

东天山库姆塔格—沙泉子晚石炭世 火山—沉积岩相学地质地球化学特征与构造环境

方维萱^{1,2} 黄转盈^{1,2} 唐红峰¹ 高珍权^{1,2}

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 有色金属矿产地质调查中心北京地质调查所, 北京 100012)

摘要:通过对本区晚石炭世沉积岩和火山岩的岩相学类型及其特征研究,划分出山前洪积相(河流相)、水下三角洲沉积相、海岸潮坪相、浅海相、火山沉积岩相、火山喷溢相、火山喷发岩相、热水沉积岩相、火山热水蚀变岩相和砂卡岩相等 10 种不同岩相和相应的亚相,这种特征属大陆挤压收缩体制下活动大陆边缘上的火山—沉积岩相学组合类型。垂向相序结构表明在热水沉积岩相上下均有较强的火山活动,为成矿提供所需的热能。在库姆塔格晚石炭世压陷盆地中,热水沉积岩相的纵向相序结构为热水角砾岩亚相→菱铁矿岩亚相/石膏岩亚相→铁白云石岩亚相→碧玉岩亚相→铁白云石岩亚相,这种组合是寻找“库姆塔格型”大型石膏菱铁矿矿床的岩相学标志。本区火山—沉积岩相总的沉积序列显示向上由浅变深→由深变浅趋势,沉积物源主要来源于华力西期岛弧带剥蚀区及其南侧(中天山)基底隆起带;火山喷发仍形成发生在浅海环境中,具有大陆挤压收缩体制下(中天山造山带)后陆盆地沉积特点;晚石炭世原型沉积盆地可能为后陆盆地,有利于大型石膏菱铁矿矿床保存。

关键词:火山岩岩相学;沉积岩岩相学;热水沉积岩相;后陆盆地;石膏菱铁矿矿床;东天山

中图分类号:P595 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)03-0529-16

1 引言

从塔里木地块北缘到准噶尔盆地南缘,晚古生代构造特征主要为:(1)在塔里木地块北缘的塔北隆起,下石炭统巴楚组与上泥盆统甘木里克组为连续沉积,属典型的被动大陆边缘沉积体系^[1-4];塔里木地块西北缘属深水盆地沉积,向东沉积水体变浅;在库尔勒黄羊沟形成滨岸带浅水至陆相沉积,中天山—塔北—塔东古陆成为西南侧相邻盆地的蚀源岩区,石炭—二叠纪沉积范围逐渐向西南收缩,具有前陆盆地沉积体系演化特征^[5];从志留纪初开始到石炭纪末,塔里木地块东北缘主体一直处于抬升和剥蚀状态;总之,塔里木地块北缘古地貌具有东高西低、沉积水体东浅西深、沉积中心逐渐向西迁移收缩。(2)晚石炭世前,在库鲁克塔克—敦煌—张掖曾存在近东西向古陆;晚石炭世时,库尔勒以西中天山和星

峡—马鬃山近东西向古陆抬出水面之上^[6],形成中天山古前陆隆起构造带。(3)在南天山东段,早石炭世地层超覆于前石炭纪地层之上,晚石炭世地层均已缺失;在鄯善县阿齐山底坎尔组(C_{2d})呈微角度不整合超覆于雅满苏组(C_{1y})之上,被称为觉罗塔格运动^[6],残余海盆继续萎缩。(4)中天山东段石炭纪残余海相沉积属挤压体制下的沉积体系^[7]或前陆盆地沉积^[8],而在觉罗塔格和康古尔塔格却发育晚古生代岛弧带^[9-12]。(5)吐鲁番—哈密残余海相盆地在石炭纪末开始转换为陆相盆地,早二叠世末华力西期构造运动使石炭纪—早二叠世地层褶皱变形,构成了该弧后前陆盆地的褶皱基底。(6)在博格达—哈尔力克地区石炭纪形成大量中基性火山岩、火山碎屑岩夹灰岩透镜体和复理石沉积,火山活动强烈。(7)晚石炭世,古天山(准噶尔)洋盆开始进入萎缩时期,早二叠世末残余海盆向内陆盆地方向演化。以上表明,在晚古生代东天山

收稿日期:2006-04-24;改回日期:2006-05-15

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409805)、中国科学院地球化学研究所矿床地球化学重点实验室开放课题(200303)联合资助。

作者简介:方维萱,男,1961年生,研究员,博士生导师,主要从事金属矿产普查与勘探、沉积盆地与流体地质和生态环境地球化学研究; E-mail:fangwuxuan@tom.com。

地区可能曾经历了沉积盆地-造山带-岛弧带耦合与转换过程,尽管在东天山构造格局、火山岩与成矿关系等方面研究进展较大^[19-20],晚石炭世中天山前陆隆起(基底隆起)-岛弧带-沉积盆地格局、相互关系及其这种耦合与转换过程细节依然不清,因此,对东天山库姆塔格大型石膏菱铁矿床形成大陆动力学背景分析也难度很大。

将本区晚石炭世火山-沉积岩相和热水沉积岩相进行整体研究,有助于深入认识沉积体系及形成演化的构造背景,进一步揭示它们在古陆缘侧向增生上的大陆动力学背景及在成矿预测方面的指示意义。笔者在野外实际调查基础上,对中天山东段沙泉子-雅满苏晚石炭世沉积相、火山岩相地质地球化学特征进行统一研究分析,进而讨论东天山库姆塔格大型石膏菱铁矿床形成构造古地理背景。

2 晚石炭世地层格架、样品采集和分析

2.1 晚石炭世地层格架

上石炭统中主要矿产有沙泉子砂卡岩型小型铜铁矿床、库姆塔格大型石膏-中型菱铁矿床、觉罗塔格火山沉积成因的中型铁矿、多处锰矿点和矿化带。近年来,先后发现了砂岩型雅满苏 188 铜矿点、卡波尔铜矿化点和含金赤铁矿碧玉岩等多处有望矿点和一批 Au-Cu-Ag-As-Sb-Ba-Mn 组合化探异常,在寻找热水沉积型铜多金属矿方面显示出有利的成矿

条件和找矿信息。本区晚石炭世地层见图 1、岩相类型与地层格架^[7-9]见表 1 和图版 I。

2.2 样品采集和分析

在野外晚石炭世岩相类型与地层格架清理和实测基础上(图 1),选择有典型代表意义 3 个地段(景峡西南大沙沟、沙泉子北和库姆塔格石膏菱铁矿矿床)进行采样,样品特征见表 2 和图版 I。样品由中国地质科学院样品加工室进行切片和粗-细碎加工。中国科学院地球化学研究所李荪蓉研究员采用化学定量法进行岩石化学全分析,冯家毅和王亚平研究员采用 ICP-MS 法进行微量元素分析,X 射线粉晶衍射定量分析(XRD)由龚国洪研究员完成。

