

doi: 10.12029/gc20190312

赵磊, 牛宝贵, 徐芹芹, 杨亚琦. 2019. 新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩带两侧志留—石炭系沉积和构造特征分析及其意义[J]. 中国地质, 46(3): 615–628.

Zhao Lei, Niu Baogui, Xu Qinqin, Yang Yaqi. 2019. An analysis of Silurian–Carboniferous sedimentary and structural characteristics on both sides of Karamaili ophiolitic belt of Xinjiang and its significance[J]. *Geology in China*, 46(3): 615–628(in Chinese with English abstract).

## 新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩带两侧志留系—石炭系沉积和构造特征分析及其意义

赵磊, 牛宝贵, 徐芹芹, 杨亚琦

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

**摘要:**卡拉麦里蛇绿岩带位于新疆准噶尔盆地东北缘, 查明卡拉麦里蛇绿岩所代表的古洋盆形成和闭合时代, 是新疆东准噶尔乃至古亚洲洋演化历史的关键地质问题之一。本文通过对蛇绿岩带两侧志留—石炭系的岩石组合、结构构造、接触关系以及生物化石等沉积—构造特征的对比分析, 揭示卡拉麦里构造带古生代的构造演化。在卡拉麦里蛇绿岩带北侧, 广泛发育上志留统、下泥盆统与中—上奥陶统和加里东期花岗岩的角度不整合, 普遍缺失下志留统, 不整合面之下的奥陶系为变质达绿片岩相的安山岩为主, 而在蛇绿岩带南北两侧的中、上志留统一泥盆系—下石炭统沉积体系特征相似, 可以对比: 地层间整合接触, 产状平缓, 褶皱、断裂构造和变质作用均不发育, 主要为开阔的短轴背斜、向斜, 与卡拉麦里蛇绿混杂岩带中的强变形构造明显不同; 岩石组合都以火山碎屑岩为主, 多见交错层理等沉积构造, 产门类众多的动植物化石, 反映了滨—浅海相的沉积环境。以上说明, 卡拉麦里构造带晚古生代并不存在一个开阔的大洋, 卡拉麦里蛇绿岩所代表的古洋盆在中志留世之前已经闭合。

**关键词:**东准噶尔; 卡拉麦里; 不整合; 沉积—构造特征; 古亚洲洋

**中图分类号:** P588.2; P54      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000–3657(2019)03–0615–14

## An analysis of Silurian–Carboniferous sedimentary and structural characteristics on both sides of Karamaili ophiolitic belt of Xinjiang and its significance

ZHAO Lei, NIU Baogui, XU Qinqin, YANG Yaqi

(*Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*)

**Abstract:** The Karamaili ophiolite belt is located on the northeastern margin of Junggar Basin, which is a very important tectonic unit in northern Xinjiang and Central Asia area. The evolution of Karamaili oceanic basin remains controversial due to hot–debated issues on the ages and characteristics of Karamaili ophiolite. This study focuses on the Paleozoic tectonic setting in the Karamaili tectonic zone revealed by a comparative study of the Silurian–Carboniferous tectono–sedimentation on its north and south sides. To

收稿日期: 2017–01–07; 改回日期: 2017–06–26

基金项目: 国家自然科学基金项目(41572206)及中国地质调查局地质调查项目(121201102000150009)联合资助。

作者简介: 赵磊, 男, 1979年生, 副研究员, 主要从事区域大地构造研究; E-mail: jleiz@163.com。

the north of the Karamaili ophiolitic belt, the angular unconformities are widely developed between Upper Silurian, Lower Devonian and underlying Middle–Upper Ordovician strata and Caledonian granitoids. The Lower Silurian strata are generally absent and the underlying Middle–Upper Ordovician strata mainly consist of andesite with greenschist facies. The Middle, Upper Silurian–Devonian–Lower Carboniferous sedimentary deposition system to the north of Karamaili ophiolitic belt is similar to that to the south, including conformable contact, flat occurrence and undeveloped folds, faults and metamorphism. Anticlines or synclines are mainly of short axis, which is apparently different from strong deformation shown in the Karamaili ophiolitic mélange. Besides, pyroclastics–dominated rock associations, widely existent inclined beddings and cross–beddings and abundant kinds of animals and plants fossils indicate a littoral–shallow marine environment. Therefore, during Late Paleozoic, no ocean existed in the Karamaili tectonic zone and the oceanic basin represented by the Karamaili ophiolitic mélange had been closed before Middle Silurian.

**Key words:** East Junggar; Karamaili; angular unconformity; tectono–sedimentation; Paleo–Asian Ocean

**About the first author:** ZHAO Lei, male, born in 1979, associate researcher, majors in regional tectonics; E–mail: jleiz@163.com.

**Found support:** Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41572206) and China Geological Survey Program (No. 121201102000150009).

## 1 引 言

新疆准噶尔地块可以划分为西准噶尔地体、准噶尔盆地和东准噶尔地体3个组成部分(Windley et al., 2007), 由于复杂的构造演化过程, 东准噶尔地体及其邻区成为近年来地学研究的热点地区之一(李锦轶等, 1990a; 李锦轶, 1995; 何国琦等, 2001; 舒良树等, 2001; Xiao et al., 2004, 2008, 2009; 林锦富等, 2008; 孙敏等, 2009; 王军等, 2010; Long et al., 2012; 黄岗等, 2013; Xu et al., 2013; Zhang et al., 2013; 聂晓勇, 2016)。

卡拉麦里蛇绿岩带位于新疆东准噶尔地体的西段, 查明卡拉麦里蛇绿岩所代表的古洋盆形成和闭合时代, 是新疆东准噶尔乃至古亚洲洋演化历史的关键地质问题之一。何国琦等(2001)认为该蛇绿岩的形成时代与北部阿尔曼泰蛇绿岩的形成时代相近, 洋盆从新元古代晚期开始发育, 扩张时期为寒武纪, 奥陶纪—早志留世为俯冲闭合时期; 李锦轶等(1990b, 2009)则根据地层资料认为该蛇绿岩是志留纪末期至泥盆纪初期形成的弧后盆地洋壳残片, 蛇绿岩被石炭系南明水组(维宪阶)不整合覆盖, 该洋盆闭合于维宪阶之前(李锦轶等, 1989; 李锦轶, 1995); 石炭纪火山岩的研究支持该地区后碰撞伸展环境起始于晚石炭世早期(Su et al., 2012; Li et al., 2014); 吴润江等(2009)依据后碰撞期形成的巴塔玛依内山组火山岩年龄为(350±6)Ma(赵霞等, 2008; 谭佳奕等, 2009), 及该套火山岩地层与下伏磨拉石建造以高角度不整合相接触, 从而认为该

洋盆至少在早石炭世杜内阶就已经闭合。同时, 蛇绿岩带中含有泥盆纪末期和早石炭世的放射虫化石(舒良树等, 2003)以及496 Ma(Jian et al., 2005)、416 Ma(黄岗等, 2012)、403 Ma(黄岗等, 2017)和373 Ma(唐红峰等, 2007)等同位素年龄数据报道。

由此可见, 前人对于该区古洋盆的演化, 多集中于卡拉麦里蛇绿岩带的年代学研究。而近几年, 新疆地质调查院在卡拉麦里地区开展了多幅1:5万<sup>●</sup>和1:25万<sup>●</sup>的地质填图工作, 取得系列重要发现, 如上泥盆统克安库都克组不整合覆盖在卡拉麦里蛇绿岩之上等, 说明洋盆在晚泥盆世之前已经闭合。本文也是以区域地质的实际材料为基础, 在卡拉麦里构造带内蛇绿岩的南北两侧, 选取古生代地层连续出露、界线清晰的剖面路线, 进行沉积和构造特征的分析, 尝试从不同角度探讨该区古洋盆的发展演化过程, 以期重新认识卡拉麦里构造带的性质。

## 2 区域地质特征

卡拉麦里构造带自准噶尔盆地东部边缘的滴水泉, 向西被准噶尔盆地沙漠所盖, 向东南呈280°方向纵贯卡拉麦里—红柳峡蛇绿岩带, 延伸至莫钦乌拉山脉南侧(图1)。本文的研究区域主要位于构造带中段蛇绿岩带北侧的纸房地区和构造带西段蛇绿岩带南侧的将军庙以北地区。研究区主要出露的古生代地层为奥陶系、志留系、泥盆系和石炭系。

