

·专题研究·

东天山大南湖岛弧带石炭纪岩石地层与构造演化

张洪瑞^{1,2} 魏刚锋² 李永军² 杜志刚³ 柴德亮^{2,4}

(1. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037; 2. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054; 3. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局 第九地质大队, 新疆 乌鲁木齐 830000; 4. 宁夏矿产地质调查所, 宁夏 银川 750021)

摘要: 详细的地质解剖工作表明, 东天山地区大南湖岛弧带石炭纪出露 4 套岩石地层组合, 即早石炭世小热泉子组火山岩、晚石炭世底坎儿组碎屑岩和碳酸盐岩、晚石炭世企鹅山组火山岩、晚石炭世脐山组碎屑岩夹碳酸盐岩。根据其岩石组合、岩石地球化学、生物化石、同位素资料以及彼此的产出关系, 认为这 4 套岩石地层组合的沉积环境分别为岛弧、残余海盆、岛弧和弧后盆地。结合区域资料重塑了大南湖岛弧带晚古生代的构造格架及演化模式。早、晚石炭世的 4 套岩石地层组合并置体现了东天山的复杂增生过程。

关键词: 石炭纪 岩石组合 构造演化 大南湖岛弧带 东天山

中图分类号: P534.5; P54

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)01-0001-14

Carboniferous lithologic association and tectonic evolution of Dananhu arc in the East Tianshan Mountains

ZHANG Hong-rui^{1,2}, WEI Gang-feng², LI Yong-jun², DU Zhi-gang³ and CHAI De-liang^{2,4}

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Earth Science & Land Resources College of Chang'an University, Xi'an 710054, China; 3. No. 9 Geological Party, BGMRD of Xinjiang, Urumqi 830000, China; 4. Ningxia Institute of Geology and Mineral Research, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Located in the southern margin of Tuha basin within the East Tianshan Mountains, Dananhu arc is famous for hosting Tuwu porphyry Cu deposits. It is important for us to deepen our understanding of the genesis of porphyry deposits and the tectonic evolution in the whole East Tianshan area. Based on detailed geological mapping, the authors recognized four lithostratigraphic associations in the Carboniferous Dananhu arc belt within the East Tianshan Mountains, i. e., the Lower Carboniferous Xiaorequanzi Formation consisting mainly of volcanic rocks, the Upper Carboniferous Dikan'er Formation composed of clastic rocks intercalated with carbonate, the Upper Carboniferous Qi'eshan Formation comprising volcanic rocks, and the Upper Carboniferous Qishan Formation of clastic and carbonate rocks. Their rock associations, geochemistry, fossils and spatial relationship together with previously published geochronological data suggest that the previously-thought Dananhu arc is actually made of arc volcanic rocks, back-arc basin sediments and remnant oceanic basin sediments, which are associated with the above-mentioned four units respectively. Thus, the tectonic and evolution framework has been established in association with regional studies. There existed at least two ocean-continent transformation stages

收稿日期: 2009-09-27; 修订日期: 2009-11-18

基金项目: 地质调查资助项目(XJQDZ2003-24)

作者简介: 张洪瑞(1982-), 男, 汉族, 矿床学专业博士研究生, E-mail: hongrui-1982@126.com

(i. e., Late Devonian and Late Carboniferous) in the East Tianshan Mountains in Late Paleozoic. The marine deposit of Early Carboniferous Xiaorequanzi volcanic rocks was formed by ocean-ocean subduction in the Kangur Ocean far away from the Devonian active continental margin. The collision between marine volcanic rocks and the Tarim active continental margin (central Tianshan block) formed the Late Carboniferous remnant oceanic basin together with the subduction polarity reversal. The northern ocean basin began the S-dipping subduction towards the Early Carboniferous volcanic rocks and formed the Late Carboniferous Qi'eshan volcanic arc and Qishan back-arc basin. The final collision suture is Dacotan fault between Tarim plate and Dananhu arc. The Carboniferous lithologic associations of Dananhu arc indicate that the East Tianshan Mountains may represent a complex archipelago-ocean basin, and this orogeny involved fore-arc accretion and back-arc basin closure during the whole orogenic process. Juxtaposition of different tectonic units implies that the East Tianshan Mountains orogeny was probably a multiple accretionary orogenic process.

Key words: Carboniferous; lithologic association; tectonic evolution; Dananhu arc; East Tianshan Mountains

作为世界最大、主要由新生地壳组成的造山区 (Hong Dawei *et al.*, 2004; Jahn, 2004), 中亚造山带因其巨大的科学意义以及丰富的矿产资源而引人关注。通过前人的不懈努力, 虽然已初步建立了中亚造山带的构造演化模式 (Xiao *et al.*, 2004; 顾连兴等, 2006; 李锦轶等 2006a, 2006b; Windley *et al.*, 2007), 但不同作者提出的演化模型之间还存在诸多互相矛盾之处。主要原因是该区地质演化十分复杂, 部分偏远地区地质研究程度偏低, 资料不足, 或资料不准确。随着 1:5 万大比例尺地质调查工作的逐步开展, 这种状况得到初步缓解。本文将报道项目组在东天山库姆塔格沙垄地区地质调查的成果, 期望对提高中亚造山区地质演化过程的认识有所裨益。

大南湖岛弧带分布在库姆塔格沙垄北段, 大地构造上位于东天山吐哈盆地南缘, 其形成与古生代中亚造山带复杂增生过程密切相关。近年来, 该带中的石炭纪企鹅山群因赋含土屋、延东等大型斑岩铜(钼)矿床而受到广泛重视 (如芮宗瑶等, 2002; 刘德权等, 2003)。详细解剖企鹅山群的成岩信息和构造背景, 不仅有利于解决斑岩矿床的成因问题, 而且对大南湖岛弧带, 甚至是整个东天山地区的演化模式都能提供制约作用。同时企鹅山群作为碰撞前的活动陆缘残片, 记录了东天山增生造山作用晚期的详细过程以及随之洋陆转换阶段的碰撞事件, 对其进行详细解剖甚至有助于增强理解增生造山作用。但现今人们认识的企鹅山群包含有不同时代的不同岩石组合, 彼此间为断层接触, 并且其所含火山岩露头反映出不同的构造环境 (李锦轶等, 2006a), 很早就有学者意识到有必要对其进行解体 (刘德权等, 2003)。针对这一情况, 笔者等选取东天山库姆塔格

沙垄北段一带, 也就是企鹅山群发育最厚的地段为研究对象, 通过详细的野外调查工作对其地层系统进行了重新厘定 (冯京等, 2007; 李永军等, 2008)。本文从厘定后的各单元岩石组合入手, 分析其构造背景, 同时利用新获得的数据来尝试解析大南湖岛弧带的演化过程。

1 区域地质背景

东天山地处准噶尔板块与塔里木板块的聚合部位, 其北以卡拉麦里断裂带与准噶尔板块相隔 (图 1), 内部单元自北向南依次为吐哈地块、觉罗塔格、中天地块, 三者间以康古尔塔格-黄山、阿齐克库都克两条断裂带为界 (Xiao *et al.*, 2004)。其中吐哈地块主要由古生代哈尔里克-大南湖岛弧带和中新代沉积盆地组成。

吐哈地块北缘为哈尔里克岛弧带, 出露的最老地层为奥陶纪变质碎屑岩、火山碎屑岩, 熔岩主要为拉斑玄武岩和安山岩。泥盆纪—石炭纪发育大量中酸性火山岩, 系卡拉麦里洋盆持续向南俯冲的产物, 而奥陶纪—泥盆纪火山岩成分的变化反映了岛弧的成熟过程 (马瑞士等, 1997)。吐哈盆地南缘广泛出露古生代火山沉积岩系和中酸性侵入岩, 记录了康古尔塔格洋盆向北俯冲的整个过程, 称大南湖岛弧带。该岛弧带从奥陶纪开始 (田纹全等, 2005) 持续至石炭世, 各时代火山岩和深成岩在岩石组合和岩石化学方面都类似于钙碱系列弧岩浆岩, 而且火成岩时空分布还揭示出该区弧岩浆前锋带的演化具有向南逐渐迁移的特点 (李锦轶等, 2006a)。在哈尔里克岛弧带和大南湖岛弧带之间, 即小铺—博格达一带, 发

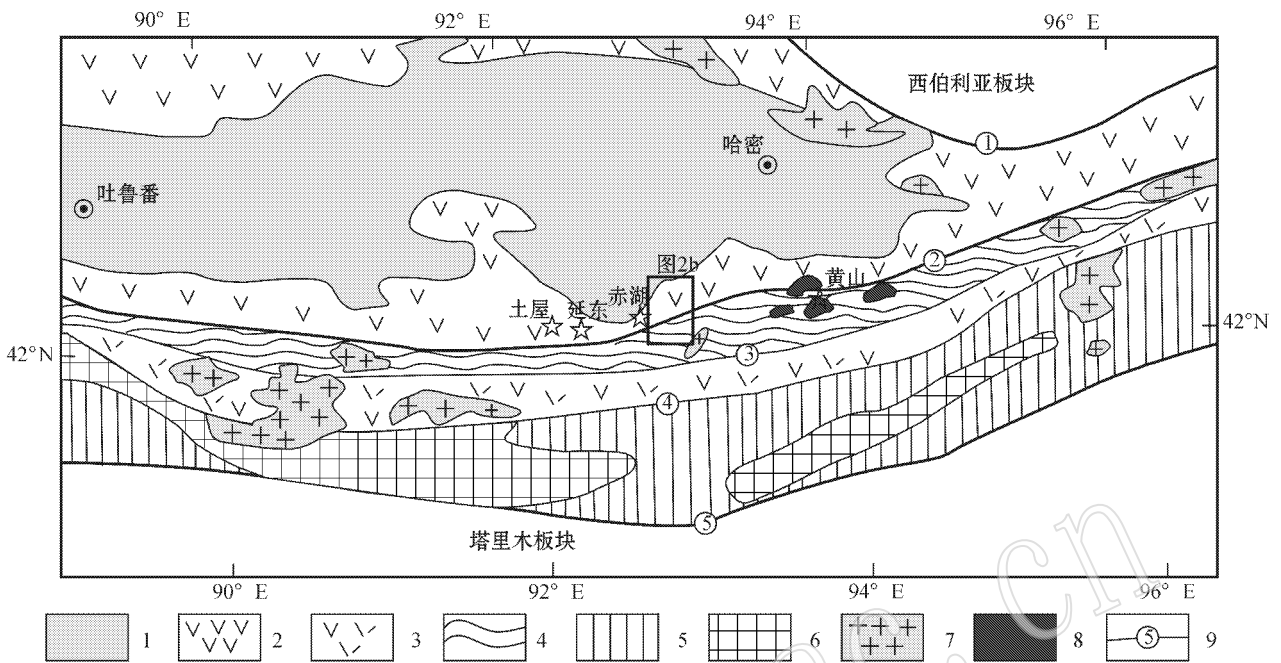


图 1 东天山地质简化图[据 Zhang 等(2008)修改]