3 岩相学类型划分及其特征

3.1 山前洪积相(河流相)

该相在沙泉子-雅满苏岛弧带南北沿下石炭统雅满苏组之上顺层断续、不对称分布,雅满苏铁矿西南 188 铜矿点和西北侧大沙沟、沙泉子北均可见出露(图 1)。雅满苏 188 铜矿点底坎儿组底部紫红色杂砾岩产状为 230°∠63°。砾石成分为火山岩、晶屑凝灰岩、灰岩、花岗岩及闪长玢岩,成分混杂。磨圆度较好,但大小混杂,砾径在 8 cm×10 cm~3 cm×5 cm,最大者可达 50 cm×20 cm。砾石 60%~75%,杂基式胶结,该层厚 3.5~5 m。以普遍含有雅满苏组碳酸盐岩砾石为特

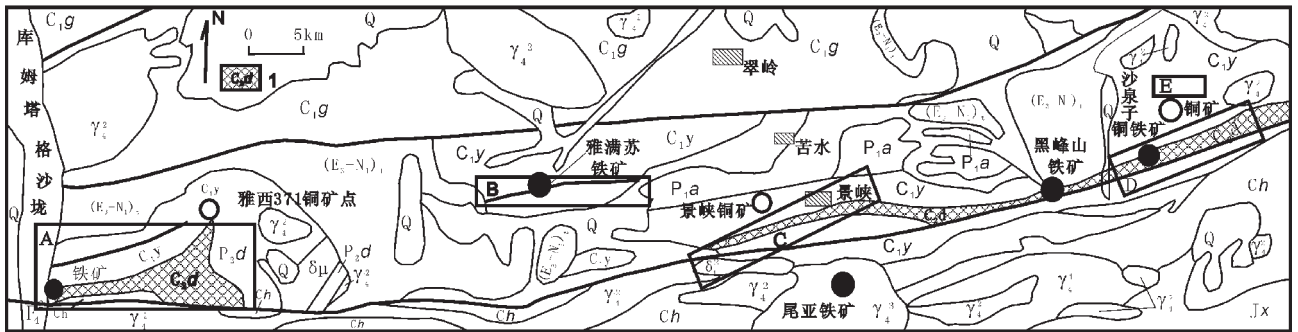


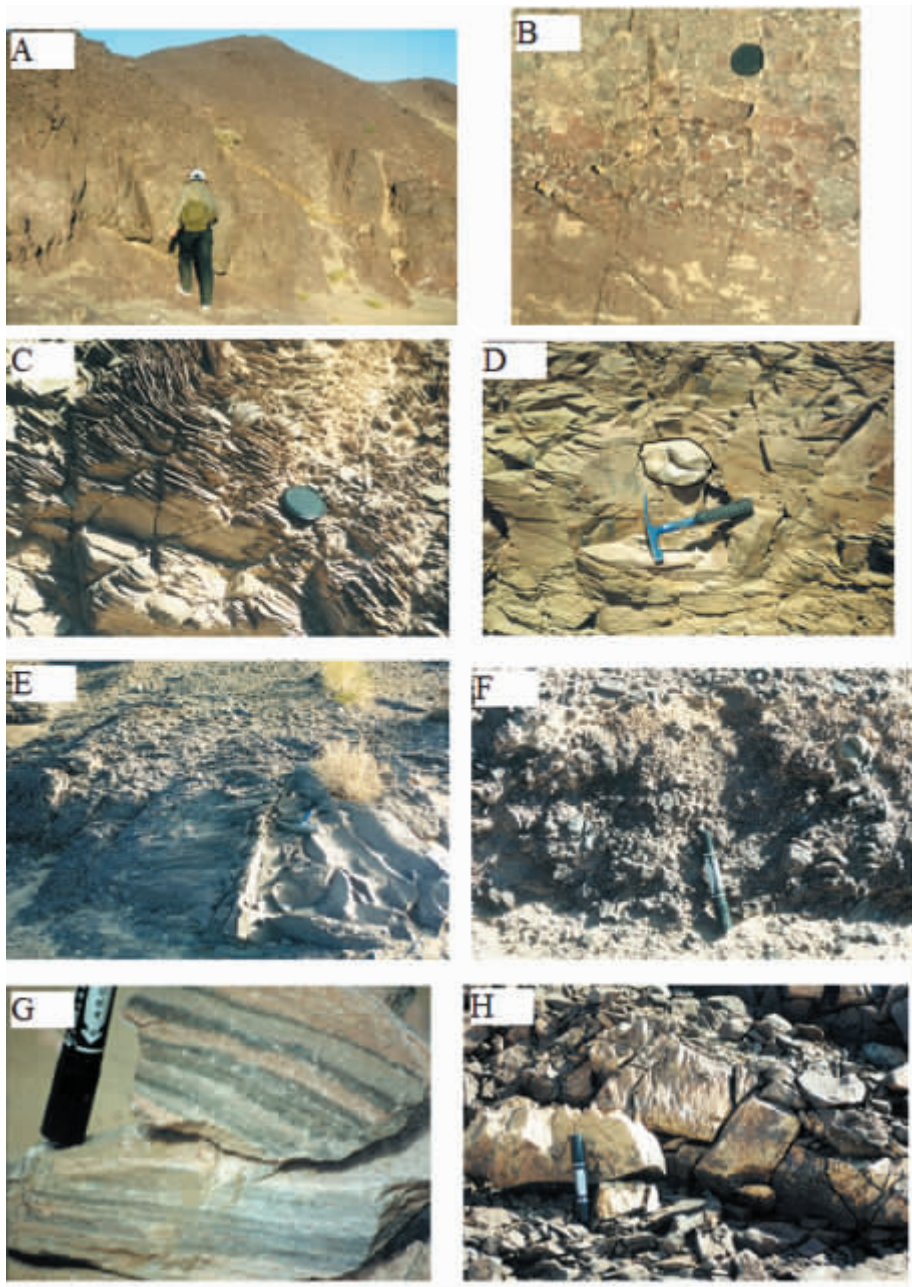
图 1 东天山库姆塔格—沙泉子地区矿产地质简图

Q—第四系;(E₂-N₁)t—始新统一中新统;P₂d—上二叠统大热泉组;P₁a—下二叠统阿奇克布拉克组;C₂d—上石炭统底坎尔组;C₁g—下石炭统干墩组;C₁y—下石炭统雅满苏组;Jx—蓟县系;Ch—长城系;γ₄¹、γ₄²—海西期花岗岩;δ₄²—海西期闪长岩;○—矿床(点);1—上石炭统底坎尔组分布范围;□—本文研究范围;A—库姆塔格石膏菱铁矿矿区及以东邻区;B—雅满苏 188 铜矿化点—雅满苏铁矿矿区南部地区;C—景峡铜矿点—景峡西南大沙沟地区;D—沙泉子铁矿;E—沙泉子铜矿北地区