奥陶系中—上统荒草坡群是目前区内发现的最老地层, 仅出现于断裂带北侧(图2a), 为一套中—

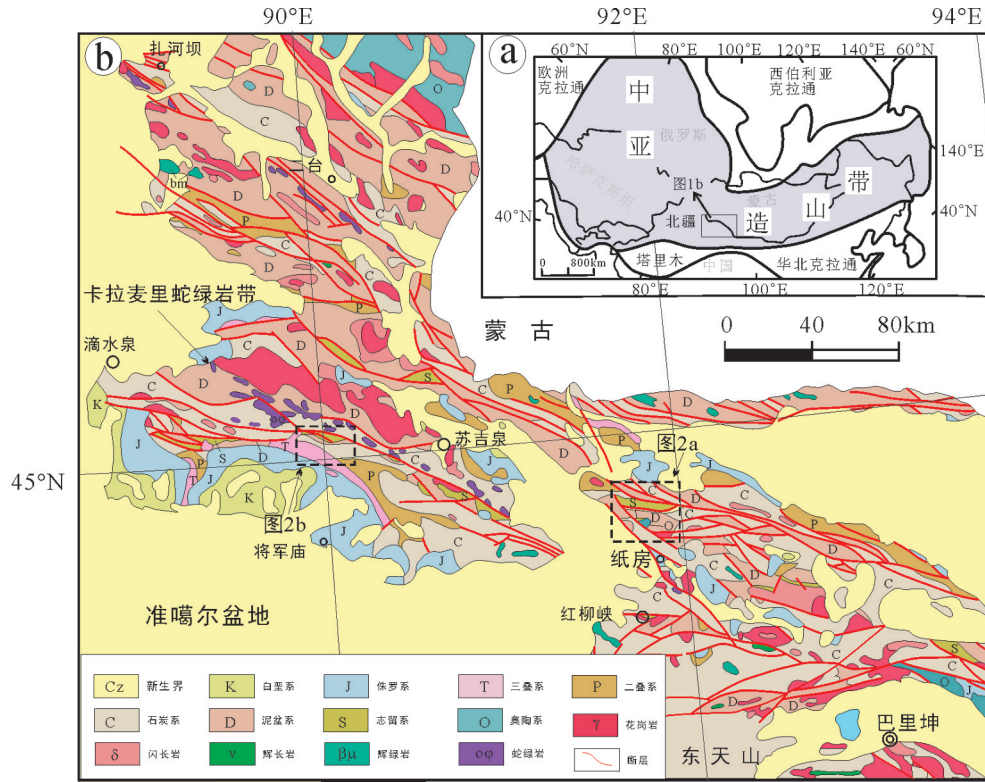


图1 新疆东准噶尔卡拉麦里构造带地质简图  
a—中亚构造区划图(据 Jahn, 2004); b—新疆东准噶尔卡拉麦里构造带地质简图(据新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993 修改)

Fig. 1 Simplified tectonic geological map and regional geological sketch map  
a—Tectonic map of the Central Asian Orogenic Belt (CAOB) (after Jahn, 2004); b—Geological sketch map of Karamaili tectonic zone in East Junggar, Xinjiang(modified from BGMRXUAR, 1993)

酸性火山熔岩, 主要由安山玢岩、英安斑岩组成。中、上志留统为一套浅海相陆源碎屑岩和碳酸盐岩, 在卡拉麦里蛇绿岩带的南北两侧均有分布, 南侧的中志留统红柳峡组含有局限于西伯利亚地区南部陆缘海的地方性生物群图瓦贝化石(图 2a、b, 李锦轶, 1995, 2004; 何国琦等, 2001), 而在卡拉麦里构造带中段纸房以北地区可见上志留统考克赛尔盖组以明显的角度不整合覆盖于中—上奥陶统荒草坡群及加里东中期花岗岩之上, 与下泥盆统为连续沉积(图 2a)。

泥盆系在北侧分布较广, 发育完好(图 2a)。下泥盆统(未分组)为一套富含钙质的碎屑岩及碳酸盐岩沉积, 其上与中泥盆统乌鲁苏巴斯套组为整合过渡关系, 其下多处不整合覆盖在中—上奥陶统荒草坡群和加里东中期花岗岩之上。中泥盆统乌鲁苏巴斯套组主要由岩屑砂岩、凝灰岩和凝灰质砂岩及生物礁灰岩组成。上泥盆统克安库都克组与下伏中泥盆统乌鲁苏巴斯套组及上覆下石炭统黑山

头组均为整合接触, 为一套火山碎屑岩夹陆源碎屑岩沉积。

区内石炭系分布最广泛, 包括下石炭统杜内阶(C<sub>1t</sub>)黑山头组、维宪阶(C<sub>1v</sub>)姜巴斯套组与上石炭统。下石炭统主要为一套碎屑岩及火山碎屑岩, 岩性为粉砂岩、凝灰质砂岩、凝灰岩。维宪阶姜巴斯套组以明显的角度不整合覆盖在杜内阶黑山头组之上(图 2)。

区内的侵入岩大致分为 2 期: 加里东中期和华力西中期(图 2a)。前者主要由斑状闪长岩与黑云母花岗岩组成, 侵入的最新地层是中—上奥陶统, 并在研究区内多处被上志留统或下泥盆统卓木巴斯套组不整合覆盖, 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (463±7) Ma~(436±4) Ma(徐芹芹等, 2015); 后者主要由花岗岩、黑云母花岗岩以及辉长岩组成。

### 3 北侧沉积构造体系特征

在卡拉麦里蛇绿岩带北侧纸房地区的古生代

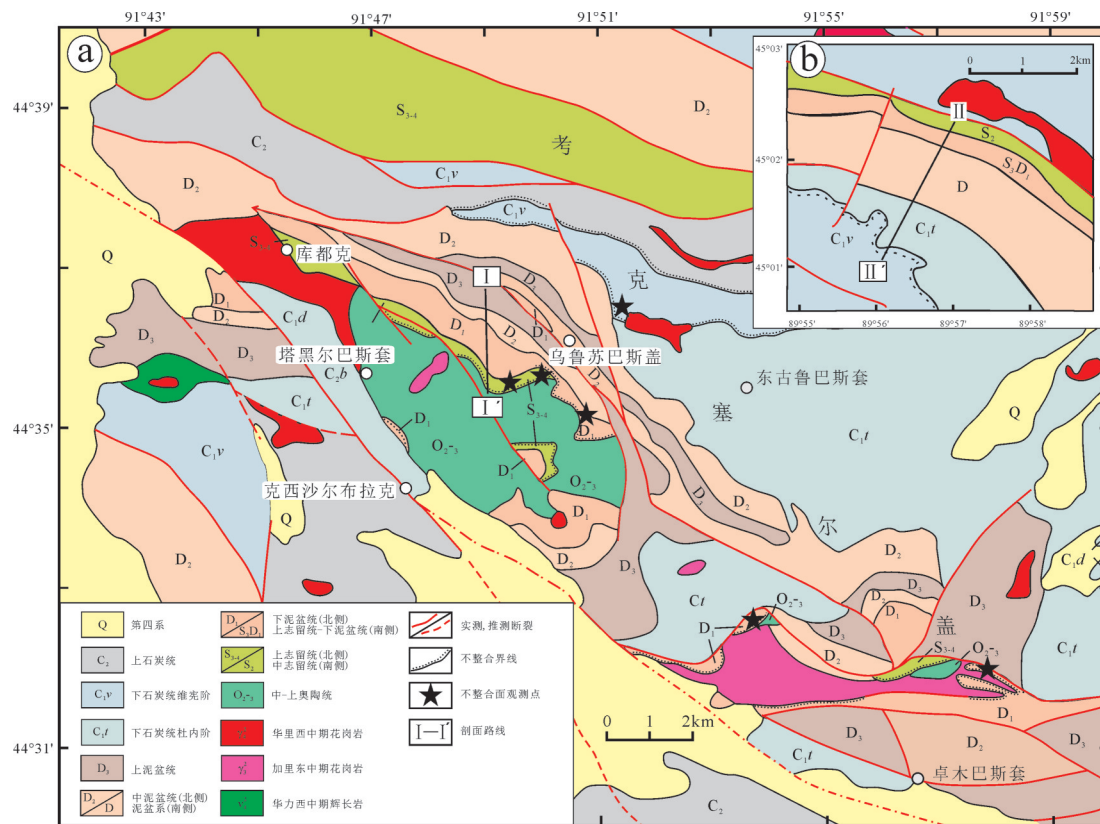


图2 卡拉麦里蛇绿岩带两侧研究区地质简图(a-北侧;b-南侧)

Fig.2 Geological sketch map of both sides of Karamaili ophiolitic belt (a-north side; b-south side)

地层中(图2a),从底至顶,主要存在上志留统考克赛尔盖组、下泥盆统(未分组)与奥陶系荒草坡群之间的角度不整合,上志留统考克赛尔盖组、下泥盆统与加里东期花岗岩之间的角度不整合以及下石炭统内维宪阶姜巴斯套组与杜内阶黑山头组之间的角度不整合。

### 3.1 不整合面分布及其特征

#### 3.1.1 上志留统考克赛尔盖组与中—上奥陶统荒草坡群角度不整合

上志留统考克赛尔盖组与其下伏奥陶系荒草坡群之间的角度不整合主要分布在纸房以北塔黑尔巴斯套以东(图2a,图3a~c),不整合界面之上的上志留统砾岩呈紫红色,指示陆表暴露的氧化环境。砾石呈半棱角状—滚圆状,分选一般,大小自数厘米至数十厘米不等,个别达1~2 m(图3d)。砾石成分几乎全为下伏英安斑岩、石英斑岩及安山玢岩等,砂质碎屑胶结,具底砾岩特征。底砾岩厚度为3~10 m,盖在凹凸不平的不整合面之上。下伏安山岩产状为 $210^{\circ}\angle 55^{\circ}$ ,底砾岩之上为灰紫色含砾生物

碎屑灰岩和黄绿色砂岩,产状为 $320^{\circ}\angle 40^{\circ}$ ,灰岩中含大量的海百合茎和珊瑚等化石(图3b)。在上志留统覆盖之下,紧靠其底部不整合接触带处岩石已变成浅黄绿色,推测是古风化作用的结果(图3d)。

