pt_3):为中亚造山带中古老的岩石单元,被认为

是在元古宙时期从华北陆块分离出的块体^[75-76],或华北克拉通被动大陆边缘的组成部分。自东向西出露有锡林浩特杂岩、温都尔庙群和艾力格庙群。锡林浩特杂岩的时代归属问题尚有争议,部分学者认为锡林郭勒杂岩属于古元古代^[77-78];有学者^[79]认为该杂岩属于早古生代。该杂岩在研究区内只在苏尼特左旗中东部地区集中出露,主要岩性组合包括花岗片麻岩组合(XM_c^{ss})、混合岩组合(XM_c^m)、斜长片麻岩组合(XM_c^g)和石英岩组合(XM_c^q)。

在四子王旗北部—阿巴嘎旗一带出露温都尔庙群,下部为基性枕状熔岩,上部为绿泥(绢云)石英片岩、石英岩、大理岩、硅质岩及铁质层,区域变质作用为蓝闪片岩相—低绿片岩相。该群已获得的同位素年龄资料甚多,从目前资料看,北带的温都尔庙群属于中—新元古代,南带温都尔庙群可能属于新元古代,其中的变质火山岩系被认为是古蒙古洋中脊岩浆活动的产物^[76]。二连浩特西南艾力格庙地区的艾力格庙群为一套中浅变质岩系,下部以大理岩、结晶灰岩及流纹岩、变晶质凝灰岩为主,夹板岩、片岩、石英岩、变质砂岩,局部夹铁、锰矿层,原岩为酸性火山岩—碳酸盐岩、陆源碎屑岩。

在蒙古国境内相当于Tomurtogoo^[8]所划分的Hutag Uul地体的西南部元古宙地层,位于二连—贺根山断裂以南的广大地区,走向北东,为碳酸盐岩及绿片岩建造。主要岩性包括角闪片麻岩、片麻岩、斜长角闪岩、变质砂岩、片岩、石英岩、大理岩、片麻状花岗岩类等。

② I-10-2²洪格尔中元古代拼贴带(Pt_2):位于苏尼特左旗南部,近东西向展布,零星出露。主要岩性包括纯橄橄榄岩、辉石橄榄岩、辉绿玢岩、绿泥石英片岩、绿泥片岩、透闪阳起石片岩、绢云石英片岩、硅质岩、含铁石英岩,属于离散型大洋中脊蛇绿岩。

(3) I-10-3 宝音图地块(Pt_1)

该地块位于迭布斯格断裂东部,经乌拉特后旗西南部、西部直至乌拉特中旗的甘其毛都口岸南部地区,呈北东向展布。出露地层为古元古代宝音图岩群(Pt_1B)的一套石英片岩建造,上部为云英片岩、石英岩、角闪变粒岩、斜长角闪片岩、大理岩,中部为石榴二云石英片岩、石榴白云片岩,下部为石英岩、变粒岩、绢云石英片岩,底部为二云母片岩、云母石英岩、绿泥片岩。原岩主要为陆源碎屑岩夹火

山岩,层位稳定、韵律清晰,为低绿片岩相—高绿片岩相—低角闪岩相的递进变质序列。

(4) I-10-4 索伦山结合带

该构造单元是 Sulinheer—满都拉—霍林郭勒弧盆系和华北陆块北缘的分界线,位于 Sulinheer—满都拉—林西一线,出露零星的晚古生代蛇绿岩,在达茂旗北部满都拉、索伦敖包、乌珠尔、哈尔陶勒盖、松多尔及蒙古 Sulinheer 地区出露面积较大,划分出 Sulinheer—索伦山晚古生代蛇绿混杂岩块。