Fig. 1 Geological sketch map showing mineral resources in the Kumtag-Shaquanzi area, East Tianshan

Q—Quaternary (E₂-N₁)t—Eocene-Miocene; P₂d—Upper Permian Darequan Formation; P₁a—Lower Permian Aqqikbulak Formation; C₂d—Upper Carboniferous Dikan'er Formation; C₁g—Lower Carboniferous Gandun Formation; C₁y—Lower Carboniferous Yamansu Formation; Jx—Mesoproterozoic Jixianian System; Ch—Mesoproterozoic Changchengian System; γ₄¹、γ₄²—Hercynian granite; δ₄²—Hercynian diorite; ○—ore deposit (occurrence); 1—Distribution area of the Upper Carboniferous Dikan'er Formation; □—study area; A—Kumtag gypsum-siderite district and area east of it; B—Yamansu 188 copper occurrence to the southern part of the Yamansu iron mining area; C—Jingxia copper occurrence to the large sand gully area southwest of Jingxia; D—Shaquanzi iron deposit; E—area north of the Shaquanzi copper deposit

图版 I (Plate I)



A—景峡西南大沙沟。41°51′01″N, 94°13′05″E。上石炭统水下三角洲沉积相冲积扇边部; B—上石炭统, 位置同 A。河控水下三角洲河道砾岩相。JX-50—粗砂质杂砾岩; C—41°51′04″N, 94°13′17″E。上石炭统, JX53—含砾粉砂岩; D—位置同 C。远源砾石 (JX54) 最大者 20 cm×2 cm, 岩屑、长石和石英砂顺层分布; E—沙泉子铜矿北。41°59′17″N, 94°50′17″E。上石炭统紫红色杂砾岩向西相变为浅灰白色粗砂岩; F—雅满苏铁矿西南 188 铜矿点。41°53′03″N, 93°45′44″E。紫红色杂砾岩, 砾大小多在 5 cm 粒径以下, 个别达 10 cm; G—库姆塔格大型石膏菱铁矿矿床。41°45′45″N, 93°11′41″E。ST41—火山热液沉积形成的条带状石膏岩, 由青灰色石膏及浅肉红色、白色石膏组成条带状构造; H—位置同 G。

ST43—碧玉菱铁白云岩, 地表风化有褐铁矿和褐锰矿皮壳。产状, 140°∠41°

A—A large sand gully southwest of Jingxia, at 41°51′01″N and 94°13′05″E; margins of an alluvial fan of Late Carboniferous subaqueous delta facies; B—Upper Carboniferous; location same as A; river-controlled subaqueous delta channel conglomerate facies. JX-50—gritty polymictic conglomerate C—Location: 41°51′04″N and 94°13′17″E. JX53—Late Carboniferous gravel-bearing siltstone; D—Location same as C. The largest distal pebble (JX54) is 20×12 cm, and rock fragments, feldspar and quartz occur parallelly to bedding; E—Location: north of the Shaquanzi copper deposit, at 41°59′17″N and 94°50′17″E. The Late Carboniferous purple polymictic conglomerate changes facially westward into pale grayish white grit; F—Location: 188 copper occurrence southwest of the Yamansu iron mine, at 41°53′03″N and 93°45′44″E. Gravels in the purple polymictic conglomerate are mostly <5 cm in diameter and individuals are up to 10 cm in diameter; G—Location: Large Kumtag gypsum-siderite deposit, at 41°45′45″N and 93°11′41″E. ST41—banded gypsum rock formed by volcanic-hydrothermal deposition, and the banded structure of rocks is composed of gray gypsum layers, pale flesh-red gypsum layers and white gypsum layers; H—Location same as G. ST43—jasper-siderite-ankerite rock with limonite and braunite crust due to surface weathering. Attitude: 140°∠41°

表 1 中天山东段马鞍山—库姆塔格—沙泉子晚石炭世地层格架
Table 1 Late Carboniferous stratigraphic framework of Ma'anqiao-Kumtag-Shaquanzi
in the eastern part of the Central Tianshan

位置	组名及代号	岩相类型与岩石组合	位置	组名及代号	岩相类型与岩石组合
马 鞍 桥	上石炭统 桑树园组 (C ₂)	混合潮坪相泥晶灰岩、白云岩、含砾砂岩、泥质粉砂岩、膏泥岩；河湖相粉砂岩、含砾砂岩	雅 满 苏	下二叠统 (P ₁)	山间盆地相磨拉石建造、中基性火山岩等。与底坎尔组为角度不整合
	下石炭统马鞍山组 (C ₁)	潮坪相泥灰岩、白云岩、含膏白云岩、膏溶角砾岩等，底部为河流相紫红色块状砾岩		底坎尔组 (C ₂ <i>y</i>)	水下三角洲沉积相、海岸潮坪相、火山沉积岩相 (见文中)
		不整合覆压在志留系、星峡群 (Pt) 之上		雅满苏组 (C ₁)	火山岩相、浅海相薄层状灰岩、含金硅质岩
鄯 善 南	底坎尔组 (C ₂ <i>d</i>) / 马头滩组 (C ₂)	中上部砂砾岩、凝灰质泥岩、砂岩、泥灰岩；下部中基性火山岩、火山碎屑岩夹砂砾岩等	景 峡	下二叠统 (P ₁)	山间盆地相磨拉石建造、中基性火山岩等。与底坎尔组为角度不整合。
	阿齐山组 (C ₁)	中酸性火山岩、火山碎屑岩，浅海相薄层状灰岩		底坎尔组 (C ₂ <i>d</i>)	水下三角洲沉积相、火山岩相、浅海相等 (见文中)
库 姆 塔 格	下二叠统 (P ₁)	山间盆地相磨拉石建造、中酸性火山岩、中基性火山岩等。与底坎尔组为角度不整合	沙 泉 子	沙泉子铜矿北部底坎尔组 (C ₂ <i>y</i>)	水下三角洲沉积相、山前洪积相 (河道流相)、火山沉积岩相 (见文中)
	底坎尔组 (C ₂ <i>d</i>)	火山岩相、潟湖盆地相、热水沉积岩相、浅海相等 (见文中)		南部沙泉子 (C ₂ <i>sh</i>)	砾屑灰岩—生物灰岩亚相、火山沉积岩相、火山喷发岩相、火山喷溢相、硅质砂岩相
	雅满苏组 (C ₁ <i>y</i>)	中酸性—中基性火山岩、浅海相薄层状结晶灰岩、含铜硅质岩、含铜基性火山熔岩		雅满苏组 (C ₁ <i>y</i>)	中酸性—中基性火山岩、含铜基性 (角砾) 凝灰岩、浅海相薄层状灰岩 (景峡与此相同)