#### 3.1.2 下泥盆统与中—上奥陶统荒草坡群角度不整合

在纸房以北乌鲁巴斯套南东2 km附近,下泥盆统不整合超覆在中—上奥陶统荒草坡群灰黑色安山岩之上(图2a,图4a~c)。底部为砾岩,砾石成分多为安山岩,大小不均,自数厘米至数十厘米,半棱角状—滚圆状,砂质碎屑胶结(图4d)。底砾岩几乎沿不整合面均可见到,或盖在凹凸不平的不整合面之上,或充填在不整合面上的裂隙中(图4b)。在现代剥蚀残山上,尚有大量残余露头(图4d)。不整合面之上为黄绿色厚层钙质砂岩、岩屑砂岩,产状为 $125^{\circ}\angle 35^{\circ}$ (图4a)。

#### 3.1.3 下泥盆统与加里东期花岗岩角度不整合

在纸房以北卓木巴斯套地区以北,下泥盆统不整合覆盖在加里东期花岗岩之上(图2a,图5a~c)。一种类型是接触关系不易辨认,花岗岩碎屑堆积下

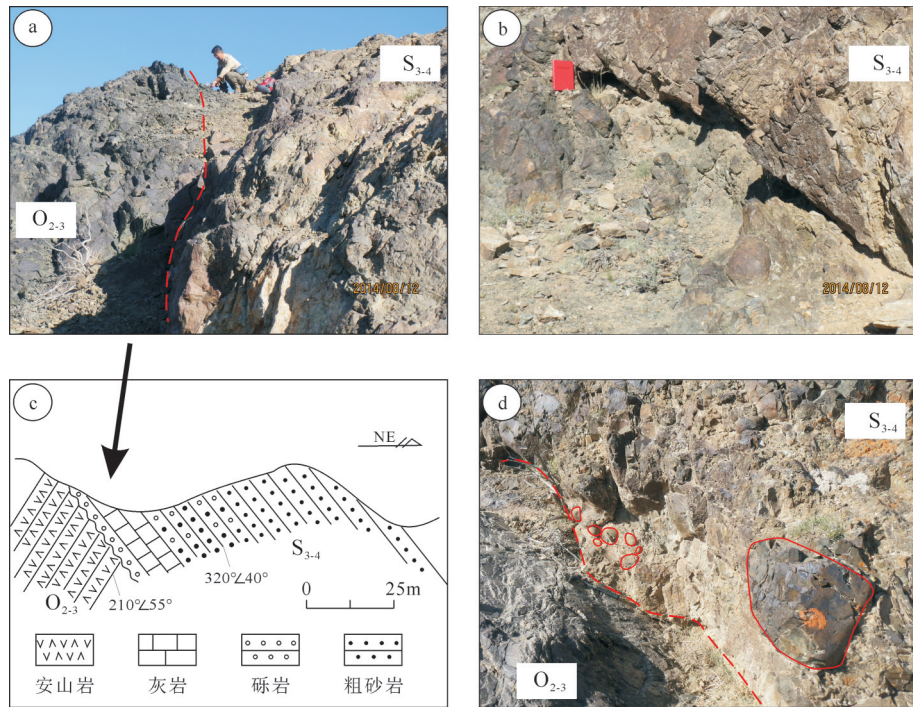


图3 上志留统考克赛尔盖组与中—上奥陶统荒草坡群角度不整合

a—上志留统与奥陶系之间角度不整合; b—底砾岩之上的下志留统; c—上志留统与奥陶系角度不整合关系图; d—不整合面之上的底砾岩特征

Fig. 3 The angular unconformity between Upper Silurian and Middle-Upper Ordovician

a-The angular unconformity between Upper Silurian and Ordovician; b-Lower Silurian strata above the basal conglomerates; c-The angular unconformity between Upper Silurian and Ordovician; d-The basal conglomerates above the unconformity

来,形成一种外貌酷似花岗岩的花岗质砂砾岩,可见花岗岩砾石轮廓和充填其间的碎屑紧密地胶结在一起(图5a、c)。下泥盆统为灰岩夹绿色的砂岩、泥岩,产状为 $20^{\circ}\angle 15^{\circ}$ 。灰岩中含大量海百合、腕足等化石。另一种不整合关系比较清楚,花岗岩之上直接覆盖着厚数米的花岗质巨砾岩和砾岩,大部分为原地风化产物,胶结物为蓝绿色凝灰质砂岩,为下泥盆统组分,也可见到附近中—晚奥陶世安山岩成分的砾石(图5b)。本期花岗岩侵入的最新地层是中—上奥陶统荒草坡群(图5d)。

### 3.1.4 下石炭统维宪阶姜巴斯套组与杜内阶黑山头组角度不整合

在纸房以北乌鲁巴斯套地区下石炭统维宪阶姜巴斯套组不整合覆于杜内阶黑山头组之上(图2a,图6a~c)。上覆维宪阶姜巴斯套组岩石组合为一套灰黑色凝灰粉砂质泥岩与灰黄色凝灰质细砂岩、凝灰岩不均匀互层,产状为 $5^{\circ}\angle 50^{\circ}$ ,底部有一层厚数10 cm~60 m的底砾岩(图6b),成分主要为下伏杜内阶的凝灰质砂岩、钙质砂岩等。砾石分选较差,大

者直径超过1 m,小的5 cm左右,磨圆度较好,呈滚圆状或半滚圆状,砂泥质胶结。下伏杜内阶黑山头组主要为玻屑晶屑砂岩夹薄层砂岩(图6d),含凝灰质砾岩,产状为 $60^{\circ}\angle 30^{\circ}$ 。

### 3.2 志留—石炭系沉积体系特征

研究区北侧从底至顶:上志留统考克赛尔盖组、下泥盆统(未分组)、中泥盆统乌鲁巴斯套组、上泥盆统克安库都克组和石炭系杜内阶黑山头组之间皆为整合接触。

不整合于奥陶系荒草坡群之上的上志留统考克赛尔盖组整体色调以灰绿色为主,岩石组合为砂岩、凝灰质砂岩夹砾岩和碳酸盐岩,下部粗碎屑沉积物有所减少,向上以出现较多的火山物质为特征,产丰富的珊瑚类(*Marginofistula* sp., *Marinofistula Zhifangensis* Wang (sp.nov), *Heliolites* sp., *Fanosites* sp., *Mesofavosites* sp., *Squameolites* sp., *Pseudoplasmopora* sp., *Entelophyllum* sp., *Syringopora* sp., *Sapporipora* sp., *Lelophyllum* sp.)、腕足类和苔藓虫类化石<sup>⑨</sup>,发育小型交错层理(图7a),总体上是一个海进序列。

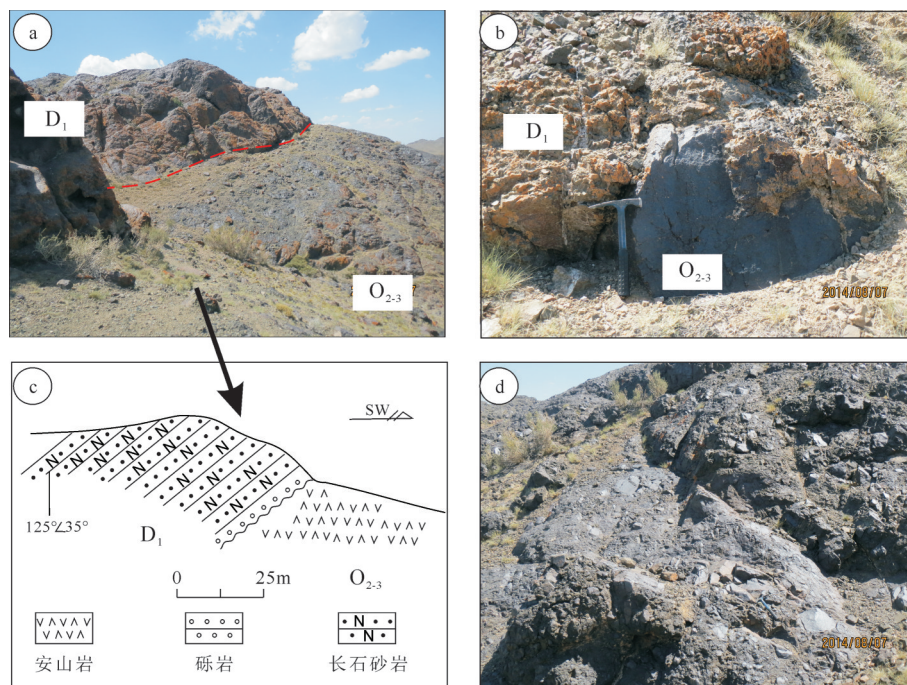


图4下泥盆统与中—上奥陶统荒草坡群角度不整合

a—下泥盆统不整合超覆在奥陶系之上; b—底砾岩充填在不整合面的裂隙中; c—下泥盆统与奥陶系角度不整合关系图; d—分布在现代剥蚀残山上的底砾岩露头

Fig.4 The angular unconformity between Lower Devonian and Middle–Upper Ordovician

a–Lower Devonian overlapping Ordovician unconformably; b–The basal conglomerates filling the fractures of unconformable surface; c–The angular unconformity between Lower Devonian and Ordovician; d–Basal conglomerates on the modern torso mountain

下泥盆统和上志留统考克赛尔盖组为连续沉积,在岩性及古生物方面具有过渡特征(图7b)。下泥盆统为一套碎屑岩及火山碎屑岩夹碳酸盐岩沉积。主要由岩屑砂岩、钙质砂岩及凝灰质砂岩和凝灰岩的不均匀互层组成,具有以紫红色为主的独特色调。