Fig. 1 Simplified geological map of the East Tianshan Mountains(after Zhang *et al.*, 2008)

1—中生代覆盖；2—哈尔里克-大南湖岛弧带；3—雅满苏岛弧；4—康古尔-黄山碰撞带；5—中天山地块；6—前寒武纪基底；7—晚海西-早印支期花岗岩体；8—二叠纪超基性岩体；9—断裂及编号；①—卡拉麦里断裂；②—康古尔塔格断裂；③—苦水断裂；④—阿齐克库都克断裂；⑤—库米什断裂

1—Cenozoic-Mesozoic cover; 2—Haerlike-Dananhu volcanic arc; 3—Yamansu arc; 4—Kanggurtag-Huangshan collision belt; 5—central Tianshan block; 6—Precambrian metamorphic rocks in central Tianshan block; 7—Late Hercynian-Early Indosinian granite; 8—Permian mafic complex; 9—faults and their serial number: ①—Kalamaili fault; ②—Kanggurtag fault; ③—Kushui fault; ④—Aqikekuduke fault; ⑤—Kumishi fault

育一套石炭纪具复理石特征的陆源碎屑岩夹双峰式火山岩(顾连兴等, 2001), 被解释为俯冲增生过程中裂解而成的弧后(李锦轶, 2004)或弧间(Xiao *et al.*, 2004)盆地沉积。

大南湖岛弧带的南界为康古尔塔格-黄山断裂带, 它是由一套经历了强烈变形作用的无序地层组成, 包括原岩为复理石建造的干墩岩组和洋底玄武岩-放射虫硅质岩等康古尔塔格洋盆洋壳残片的梧桐窝子岩组(贺军慧等, 2005)。变形样式总体上呈现出北窄南宽的不对称正扇形, 经历了石炭纪晚期的南北向挤压和二叠纪中期的右行走滑过程(姬金生等, 1994; 李锦轶等, 2002; 王瑜等, 2002), 又称为康古尔塔格石炭纪晚期碰撞带。

众多证据表明, 晚石炭世晚期东天山复杂增生造山作用结束, 进入碰撞及碰撞后的伸展阶段, 大量幔源岩浆侵位, 地壳垂向增生(顾连兴等, 2006; 李锦轶等, 2006b; 肖文交等, 2006)。

2 吐哈盆地南缘石炭纪活动陆缘地质特征

本文所述的石炭纪活动陆缘即所谓的企鹅山群, 系大南湖岛弧带的一部分, 主要为石炭纪产物, 以大草滩断裂与北侧泥盆纪岛弧为界(图 2a)。原定义的企鹅山群包括 3 个非正式组: 第 1 组紧邻康古尔断裂呈东西向分布, 以碎屑岩、碳酸盐岩为主; 第 2 组为一套中基性火山岩夹火山碎屑岩, 含少量酸性火山岩; 第 3 组紧邻大草滩断裂分布, 主要由碎屑岩及中基性火山岩组成(王福同等, 2001; 李向民等, 2007)。通过在库姆塔格沙垄北段一带详细的地质调查工作, 笔者等依靠两套碳酸盐岩中新发现的化石资料, 从企鹅山群中解体出了底坎儿组和脐山组, 进而将该两组沉积地层隔离的两套火山岩分别厘定成小热泉子组和企鹅山组(图 2b), 这将有助于加深对吐哈盆地南缘石炭纪活动陆缘组成的认识。

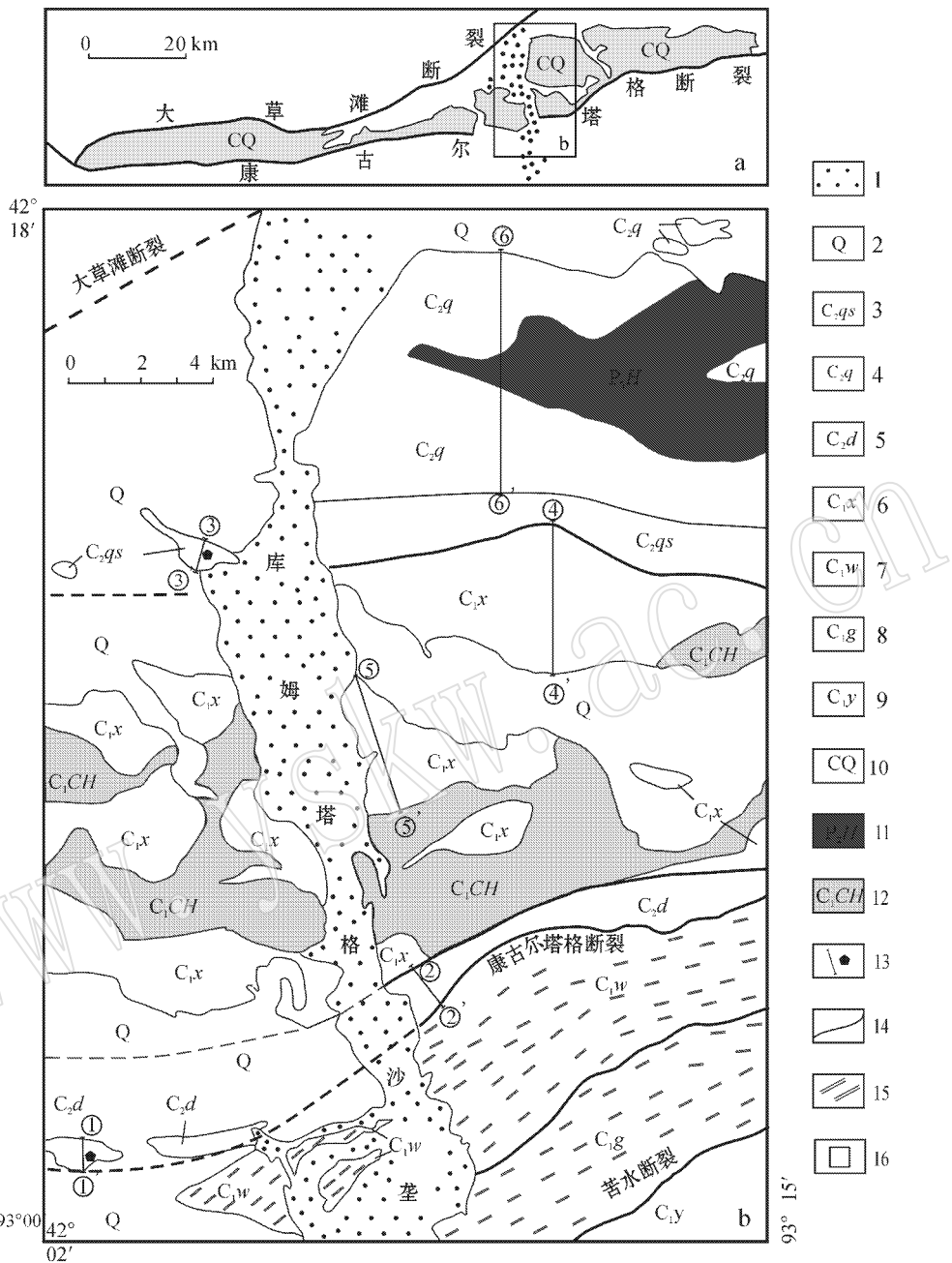


图 2 东天山企鹅山群分布略图(a)(李向民等, 2006)和库姆塔格沙垄地区地质简图(b)(李永军等, 2008)

Fig. 2 Sketch map showing spatial distribution of Qi'eshan Group(a) (after Li Xiangmin *et al.*, 2006) and geological sketch map of Kumutag area(b) (after Li *et al.*, 2008) in East Tianshan area

1—现代沙垄; 2—第四系戈壁; 3—脐山组; 4—企鹅山组; 5—底坎儿组; 6—小热泉子组; 7—梧桐窝子岩组; 8—干墩岩组; 9—雅满苏组;

10—原企鹅山群; 11—哈尔里克岩体; 12—赤湖岩体; 13—剖面位置化石点; 14—地质界线; 15—糜棱岩带; 16—研究区

1—modern sand-ridge; 2—Quaternary; 3—Qishan Formation; 4—Qi'eshan Formation; 5—Dikan'er Formation; 6—Xiaorequanzi Formation;

7—Wutongwozi Complex Formation; 8—Gandun Complex Formation; 9—Yamansu Formation; 10—Qi'eshan Group; 11—Haerlike granite;

12—Chihu granite; 13—section position and fossil position; 14—geological boundary; 15—mylonite belt; 16—study area