表 2 库姆塔格—景峡—沙泉子北上石炭统样品位置及特征

Table 2 Features and locations of Late Carboniferous samples from Kumtag-Jingxia-north of Shaquanzi

样号	位置	岩性	地质特征
JX-50	景峡西南大沙沟 41° 51' 01" N 94° 13' 05" E	粗砂质杂砾岩	底部砾石较大,灰岩及泥岩、凝灰岩组成的砾石比例较大。灰岩砾石层厚0.4~0.6m,大者 12cm×5cm,最大 30cm×20cm。外露宽度约 50cm,向两侧减薄尖灭。冲积扇中的水道沉积,至冲积扇边部,以灰绿色岩屑杂砂岩→含砾粗砂岩→肉黄色中粒岩屑砂岩,颜色变浅
JX-51		粗粒含钙屑杂砂岩	
JX-52		肉黄色中粒岩屑砂岩	
JX-53		含砾粉砂岩	
JX-54		砾石 (20cm×12cm)	
JX-55		粉砂质泥岩	
JX-56	凝灰质砂岩	向上层序为含砾粉砂岩→岩屑砂岩夹粉砂岩→粉砂质泥岩→凝灰质砂岩。JX-53的砾石磨圆度好,最大者 20cm×12cm,小者 1cm×0.5cm,顺层排列。JX-56薄层状凝灰质砂岩与玄武玢岩互层。水平和纹层状层理	
SH-19	沙泉子北 41° 59' 17" N	灰白色粗砂岩	紫红色杂砾岩向西侧向相变为浅灰白色粗砂岩
SH-18	94° 50' 17" E	紫红色杂砾岩	砾石成分复杂,出现硅质大理岩砾石 (有塑性变形)
ST-41	库姆塔格石膏菱铁矿矿床 41° 45' 45" N 93° 11' 41" E	条带状石膏岩	采自探井,青灰色、浅肉红色和白色石膏组成条带状
ST-43		碧玉菱铁矿白云岩	岩心,原生碧玉菱铁矿白云岩,风化后裂隙中有铁染
ST-46		硅质铁白云岩	青灰色—浅黄色,厚层块状,产状 140° ∠ 41°
ST-47		安山岩	深灰绿色、致密块状。钻孔岩心取样
ST-48		热水同生角砾岩	角砾成分为石膏和火山岩,胶结物主要为硅质 (碧玉) 及石膏,含较多火山物质。钻孔岩心取样

点,成分成熟度差,表明物源区为相邻的沙泉子—雅满苏岛弧隆起带组成的切割岛弧和火山岛弧链中火山锥体;含少量花岗岩砾石,可能蚀源岩区为南侧相邻(星星峡—库鲁克塔格)中天山造山带;暗示沙泉子—雅满苏岛弧带和南侧中天山造山带已开始垂向抬升隆起。山前洪积相(河流相)和水下三角洲沉积相是沙泉子—雅满苏岛弧带隆起和南侧中天山造山带开始垂向抬升事件的沉积学记录。

在沙泉子铜矿北(表2、图版I-E、I-F)山前洪积—泥石流相中,底部紫红色杂砾岩中砾石成分主要有石英岩、石英脉、碧玉岩及火山岩(玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩等),砾石成分混杂,但与下石炭统中岩石基本相同。向上出现灰岩及花岗岩、糜棱岩化硅质大理岩砾岩增多,砾石中韧性流变褶皱发育,与星星峡一带前寒武纪基底岩石成分一致,暗示此时相邻的南部中天山造山带发生快速抬升,并遭受剥蚀,成为残余海相盆的蚀源岩区。底部砾石磨圆度中等,砾径在 $3\text{cm}\times 2\text{cm}\sim 0.5\text{cm}\times 0.3\text{cm}$;向上砾石的砾径增大,磨圆度变差,上部砾石砾径在 $17\text{cm}\times 18\text{cm}\sim 10\text{cm}\times 8\text{cm}$,呈棱角状、磨圆度较差。砾石的砾径增大及磨圆度变差说明蚀源岩区距离较近,暗示相邻南部中天山造山带的山体抬升速度和高度不断增加。

这种双向物源很可能与中国哀牢山造山带具有类似特征^[27,28],即中天山前陆隆起在向造山带演化过程中,形成了本区南侧相邻中天山造山带的后陆盆地,本区底坎儿组是中天山造山带后陆盆地的沉积充填体,这种沉积盆地双向物源是后陆盆地的典型沉积学特点。

3.2 水下三角洲沉积相

该相在沙泉子—雅满苏岛弧带南北两侧不对称分布。在雅满苏铁矿西南188铜矿点、雅满苏东西两侧大沙沟中、景峡西南大沙沟及沙泉子北部均有分布(图1),亚相类型及特征为:

水下三角洲(河控)砾岩—砂岩亚相:该亚相由隆起岛弧带或陆地上延伸到水下呈扇形分布,在走向和垂向上发生迅速相变(表1,图版I-A、I-B)。在景峡西南大沙沟处,底部砾石成分主要为凝灰岩、玄武岩、安山岩、晶屑角砾凝灰岩等火山岩砾石,局部含灰岩及泥岩砾石。灰岩砾石层厚 $0.4\sim 0.6\text{m}$,砾石较大者 $12\text{cm}\times 5\text{cm}$,最大 $30\text{cm}\times 20\text{cm}$ 。灰岩砾石层出露宽度约 50cm ,反映蚀源岩区属下石炭统雅满苏组灰岩;灰岩砾石层向两侧减薄尖灭,具有水下三角洲冲积扇中的水下水道沉积特征。粗碎屑岩呈中厚层状—透镜状,单层厚度变化大($0.2\sim >5.0\text{m}$),以杂砾岩—砂岩互为夹层或互为透镜体产出;在含砾粗砂岩—粗砂岩中可见有大型板楔状层理;粒序层理及粒序韵律发育,由杂砾岩→含砾粗砂岩→粗砂岩组成向上变细层序的3~6个粒序韵律层。砾石含量一般在50%~75%。砾石磨圆度中等,砾石成分以下石炭统雅满苏组岩性相同,主要有安山岩、英安岩、晶屑角砾凝灰岩、凝灰岩等。