中泥盆统乌鲁苏巴斯套组(图7c)以陆源碎屑和火山碎屑沉积为主,岩石组合为凝灰质砂岩、凝灰质岩屑砂岩、长石岩屑砂岩等,夹碳酸盐岩和少量中性熔岩沉积,在凝灰岩和粗粉砂岩中发育水平层理和波状层理,产丰富的底栖生物化石:腕足类、珊瑚和海百合茎等,并以珊瑚为主(图7c)。上述的沉积构造和生物生态特征,反映为浅海陆棚较浅水环境<sup>②</sup>。

上泥盆统克安库都克组主要岩性为火山灰凝灰岩和层凝灰岩,下部夹凝灰质砂岩、长石岩屑砂岩,粒度较细,普遍发育水平层理,以薄层及中厚层为主,其内见大量放射虫化石: *Asteroentactinia*, *Spongeentactinia*, *Entactinosphaera*, 反映较深水的沉积环境;向上常夹凝灰质砾岩、角砾岩及含砾凝

灰质粗砂岩等,粒度一般较粗,发育大型斜层理(图7d~e),该层可见斜方薄皮木与放射虫共生,推测斜方薄皮木为异地埋藏(龚一鸣,1992)。

石炭系杜内阶黑山头组岩石呈灰黑、灰绿色调,层理清楚,以薄层为主(图7f)。主要岩性为凝灰岩和凝灰质砂岩,夹含砾凝灰质粗砂岩、钙质砂岩和灰岩透镜体,下段以含门类繁多的动物化石为主,产腕足类、腹足类等,伴有少量植物化石,向上几乎全为植物化石为主,反映水体逐渐由深变浅。

综上所述,在卡拉麦里蛇绿岩带北侧,自上志留统考克赛尔盖组至下石炭统杜内阶黑山头组为连续沉积,沉积物以火山碎屑岩为主,沉积物粒度整体自下而上逐渐由粗变细再变粗,表现为先海进再海退的沉积序列。

#### 4 南侧沉积体系特征

南侧研究区古生代地层主要出露中志留统白山包组、上志留统一下泥盆统红柳沟组、泥盆系(未分)和下石炭统杜内阶塔木岗组,各套地层间均为

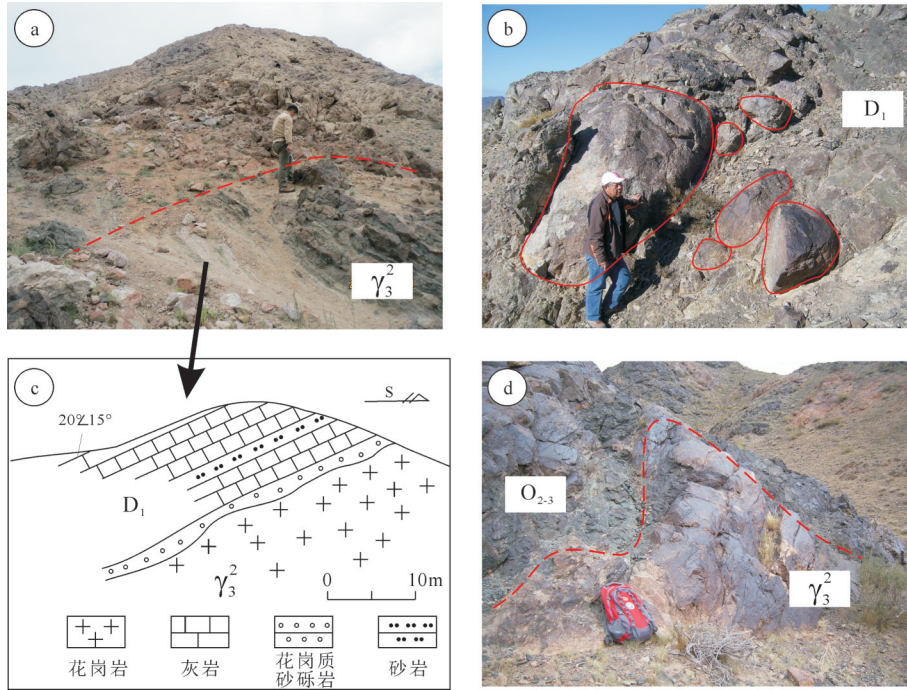


图5 下泥盆统与加里东期花岗岩角度不整合接触

a—下泥盆统不整合覆盖在加里东期花岗岩之上,形成一种外貌酷似花岗岩的花岗质砂砾岩;b—花岗岩之上直接覆盖着厚数米的花岗质巨砾岩和砾岩;c—下泥盆统与加里东期花岗岩角度不整合关系图;d—加里东期花岗岩侵入中—晚奥陶纪地层

Fig.5 The angular unconformity between Lower Devonian and Caledonian granitoids

a—Lower Devonian strata overlying Caledonian granitoids unconformably, forming granitic conglomerates with granitoid features; b—Meters of granitic conglomerates directly covering the underlying Caledonian granitoids; c—The angular unconformity between Lower Devonian and Caledonian granitoids; d—Caledonian granitoids that intruded into the Middle–Upper Ordovician

整合接触关系(图2b)。

最老的沉积地层为中志留统白山包组,主要由不等粒岩屑砂岩、钙质岩屑砂岩、火山灰凝灰岩夹砾岩、灰岩透镜体组成,表现为一套陆源碎屑岩和细火山碎屑岩,含图瓦贝化石(*Tuvoella gigantean*,图8a)。由于图瓦贝动物群只能适应陆缘一定深度的海底环境(水深不超过30 m)(何国琦等,2004),因此卡拉麦里南侧中志留世应处于近岸的滨海环境。

上志留一下泥盆统红柳沟组色调鲜艳,呈紫绿相间状,岩性以凝灰岩为主,与中志留统相比,沉积物粒度变细,且成层性较好,多为中厚层状,局部夹薄层或透镜状构造,出现放射虫化石(图8b),反映水体逐渐加深。

泥盆系(未分)为一套滨—浅海相陆源碎屑岩建造,下部为长石岩屑砂岩和凝灰岩的组合(图8c),向上过渡为砾岩、岩屑砂岩、凝灰岩夹少量细砂岩透镜体,在砂岩夹层内可见不太清楚的斜层理(图8d)。

下石炭统杜内阶塔木岗组以一套滨海相粗碎

屑岩为主,具体为灰色厚层细砾岩、岩屑粗砂岩、砂岩夹少量火山岩(图8e)。不整合于杜内阶之上的巴塔玛依内山组是一套多期次喷发的火山岩地层(图8f),火山岩成分主要为亚碱性—碱性、富钾的中基性岩,其中安山岩的锆石 SHRIMP U–Pb 年龄为(350±6)Ma,结合古生物化石证据,巴塔玛依内山组应属于下石炭统维宪阶(谭佳奕等,2009),因有熔结角砾岩的出现,且沉积夹层中产植物化石,表明巴塔玛依内山组是陆相喷发的火山岩。

综上,卡拉麦里蛇绿岩带南侧由中志留统白山包组至下石炭统杜内阶塔木岗组为连续沉积。相比北侧,火山沉积碎屑物质有所减少,沉积物粒度整体自下而上逐渐由粗变细再变粗,仍表现出水体逐渐加深再变浅的过程。

## 5 讨论

### 5.1 晚古生代构造环境

由于在卡拉麦里蛇绿岩带南侧的中志留统中

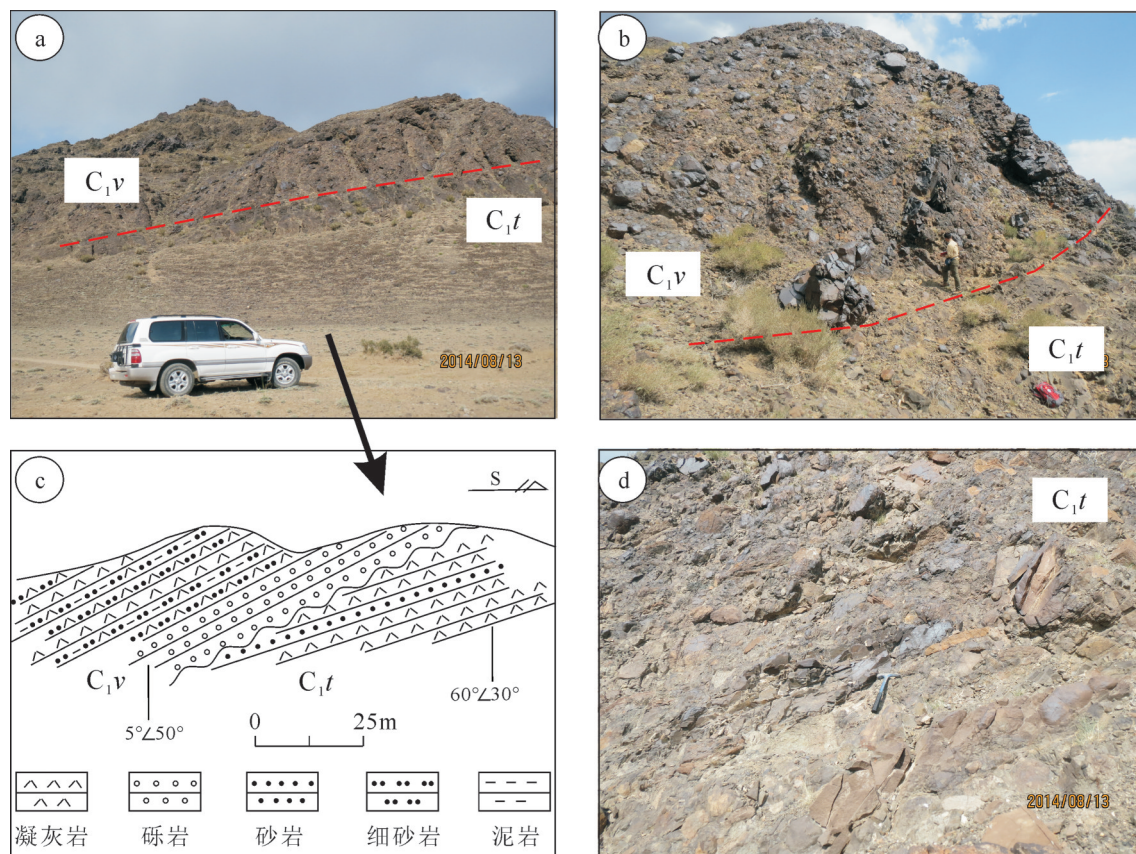


图6下石炭统杜内阶与维宪阶之间角度不整合接触

a—维宪阶不整合于杜内阶之上; b—不整合面之上巨厚的底砾岩层; c—维宪阶与杜内阶间角度不整合关系图; d—不整合面之下杜内阶地层, 以玻璃晶屑砂岩夹薄层砂岩为主