I-10-4¹ Sulinheer—索伦山晚古生代蛇绿混杂岩块(P₁):形成于晚古生代主动大陆边缘环境,位于达茂旗北部的中蒙边境索伦山—蒙古 Sulinheer 地区,零星出露,呈近东西向带状分布。主要由早二叠世层位不全的破碎的或肢解的蛇绿岩经构造混杂而成。基质由受构造剪切的蛇纹质和碎裂凝灰质板岩组成,岩块为大小不等、形态各异的超镁铁质岩、辉长岩、镁铁质火山岩、硅质岩、斜长花岗岩等。蛇绿混杂岩块包括变质橄榄岩、橄榄辉长岩、细粒辉长岩、细粒角闪辉长岩、块状玄武岩、枕状玄武岩和凝灰岩。地球化学分析结果表明,变质橄榄岩具有低 Cr、Ti、Ca 和高 Mg 的特征, MgO/(MgO+FeO) 值为 0.86~0.89,稀土元素总量极低,轻稀土元素明显富集,具正 Eu 异常^[80]。镁铁质火山岩具有洋中脊玄武岩(MORB)的特征,在满都拉地区的辉长岩和斜长花岗岩的锆石 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄分别为 284.0±4.0Ma 和 288.0±6.0Ma^[81-82]。

2.2 塔里木—华北陆块

2.2.1 II-1 塔里木陆块

本文仅涉及塔里木陆块中的 II-1-1 敦煌陆块,包括 II-1-1¹敦煌古陆块(Ar₃-Pt₃)和 II-1-1²笔架山柳园裂谷带(ε₁-S₃)2个Ⅳ级构造单元。

(1) II-1-1¹敦煌古陆块(Ar₃-Pt₃):主要分布于星星峡—牛圈子一带地区,由新太古代盐池东角闪岩(Ar₃Y)和黄石岭大理岩(Ar₃H)、新太古代—古元古代小红山片麻岩套(ArPtgn)、中元古代的古铜井群(ChG)和长城系星星峡群(ChX),以及新元古代平头山组(Jxp)和大豁落山组(Qbd)构成。

盐池东角闪岩(Ar₃Y)为斜长角闪岩—黑云斜长变粒岩变质建造;黄石岭大理岩(Ar₃H)为厚层大理岩变质建造和斜长角闪岩—黑云斜长变粒岩变质建造;小红山片麻岩套(ArPtgn)为变质钙碱性系列中酸性侵入岩系(MCA),岩性组合为黑云斜长片麻

岩、黑云更长片麻岩、二云斜长片麻岩和含石榴子石黑云更长片麻岩。

长城系古铜井群(ChG)主要分布于北山南带的金塔县鸡心山、铅炉子沟,肃北县金庙沟—咸水井东南,玉门镇北早峡山及北山中带的星星峡、白湖南等地,向西延入新疆,向东伸至内蒙古额济纳旗^[83]。为石英砂岩—长石石英砂岩—粉砂岩—泥质粉砂岩建造。

中元古代蓟县系平头山组(Jxp)主要分布于甘肃罗雅楚山、平头山、双鹰山、小马鬃山、大豁落山等地。横向上岩性较稳定,但厚度变化较大,在内蒙古额济纳旗望旭山西南厚 4164m,碎屑岩增多;在甘肃金塔县大红山及新疆穹塔格一带,以含叠层石白云岩为主,为一套碳酸盐岩夹碎屑岩建造;底部与下伏长城系古铜井群呈假整合接触,区域上多为整合接触,个别地段可见不整合接触。

新元古代青白口系大豁落山组(Qbd)分布广泛,西起甘肃、新疆交界的方山口、大泉,向东经泽鲁木、大红山、平头山、大豁落山至梧桐井一带,并向东延到内蒙额济纳旗地区。其厚度变化较大,岩性也有些变化:上部为含铁碎屑岩建造,绢云绿泥千枚岩、磁铁石英岩、磁铁矿层、黑云石英片岩、二云绿泥千枚岩;下部为白云质大理岩建造和变质砂岩—石英岩(硅质岩)建造,灰质白云岩、白云质大理岩夹片岩、灰质白云岩夹碎屑岩(变长石石英砂岩、石英岩、硅质板岩、砾岩等);普遍含叠层石大礁体,叠层石以 *Gymnosolen*, *Linella*, *Boxonia* 组合为代表按层分布;时代相当于 1978 年苏联在里菲界顶部建立的库达什系(表 1),同位素年龄上界为 690~680±20Ma,下界为 700~720Ma。