水下三角洲远沙坝砂岩亚相:该亚相沿走向上有较大变

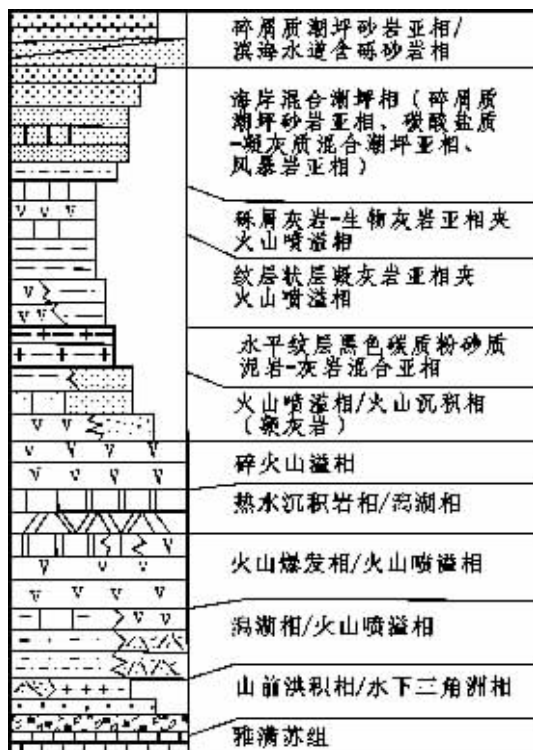


图2 中天山东段晚石炭世岩相学类型及其演化剖面示意图
Fig. 2 Section showing the lithofacies types and their evolution in the Late Carboniferous in the eastern segment of the Central Tianshan

化,一般仅位于河道砾岩—砂岩相沿走向尖灭部位或超覆于其上。岩石具有平行层理、水平层理及向上粒序变细的沉积层序。砂岩以中薄层为主,局部呈厚层状(如雅满苏188铜矿点),单层厚 $8\sim 15\text{cm}$,局部厚达 2m 。在雅满苏188铜矿点处,紫红色—灰绿色岩屑砂岩中以火山岩屑为主(70%~80%),含较多长石和石英等矿物碎屑及少量硅质岩、灰岩及凝灰岩等岩屑,岩屑含量在80%~90%;胶结物以钙质和凝灰质为主;孔隙式胶结,结构成熟度好。景峡西南大沙沟中,以石英长石砂岩→浅黄色含砾粉砂岩→石英长石砂岩夹浅黄色岩屑粉砂岩→灰绿色粉砂岩与灰白色粉砂岩互层等组成的总体向上变细层序。

在景峡西南大沙沟(表1,图版I-C、I-D)处,底坎儿组下部砾石磨圆度好,顺层分布,一般大者 $8\text{cm}\times 4\text{cm}$,小者 $1\text{cm}\times 0.5\text{cm}$,最大者为 $20\text{cm}\times 12\text{cm}$ 。中粒砂质—粉砂质沿椭圆状砾石形成挠动层理,二者可能来自两个不同的蚀源岩区,表明底坎儿组的物源区可能属双向物源。该亚相灰绿色砂岩中产出188铜矿点,生物化石中有铜矿化。

3.3 潟湖盆地相

在库姆塔格石膏菱铁矿区由白云质灰岩、含生物白云质泥灰岩、凝灰质灰岩、泥灰岩夹凝灰质砂岩组成,具有潮间—

潮上蒸发沉积环境特点。

3.4 海岸潮坪相

该沉积相主要分布在库姆塔格及景峡等地,按岩石组合及沉积组构可划分为3个亚相:

碳酸盐质—凝灰质混合潮坪亚相:在雅满苏西侧大沙沟中,以厚层状凝灰质砂岩与凝灰岩、泥质灰岩不均匀互层、黄绿色凝灰岩夹深灰色灰岩及深灰色中薄层状泥质灰岩(含化石丰富)等组成。

碎屑质潮坪砂岩亚相:以雅满苏西侧大沙沟中为典型代表,由浅紫红色砂岩与粉砂岩互层、硅质岩、灰绿色凝灰质砂岩夹泥质岩、黄绿色凝灰质砂岩为主。

风暴岩亚相:在雅满苏西侧大沙沟中底坎儿组中上部产出,以绿色凝灰岩夹灰岩(富含腕足类、苔鲜及海百合茎化石),具有杂乱堆积的风暴岩特点。

3.5 浅海相

由浅海火山碎屑沉积岩相、灰岩相及黑色炭质粉砂质泥岩等组成。

薄层—水平纹层状凝灰岩—灰绿色层凝灰岩亚相(火山沉积岩相):该亚相以景峡—沙泉子一带底坎儿组(C_2d)发育。主要有灰绿色—暗灰色凝灰质粉砂岩、粉砂质泥岩和灰绿色层凝灰岩,含丰富腕足类及珊瑚类化石。薄层—水平纹层理,含有浆屑和长石—硅质(石英)碎屑,以碎屑岩为主,属残余火山弧上沉积物被剥蚀再沉积。岩石绿色主要由绿泥石及自生海绿石形成,属典型浅海相环境。

砾屑灰岩—生物灰岩亚相:该亚相主要产于沙泉子组(C_{2sh})中。由以生物灰岩等为主组成珊瑚点礁体发育,砾屑灰岩属碳酸盐软泥再沉积所形成,发育在沙泉子古火山隆起的火山塌陷洼地中。该亚相中夹流纹质或英安质凝灰岩、流纹英安岩及玄武岩等组成的火山喷发相。

具水平纹层黑色炭质粉砂质泥岩—灰岩混合亚相:主要分布在景峡南及以东地区,属底坎儿组上部—顶部,灰绿色凝灰质粉砂岩与黑色炭质粉砂岩互层,夹有灰岩透镜体(产于腕足类化石)。水平纹层理发育,属沉积水体加深、低能滞流、还原沉积环境。