Fig. 6 The angular unconformity between Tournaisian and Viséan

a—Viséan overlying Tournaisian unconformably; b—Huge basal conglomerates above the unconformable surface; c—The angular unconformity between Tournaisian and Viséan; d—The Tournaisian composed of crystal sandstone interbedded with flagstone

发现有图瓦贝化石的存在(李锦轶, 1995, 2004; 何国琦等, 2001), 意味着卡拉麦里蛇绿岩所代表的洋盆不可能从早古生代早期一直延续到中泥盆世, 它要么是新元古代晚期—早古生代早期形成, 于中—晚志留世之前闭合的洋盆, 要么是晚古生代洋盆(夏林圻等, 2007)。但是目前尚未见到志留纪地层与卡拉麦里蛇绿岩之间存在有直接的、有意义的接触关系, 因此, 卡拉麦里洋盆究竟是在含图瓦贝化石的志留纪基底之上新打开的晚古生代洋盆(李锦轶, 2004), 还是被志留纪地层不整合覆盖的早古生代洋盆(何国琦等, 2001), 目前尚难以定论。

地层沉积充填序列表明, 早古生代不整合面之上, 蛇绿岩带两侧中、上志留统一泥盆系—下石炭统沉积体系特征相似, 可以对比(图7~图9): 岩石组合都以火山碎屑岩、滨浅海相陆源碎屑岩为主, 见

交错层理等沉积构造; 两侧皆含丰富的动植物化石, 包括腕足类、珊瑚、放射虫、棘皮类及斜方薄皮木等; 沉积物粒度整体自下而上由粗变细再变粗, 反映水体逐渐变深再变浅, 表现出统一的海进—海退过程。由此可见, 中志留世到早石炭世期间, 在东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩带两侧存在一个统一的海盆。两侧的沉积组合、序列、构造以及生物特征显示海盆规模不大, 并不是一个可以分割两侧沉积—构造体系的大洋盆。

值得一提的是本区泥盆纪末期和早石炭世放射虫化石的出现(李锦轶, 1995, 2004; 舒良树等, 2003), 据资料表明, 新疆北部泥盆纪放射虫在不同粒度的碎屑岩、火山碎屑岩和硅质岩中均有分布, 在浅海、半深海和深海环境中也均可见及, 因此, 水深不是控制地层记录放射虫分布的唯一因素(龚一



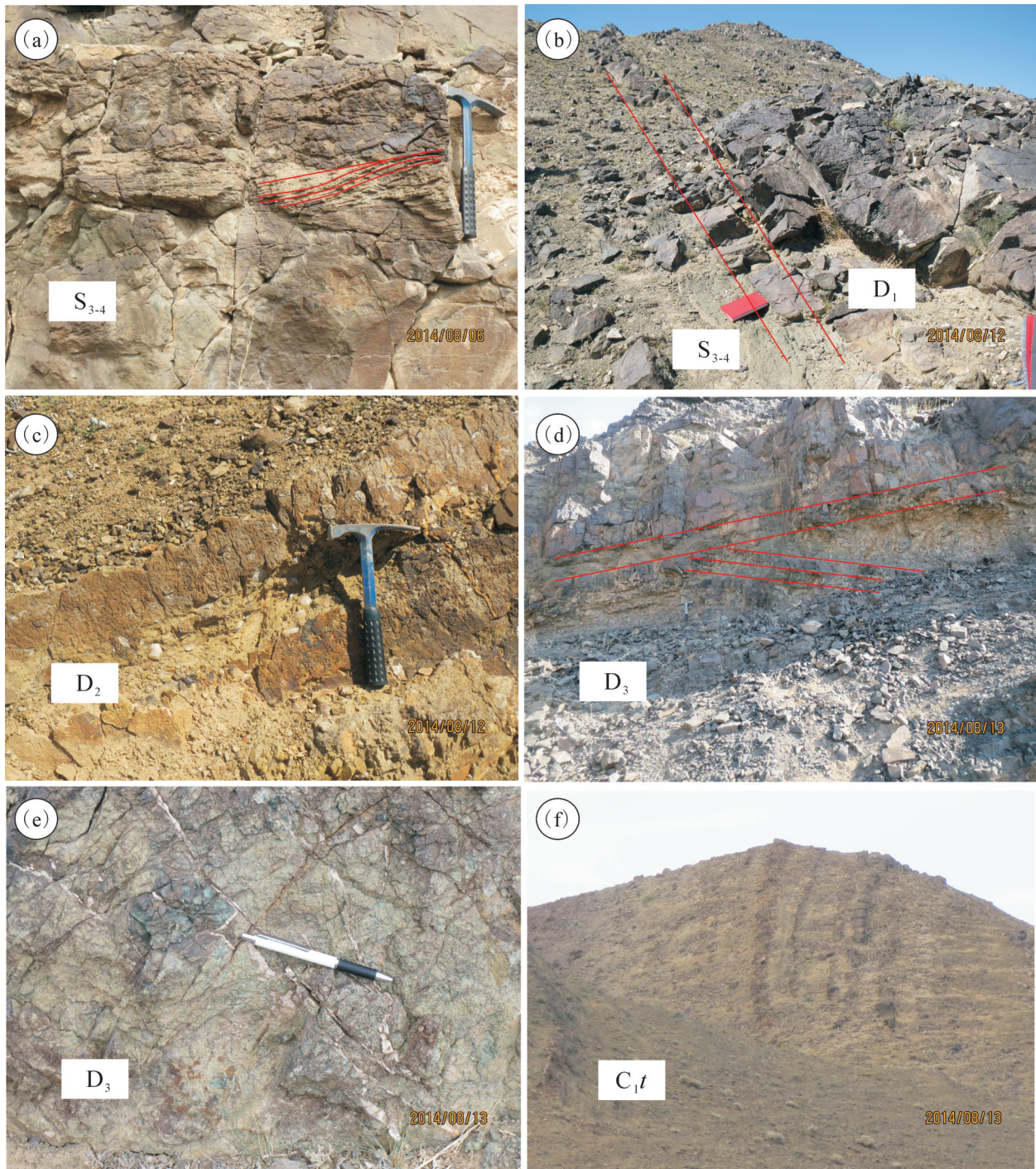


图7 卡拉麦里蛇绿岩带北侧沉积特征

a—上志留统中发育小型交错层理;b—连续沉积的下泥盆统与上志留统;c—中泥盆统中含丰富的底栖生物化石;d—上泥盆统中发育大型交错层理;e—上泥盆统上部粒度变粗,岩性过渡为凝灰质砾岩;f—杜内阶,以薄层凝灰岩为主

Fig.7 The sedimentary characteristics on the north side of the Karamaili ophiolitic belt

a—Small cross-bedding developed in Upper Silurian; b—Continuous sediments from Upper Silurian to Lower Devonian; c—Abundant kinds of benthic fossils in Middle Devonian; d—Large cross-bedding developed in Upper Devonian; e—Tuffaceous conglomerates with coarse grains developed in the upper part of Upper Devonian; f—Tournaisian dominated by thin bedded tuff