(2) II-1-1²笔架山柳园裂谷带(ε-O):主要分布于马莲井—牛圈子一带地区,岩石建造主要由寒武纪西双鹰山组(ε_{2-3x})杂砂质石英砂岩—砾状碎屑灰岩夹硅质岩和长石砂岩建造,双鹰山组(ε_{1s})粉砂岩—长石质杂砂岩—长石石英砂岩夹灰岩和白云岩建造和破城山组(ε_{1p})硅质板岩—砂岩建造和碳酸盐岩建造构成。奥陶系主要为罗雅楚山组(O_{1-3l})长石石英砂岩—粉砂岩—粉砂质泥岩夹硅质岩建造、粉砂质泥岩—泥岩—灰岩夹硅质岩建造和咸水湖组(O_{3x})基性—酸性火山岩及碎屑岩建造局部夹结晶灰岩。

2.2.2 II-2 华北陆块

华北陆块为前寒武纪克拉通,具有与国际其他

前寒武纪克拉通基本相似的特征。经历了太古宙—元古宙的演化,在太古宙时期喷发火山岩由基性到中基性,陆源沉积物由薄到厚。古元古代陆核经历了拉张裂陷—闭合抬升及大量花岗岩体的侵入,吕梁运动使初期分裂的陆核重新拼接,并使地壳进一步固结。中元古代是裂陷槽发育阶段,在华北陆块范围内形成燕山海槽、豫西陆棚海和胶辽深海槽3个沉积区,沉积层巨厚,达上千米,且有成熟度较高的陆源碎屑(石英砂岩—碳酸盐—泥质岩)沉积。中元古代末期(1Ga)的芹峪运动使华北地区整体抬升,至新元古代沉积范围缩小,青白口群无火山物质,厚度变薄,属真正的稳定类型沉积。中、新元古界之间为平行不整合接触,代表华北陆块最终形成。

(1) II-2-1 华北陆块北缘

该构造单元出露于中国境内的乌拉特中旗—白云鄂博—太仆寺旗一线,主要包括乌拉山—色尔腾山古陆块和白云鄂博元古代陆缘裂谷。

① II-2-1' 乌拉山—色尔腾山古陆块(Ar_2 — Ar_3):该太古宙基底杂岩位于研究区南部,主要包括乌拉山岩群桃儿湾组(Ar_2t^m)、色尔腾山岩群东五分子岩组(Ar_3d^r)、柳树沟岩组(Ar_3f^r)和点力素泰岩组(Ar_3dl^m)^[84]。乌拉山岩群主要出露于乌拉山地区,渣尔泰山和狼山也有零星出露,是组成该区太古宙—古元古代基底隆起的主要地质体,为一套层状无序的构造—岩石地层单位,属于巨型浅海相火山—沉积建造(含桃儿湾岩组)。乌拉山岩群桃儿湾组岩性主要为含硅镁石、金云母白云石大理岩、蛇纹石化(金云母)透辉橄榄大理岩、蛇纹石化硅镁石大理岩夹石榴斜长变粒岩、矽线榴石黑云斜长片麻岩、透闪石岩。原岩为基性—中基性火山岩、杂砂岩夹硅铁质岩及碳酸盐岩。在包头地区,乌拉山岩群内产出乌拉山大型金矿床。色尔腾山岩群以基性火山岩喷发为主,夹有陆源和火山碎屑岩的沉积,其原始沉积环境为海相还原环境。色尔腾山岩群以产出三合明等大型沉积变质型铁矿和绿岩带型金矿床为特征。

② II-2-1² 白云鄂博元古宙陆缘裂谷(Pt_1 — Pt_3):在准盖层沉积区域沿乌拉特中旗、白云鄂博、四子王旗、商都、太仆寺旗一线分布,总体呈近东西向带状展布,长约600km,南北宽20~50km。白云鄂博群为一套碎屑岩、碳酸盐岩建造,夹有板岩及少量火山岩,浅变质或未变质。根据沉积旋回和岩石