3.6 滨海水道含砾砂岩相

分布在景峡以东—沙泉子一带,在景峡以东底坎儿组(C_2d)可见粉砂质泥岩与灰绿色凝灰岩互层→粉砂岩→深灰色砂岩→灰色含砾砂岩组成的向上变浅沉积层序,含有植物化石、腕足类及瓣鳃类;沙泉子组(C_{2sh})上部由钙质砂岩→含砾砂岩组成的向上变浅沉积层序。

火山碎屑岩和含有较多火山物质细碎屑岩组成的火山沉积相归入上述的沉积岩相中,本区火山—沉积岩相总的沉积序列显示向上由浅变深→由深变浅趋势(图2),沉积物源主要来源于华力西期岛弧带剥蚀区^[2]及其南侧基底隆起带(南部中天山造山带);火山喷发岩相中夹灰色纺锤虫灰岩及硅质生物灰岩,含¹⁰⁰Fusulinella sp.),说明残余火山弧中火山喷发

仍形成发生在浅海环境中。

3.7 火山喷溢相

由灰色流纹状角闪安山玢岩、流纹状—杏仁状玄武玢岩、安山玢岩等组成的基性玢岩喷溢亚相产于底坎儿组(C_2d)中部和上部,厚达500m以上。由霏细斑岩、流层状石英角斑岩、流纹岩等组成的酸性火山喷溢亚相位于底坎儿组下部,厚达220m以上。

3.8 火山喷发岩相

由凝灰质角砾岩、角砾凝灰岩、熔结角砾熔岩和火山集块岩等基性火山岩组成。在卡波尔KC-4号异常区内,该相属含矿岩相。

3.9 火山热水蚀变岩相

主要为绿泥石—赤铁矿—方解石化蚀变气孔状玄武玢岩和基性玢岩、绿泥石—绿帘石化基性凝灰角砾岩,局部铁白云石化、碧玉化和绿帘石化较强,常产于底坎儿组中部热水沉积岩相的上下层位,说明曾有较强的海底火山热液活动。

3.10 硅质砂卡岩相

该相属火山热液交代蚀变作用形成的岩相,在沙泉子铜铁矿床和黑峰山铁矿床中较为发育,总体呈似层状顺层分布。蚀变矿物主要有石榴子石、绿泥石、方解石、石英、电气石、透辉石等。含矿硅质砂卡岩中金属矿物主要有磁铁矿、黄铜矿和黄铁矿,局部毒砂、方铅矿和闪锌矿发育。

4 热水沉积岩相的亚相类型、地球化学特征与相序结构

本区底坎儿组内热水沉积岩相主要分布在库姆塔格大型石膏—中型菱铁矿床区及东西两侧长约20km、南北宽3~5km范围内。从热水沉积岩相的亚相划分角度^[29-30],主要由菱铁矿岩亚相、碧玉岩亚相、铁白云石岩亚相、石膏岩亚相、热水角砾岩亚相等6种不同的亚相类型组成。

4.1 亚相类型、岩石化学与氧化—还原条件

菱铁矿岩亚相:由菱铁矿岩、碧玉质菱铁矿岩、铁白云石硅质菱铁矿岩等组成。致密厚层块状构造,细粒状结构,含碧玉质、硅质较高时岩石致密坚硬。菱铁矿岩(矿石)TFE品位在30%~38%,属半自熔性铁矿石。主要组成物有菱铁矿;其次为赤铁矿、镜铁矿、菱锰矿、铁方解石;少量石英、黄铁矿、重晶石、电气石等。

在与铁白云岩亚相过渡的相变处发育碧玉菱铁矿白云岩(见表1和表2,样号ST-43,下同),(铁白云石+菱铁矿)(77.96%)为主要组成矿物,其次为方解石(7.04%),含少量石英(1.41%)及钛铁矿(0.82%)(图3);含CaO、CO₂、MgO、FeO、Fe₂O₃及MnO较高,合计达84.95%,与X射线粉晶衍射所获定量矿物组成相吻合。这些岩石中高MgO、FeO及MnO含量属热水沉积岩典型指标,铁白云石[(Ca,Fe,Mg,Mn)CO₃]-菱铁矿[(Mg,Mn)FeCO₃]系列是热水沉积岩的典型组合矿物^[29-30]。具有沉积成因的菱铁矿常产于粘土岩、页岩

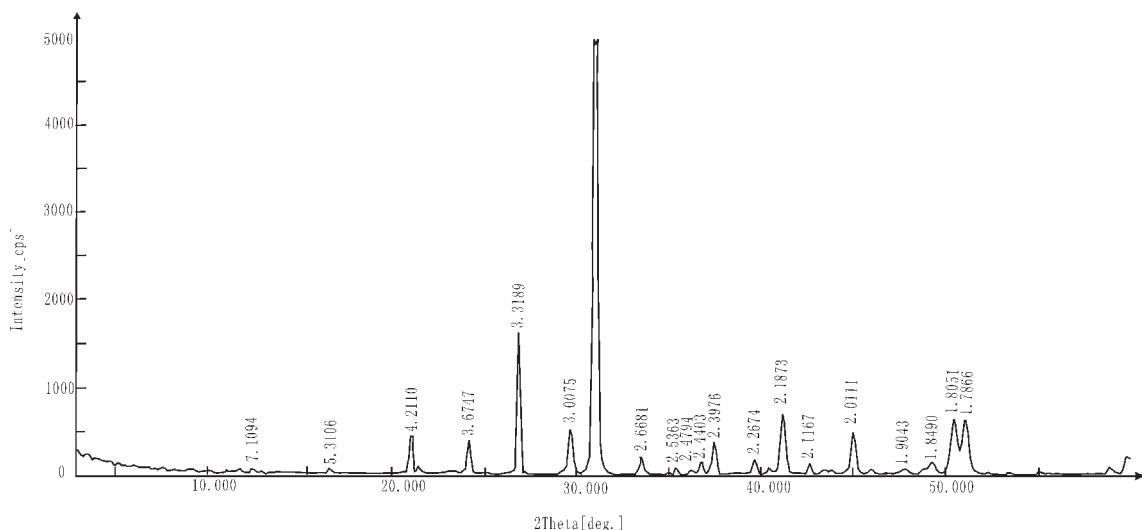


图 3 碧玉菱铁白云岩(ST-43)X 射线粉晶衍射分析图

Fig. 3 X-ray powder diffraction analysis of jasper-siderite-ankerite rock (ST43)