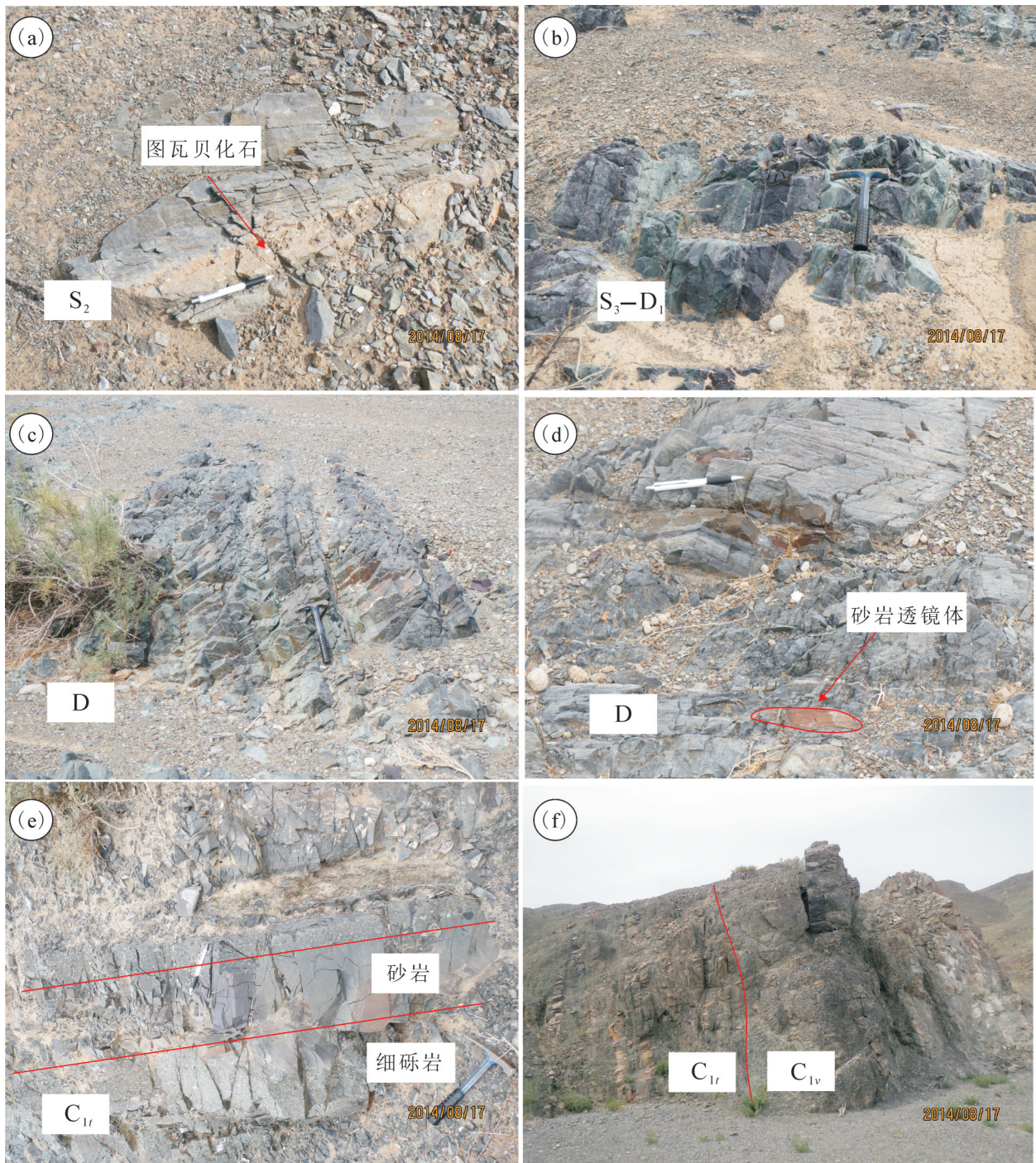


图8 卡拉麦里蛇绿岩带南侧沉积特征

a—含图瓦贝化石的中志留统；b—色调鲜艳的上志留统一下泥盆统；c—泥盆系下部，以中层的凝灰岩为主；d—泥盆系上部以砾岩为主夹砂岩透镜体；e—粗粒度的下石炭统杜内阶；f—维宪阶巴塔玛依内山组火山岩地层不整合于杜内阶之上

Fig.8 The sedimentary characteristics on the south side of the Karamaili ophiolitic belt

a—The Tuvaella fossils in Middle Silurian; b—The bright Upper Silurian–Lower Devonian; c—The lower part consisting of middle–bedded tuff in Devonian; d—Conglomerates with a few packs and lenses developed in the upper part of Devonian; e—The coarse grains in Carboniferous Tournaisian; f—The Visean batamayinieshan Formation unconformably overlying the Tournaisian

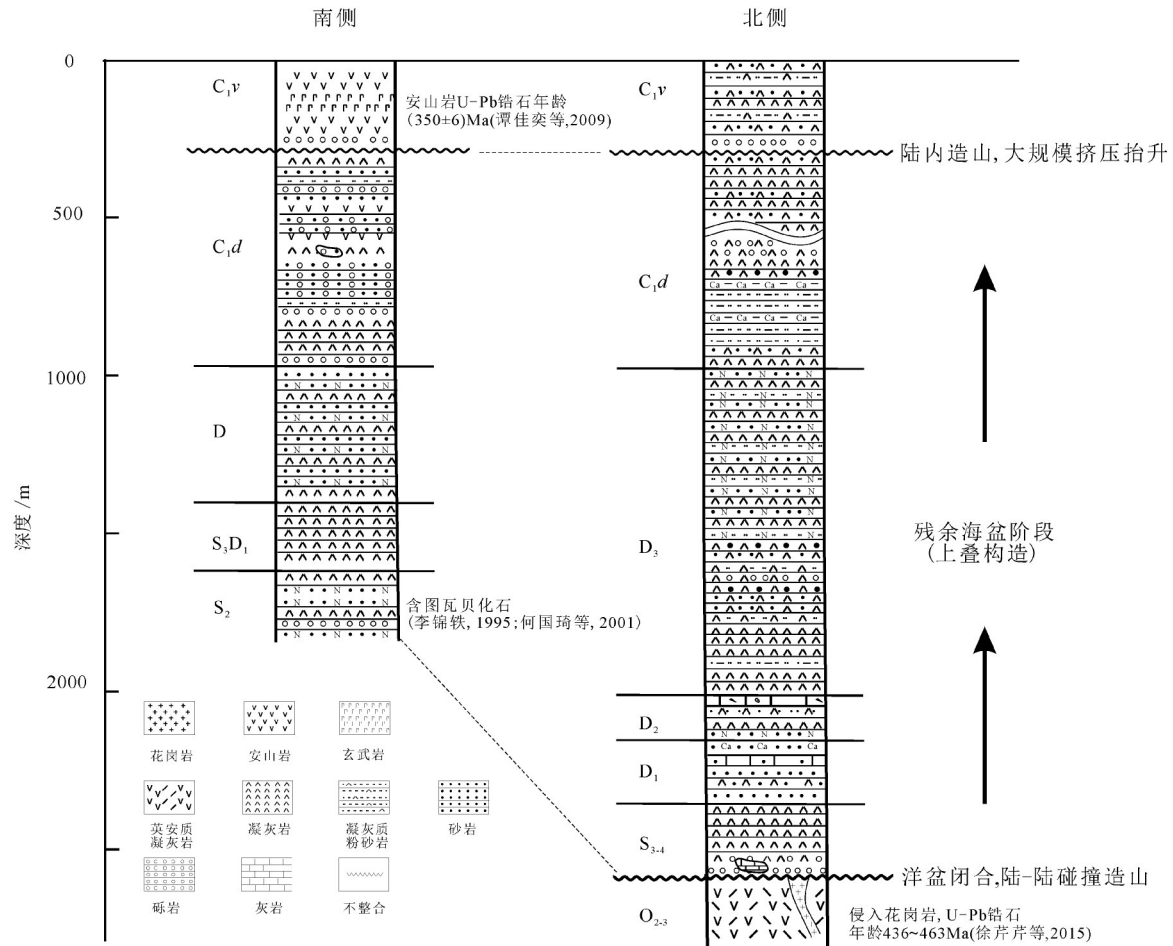


图9 卡拉麦里蛇绿岩带南北两侧古生代地层柱状剖面对比图  
Fig.9 Paleozoic stratigraphic correlation of the two sides of Karamaili ophiolitic belt

鸣, 1992), 类似情况在内蒙古西乌旗中二叠统哲斯组也见讨论(方俊钦等, 2014), 放射虫化石证据不足以证明卡拉麦里地区晚古生代洋盆的存在, 而仍是以滨浅海相的残余海盆沉积环境为主。蛇绿岩带南侧火山碎屑物质较北侧有所减少, 推测卡拉麦里地区晚古生代的构造拉张中心(裂谷)多出现于蛇绿岩带的北侧。

### 5.2 不整合面的构造意义

地层不整合接触是研究地质发展历史和鉴定地壳运动特征的重要依据。在卡拉麦里蛇绿岩带北侧的纸房地区广泛发育上志留统、下泥盆统与中—上奥陶统和加里东期花岗岩的角度不整合(图3~图5, 图7), 普遍缺失下志留统, 不整合面之下的奥陶系为变质达绿片岩相的火山碎屑岩和正常碎屑岩互层(何国琦等, 2001), 不整合面之上, 紧靠接触带处底部发育古风化壳(图3d), 上志留统一泥盆系

一下石炭统构造层产状平缓, 褶皱、断裂和变质作用均不发育(图7, 图8), 主要为开阔的短轴背斜、向斜, 与蛇绿混杂岩带中的劈理及无根钩状褶皱构造对比鲜明(吴润江等, 2009)。岩浆活动方面, 侵位于中—上奥陶统且被下泥盆统不整合覆盖的加里东期花岗岩, 侵位年龄为(463±7)Ma~(436±4)Ma, 高Sr(>300×10<sup>-6</sup>)、低Yb(<2.50×10<sup>-6</sup>)和弱的Eu负异常等地球化学特征显示其为埃达克质花岗岩, 为造山阶段花岗岩的典型代表(Xu et al., 2013; 徐芹芹等, 2015)。而在卡拉麦里蛇绿混杂岩的硅质岩中也分离出了牙形石, 经美国地质调查所 Anita G. Harris 教授鉴定为属中、晚奥陶世(黄汲清等, 1990), 说明卡拉麦里蛇绿岩所代表的洋盆在早古生代可能已经存在。