组合自下而上可划分为长城系都拉哈拉组(Chd)、尖山组(Chj)、蓟县系哈拉霍圪特组(Jxh)、比鲁特组(Jxb)、青白口系白音布拉格组($Qbby$)和呼吉尔图组(Qbh)。

白云鄂博群都拉哈拉组主要为变质中粗粒(含砾)长石石英砂岩、变质石英砂岩、石英岩夹粉砂质板岩、粉砂岩;尖山组主要为泥质粉砂质板岩、含炭绢云母千枚状板岩、变质长石石英砂岩夹变质石英砂岩;哈拉霍圪特组主要为变质石英砂岩、含砾变质石英砂岩夹板岩、炭质灰岩、亮晶碳酸盐岩夹钙质砂岩及板岩;比鲁特组主要为炭质板岩、硅质板岩、含红柱石绢云母千枚岩夹变质石英砂岩;白音布拉格组主要为石英岩、变质石英砂岩、斑点状褐云母千枚岩夹泥灰岩、板岩含石榴二云母石英片岩、电气石红柱石二云母石英片岩、电气石石榴子石二云母片岩与变质石英砂岩或变质长石石英砂岩不等厚互层,在补力太西南部靠近四子王旗附近,岩性变为变质石英砂岩、石英岩、绢云石英片岩夹少量变质长石石英砂岩;呼吉尔图组主要为变质石英砂岩夹石英岩、灰岩透镜体、红柱石角岩、结晶灰岩、变质石英砂岩及板岩^[85]。白云鄂博群以赋存白云鄂博超大型铁铌稀土矿床而闻名于世。

3 结 论

(1)本文首次将中蒙边界地区分属于中国和蒙古国的构造单元进行了无缝对接。提出Ⅰ级构造单元阿尔泰—兴蒙造山系和塔里木—华北陆块区。并新厘定出阿拉善迭布斯格断裂与蒙古东蒙古断裂为同一条断裂。

(2)阿尔泰—兴蒙造山系又细分出10个Ⅱ级、27个Ⅲ级和69个Ⅳ级构造单元,在部分Ⅳ级构造单元中还划分出13个Ⅴ级构造单元。塔里木—华北陆块部分细分出2个Ⅱ级、2个Ⅲ级和4个Ⅳ级构造单元。这为该区成矿区带的划分和成矿规律的研究提供了重要依据。

(3)在蒙古国的戈壁天山岛弧(D-C)产出著名的Oyu Tolgoi-Tsagaan Suvarga斑岩型铜矿带。从本文划分的构造单元看,蒙古国的戈壁天山岛弧与中国的哈尔力克—大南湖岛弧带、北山构造带同属于(东天山)—北山—戈壁天山弧盆系,指示该类型斑岩型铜矿带的延伸方向是向西,而不是向东。

致谢: 本文是在中国地质大学(北京)翟裕生、中国地质科学院任纪舜院士的鼓励下,承蒙中国地质调查局肖庆辉、叶天竺、严光生、连长云,成都地质调查中心潘桂棠,中国地质科学院李锦轶、聂凤军,天津地质调查中心沈宝丰、陆松年等专家和领导的指导和帮助,在中蒙政府间第一个地质合作项目《中蒙边界地区系列地质图件编制及相关地质研究》项目组成员的通力合作下完成的,在此致以衷心的感谢。