2.1 早石炭世小热泉子组火山岩

主要出露于康古尔塔格深大断裂带北侧, 呈近东西向带状延伸(图 3), 其南北两侧分别以断裂与晚

石炭世底坎儿组、脐山组为界。总体为一套火山碎屑岩夹火山熔岩, 层序上自北向南逐渐变新。在西侧土屋地区熔岩以中基性为主(侯广顺等, 2006; 李向民

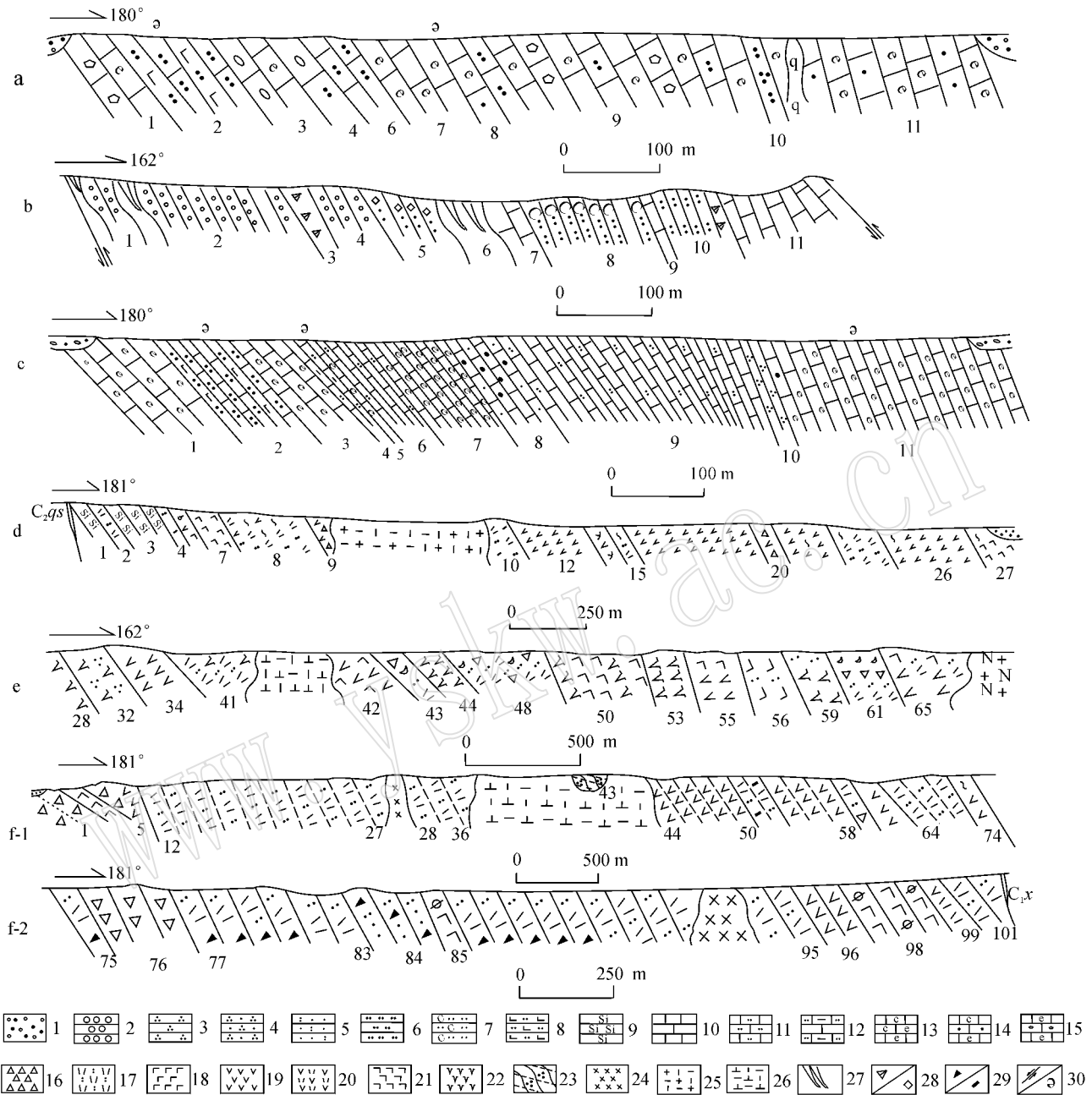


图 3 东天山库姆塔格沙垄地区石炭纪地质剖面图

Fig. 3 Geological section of Carboniferous strata in Kumutag sand-ridge area, East Tianshan Mountains

a: ①—①' 晚石炭世底坎尔组碳酸盐岩剖面; b: ②—②' 晚石炭世底坎尔组碎屑岩剖面; c: ③—③' 晚石炭世脐山组碳酸盐岩剖面; d: ④—④' 早石炭世小热泉子组火山岩剖面; e: ⑤—⑤' 早石炭世小热泉子组火山岩剖面; f: ⑥—⑥' 晚石炭世企鹅山组火山岩剖面
 1—第四系; 2—砾岩; 3—砂岩; 4—石英细砂岩; 5—凝灰质砂岩; 6—粉砂岩; 7—炭质粉砂岩; 8—钙质粉砂岩; 9—硅质岩; 10—灰岩; 11—粉砂质灰岩; 12—泥质粉砂质灰岩; 13—生物碎屑灰岩; 14—生物碎屑砾屑灰岩; 15—生物碎屑细晶灰岩; 16—火山角砾岩; 17—凝灰岩; 18—玄武岩; 19—安山岩; 20—英安岩; 21—钠质玄武安山岩(细碧岩); 22—钠质安山岩; 23—石英角岩; 24—辉长岩; 25—花岗岩; 26—石英闪长岩; 27—石英脉; 28—碎裂岩化/碳酸盐化; 29—岩屑/玻屑; 30—断层及化石采样点

a: ①—①' section of Dikan'er Formation; b: ②—②' (section of Dikan'er Formation; c: ③—③' section of Qishan Formation; d: ④—④' section of Xiaorequanzi Formation; e: ⑤—⑤' section of Xiaorequanzi Formation; f: ⑥—⑥' section of Qi'eshan Formation
 1—Quaternary; 2—conglomerate; 3—sandstone; 4—quartz sandstone; 5—tuffaceous sandstone; 6—siltstone; 7—carboniferous siltstone; 8—calcareous siltstone; 9—chert; 10—limestone; 11—silty limestone; 12—argillaceous silty limestone; 13—bioclastic limestone; 14—bioclastic calcirudite; 15—bioclastic micrite; 16—volcanic breccia; 17—tuff; 18—basalt; 19—andesite; 20—dacite; 21—spilite; 22—albitophyre; 23—quartz homstone; 24—gabbro; 25—granite; 26—quartz diorite; 27—quartz vein; 28—cataclastic/carbonation; 29—debris/vitric; 30—fault/fossil position

等, 2006), 延至赤湖地区中酸性熔岩大面积出露。火山碎屑岩以晶屑玻屑凝灰岩为主, 火山熔岩岩石组合为玄武岩-玄武安山岩-安山岩-英安岩-流纹岩, 反映了岩浆喷发从基性到中性再到酸性的顺序。钠质安山岩、钠质英安岩中可见熔岩流动过程中的流纹构造。伴随火山活动有大量岩浆侵位, 形成觉罗塔格北部花岗岩链, 土屋等大型斑岩矿床即赋存于此。

库姆塔格沙垄地区早石炭世火山岩层总厚 5 144.29 m, 可划分出 10 个喷发韵律, 火山岩喷发系数为 95.59, 爆发指数为 42, 属于基本上连续的以喷溢为主的火山岩浆活动。组内岩石普遍发生蚀变, 其中玄武岩有硅化、表面绢云母化, 凝灰岩晶屑多绿泥石化, 胶结物火山灰高岭土化、绿帘石化。

小热泉子组火山岩样品尽量选取蚀变程度较低的岩石, 测定的主微量、稀土元素含量见表 1。由表可见岩石 TiO_2 含量较低, 平均值为 0.8%, 明显不同于 OIB 的 TiO_2 含量 ($>2.0\%$) 和 MORB (TiO_2 平均含量 1.5%), 与 VAB 的 TiO_2 含量 (TiO_2 平均含量 0.8%) 相近; K_2O 含量平均为 1.7%, 远高于正常洋中脊玄武岩 K_2O 的平均值 (0.15%); $\text{Na}_2\text{O} \gg \text{K}_2\text{O}$, 具明显低钾富钠的特征。稀土元素配分表现为较明显的 Eu 负异常, 轻稀土元素明显富集, 重稀土元素较为亏损 (表 1)。 ΣREE 一般随岩石 SiO_2 增加而增大, 岩石酸性程度高的稀土元素总量也偏高 (表 1)。火山岩亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti、Zr、Hf 和重稀土元素 Yb、Y, 富集大离子亲石元素 Rb、Cs、Ba、Sr、Pb、U、Th、K 和轻稀土元素 (图 4a)。

赤湖岩体的侵位导致小热泉子组岩性出露不全, 相当一部分岩石以捕虏体的形式出露, 但其喷发的韵律性仍有表现。由于接近康古尔塔格大断裂, 岩石还具有挤压变形特征。

侯广顺等 (2005) 在土屋铜矿附近取得安山岩年龄 $336.5 \pm 6.6 \text{ Ma}$ (锆石 U-Pb, SHRIMP), 为本套地层的早石炭世归属提供了证据。侵位岩体有自西向东逐渐变新的趋势, 土屋、延东矿区矿化斜长花岗斑岩体的年龄为 334~333 Ma (锆石 U-Pb, SHRIMP, 陈富文等, 2005), 而东部赤湖斜长花岗斑岩体年龄为 322 Ma (锆石 U-Pb, SHRIMP, 吴华等, 2006)。