综合区域构造样式对比和构造环境讨论, 本文推测卡拉麦里蛇绿岩带北侧早古生代区域性不整合对应的是卡拉麦里古生代洋盆的闭合, 陆—陆碰

撞造山事件。该次碰撞造山,铸就了东准噶尔地区的基本构造格架,使得东准噶尔地区与西伯利亚古陆联接为一体,图瓦贝生物群可以越过西伯利亚南缘,并在卡拉麦里蛇绿岩带以南的东准噶尔地区繁衍生息。之后,卡拉麦里地区进入残余海盆阶段,由于早古生代造山作用并不强烈,没有形成大规模造山带,使得局部海水并未退尽,在蛇绿岩带两侧出现的下石炭统内维宪阶与杜内阶的不整合,包括维宪期南明水组(李锦轶等,1989;李锦轶,1995)、上泥盆统克安库都克组不整合覆盖在卡拉麦里蛇绿岩之上<sup>①</sup>,对应的则是晚泥盆世—早石炭世,古亚洲洋构造域西伯利亚与冈瓦纳古陆之间以及古亚洲洋内的诸陆块间发生碰撞挤压造山作用,即古亚洲域早、中华力西造山作用(任纪舜等,2016),在该区形成的陆内造山阶段,造成研究区挤压抬升,残余海盆逐渐退出研究区(图9)。

## 6 结 论

(1)卡拉麦里构造带古生代存在两期重要的区域不整合:上志留统、下泥盆统与中—上奥陶统、加里东期花岗岩之间不整合;下石炭统内维宪阶与杜内阶不整合。早古生代不整合面之上,褶皱、断裂和变质作用均不发育,蛇绿岩带两侧中、上志留统—泥盆系—下石炭统沉积体系特征相似,以滨浅海相为主,可以对比。

(2)卡拉麦里蛇绿岩所代表的洋盆在中志留世之前已经闭合,包括卡拉麦里蛇绿岩带南侧的东准噶尔地区随之拼贴到西伯利亚古陆,并进入残余海盆阶段。在晚泥盆世—早石炭世,受西伯利亚与冈瓦纳古陆之间以及古亚洲洋内的诸陆块间碰撞挤压造山作用的影响,卡拉麦里地区发生陆内造山。

**致谢:**任纪舜院士给本文研究予指导和建议,在此表示衷心谢意!

### 注释

①新疆维吾尔自治区地质调查院. 2003. 巴斯克阔彦德幅、905高地幅、六棵树幅 1:50 000 区域地质调查报告.

②新疆维吾尔自治区地质调查院. 2000. 纸房幅 1:250 000 区域地质调查报告.

③新疆维吾尔自治区地质调查院. 2003. 巴斯克阔彦德幅 1:50000 区域地质调查报告.

④新疆地质局区测大队. 1966. 库普幅 1:200 000 区测地质调

查报告.

## References

- BGMRXUAR (Bureau of Geology Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region). 1993. Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-841 (in Chinese with English abstract).
- Fang Junqin, Zhao Pan, Xu Bei, Shao Jun, Wang Yan. 2014. Sedimentary facies analyses and discovery of gastropods from Zhesi Formation in the south of West Ujimqin, Inner Mongolia and their significances[J]. Acta Petrologica Sinica, 30(7): 1889-1898 (in Chinese with English abstract).
- Gong Yiming. 1992. Radiolaria and their petrographical distribution and sedimentary environment significance in Devonian, northern Xinjiang[J]. Journal of Stratigraphy, 16(3): 224-228 (in Chinese).
- He Guoqi, Li Maosong, Jia Jindou, Zhou Hui. 2001. A discussion on age and tectonic significance of ophiolite in Eastern Junggar, Xinjiang[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 37(6): 852-858 (in Chinese with English abstract).
- He Guoqi, Xu Xin. 2004. Discussion about the plate tectonic zoning of Tianshan Mountains in China——containing Kazakhstan plate[C]//He Guoqi, Xu Xin (eds.). Tianshan Geology and Mineral Resources Collection in Xinjiang, China. Beijing: Geological Publishing House, 1-12 (in Chinese).
- Huang Gang, Niu Guangzhi, Wang Xinlu, Guo Jun, Yun Feng. 2012. Formation and emplacement age of Karamaili ophiolite: LA-ICP-MS zircon U-Pb age evidence from the diabase and tuff in eastern Junggar, Xinjiang[J]. Geological Bulletin of China, 31(8): 1267-1278 (in Chinese with English abstract).
- Huang Gang, Niu Guangzhi, Zhang Zhanwu, Wang Xinlu, Xu Xueyi, Guo Jun, Yu Feng. 2013. Discovery of ~4.0 Ga detrital zircons in the Aermantai ophiolitic mélangé, East Junggar, northwest China[J]. Chinese Science Bulletin, 58(28/29): 3645-3663 (in Chinese).
- Huang Jiqing, Jiang Chunfa, Wang Zuoxun. 1990. On the opening-closing tectonics and accordion movement of plate in Xinjiang and adjacent regions[C]//The Editorial Committee of Geoscience of Xinjiang of Project 305 (ed.). Geoscience of Xinjiang (1): Beijing: Geological Publishing House, 3-16 (in Chinese with English abstract).
- Huang Gang, Niu Guangzhi, Wang Xinlu, Guo Jun, Yun Feng. 2017. The discovery of the amphibolite in the Kalamaili ophiolitic mélangé formed in mid-oceanic ridge setting [J]. Geology in China, 44(2): 358-370 (in Chinese with English abstract).
- Jahn B M. 2004. The Central Asian Orogenic Belt and growth of the continental crust in the Phanerozoic[J]. Geological Society, London, Special Publications, 226(1):73-100.
- Jian P, Liu D Y, Shi Y R, Zhang F Q. 2005. SHRIMP dating of SSZ ophiolites from northern Xinjiang Province, China: Implications for generation of oceanic crust in the central Asian orogenic

- belt[M]. Sklyarov E V (ed.). Structural and Tectonic Correlation across the Central Asia Orogenic Collage: North–Eastern Segment. Guidebook and Abstract Volume of the Siberian Workshop IGCP–480, IEC SB RAS, Irkutsk, 246.
- Li D, He D F, Santosh M, Tang J Y. 2014. Petrogenesis of Late Paleozoic volcanics from the Zhaheba depression, East Junggar: Insights into collisional event in an accretionary Orogen of Central Asia[J]. *Lithos*, 184: 167–193.
- Li Jinyi, Zhu Baoqing, Feng Yimin. 1989. Confirmation of the unconformable relationships between the Nanmingshui formation and ophiolites and their significance[J]. *Regional Geology of China*, (3): 250–255 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Zhao Min, Zhu Baoqing, Feng Yimin. 1990a. Main characteristics of late Paleozoic plate tectonics in the southern part of East Junggar, Xinjiang[J]. *Geological Review*, 36(4): 305–316 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Zhu Baoqing, Feng Yimin. 1990b. Some new advances in researching the Nanmingshui Formation of the Kalamaili area, East Junggar, Xinjiang[C]//The Editorial Committee of Geoscience of Xinjiang of Project 305 (ed.). *Geoscience of Xinjiang* (2). Beijing: Geological Publishing House, 1–8 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi. 1995. Main characteristics and emplacement processes of the East Junggar ophiolites, Xinjiang, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 11(A1): 73–84 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi. 2004. Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang, NW China[J]. *Geological Review*, 50(3): 304–322 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Yang Tiannan, Li Yaping, Zhu Zhixin. 2009. Geological features of the Karamaili faulting belt, Eastern Junggar region, Xinjiang, China and its constraints on the reconstruction of Late Paleozoic ocean–continental framework of the Central Asian region[J]. *Geological Bulletin of China*, 28(12): 1817–1826 (in Chinese with English abstract).
- Lin Jinfu, Yu Hengxiang, Wu Changzhi, Su Wen, Guo Jingfen. 2008. Zircon SHRIMP U–Pb dating and geological implication of the Sabei Tin ore–deposit from Eastern Junggar of Xinjiang, China [J]. *Geology in China*, 35(6): 1197–1205 (in Chinese with English abstract).
- Long X P, Yuan C, Sun M. 2012. Geochemistry and U–Pb detrital zircon dating of Paleozoic graywackes in East Junggar, NW China: Insights into subduction–accretion processes in the southern Central Asian Orogenic Belt[J]. *Gondwana Research*, 21: 637–653.
- Nie Xiaoyong, Liu Jiajun, Su Dayong, Zhang Xiangyun. 2016. Zircon U–Pb age of the east Qingshui plagiogranite in Kalamaili belt of Xinjiang and its geological implications[J]. *Geology in China*, 43(5): 1729–1736 (in Chinese with English abstract).
- Ren Jishun, Zhao Lei, Xu Qinqin, Zhu Junbin. 2016. Global tectonic position and geodynamic system of China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(9): 2100–2108 (in Chinese with English abstract).
- Shu Liangshu, Lu Huaifu, Yin Donghao, Ma Ruishi, Xia Fei, Lu Han. 2001. Late Paleozoic continental accretionary tectonics in northern Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 19(1): 59–63 (in Chinese with English abstract).
- Shu Liangshu, Wang Yujiang. 2003. Late Devonian–Early Carboniferous Radiolarian fossils from siliceous rocks of the Kelameili ophiolite, Xinjiang[J]. *Geological Review*, 49(4): 408–413 (in Chinese with English abstract).
- Su Y P, Zheng J P, Griffin W L, Zhao J, Tang H, Ma Q, Lin X. 2012. Geochemistry and geochronology of Carboniferous volcanic rocks in the Eastern Junggar terrane, NW China: Implication for a tectonic transition[J]. *Gondwana Research*, 22(3): 1009–1029.
- Sun Min, Long Xiaoping, Cai Keda, Jiang Yingde, Wang Buyun, Yuan Chao, Zhao Guochun, Xiao Wenjiao, Wu Fuyuan. 2009. Early Paleozoic ridge subduction in the Chinese Altai: Insight from the abrupt change in zircon Hf isotopic compositions[J]. *Science China (Ser.D–Earth Science)*, 39(7): 936–948 (in Chinese with English abstract).
- Tan Jiayi, Wu Runjiang, Zhang Yuanyuan, Wang Shufang, Guo Zhaojie. 2009. Characteristics and geochronology of volcanic rocks of Batamayineishan Formation in Kalamaili, Eastern Junggar, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(3): 539–546 (in Chinese with English abstract).
- Tang Hongfeng, Su Yuping, Liu Congqiang, Hou Guangshun, Wang Yanbin. 2007. Zircon U–Pb age of the plagiogranite in Kalamaili belt, Northern Xinjiang and its tectonic implications[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 31(1): 110–117 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jun, Nie Fengjun, Liu Yong. 2010. Geological and geochemical characteristics and geological implications of the Mengxi porphyry copper–molybdenum deposit in East Junggar region[J]. *Geology in China*, 37(4): 1151–1161 (in Chinese with English abstract).
- Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, Kröner A, Badarch G. 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Journal of the Geological Society(London)*, 164(1): 31–47.
- Wu Runjiang, Zhang Yuanyuan, Tan Jiayi, Guo Zhaojie. 2009. The characteristics of different structure layers and tectonic implications since late Paleozoic in Kalamaili Area, Xinjiang[J]. *Earth Science Frontiers*, 16(3): 102–109 (in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Xuxueyi, Li Xiangmin, Ma Zhongping, Wang Lishe. 2007. *Magmatism in Tianshan Mountains*[M]. Beijing: China Land Press: 14–17 (in Chinese).
- Xiao W J, Windley B F, Badarch G, Sun S, Li J, Qin K, Wang Z. 2004. Paleozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids: Implications for the growth of central Asia[J]. *Journal of the Geological Society (London)*, 161(3): 339–342.
- Xiao W J, Han C M, Yuan C, Sun M, Lin S F, Chen H L, Li Z L, Li J L, Sun S. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction–related accretionary orogenesis of North Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of Central Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(2): 102–117.