参考文献

- [1] Sengör A M C, Natal'in B A, Burtman V S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature*, 1993, 364: 299–307.
- [2] Sengör A M C, Özeren S, Genc T, et al. East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure[J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(24): 1–4.
- [3] Coleman R G. Continental growth of northwest China[J]. *Tectonics*, 1989, 8(3): 621–635.
- [4] Jahn B M, Capdevila R, Liu D Y, et al. G., Sources of Phanerozoic granitoids in Mongolia: geochemical and Nd isotopic evidence, and implications for Phanerozoic crustal growth[J]. *J. Asian Earth Sci.*, 2004, 23: 629–653.
- [5] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. *中国地质*, 2009, 36(1): 1–28.
- [6] 叶天竺, 张智勇, 肖庆辉, 等. 成矿地质背景研究技术要求[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 4–9.
- [7] 李春昱, 王荃, 等. 亚洲大地构造图说明书[M]. 北京: 地质出版社, 1982.
- [8] Tomurtogoo O. "Tectonic framework of Mongolia." Structural and Tectonic Correlation Across the Central Asian Orogenic Collage: Implications for Continental Growth and Intracontinental Deformation[M]. Mongolian University of Science and Tectonology Press: Ulaanbaatar, 2006: 18–20.
- [9] 胡霁琴, 韦刚健, 邓文峰, 等. 阿尔泰山地区青河县西南片麻岩中锆石 SHRIMP U–Pb 定年及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2006, 22(1): 1–10.
- [10] 胡霁琴, 张国新, 张前锋, 等. 阿尔泰山造山带变质岩系时代问题的讨论[J]. *地质科学*, 2004, 37(2): 129–142.
- [11] Ruzhentsev S V, Aristov V A, Minina O R, et al. Hercynides of the Ikat-Bagdarin zone in Transbaikalia[J]. *Doklady Earth Sciences*, 2007, 417(1): 1198–1201.
- [12] 中国地层典. 奥陶系分册[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [13] 何国琦, 李茂松, 贾进斗, 等. 论新疆东准噶尔蛇绿岩的时代及其意义[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2001, 37(6): 852–858.
- [14] 刘伟, 张湘炳. 乌伦古—斋桑泊构造杂岩带特征及其地质意义[C]//涂光炽, 主编. 新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社, 1993: 217–228.
- [15] 黄莹, 金成伟, 孙宝山, 等. 新疆阿尔曼太蛇绿岩时代的 Nd、Sr 同位素研究[J]. *岩石学报*, 1997, 13(1): 85–91.
- [16] 肖文交, Windley B F, 阎全人, 等. 北疆地区阿尔曼太蛇绿岩锆石 SHRIMP 年龄及其大地构造意义[J]. *地质学报*, 2006, 80(1): 32–37.
- [17] 舒良树, 王玉净. 新疆卡拉麦里蛇绿岩带中硅质岩的放射虫化石[J]. *地质评论*, 2003, 49(4): 108–413.
- [18] 唐红峰, 苏玉平, 刘丛强, 等. 新疆北部卡拉麦里斜长花岗岩的锆石 U–Pb 年龄及其构造意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2007, 31(1): 110–117.
- [19] 姜常义, 姜寒冰, 叶书锋, 等. 新疆库鲁克塔格地区二叠纪脉岩群岩石地球化学特征, Nd、Sr、Pb 同位素组成与岩石成因[J]. *地质学报*, 2006, 79(6): 823–833.
- [20] 胡冰, 王景斌, 高振家, 等. 新疆大地构造的几个问题[J]. *地质学报*, 1964, 44(2): 156–169.
- [21] 吴庆福. 准噶尔盆地发育阶段、构造单元划分及局部构造成因概论[J]. *新疆石油地质*, 1986, 7(1): 29–37.
- [22] 江远达. 关于准噶尔地区基底问题的初步探讨[J]. *新疆地质*, 1984, 2(1): 11–16.
- [23] 周玉泉. 走滑断层研究的某些重大进展[J]. *世界石油科学*, 1994, (1): 20–25.
- [24] 袁学诚. 论中国大陆基底构造[J]. *地球物理学报*, 1995, 38(4): 448–459.
- [25] 彭希龄. 准噶尔盆地早古生代陆壳存在的证据[J]. *新疆石油地质*, 1994, (4): 289–297.
- [26] 高金汉, 王训练, 傅国斌, 等. 相对海平面变化对腕足动物群落取代的影响——以吐哈盆地北缘桃西沟上石炭统祁家沟组—奥尔特组剖面为例[J]. *现代地质*, 2004, 18(3): 290–296.
- [27] Ruzhentsev S V, Badarch H, Voznesenskaya T A. Tectonics of the Trans-Altai Zone of Mongolia (The Gurvansaykhan and Dzolen Ranges)[J]. *Geotectonics*, 1985, 19(4): 276–284.
- [28] Voznesenskaya E V, Gamaley Y V. The ultrastructural characteristics of leaf types with *Kranzanatomy*[J]. *Bot. Zh.*, 1986, 71: 1291–1307.
- [29] 张义, 聂凤军, 江思宏, 等. 中蒙边境欧玉陶勒盖大型铜—金矿床的发现及对找矿勘查工作的启示[J]. *地质通报*, 2003, 22(9): 708–712.
- [30] Lamb M A, Badarch G. Paleozoic sedimentary basins and volcanic arc systems of southern Mongolia: new geochemical and petrographic constraints[C]//Hendrix M S, Davis G A. Geological Society of America (GSA), Boulder, CO, 2001: 117–149.
- [31] Watanabe Y, Stein H J. Re–Os ages for the Erdenet and Tsagaan-Suvarga porphyry Cu–Mo deposits, Mongolia, and tectonic impli-