2.2 晚石炭世底坎儿组碎屑岩、碳酸盐岩

主要出露在小热泉子组早石炭世火山岩之南, 紧靠康古尔塔格断裂带北界, 东西带状分布, 延伸稳定 (图 3), 是大南湖岛弧带的最南部地质单元, 受康古尔塔格-黄山碰撞带影响, 岩石多呈片理化、糜棱

岩化。在库姆塔格沙垄东侧主要由砾岩、含砾粗砂岩、含炭粉砂岩、凝灰砂岩、灰岩组成, 自下而上构成 3 个砾岩-砂岩-灰岩沉积组合。砾岩多为灰褐色, 其砾石成分复杂, 以火山质为主, 大者 3~5 cm, 小者 0.6~1 cm, 一般具磨圆和分选, 后经韧性剪切, 沿裂隙又有铁质、硅质胶结。砾石的磨圆表明岩石经历过较长距离的搬运堆积。在库姆塔格沙垄西侧出露孤立岛状碳酸盐岩, 主要为生物碎屑灰岩, 几乎每层都可见个体发育完整的海百合茎类化石。

本次工作在该组灰岩透镜体中鉴定出牙形刺化石 *Streptognathodus suberectus* 和 *Idiognathoides sinuata*, 时代相当于晚石炭世罗苏阶—达拉阶。

2.3 晚石炭世企鹅山组火山岩

晚石炭世火山岩分布在同时代的脐山组碎屑岩以北, 系石炭纪活动陆缘的最北端, 以大草滩断裂与泥盆纪活动陆缘相隔 (图 3)。总体为一套中基性-中酸性火山熔岩、火山碎屑岩, 单斜状南倾, 层序上向南变新, 主要岩性有钠质安山岩、安山岩、玄武岩与凝灰岩、角砾凝灰岩。火山碎屑岩与火山熔岩交替出现, 韵律较好。岩层总厚度 3 480.7 m, 火山喷发连续而猛烈, 属连续的以爆发为主的火山活动。

组内有二叠纪哈克恰勒岩体呈漏斗状侵入, 岩体周围围岩多已发生接触交代作用。远离岩体, 岩石也有轻微蚀变, 如火山角砾岩的凝灰质角砾被绿帘石、绿泥石交代; 安山质凝灰岩长石晶屑表面见次生绢云母; 暗色矿物晶屑多被方解石、绿帘石交代。

企鹅山组火山岩样品尽量选取蚀变程度较低的岩石, 测定的主微量、稀土元素含量见表 2。地球化学特征显示其为钙碱性系列岩石, 岩浆具初步分异。微量元素蛛网图呈“先隆后凹”型式 (图 4b), 表现为从 Sr 到 Th 的不断升高和从 Th 到 P 的持续降低, 主要富集元素有 Sr、Ba 和 Th。稀土元素 Eu 异常不明显, 轻稀土元素明显富集, 重稀土元素较为亏损 (表 2)。与小热泉子组早石炭世火山岩相比, 高 TiO_2 、 Al_2O_3 、CaO, 低 SiO_2 。

土屋地区英安岩中锆石 U-Pb (TIMS 方法) 年龄为 319.9 Ma (李向民等, 2004), 证实了该套晚石炭世火山岩的存在。哈克恰勒岩体主要岩性有花岗闪长岩、闪长岩、二长花岗岩, 各岩相之间为突变接触。岩石地球化学特征显示为过铝质岩类, 其中花岗岩 265 Ma 的锆石 U-Pb 年龄, 表明岩体侵位时代为二叠纪。除哈克恰勒花岗岩体外, 晚石炭世火山岩中还有大量基性岩墙群的侵位。

表 1 东天山小热泉子组主量($w_B/\%$)和微量元素($w_B/10^{-6}$)分析结果Table 1 Major elements($w_B/\%$) and trace elements($w_B/10^{-6}$) composition of Xiaorequanzi Formation in East Tianshan area

编号	II-14	II-15	V-1	V-2	V-4	V-5	V-6	V-16	V-17	V-18	V-19	V-21
SiO ₂	65.16	54.78	75.71	47.11	57.61	64.62	74.55	71.07	71.03	52.43	61.01	73.86
TiO ₂	0.91	1.21	0.24	1.79	0.88	0.45	0.23	1.14	0.32	0.76	0.67	0.22
Al ₂ O ₃	14.83	16.62	12.76	16.72	15.41	15.92	13.19	12.15	14.73	16.74	15.15	13.29
Fe ₂ O ₃	2.20	2.83	0.84	6.67	2.83	1.88	0.43	3.53	0.71	2.74	3.52	0.53
FeO	2.88	6.02	1.98	4.24	4.78	3.00	1.65	2.49	1.68	5.29	3.33	1.70
MnO	0.13	0.15	0.11	0.20	0.16	0.14	0.06	0.12	0.07	0.15	0.17	0.06
MgO	1.08	3.45	0.41	5.88	4.04	1.57	0.37	0.43	1.00	4.50	2.34	0.32
CaO	2.48	8.51	0.23	7.91	4.95	4.3	0.84	2.01	1.61	6.94	6.73	1.48
Na ₂ O	5.22	2.87	6.13	3.06	3.00	3.42	4.16	5.85	5.51	2.13	3.92	4.30
K ₂ O	2.06	0.47	0.20	2.02	2.34	1.52	3.32	0.27	1.55	2.16	0.32	3.07
P ₂ O ₅	0.26	0.22	0.03	0.53	0.25	0.16	0.08	0.54	0.14	0.22	0.22	0.06
H ₂ O ⁺	1.54	2.28	0.86	2.68	2.72	1.68	0.76	0.66	1.14	3.46	2.04	0.58
H ₂ O ⁻	0.04	0.05	0.12	0.24	0.04	0.14	0.18	0.04	0.04	0.18	0.10	0.08
灼失	2.12	2.36	0.38	3.18	3.38	2.18	0.58	0.24	1.48	5.96	3.06	0.54
总量	98.80	99.45	99.63	99.05	99.01	98.82	99.82	100.31	99.54	97.7	99.53	99.55
K ₂ O/Na ₂ O	0.39	0.16	0.03	0.66	0.78	0.44	0.8	0.05	0.28	1.01	0.08	0.71
Ba	696	1 160	147	377	419	352	874	147	624	293	121	956
Rb	53.1	5.8	4.2	45.1	64.1	33.8	81.8	7.0	35.5	55.1	7.8	77.7
Sr	412	774	216	771	368	377	233	430	426	874	708	292
Y	34.8	23.9	50.3	23.5	16.8	20.0	13.1	42.8	16.9	16.3	20.4	16.6
Zr	152	117	317	171	170	115	129	217	98.3	93.3	89.5	127
Nb	6.42	3.84	11.9	5.26	4.76	6.12	5.35	10.30	5.12	3.32	2.30	4.51
Th	3.61	1.67	4.86	0.64	1.95	2.24	5.57	2.03	4.32	1.63	1.32	5.53
Ni	6.1	12.2	10.7	69.9	26.8	10.5	8.0	7.6	8.6	25.9	4.3	7.1
V	29.1	267	6.51	243	214	71.2	12.6	21.5	43.6	272	147	10.7
Cr	8.45	22.6	16.8	103	46.8	15.9	13.4	12.8	17.2	78.8	13.4	16.6
Hf	4.8	3.6	7.99	5.13	4.86	3.28	4.19	6.09	3.09	3.25	2.62	3.65
Sc	19.9	32	9.52	29.7	25.6	11.4	3.29	24.9	7.74	35	29.6	3.13
Ta	0.28	0.31	0.91	0.29	0.31	0.99	0.32	1.03	0.3	0.31	0.29	0.25
Co	8.6	25.7	1	44.3	25.8	11.8	6.4	6.5	5.7	30.9	13.6	0
Li	18	15.4	7.6	19.4	30.6	10.3	5	4	6.3	22.2	13.3	7.5
Be	0.98	1.03	4.56	1.52	1.5	1.38	1.4	2.42	1.25	1.27	1.04	1.5
La	23	14.5	27.6	14.4	13.9	13.6	18.9	26	17.6	11.4	11	22.3
Ce	42.2	28.1	66.9	31.7	29.1	24.5	35.6	54.9	32.6	21.2	24.5	38.7
Pr	7.03	4.27	8.98	.8	4.11	3.67	3.53	8.85	3.7	3.15	2.92	4.28
Nd	30.6	20.4	37.4	22.2	17.4	13.8	14	40	13.6	13.2	13.2	15.8
Sm	7.42	5.25	9.55	5.51	3.86	3.34	2.97	10.7	2.82	3.28	3.34	3.29
Eu	1.93	1.45	1.82	1.84	1.07	1.04	0.56	3.26	0.68	0.94	1.05	0.64
Gd	6.81	4.89	8.45	5.2	3.84	3.3	2.22	9.61	2.71	2.98	3.65	2.59
Tb	1.22	0.88	1.53	0.9	0.69	0.59	0.4	1.61	0.45	0.5	0.62	0.45
Dy	8.24	5.98	10.7	5.8	4.09	4.14	2.71	10.8	3.07	3.39	4.08	2.83
Ho	1.65	1.28	2.23	1.2	0.86	0.79	0.56	2.08	0.68	0.66	0.87	0.57
Er	4.88	3.48	6.33	3.16	2.37	2.8	1.62	5.82	1.85	2.04	2.5	1.86
Tm	0.72	0.52	0.95	0.42	0.36	0.4	0.26	0.84	0.28	0.3	0.37	0.28
Yb	4.22	2.96	6	2.45	2.12	2.55	1.87	5.07	1.85	1.64	2.2	1.91
Lu	0.54	0.39	0.83	0.32	0.28	0.36	0.27	0.67	0.28	0.22	0.32	0.29
∑REE	140.46	94.35	189.27	99.9	84.05	74.88	85.47	180.21	82.17	64.9	70.62	95.79
LREE/HREE	3.97	3.63	4.11	4.14	4.75	4.02	7.62	3.94	6.36	4.53	3.83	7.89
(La/Yb) _n	3.67	3.3	3.1	3.96	4.42	3.6	6.81	3.46	6.41	4.69	3.37	7.87
δEu	0.82	0.86	0.61	1.04	0.84	0.95	0.64	0.96	0.74	0.9	0.92	0.65