表 3 岩石化学成分(%)与地球化学参数

Table 3 Chemical composition (%) and geochemical parameters of rocks

样号	JX-50	JX-51	JX-52	JX-53	JX-54	JX-55	JX-56	SH-18	SH-19	ST-41	ST-43	ST-46	ST-47	ST-48
SiO ₂	62.38	55.28	59.64	68.98	55.93	69.83	59.89	48.85	70.28	9.93	13.63	13.96	61.18	20.1
TiO ₂	0.77	0.73	0.57	0.47	0.37	0.7	0.63	1.4	0.67	0.47	0.33	0.32	0.73	0.53
Al ₂ O ₃	13.32	15.14	12.78	14.89	9.24	14.89	15.7	19.51	12.84	1.03	0.26	0.2	17.46	4.08
Fe ₂ O ₃	2.74	2.04	1.33	1.93	1.09	1.6	1.83	5.74	1.97	0.74	4.5	3.72	1.87	6.03
FeO	2.7	1.1	0.7	0.65	0.32	0.73	1.7	4.1	0.7	0.35	9.77	5.7	1.9	3.59
MnO	0.23	0.32	0.14	0.09	0.36	0.02	0.15	0.14	0.01	0.05	1.47	1.38	0.24	0.33
MgO	2.28	1.48	1.12	1.41	0.47	1.75	1.6	4.93	0.42	0.38	7.79	10.46	0.9	1.87
CaO	5.31	9.79	10.44	2.43	15.37	1.8	5.87	6.09	5.29	32.64	25.22	24.95	4.36	25.88
Na ₂ O	4.98	4.98	3.33	2.94	3.87	0.87	1.64	2.9	2.09	0.03	0.01	0.01	0.27	0.6
K ₂ O	1.02	1.13	1.19	2.48	0.42	3.44	2.6	2.29	2.52	0.4	0.09	0.18	3.52	0.17
烧失量	3.44	2.1	2.25	2.95	1.92	3.73	7.59	2.59	2.58	8.01			6.7	1.34
P ₂ O ₅	0.23	0.17	0.06	0.1	0.03	0.06	0.2	0.32	0.23	0.23	0.33	0.4	0.57	0.63
CO ₂		5.6	5.9		10.05			0.5		1.11	36.2	38.44		4.04
SO ₃										44.32				30.74
总计	99.4	99.86	99.45	99.32	99.44	99.42	99.4	99.36	99.6	99.69	99.6	99.72	99.7	99.93
Na ₂ O/K ₂ O	4.88	4.41	2.8	1.19	9.21	0.25	0.63	1.27	0.83					
Fe ²⁺ /Fe ³⁺	1.1	0.6	0.59	0.37	0.33	0.51	1.03	0.79	0.39	0.53	2.41	1.76	2.36	1.13

注:岩石化学成分由中国科学院地球化学研究所李荔蓉采用化学定量法测定。

和煤层中,具有胶状、鲕状和结核状结构,常与鲕状赤铁矿、鲕状绿泥石和针铁矿共生。而本区菱铁矿(岩)与铁白云岩、碧玉岩、安山岩及石膏岩等共同组成了热水沉积岩的亚相系列,菱铁矿-铁白云石-白云石-石英共生组合,与(火山)热水沉积型菱铁矿矿床特点相吻合,Fe²⁺/Fe³⁺值达 2.41,反映形成于强还原和碱性环境中^[29-30],与安山岩形成的氧化-还原条件一致,说明库姆塔格菱铁矿层可能属强还原条件下(火山)热水同生沉积所形成。

铁白云石岩亚相:由硅质铁白云石岩、铁白云石岩及铁白云石白云岩等组成,地表风化后有较强的褐铁矿染,新鲜

岩石以青灰色为主,厚层块状、条纹条带状构造,常与白云质灰岩呈过渡关系。硅质铁白云岩(ST-46)与碧玉菱铁白云岩(ST43,图版 I-H)差别为:FeO(5.7%)明显降低,而 MgO(10.46%)明显增高;Fe²⁺/Fe³⁺(1.76)明显降低,说明火山热水沉积体系可能处于弱还原和弱碱性环境,对菱铁矿形成不利,而形成了铁白云岩大量沉淀。

碧玉岩亚相:由紫红色赤铁碧玉岩、浅绿色-浅灰色碧玉岩、紫红色-灰色镜铁赤铁碧玉岩组成。紫红色赤铁碧玉岩具有厚层块状、流纹状及纹层状构造;局部杏仁状构造发育,杏仁体外壳由白色石英组成,内核由菱铁矿-铁白云石组成,风

表 4 微量元素及稀土元素含量 10^{-6}
Table 4 Contents of trace elements and REE (10^{-6})