- Xiao W J, Windley B F, Yuan C, Sun M, Han C M, Lin S F, Chen H L, Yan Q R, Liu D Y, Qin K Z, Li J L, Sun S. 2009. Paleozoic multiple subduction-accretion processes of the southern Altai[J]. *American Journal Science*, 309(3): 221-270.
- Xu Qinqin, Zhao Lei, Niu Baogui. 2015. Determination of the early Paleozoic granite in Zhifang area, east Junggar, Xinjiang and its geological implications[J]. *Journal of Geomechanics*, 21(4): 502-516 (in Chinese with English abstract).
- Xu X W, Jiang N, Li X H, Qu X, Yang Y H, Mao Q, Wu Q, Zhang Y, Dong L H. 2013. Tectonic evolution of the East Junggar terrane: Evidence from the Taheir tectonic window, Xinjiang, China[J]. *Gondwana Research*, 24(2): 578-600.
- Zhang Y, Pe-Piper G, Piper D J, Guo Z. 2013. Early Carboniferous collision of the Kalamaili orogenic belt, North Xinjiang, and its implications: Evidence from molasse deposits[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 12(5-6): 932-944.
- Zhao Xia, Jia Chengzao, Zhang Guangya, Wei Yanzhao, Lai Shaochong, Fang Xiang, Zhang Lijun. 2008. Geochemistry and tectonic settings of Carboniferous intermediate-basic volcanic rocks in Ludong-Wucuiwan, Junggar basin[J]. *Earth Science Frontiers*. 15(2): 272-279 (in Chinese with English abstract).
- 方俊钦, 赵盼, 徐备, 邵军, 汪岩. 2014. 内蒙古西乌珠穆沁旗哲斯组宏体化石新发现和沉积相分析[J]. *岩石学报*, 30(7): 1889-1898.
- 龚一鸣. 1992. 新疆北部泥盆纪放射虫及其岩相分布和环境意义[J]. *地层学杂志*, 16(3): 224-228.
- 何国琦, 李茂松, 贾进斗, 周辉. 2001. 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)*, 37(6): 852-858.
- 何国琦, 徐新. 2004. 关于中国天山的板块构造分区问题——兼论哈萨克斯坦板块[C]//何国琦, 徐新 主编. 中国新疆天山地质与矿产文集. 北京: 地质出版社, 1-12.
- 黄岗, 牛广智, 王新录, 郭俊, 宇峰. 2017. 东准噶尔卡拉麦里蛇绿混杂岩中斜长角闪岩的发现与洋中脊构造环境的确认[J]. *中国地质*, 44(2): 358-370.
- 黄岗, 牛广智, 王新录, 郭俊, 宇峰. 2012. 新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩形成和侵位时限:来自辉绿岩和凝灰岩的年代学证据[J]. *地质通报*, 31(8): 1267-1278.
- 黄岗, 牛广智, 张占武, 王新录, 徐学义, 郭俊, 宇峰. 2013. 东准噶尔阿尔曼泰蛇绿混杂带中发现-4.0 Ga 碎屑锆石[J]. *科学通报*, 58(28/29): 2966-2979.
- 黄汲清, 姜春发, 王作勋. 1990. 新疆及邻区板块开合构造及手风琴式运动[C]//305项目《新疆地质科学》编委会. 新疆地质科学(1). 北京: 地质出版社, 3-16.
- 李锦轶, 朱宝清, 冯益民. 1989. 南明水组和蛇绿岩之间不整合关系的确认及其意义[J]. *中国区域地质*, (3): 250-255.
- 李锦轶, 肖序常, 汤耀庆, 赵民, 朱宝清, 冯益民. 1990a. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区晚古生代板块构造的基本特征[J]. *地质论评*, 36(4): 305-316.
- 李锦轶, 朱宝清, 冯益民. 1990b. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区南明水组研究的新进展[C]//305项目《新疆地质科学》编委会. 新疆地质科学(2). 北京: 地质出版社, 1-8.
- 李锦轶. 1995. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史[J]. *岩石学报*, 11(增刊): 73-84.
- 李锦轶. 2004. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变[J]. *地质论评*, 50(3): 304-322.
- 李锦轶, 杨天南, 李亚萍, 朱志新. 2009. 东准噶尔卡拉麦里断裂带的地质特征及其对中亚地区晚古生代洋陆格局重建的约束[J]. *地质通报*, 28(12): 1817-1826.
- 林锦富, 喻亨祥, 吴昌志, 苏文, 郭静粉. 2008. 东准噶尔萨北锡矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及地质意义[J]. *中国地质*, 35(6): 1197-1205.
- 聂晓勇, 刘家军, 苏大勇, 章享云. 2016. 新疆卡拉麦里清水东斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *中国地质*, 43(5): 1729-1736.
- 任纪舜, 赵磊, 徐芹芹, 朱俊宾. 2016. 中国的全球构造位置和地球动力系统[J]. *地质学报*, 90(9): 2100-2108.
- 舒良树, 卢华复, 印栋浩, 马瑞士, 夏飞, 卢汉. 2001. 新疆北部古生代大陆增生构造[J]. *新疆地质*, 19(1): 59-63.
- 舒良树, 王玉净. 2003. 新疆卡拉麦里蛇绿岩带中硅质岩的放射虫化石[J]. *地质论评*, 49(4): 408-412.
- 孙敏, 龙晓平, 蔡克大, 蒋映德, 王步云, 袁超, 赵国春, 肖文交, 吴福元. 2009. 阿尔泰早古生代末期洋中脊俯冲: 锆石 Hf 同位素组成突变的启示[J]. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 39(7): 935-948.
- 谭佳奕, 吴润江, 张元元, 王淑芳, 郭召杰. 2009. 东准噶尔卡拉麦里地区巴塔玛依内山组火山岩特征和年代确定[J]. *岩石学报*, 25(3): 539-546.
- 唐红峰, 苏玉平, 刘丛强, 侯广顺, 王彦斌. 2007. 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*, 31(1): 110-117.
- 王军, 聂凤军, 刘勇. 2010. 东准噶尔蒙西斑岩型铜铅矿床地质地球化学特征[J]. *中国地质*, 37(4): 1151-1161.
- 吴润江, 张元元, 谭佳奕, 郭召杰. 2009. 新疆卡拉麦里地区晚古生代以来不同构造层特征及大地构造意义[J]. *地学前缘*, 16(3): 102-109.
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 李向民, 马中平, 王立社. 2007. 天山岩浆作用[M]. 北京: 中国大地出版社, 14-17.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1-841.
- 徐芹芹, 赵磊, 牛宝贵. 2015. 新疆东准噶尔纸房地区早古生代花岗岩的确定及其地质意义[J]. *地质力学学报*, 21(4): 502-516.
- 赵霞, 贾承造, 张光亚, 卫延召, 赖绍聪, 方向, 张丽君. 2008. 准噶尔盆地陆东—五彩湾地区石炭系中、基性火山岩地球化学及其形成环境[J]. *地学前缘*, 15(2): 272-279.

## 附中文参考文献