数据由国土资源部宜昌地质矿产研究所岩矿测试分析研究室测定, FeO 和 Fe₂O₃ 由湿化学法测定, 其他主量元素由 X 荧光光谱法(XRF)分析, 稀土元素由 ICP-AES 检测, 微量元素在 ICP-MS 上完成。

表2 东天山企鹅山组主量($w_B/\%$)和微量元素($w_B/10^{-6}$)分析结果
 Table 2 Major elements($w_B/\%$) and trace elements($w_B/10^{-6}$) composition of Qi'eshan Formation in East Tianshan area

编号	II-1	II-2	II-4	II-5	II-7	II-8	III-10-1	II-9	II-11
SiO ₂	47.86	55.18	43.16	61.4	50.22	61.68	52.13	51.02	53.39
TiO ₂	1.16	0.81	2.53	0.79	2.10	0.89	1.54	1.14	1.34
Al ₂ O ₃	16.73	16.01	15.68	16.45	15.36	16.47	16.54	18.22	15.46
Fe ₂ O ₃	3.46	2.01	4.09	1.78	1.27	2.36	4.62	2.67	3.55
FeO	6.64	4.52	10.62	3.26	8.17	3.8	6.72	5.64	6.79
MnO	0.16	0.13	0.26	0.09	0.17	0.14	0.18	0.15	0.19
MgO	6.03	5.82	4.96	2.47	2.67	1.66	4.29	4.07	3.58
CaO	9.78	7.88	11.44	2.62	7.52	2.34	6.75	5.66	7.12
Na ₂ O	1.98	3.09	0.27	4.13	5.00	3.54	4.55	4.84	2.82
K ₂ O	0.947	0.12	0.01	3.89	0.28	3.18	0.66	2.55	2.14
P ₂ O ₅	0.374	0.18	0.78	0.23	0.42	0.14	0.33	0.29	0.26
H ₂ O ⁺	2.94	2.38	4.42	2.10	3.25	1.90	1.39	2.62	2.17
H ₂ O ⁻	0.20	0.11	0.13	0.11	0.26	0.06	0.11	0.12	0.10
灼失	4.04	3.02	4.84	2.16	6.24	2.98	1.05	2.70	2.66
总量	98.26	98.25	98.36	99.33	96.69	98.16	99.80	99.00	98.92
K ₂ O/Na ₂ O	0.48	0.04	0.06	0.94	0.06	0.90	0.15	0.53	0.76
Ba	248	98.9	34.5	978	335	725	190	1090	716
Rb	17.1	3.6	1.6	81.7	4.7	84.5	12.8	43.3	36.3
Sr	700	701	817	577	629	1860	408	841	683
Y	18.6	17.9	37.7	20.9	50.2	28.8	23.4	19.0	24.3
Zr	109	138	104	184	221	168	65.8	110	96.1
Nb	4.89	4.66	6.26	10.1	9.01	5.85	3.47	4.13	3.47
Th	0.66	2.68	1.69	5.51	4.76	3.25	1.08	2.87	1.63
Ni	87.6	81.6	16.7	34.7	22	14.1	27.5	23	9.5
V	260	158	409	101	204	115	296	274	376
Cr	154	142	30.4	36.2	15.2	34	32.3	39.4	7
Hf	3.81	4.55	3.89	5.57	7.17	5.28	2.21	3.63	3.31
Sc	31.5	26.6	49.5	13	24.2	29.2	34.3	32.4	42.6
Ta	0.5	0.43	0.3	1.18	1.52	0.28	0.3	0.31	0.29
Co	39.6	29.1	37	16.1	31.7	12.9	36.2	26.5	30.6
Li	12.8	21.2	14	14.8	16	15.5	7.8	16.4	11.7
Be	1.15	0.94	1.67	1.46	1.1	0.85	1.04	0.95	1.2
La	16.9	16.3	17.2	29.4	29.1	18.6	12.1	19	15
Ce	31.6	29	34.8	51.1	56.7	39.8	24.4	33.8	28
Pr	4.8	4.25	6.6	6.28	10.2	6.79	4.18	5.29	4.7
Nd	23.5	17.7	31.8	29.7	41.9	30	20.2	25	21
Sm	5.82	4.58	8.44	6.1	11	7.61	5.42	5.81	5.7
Eu	1.75	1.28	2.76	1.36	2.29	2.31	1.77	1.64	1.6
Gd	4.8	3.9	7.84	4.81	10.6	6.54	5.16	4.78	5.4
Tb	0.74	0.68	1.36	0.8	1.87	1.14	0.91	0.8	0.9
Dy	4.86	4.42	8.9	4.99	12.3	7.91	5.9	5.18	6.2
Ho	1.02	0.95	1.68	0.83	2.39	1.54	1.25	0.87	1.3
Er	2.79	2.63	4.65	2.71	6.8	4.58	3.48	2.73	3.6
Tm	0.42	0.4	0.64	0.4	0.98	0.69	0.46	0.38	0.5
Yb	2.09	2.22	3.42	2.48	5.94	4.36	2.95	2.14	3.1
Lu	0.28	0.28	0.42	0.31	0.75	0.52	0.36	0.26	0.4
∑REE	101.37	88.59	130.51	141.27	192.82	132.39	88.54	107.68	189.27
LREE/HREE	4.96	4.72	3.51	7.15	3.63	3.85	3.33	5.28	4.11
(La/Yb) _n	5.45	4.95	3.39	7.99	3.3	2.88	2.77	5.99	3.2
δEu	0.98	0.9	1.02	0.74	0.64	0.98	1.01	0.92	0.88

测试方法等说明同表1。

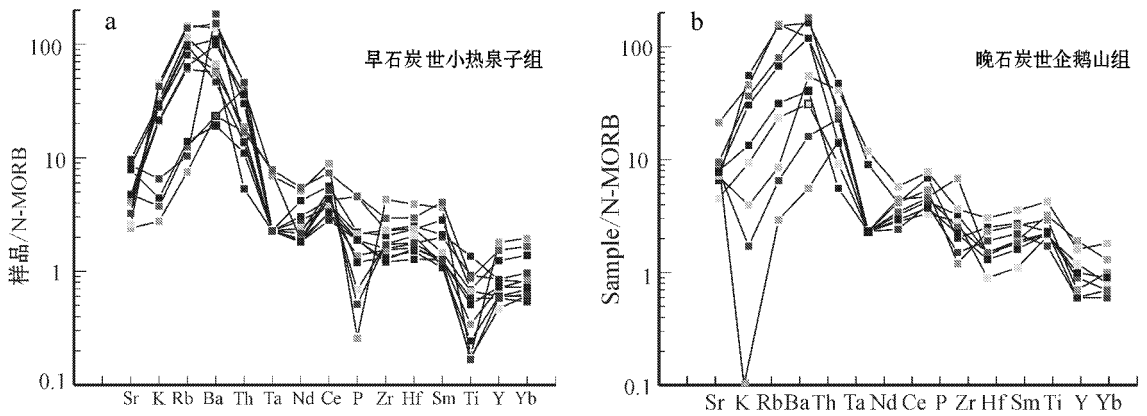


图 4 石炭纪火山岩微量元素蛛网图(N-MORB 数据自 Sun 等, 1989)

Fig. 4 N-MORB normalized trace element patterns of Carboniferous volcanic rocks in East Tianshan area (N-MORB data from Sun *et al.*, 1989)

2.4 晚石炭世企鹅山组碎屑岩夹碳酸盐岩

条带状分布在早石炭世小热泉子组火山岩北侧,更北以断裂与晚石炭世企鹅山组火山岩相隔,为一套碎屑岩夹碳酸盐岩(图 3)。碎屑岩中多凝灰质砂岩和凝灰质岩屑砂岩,凝灰质砂岩由岩屑(18%)、砂屑(52%)及胶结物(30%)组成,岩屑呈圆状、次圆状,成分为安山岩、凝灰岩,系流水切割喷发火山岩并搬运沉积而成。

碳酸盐岩中含珊瑚化石 *Pelalaxis intermedia*, *Lithostrotionella rarivesicula*, *Fomichevella kiaeri*, 时代相当于上石炭统达拉阶—小独山阶,其中少数种可上延至上石炭统逍遥阶—下二叠统紫松阶,故其层位可能稍高。

3 构造环境判别

3.1 早石炭世小热泉子组火山岩

该套岩石主要是一套火山岩建造,以火山碎屑岩和火山熔岩为主,火山喷发岩相中含大量钠质火山岩,即细碧岩、角斑岩及石英角斑岩(已废弃使用, Le Maitre *et al.*, 1989),可判断其喷发环境属海相或近海相;火山岩的岩石化学特征显示岩石属钙碱性系列,岩石组合为钙碱性 B-A-D-R(玄武岩—安山岩—英安岩—流纹岩)序列,具从基性—中性—酸性的岛弧火山岩演化模式,稀土微量元素特征具有明显消减带组分(SZC)特征。将中基性岩石投点于构造环境判别图解上,在 Hf-Th-Nb 图解(图 5)中,多位于岛弧玄武岩及分异产物区;由此图也可看出 Hf/Th