- cations[J]. *Economic Geology*, 2000, 95(7): 1537–1542.
- [32] Kirwin D J, Forster C N, Kavalieris I, et al. The Oyu Tolgoi copper–gold deposit, South Gobi, Mongolia[C]//Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J. *Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits. IAGOD Guidebook Series 11*, London, 2005: 155–174.
- [33] 张德润. 新疆东部地区大地构造问题探讨[J]. *新疆地质*, 1990, 8(2): 99–106.
- [34] 胡受奚, 郭继春, 顾连兴, 等. 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[C]//新疆地质科学(第1辑). 北京:地质出版社, 1990: 32–46.
- [35] 曹福根, 张玉萍, 李艳, 等. 新疆哈密沁城一带南华系青石峡组地质特征及意义[J]. *新疆地质*, 2009, 27(4): 303–307.
- [36] 田纹全, 王璞珺, 李嵩龄, 等. 新疆东天山哈密五堡地区中奥陶世大柳沟组火山岩岩石学和地球化学特征[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2005, 35(3): 295–301.
- [37] 胡霁琴, 章振根, 刘菊英, 等. 天山东段中天山隆起带前寒武纪变质岩系时代及演化——据 U–Pb 年代学研究[J]. *地球化学*, 1986, 15(1): 23–35.
- [38] 代文军, 龚全胜. 甘肃北山“勒巴泉群”的解体及地质意义[J]. *甘肃地质学报*, 2000, 9(1): 23–29.
- [39] 俞伯达. 关于甘肃长城纪地层划分的新认识[J]. *甘肃地质学报*, 1997, 6(1): 23–29.
- [40] 王立社, 杨建国, 王育习, 等. 甘肃北山营毛沱地区公婆泉群中玄武岩同位素定年及其地质意义[J]. *地球学报*, 2009, 30(3): 363–368.
- [41] 唐治乾. 甘肃公婆泉铜矿古火山口控矿特征及找矿意义[J]. *矿产与地质*, 1990, 5(6): 11–17.
- [42] 江思宏, 聂凤军, 刘妍, 等. 北山公婆泉斑岩型铜矿床地球化学特征研究[J]. *地质地球化学*, 2002, 30(2): 25–33.
- [43] 任秉琛, 何世平, 姚文光, 等. 甘肃北山牛圈子蛇绿岩铷锶同位素年龄及其大地构造意义[J]. *西北地质*, 2001, 34(2): 21–27.
- [44] 左国朝, 何国琦. 北山板块构造及成矿规律[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 6–167.
- [45] 郭召杰, 史宏宇, 张志诚, 等. 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[J]. *岩石学报*, 2006, 22(1): 95–102.
- [46] 王立社, 杨建国, 谢春林, 等. 甘肃北山火石山地区早古生代蛇绿混杂岩的发现及其地质意义[J]. *现代地质*, 2007, 21(3): 451–456.
- [47] 杨合群, 李英, 李文明, 等. 北山成矿构造背景概论[J]. *西北地质*, 2008, 41(1): 22–28.
- [48] Kozakov, Konstantinovich I. Precambrian infrastructural complexes of the Mongolian paleozooids[J]. *Leningrad, Izdatel'stvo Nauka*, 1986: 144.
- [49] 王涛, 郑亚东, Gehrels G E, 等. 南蒙微大陆存在的年代学证据: 亚干—翁奇海—罕核杂岩花岗质片麻岩的锆石 U–Pb 年龄[J]. *科学通报*, 2001, 46(14): 1220–1223.