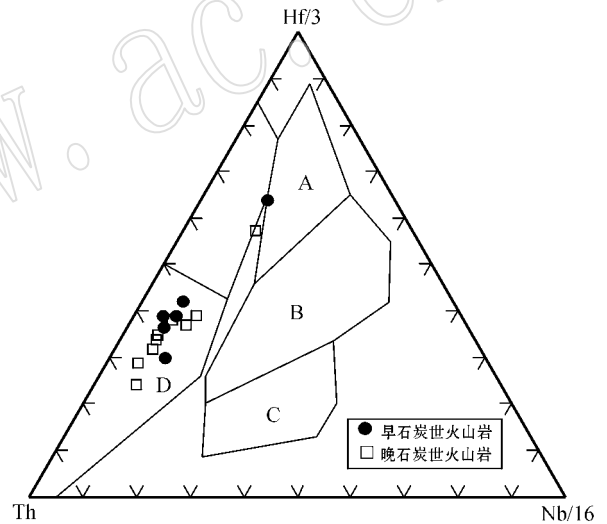


图 5 小热泉子组和企鹅山组中基性岩石 Hf-Th-Nb 图解 (Wood 等, 1979)

Fig. 5 Hf-Th-Nb diagram of basic and intermediate rocks of Xiaorequanzi and Qi'eshan Formation in East Tianshan area (from Wood *et al.*, 1979)
A—正常洋脊玄武岩; B—富集型洋脊玄武岩及分异产物; C—板内碱性玄武岩及分异产物
A—N-type MORB; B—E-type MORB; C—alkaline WPB (intraplate basalt) and WPB and differentiates; D—destructive plate-margin basalt and differentiates

<3, 属钙碱性岛弧。利用 Th/Yb-Ta/Yb 图解可以很好地判别不同类型的火山弧,图 6 中可以看出样品明显集中在钙碱系列洋内弧区域。

该组构造环境属汇聚板块边缘的岛弧区。考虑到其南北两侧地层分别是晚石炭世浅海相的碎屑

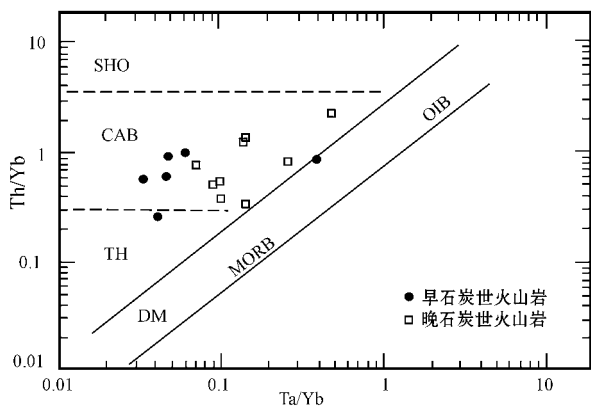


图 6 小热泉子组和企鹅山组中基性岩石 Th/Yb - Ta/Yb 判别图

Fig. 6 Th/Yb versus Ta/Yb diagram of basic and intermediate rocks of Xiaorequanzi and Qi'eshan Formation in East Tianshan area

DM—亏损地幔; MORB—大洋中脊玄武岩(N型); OIB—洋岛玄武岩; TH—拉斑玄武岩; CAB—钙碱性玄武岩; SHO—钾玄岩
DM—depleted mantle; MORB—mid-ocean ridge basalt; OIB—ocean island basalt; TH—tholeiite; CAB—calc-alkaline basalt; SHO—shoshonite basalt

岩、碳酸盐岩,并且该套岩石向北远离泥盆纪活动陆缘残片,反而向南距离康古尔塔格深大断裂及洋壳残片的梧桐窝子岩组较近,综合来看沉积位置应该是早石炭世萎缩时期形成的洋内弧。

侯广顺等(2006)对土屋南部火山岩进行了分析,其 Sr-Nd 同位素特征表明岩浆起源于亏损地幔,岩石为低钾拉斑系列,系大南湖泥盆纪岛弧向南侧增生的产物。这与本文结论相符。

该火山岩在西部土屋地区多为中基性(侯广顺等,2006;李向民等,2006),延至赤湖地区变为中酸性。从与火山岩伴生的岩体来说,西部土屋地区为埃达克岩,赋含 Cu 矿床,时代为 361~333 Ma(芮宗瑶等,2002;陈富文等,2005;Zhang *et al.*, 2006, 2008),而东部赤湖岩体为正常钙碱性系列,含矿性较差,时代为 322 Ma(吴华等,2006)。火山岩及伴生岩体的性质和时代变化表明,该早石炭世洋内弧在东部赤湖及库姆塔格沙垄地区发育更为成熟。

3.2 晚石炭世底坎儿组碎屑岩、碳酸盐岩

底坎儿组在研究区内主要为一套浅海相正常沉积岩系,见大量生物碎屑海百合茎,40%以上个体完整,反映当时沉积过程中海水温度深度适合生物生存;碎屑呈碎块状,几乎无磨圆,可能为生物个体经

波浪和潮汐作用,海水将海百合搅动打碎,近地沉积,波浪和潮汐相互作用的地带应该是潮上和潮间带的潮坪环境(浅海);砾石灰岩中砾石在 3~5 mm 内,分选性好,具一定磨圆,成分为灰岩、硅质岩,说明海水很浅,沉积区在陆源碎屑很近的区域。灰岩层理面上大量发育脱水收缩构造,说明沉积发生在盐度变化的水下环境(Miall, 1990)。其北部为早石炭世的岛弧火山岩(小热泉子组),南部为代表了洋壳残片的梧桐窝子岩组和复理石建造的干墩岩组,综合判断底坎儿组晚石炭世碎屑岩、碳酸盐沉积为残余海盆环境。

区域上底坎儿组为晚石炭世早期的一套碎屑岩夹碳酸盐岩,岩石序列反映出一个完整的海侵-海退过程,其沉积物来源于华力西中期岛弧剥蚀区,沉积环境为残余海盆(朱志新等,2002),与本次研究认识相同。

3.3 晚石炭世企鹅山组火山岩

该套地层以火山碎屑岩和火山熔岩为主,火山岩的岩石化学特征显示岩石属钙碱性系列,轻稀土元素相对富集、重稀土元素相对亏损,大离子蛛网图上具有大离子亲石元素相对富集、高场强元素相对亏损的特征,具有俯冲带岛弧火山岩的典型特征。构造环境判别图解(图 5)指示企鹅山组形成于俯冲带钙碱性岛弧, Th/Yb - Ta/Yb 图解(图 6)也显示出钙碱系列洋内弧的特征。

空间配置上来看,晚石炭世火山岩北界以大草滩断裂与泥盆纪岛弧相隔,南侧为晚石炭世沉积岩,更南侧则是早石炭世的大洋岛弧火山岩,说明晚石炭世火山岩系大洋岛弧后侧的洋盆俯冲而成。

3.4 晚石炭世脐山组碎屑岩夹碳酸盐岩

脐山组生物灰岩中以复体珊瑚发育为特色,个体完整,多呈点礁状产出,反映了浅海潮间带环境,大量生物碎屑海百合茎也表明沉积区海动力较强。该组合与晚石炭世企鹅山组岛弧火山岩共生,碎屑岩中含大量火山质成分,表现为向北愈接近火山岩,碎屑岩中所含的火山物质愈多,显示了弧后盆地的特征。

区域上晚石炭世碎屑岩中含晚石炭世植物化石(蔡士赐, 1999),向东延伸至研究区,沉积环境上略有变化,其边缘海盆海陆交互相海水更深,已达浅海陆盆相,因而有珊瑚化石产出。

4 东天山晚古生代构造演化模式初探

通过以上资料分析,结合前人认识,本文对东天山大南湖岛弧带的构造格架及演化作如下探讨(图 7):

早古生代时塔里木板块与北侧的安加拉陆块间为多岛洋格局,类似中生代-新生代的环太平洋增生造山带(Xiao *et al.*, 2004; Windley *et al.*, 2007),其中吐哈地块作为洋盆中的一陆块,其北侧为卡拉麦里洋盆,南侧为康古尔塔格洋盆。区域资料表明,至少从奥陶纪开始(郭华春等, 2006; 曹福根等,

2006),卡拉麦里洋盆向南俯冲,康古尔塔格洋盆向北俯冲,造就了哈尔里克-大南湖岛弧带的形成(Xiao *et al.*, 2004)。奥陶纪至泥盆纪,洋盆持续俯冲,哈尔里克-大南湖岛弧带不断增生,发育奥陶纪至泥盆纪的岛弧带,而且弧岩浆前锋带的演化具有向南逐渐迁移的特点(李锦轶等, 2006a)。值得注意的是,东天山下泥盆统大南湖组海相岛弧沉积与中泥盆统头苏泉组陆相沉积之间存在一明显角度不整合(即大草滩运动, 李生虎等, 2002),本文认为这次运动说明大南湖岛弧带的陆缘增长方式发生了明显变化,中泥盆世之前为洋壳俯冲形成泥盆纪岛弧带,从中泥盆世开始板块停止俯冲,泥盆纪岛弧带出现陆相沉积。

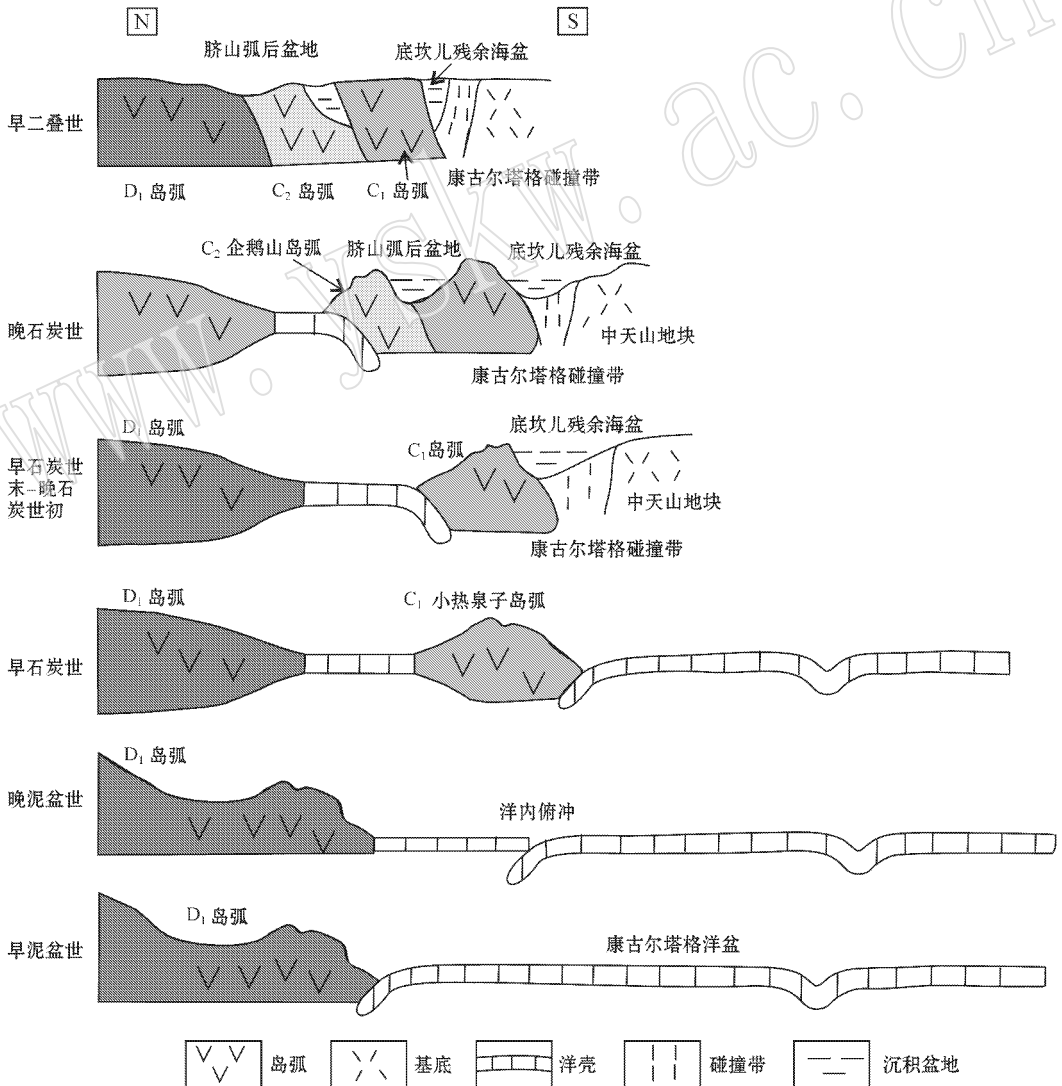


图 7 东天山大南湖岛弧带晚古生代构造演化略图

Fig. 7 Tectonic evolution sketch model of Dananhu arc in Late Paleozoic, East Tianshan area

早石炭世, 远离泥盆纪活动陆缘, 在康古尔塔格洋盆中间进行了洋内俯冲, 形成了新的海相沉积——小热泉子组钠质火山岩, 尽管这次俯冲的诱发机制还不是很清楚。

晚石炭世, 随塔里木板块持续向北运动, 小热泉子岛弧与南侧中天山地块碰撞拼贴, 中间的洋盆趋于消失, 转化为一残余海盆, 该残余海盆一直持续至晚石炭世末期消亡, 形成底坎尔组浅海相正常沉积岩系。本次碰撞还造成了俯冲极性的反转, 大洋岛弧的北侧洋盆开始向南俯冲, 形成晚石炭世的企鹅山弧火山岩及对应的脐山弧后盆地。塔里木板块与大南湖岛弧带最终于晚石炭世沿大草滩断裂一线碰撞拼合。

早二叠世, 大量幔源岩浆杂岩体侵位(李锦轶等, 2006b; 顾连兴等, 2006), 东天山地区地壳开始垂向增生(李锦轶等, 2006b)。研究区的表现是企鹅山组出现哈克恰勒花岗岩体和大量基性岩墙群。这类岩墙群的形成是区域构造应力场由挤压向伸展转换阶段的产物, 标志着造山过程的结束(罗照华等, 2008)。

以上演化过程说明在石炭纪东天山地区为复杂的多岛洋盆格局, 造山过程中既有弧前增生, 又有弧后洋盆闭合, 总体是一个复杂的增生造山过程, 与 Xiao 等(2004) 所提出的模式相符。

5 结论

大南湖岛弧带在晚古生代至少经历了两次洋—陆转换格局(晚泥盆世、晚石炭世), 早石炭世的海相沉积系在远离泥盆纪活动陆缘的康古尔塔格洋盆内部由洋内俯冲而形成, 该海相火山岩与南侧塔里木陆缘(中天山地块)碰撞, 形成晚石炭世的残余海盆, 碰撞同时造成俯冲极性反转, 北侧洋盆开始向南俯冲, 形成晚石炭世弧火山岩及弧后盆地。塔里木板块与大南湖岛弧带最终于晚石炭世沿大草滩断裂一线碰撞拼合。大南湖岛弧带的石炭纪岩石组合及分布体现了东天山的复杂增生过程, 与 Xiao 等(2004) 所提出的模式相符。最终的碰撞造成不同地区、不同时代的产物拼合焊接。

致谢 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第九地质大队李新光高级工程师对本文的野外资料收集工作提供了帮助, 中国地质科学院地质研究所

杨天南研究员、中国地质大学张招崇研究员审阅文稿并提出了宝贵意见, 在此表示衷心感谢!

References

- Cai Tuci. 1999. Multiple Classification and Correlation of the Stratigraphy of China (65): Stratigraphy Lithostratic of Xinjiang Uygur Autonomous Region[M]. China University of Geosciences Publishing House: Wuhan (in Chinese).
- Cao Fugen, Tu Qijun, Zhang Xiaomei, *et al.* 2006. Preliminary determination of the Early Paleozoic magmatic arc in the Karlik Mountains, East Tianshan, Xinjiang, China—Evidence from zircon SHRIMP U-Pb dating of granite bodies in the Tashuihe area[J]. Geological Bulletin of China, 25(8): 923~927 (in Chinese with English abstract).
- Chen Fuwen, Li Huaqin, Chen Yuchuan, *et al.* 2005. Zircon SHRIMP U-Pb dating and its geological significance of mineralization in Tuwu-Yandong porphyry copper mine, East Tianshan Mountain[J]. Acta Geologica Sinica, 79(2): 256~261 (in Chinese with English abstract).
- Feng Jing, Li Yongjun, Wang Xiaogang, *et al.* 2007. Redefinition of Carboniferous lithostratigraphic units in the Kumutag sand-ridge area, East Tianshan, based on new fossil evidence[J]. Geology in China, 34(5): 942~949 (in Chinese with English abstract).
- Gao J, Li M, Xiao X, *et al.* 1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan Orogen, northwestern China[J]. Tectonophysics, 287(1~4): 213~231.
- Gu Lianxing, Hu Shouxi, Yu Chunshui, *et al.* 2001. Initiation and evolution of the Bogda subduction-torn-type rift[J]. Acta Petrologica Sinica, 17(4): 585~597 (in Chinese with English abstract).
- Gu Lianxing, Zhang Zunzhong, Wu Changzhi, *et al.* 2006. Some problems on granites and vertical growth of the continental crust in the eastern Tianshan Mountains, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1 103~1 120(in Chinese with English abstract).
- Guo Huachun, Zhong Li and Li Liqun. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of quartz diorite in the Koumenzi area, Karlik Mountains, East Tianshan, Xinjiang, China, and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 25(8): 928~931 (in Chinese with English abstract).
- He Junhui, Xia Ming and Zhang Xinglong. 2005. Discussion on the structural environment of the Wutongwozi Group at Jueluotag region in the Eastern Tianshan, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 23(1): 23~27(in Chinese).
- Hong Dawei, Zhang Jisheng, Wang Tao, *et al.* 2004. Continental crustal growth and the supercontinental cycle: evidence from the Central Asian Orogenic Belt[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 23(5): 799~813.
- Hou Guangshun, Tang Hongfeng, Liu Congqiang, *et al.* 2005. Geochronological and geochemical study on the wallrock of Tuwu-Yandong porphyry copper deposits, eastern Tianshan mountains[J].