- [50] Webb L E, Graham S A, Johnson C L, et al. Occurrence, age, and implications of the Yagan–OnchHayrhan metamorphic core complex, southern Mongolia [J]. *Geology*, 1999, 27(2): 143–146.
- [51] 张国英. 新疆北山黑石山地区下泥盆统大南湖组地层的发现[J]. *地层学杂志*, 2006, 30(4): 347–350.
- [52] 左国朝, 李茂松, 等. 甘肃北山地区早古生代岩石圈形成与演化[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1996.
- [53] 苗来成, 刘敦一, 张福勤, 等. 大兴安岭韩家园子和新林地区兴华渡口群和扎兰屯群锆石 SHRIMP U–Pb 年龄[J]. *科学通报*, 2007, 52(5): 591–601.
- [54] 吕志成, 段国正, 郝立波, 等. 大兴安岭中段二叠系大石寨组细碧岩的岩石学地球化学特征及其成因探讨[J]. *岩石学报*, 2002, 18(2): 212–222.
- [55] 吕志成, 段国正, 郝立波, 等. 佳疙瘩组变碎屑岩地球化学特征及古构造环境[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2002, 32(2): 111–115.
- [56] 唐文龙, 李俊建, 王国明. 中蒙边境及邻区典型斑岩型铜矿地球化学特征概述[J]. *地质调查与研究*, 2009, 32(2): 98–104.
- [57] 黄永卫, 刘扬, 王喜臣, 等. 黑龙江北部多宝山矿区奥陶系的岩石特征和构造意义[J]. *地质科学*, 2009, (1): 245–256.
- [58] 苏养正, 谷峰. 黑龙江省东部密山地区早石炭世早期北兴组腕足动物[J]. *沈阳地质矿产研究所所刊*, 1987, 15: 145–155.
- [59] 苏养正. 内蒙古草原地区层的古生代地层[J]. *吉林地质*, 1996, 15(3): 42–54.
- [60] 苏养正. 中国东北区二叠纪和早三叠世地层[J]. *吉林地质*, 1996, 15(3): 55–65.
- [61] 张研. 北山地区早二叠世“哲斯动物群”特征[J]. *甘肃地质学报*, 1995, 4(1): 14–20.
- [62] Ruzhentsev S V, Pospelov I I. The south Mongolian Variscan fold system[J]. *Geotectonics*, 1992, 26(5): 383–395.
- [63] Tomurtogoo O. Ophiolites and formation of the folded areas of Mongolia[D]. PhD Thesis, Moscow University, Moscow, 1989.
- [64] Tomurtogoo O. Tectonic Map of Mongolia at Scale 1:1000000[J]. Ulaanbaatar, Mineral Resources Authority of Mongolia, Mongolian Academy of Sciences, 2002.
- [65] Tomurtogoo O, Byamba J, Badarch G, et al. Geological Map of Mongolia, 1:1000000[J]. Mongolian Academy of Sciences, Institute of Geology and Mineral Resources, Mineral Resources Authority of Mongolia, 1999.
- [66] 梁日暄. 内蒙古中段蛇绿岩特征及地质意义[J]. *中国区域地质*, 1994, (1): 37–44.
- [67] 包志伟, 陈森煌. 内蒙古贺根山地区蛇绿岩稀土元素和 Sm–Nd 同位素研究[J]. *地球化学*, 1994, 23(4): 339–349.
- [68] Miao L, Fan W, Liu D, et al. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: Implications for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia–Daxinganling Orogenic