- Acta Petrologica Sinica, 21(6): 1 729~1 736(in Chinese with English abstract).
- Hou Guangshun, Tang Hongfeng and Liu Congqiang. 2006. Geochemical characteristics of the Late Paleozoic Volcanics in Jueluotage tectonic belt, eastern Tianshan and its implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(6): 1 167~1 177(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.
- Ji Jinsheng, Tao Hongxiang, Zeng Zhangren, *et al.* 1994. Geology of the Kanggurtag Gold Mineralization Zone and Exploration, East Tianshan[M]. Beijing: Geological Publishing House, 136(in Chinese with English abstract).
- Le Maitre R W, Bateman P, Dudek A, *et al.* 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms[M]. Blackwell Scientific Publ., 1~193.
- 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, Song Biao, Wang Kezhao, *et al.* 2006b. Permian mafic-ultramafic complexes on the Southern Margin of the Tu-Ha Basin, East Tianshan Mountains: Geological records of vertical crustal growth in Central Asia[J]. Acta Geoscientia Sinica, 27(5): 424~446(in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Wang Kezhao and Li Wenqian. 2002. Tectonic evolution since the late Paleozoic and mineral prospecting in Eastern Tianshan Mountains, NW China[J]. Xinjiang Geology, 20(4): 295~301(in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Wang Kezhao, Sun Guihua, *et al.* 2006a. Paleozoic active margin slices in the southern Turfan-Rami basin: geological records of subduction of the Paleo-Asian Ocean plate in central Asian regions [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1 087~1 102(in Chinese with English abstract).
- Li Shenghu and Li Wenqian. 2002. Establishment of "Big marsh movement" and its geological significance in east Tianshan Mountain of Xinjiang[J]. Northwestern Geology, 35(3): 48~52(in Chinese with English abstract).
- Li Xiangmin, Xia Linqi, Xia Zuchun, *et al.* 2004. Zircon U-Pb geochronology of volcanic rocks of the Qi'eshan Group in the East Tianshan Mountains [J]. Geological Bulletin of China, 23(12): 1 215~1 220(in Chinese with English abstract).
- Li Xiangmin, Xia Linqi, Xia Zuchun, *et al.* 2006. Petrogenesis of the Carboniferous Qi'eshan Group volcanic rocks in the East Tianshan [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 36(3): 336~341(in Chinese with English abstract).
- Li Xiangmin, Xia Linqi, Xia Zuchun, *et al.* 2007. Geochemical characteristics and tectonic environment of Qi'eshan Group volcanic rock [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 37(1): 134~139(in Chinese with English abstract).
- Li Yongjun, Du Zhigang, Hu Keliang, *et al.* 2008. On disintegration of Qi'eshan group and its definition of lithostratigraphic units from Kuntag sand-ridge area in the Eastern Tianshan[J]. Earth Science, 33(4): 458~464(in Chinese with English abstract).
- Liu Dequan, Chen Yuchuan, Wang Denghong, *et al.* 2003. A Discussion on Problems Related to Mineralization of Tuwu-Yandong Cu-Mo Orefield in Hami, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 22(4): 334~344(in Chinese with English abstract).
- Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, Wang Bingzhang, *et al.* 2008. Post-orogenic dike complexes and implications for metallogenesis[J]. Earth Science Frontiers, 15(4): 1~12(in Chinese with English abstract).
- Ma Ruishi, Shu Liangshu and Sun Jiaqi. 1997. Tectonic Evolution and Metallogeny of Eastern Tianshan Mountains[M]. Beijing: Geological Publishing House, 202(in Chinese with English abstract).
- Miall A D. 1990. Principles of Sedimentary Basin Analysis [M]. Springer-Verlag: New York.
- Rui Zongyao, Liu Yulin, Wang Longsheng, *et al.* 2002. The Eastern Tianshan porphyry copper belt in Xinjiang and its tectonic framework [J]. Acta Geologica Sinica, 76(1): 83~94(in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [J]. Geological Society London Special Publications, 42(1): 313~345.
- Tian Wenquan, Wang Pujun, Li Songling, *et al.* 2005. Petrography and geochemistry of the Middle Ordovician volcanic rocks of Daligou Group in Hami Wupu Area of Eastern Tianshan, Xinjiang[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 35(3): 296~301(in Chinese with English abstract).
- Wang Futong, Feng Jing, Hu Jianwei, *et al.* 2001. Characteristics and significance of the Tuwu porphyry copper deposit, Xinjiang[J]. Geology in China, 28(1): 36~39(in Chinese).
- Wang Yu, Li Jinyi and Li Wenqian. 2002. ⁴⁰Ar-³⁹Ar Chronological evidence of dextral shear and tectonic evolution of the Eastern Tianshan orogenic belt[J]. Xinjiang Geology, 20(4): 315~319(in Chinese with English abstract).
- Windley B F, Alexeev D, Xiao W, *et al.* 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. Journal of the Geological Society, 164(1): 31~47.
- Wood D A, Joron J L, Treuil M. 1979. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings[J]. Earth and Planetary Science Letters, 45(2): 326~36.
- Wu Hua, Li Huaqi, Chen Fuwen, *et al.* 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of plagiogranite porphyry in the Chihu molybdenum-copper district, Hami, East Tianshan[J]. Geological Bulletin of China, 25(5): 549~552(in Chinese with English abstract).
- Xiao W J, Zhang L C, Qin K Z, *et al.* 2004. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the Eastern Tianshan (China): Implications for the continental growth of central Asia[J]. American Journal of Science, 304(4): 370~395.
- Xiao Wenjiao, Han Chunming, Yuan Chao, *et al.* 2006. Unique Carboniferous-Permian tectonic-metallogenic framework of Northern

- Xinjiang (NW China): Constraints for the tectonics of the southern Paleasian Domain [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1 062 ~ 1 076 (in Chinese with English abstract).
- Zhang L, Qin K and Xiao W. 2008. Multiple mineralization events in the eastern Tianshan district, NW China: Isotopic geochronology and geological significance [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(2~4): 236~246.
- Zhang L, Xiao W, Qin K, *et al.* 2006. The adakite connection of the Tuwu-Yandong copper porphyry belt, eastern Tianshan, NW China: trace element and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry [J]. *Mineralium Deposita*, 41(2): 188~200.
- Zhu Zhixin, Li Changhe and Li Shaojuan. 2002. Sedimentary system of Diger Formation in the Quoletag area, East Tianshan [J]. *Xinjiang Geology*, 20(1): 92~93 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 蔡士赐. 1999. 全国地层多重划分对比研究(65): 新疆维吾尔自治区岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 曹福根, 涂其军, 张晓梅, 等. 2006. 哈尔里克山早古生代岩浆弧的初步确定——来自塔水河一带花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 测年的证据 [J]. *地质通报*, 25(8): 923~927.
- 陈富文, 李华芹, 陈毓川, 等. 2005. 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 [J]. *地质学报*, 79(2): 256~261.
- 冯京, 李永军, 王晓刚, 等. 2007. 东天山库姆塔格沙垄地区石炭纪化石新资料及地层厘定 [J]. *中国地质*, 34(5): 942~949.
- 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 2001. 论博格达俯冲撕裂型裂谷的形成与演化 [J]. *岩石学报*, 17(4): 585~597.
- 顾连兴, 张遵忠, 吴昌志, 等. 2006. 关于东天山花岗岩与陆壳垂向增生的若干认识 [J]. *岩石学报*, 22(5): 1 103~1 120.
- 郭华春, 钟莉, 李丽群. 2006. 哈尔里克山口口子地区石英闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义 [J]. *地质通报*, 25(8): 928~931.
- 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 [J]. *新疆地质*, 23(1): 23~27.
- 侯广顺, 唐红峰, 刘丛强, 等. 2005. 东天山土屋-延东斑岩铜矿围岩的同位素年代和地球化学研究 [J]. *岩石学报*, 21(6): 1 729~1 736.
- 侯广顺, 唐红峰, 刘丛强. 2006. 东天山觉洛塔格构造带晚古生代火山岩地球化学特征及意义 [J]. *岩石学报*, 22(5): 1 167~1 177.
- 姬金生, 陶洪祥, 曾章仁. 1994. 东天山康古尔塔格金矿带地质与成矿 [M]. 北京: 地质出版社.
- 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]. *地质评论*, 50(3): 304~322.
- 李锦轶, 王克卓, 李文铅, 等. 2002. 东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查 [J]. *新疆地质*, 20(4): 295~301.
- 李锦轶, 王克卓, 孙桂华, 等. 2006a. 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 [J]. *岩石学报*, 22(05): 1 087~1 102.
- 李锦轶, 宋彪, 王克卓, 等. 2006b. 东天山吐哈盆地南缘二叠纪幔源岩浆杂岩: 中亚地区陆壳垂向生长的地质记录 [J]. *地球学报*, 27(05): 424~446.
- 李生虎, 李文铅. 2002. 新疆东天山地区“大草滩运动”的建立与其地质意义 [J]. *西北地质*, 35(3): 48~52.
- 李向民, 夏林圻, 夏祖春, 等. 2004. 东天山企鵝山群火山岩锆石 U-Pb 年代学 [J]. *地质通报*, 23(12): 1 215~1 220.
- 李向民, 夏林圻, 夏祖春, 等. 2006. 东天山石炭纪企鵝山群火山岩岩石成因 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 36(3): 336~341.
- 李向民, 夏林圻, 夏祖春, 等. 2007. 企鵝山群火山岩的地球化学特征和构造环境 [J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 37(1): 134~139.
- 李永军, 杜志刚, 胡克亮, 等. 2008. 东天山库姆塔格沙垄地区企鵝山群的解体及岩石地层单位厘定 [J]. *地球科学*, 33(4): 458~464.
- 刘德权, 陈毓川, 王登红, 等. 2003. 土屋-延东铜钼矿田与成矿有关问题的讨论 [J]. *矿床地质*, 22(4): 334~344.
- 罗照华, 卢欣祥, 王秉璋, 等. 2008. 造山后脉岩组合与内生成矿作用 [J]. *地学前缘*, 15(4): 1~12.
- 马瑞士, 舒良树, 孙家齐. 1997. 东天山构造演化与成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 202.
- 芮宗瑶, 刘玉琳, 王龙生, 等. 2002. 新疆东天山斑岩型铜矿带及其大地构造格局 [J]. *地质学报*, 76(1): 83~94.
- 田纹全, 王璞珺, 李嵩龄, 等. 2005. 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)*, 35(3): 296~301.
- 王福同, 王磊. 2001. 新疆土屋大型斑岩铜矿床特征及发现意义 [J]. *中国地质*, 28(1): 36~39.
- 王瑜, 李锦轶, 李文铅. 2002. 东天山造山带右行剪切变形及构造演化的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代学证据 [J]. *新疆地质*, 20(4): 315~319.
- 吴华, 李华芹, 陈富文, 等. 2006. 东天山哈密地区赤湖钼铜矿区斜长花岗岩斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 [J]. *地质通报*, 25(5): 549~552.
- 肖文交, 韩春明, 袁超, 等. 2006. 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 [J]. *岩石学报*, 22(5): 1 062~1 076.
- 朱志新, 李长和, 李少娟. 2002. 东天山却勒塔格地区底格尔组的沉积体系 [J]. *新疆地质*, 20(1): 92~93.