- Belt, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32(5): 348–370.
- [69] Jian P, Kröner A, Windley B F, et al. Carboniferous and Cretaceous mafic–ultramafic massifs in Inner Mongolia (China): A SHRIMP zircon and geochemical study of the previously presumed integral “Hegenshan ophiolite”[J]. Lithos, 2012, 142: 48–66.
- [70] 刘建峰. 内蒙古林西—东乌旗地区晚古生代岩浆作用及其对区域构造演化的制约[D]. 吉林大学博士学位论文, 2009.
- [71] Ruzhentsev S V, Pospelov I I, Badarch G. Tectonics of the Mongolian indosinides[J]. Geotectonics, 1989, 23(6): 476–487.
- [72] 蒋干清, 徐元恺. 内蒙古苏尼特左旗下二叠统大石寨组作用相与环境相序列演化[J]. 现代地质, 1995, 9(2): 170–178.
- [73] 李伟, 韩雪, 杜波, 等. 内蒙古赤峰市巴林右旗中二叠统大石寨组地质特征[J]. 内蒙古科技与经济, 2009, (24): 45–46.
- [74] Dergunov A B. Tectonics, magmatism, and metallogeny of Mongolia[M]. Routledge, London, 2001: 15–50.
- [75] Gordienko I V. Correlation of Pre-Jurassic sections of ancient continents and microcontinents in East Asia[J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 1996, 13(3): 215–221.
- [76] 聂凤军, 裴荣富, 吴良士, 等. 内蒙古别鲁乌图晚古生代火山岩 Sm–Nd 同位素研究[J]. 岩石矿物学杂志, 1994, 13(4): 289–294.
- [77] 徐备, 陈斌. 内蒙古北部华北板块与西伯利亚板块之间中生代造山带的结构及演化[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(3): 227–232.
- [78] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [79] 施光海, 刘敦一, 张福勤, 等. 中国内蒙古锡林郭勒杂岩 SHRIMP 锆石 U–Pb 年代学及意义[J]. 科学通报, 2003, 48(20): 2187–2192.
- [80] 陶继雄, 苏茂荣, 宝音乌力吉, 等. 内蒙古达尔罕茂明安联合旗满都拉地区索伦山蛇绿混杂岩的特征及构造意义[J]. 地质通报, 2004, 12: 1238–1242.
- [81] Jian P, Liu D Y, Kröner A, et al. Evolution of a Permian intraoceanic arc–trench system in the Solonker suture zone, Central Asian Orogenic Belt, China and Mongolia[J]. Lithos, 2010, 118: 169–190.
- [82] Jian P, Liu D Y, Kröner A, et al. Time scale of an early to mid-Paleozoic orogenic cycle of the long-lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: Implications for continental growth[J]. Lithos, 2008, 101(3/4): 233–259.
- [83] 俞伯达. 关于甘肃长城纪地层划分的新认识[J]. 甘肃地质学报, 1997, 6(1): 1–15.
- [84] 李好斌. 内蒙古中部大滩—四子王旗—召河庙构造岩带特征及意义[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2007.
- [85] 李俊建, 等. 华北陆块主要成矿区带成矿规律和找矿方向[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 2006.
- ① 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆北部及邻区构造建造图说明书, 1995.
- ② 新疆维吾尔自治区地质调查院. 新疆维吾尔自治区 1:25 万冲乎尔幅、可可托海镇幅、冲乎尔幅和青河县幅建造构造图, 2012.
- ③ 新疆维吾尔自治区地质调查院. 新疆维吾尔自治区 1:25 万可可托海镇幅和青河县幅建造构造图, 2012.
- ④ 李俊建, 张连营, 刘晓阳, 等. 内蒙古二连—东乌旗成矿带铜矿找矿方向研究报告, 2005.