样号	JX-50	JX-51	JX-52	JX-53	JX-54	JX-55	JX-56	SH-18	SH-19	ST-41	ST-44	ST46	ST-47	ST-48
V	144	75.8	41.3	71.6	46.9	72.4	85.9	277	47.7	10.0	12.4	6.99	15.1	49.0
Cr	18.5	9.40	11.0	16.9	13.0	17.9	45.7	138	36.5	11.1	13.8	1.54	7.05	16.9
Co	13.8	8.93	4.59	2.84	3.22	1.57	7.36	29.9	3.80	3.44	7.20	5.87	2.49	26.7
Ni	10.4	21.6	7.03	6.97	6.35	9.31	23.9	70.3	12.7	6.93	9.61	2.22	5.14	14.6
Cu	29.8	47.1	42.8	25.08	17.2	29.2	33.1	363	46.1	13.5	4.67	35.9	7.42	78.6
Zn	130	93.6	40.3	42.30	32.8	140	66.9	85.7	37.2	44.6	22.1	17.8	16.9	24.8
Ga	15.3	12.5	11.1	14.10	6.87	17.7	17.1	18.0	13.3	1.76	1.19	0.99	15.2	5.17
As	10.9	8.92	32.3	22.93	17.1	28.4	12.0	27.7	12.9	10.5	7.92	8.75	10.1	39.7
Rb	26.0	28.7	30.7	129.7	15.7	205	134	97.1	106	5.3	1.19	1.37	66.6	1.02
Sr	134	136	86	74.2	103	33.1	247	481	217	597	85.3	59.15	50	520
Y	22.1	18.4	22.2	21.9	40.3	26.6	24.7	20.6	16.0	3.12	6.06	3.83	19.7	8.11
Zr	81.1	58.9	78.7	141.48	101	147	186	74.7	129	16.5	2.04	2.27	78.0	32.4
Nb	2.46	2.16	2.24	6.46	3.98	7.38	9.42	2.24	7.76	0.71	0.105	0.112	2.09	1.23
Mo	1.11	0.928	1.90	2.09	4.41	1.28	0.73	2.20	0.93	1.95	1.10	0.525	1.27	26.4
Sb	3.31	16.7	1.02	2.98	3.12	2.19	3.03	2.89	3.76	1.19	25.9	1.21	1.38	3.93
Cs	0.447	0.445	1.66	7.70	1.99	12.7	6.47	2.18	5.12	0.159	0.05	0.043	1.45	0.207
Ba	252	307	196	171	87.1	246	372	541	737	27.6	137	279	373	12.8
La	6.97	7.17	9.15	20.8	44.1	20.1	24.8	8.40	21.1	2.02	6.08	4.77	7.89	5.77
Ce	16.8	16.3	21.1	43.1	83.7	41.2	51.7	20.4	35.4	4.22	8.69	5.32	18.3	12.0
Pr	2.24	2.24	2.81	5.07	10.0	5.29	6.18	2.85	4.31	0.526	0.987	0.594	2.31	1.43
Nd	10.9	10.2	12.9	20.70	41.8	20.2	24.3	13.3	15.4	2.02	3.59	2.38	11.0	6.26
Sm	2.87	2.89	3.33	4.28	8.45	4.61	4.98	3.68	3.33	0.404	0.611	0.544	2.89	1.61
Eu	0.868	0.756	0.879	0.928	1.65	0.841	1.13	0.951	0.790	0.128	0.340	0.319	0.819	0.464
Gd	3.39	3.24	3.61	4.06	9.03	4.53	4.87	3.75	2.98	0.431	0.802	0.66	2.87	1.54
Tb	0.6	0.467	0.583	0.609	1.21	0.718	0.736	0.624	0.451	0.074	0.112	0.083	0.457	0.235
Dy	3.71	3.36	3.74	3.51	6.43	4.85	4.76	4.19	2.96	0.41	0.839	0.429	2.86	1.22
Ho	0.839	0.7	0.846	0.773	1.31	1.01	0.918	0.725	0.602	0.077	0.132	0.097	0.708	0.279
Er	2.35	2.06	2.50	2.40	3.31	3.12	2.51	2.33	1.76	0.293	0.442	0.236	2.06	0.787
Tm	0.366	0.297	0.317	0.443	0.458	0.505	0.401	0.337	0.274	0.039	0.065	0.029	0.311	0.13
Yb	2.50	2.07	2.16	2.62	3.13	2.96	2.83	2.33	1.94	0.383	0.495	0.212	1.90	0.788
Lu	0.398	0.34	0.354	0.405	0.445	0.481	0.419	0.333	0.289	0.061	0.059	0.03	0.339	0.114
Hf	2.30	1.65	2.21	3.71	2.58	4.22	5.13	2.28	3.72	0.388	0.032	0.074	1.93	0.79
Ta	0.185	0.14	0.159	0.471	0.272	0.545	0.754	0.141	0.683	0.031	0.024	0.002	0.116	0.089
Pb	6.55	5.37	15.6	6.68	9.90	4.00	14.5	17.2	11.9	5.66	1.33	1.07	1.26	27.5
Th	2.09	1.91	2.41	7.72	4.73	9.71	8.99	2.14	10.3	0.614	0.086	0.13	1.08	1.12
U	0.978	1.24	1.70	2.73	2.51	2.48	2.42	1.01	1.91	0.393	0.178	0.349	0.614	1.69

注:由中国科学院地球化学研究所冯家毅和王亚平研究员分析;分析方法:ICP-MS。

化后有褐铁矿斑点,部分内核为空洞状。主要组成矿物为赤铁矿和碧玉(石英),其次为镜铁矿、菱铁矿、铁白云石;紫红色-灰色镜铁赤铁碧玉岩中,镜铁矿(20%~10%)呈网脉状、团块状切层产出。浅绿色-浅灰白色碧玉岩中以碧玉质为主,厚层块状构造,含少量菱铁矿-铁白云石,局部铁碳酸盐矿物增多时(>30%)变化为菱铁碧玉岩、铁白云石碧玉岩,铁碳酸盐矿物与碧玉质共生沿层分布,或沿裂隙呈脉状产出。

石膏岩亚相:由褐色巨晶状石膏岩、灰白色角砾状石膏岩、白色细粒石膏岩、晶洞隙状石膏岩及条纹条带状石膏岩(图版 I-G)等组成。顺层分布有浑圆状石英、紫红色凝灰质砂岩及火山岩粗粒岩屑(2mm×3mm),可能有少量火山弧体上的物质经一定距离搬运后混入低温卤水沉积体系中。石膏岩(ST41)以 CaO(32.64%)、SO₃(44.32%)及 H₂O⁺(8.01%)为

主,含 SiO₂9.93%,主要为微粒石英及自形晶石英所引起,含少量高岭石及铁白云石,Fe²⁺/Fe³⁺值为 0.53,反映可能形成于氧化环境下。

热水角砾岩亚相:岩性和角砾成分复杂,角砾以浅黄色硅质岩、凝灰岩、石英角斑岩、霏细岩、凝灰岩等为主,含有少量褐色厚板状、自形晶状石膏(0.8~0.5cm),含量(5%~10%)。角砾大小混杂,成分不一,含量变化大(70%~40%)。胶结物(30%~50%)以浅褐色-浅黄色细粒石膏凝灰质和硅质为主,胶结物流动构造发育,常见镜铁矿、石膏和凝灰质条纹条带组成的塑性流变褶皱及液化流构造。这种角砾岩是热水喷流通道附近的典型岩相学标志。热水角砾岩(ST48)的岩石化学成分相对复杂。因 ST-48 号样含 H₂O⁺较少,可按纯硬石膏(CaO 为 41.2%,SO₃58.8%)计算热水角砾岩中硬石膏矿物

含量为 CaSO_4 为 52.28%; CO_2 (4.04%)、 MgO (1.87%)、 FeO (3.59%) 及部分 CaO (约 4.34%) 主要由铁白云石所引起。 SiO_2 (20.1%)、 Al_2O_3 (4.08%) 及 Na_2O (0.6%) 主要反映了岩石中凝灰质物质及部分硅化细脉。因镜铁矿细脉及网脉分布较多, Fe_2O_3 高达 6.03%, 但 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 值为 1.13, 暗示形成于氧化—还原过渡环境。

4.2 微量元素与稀土元素特征

从图 4 看, 本区热水沉积岩与安山岩具有类似的元素总体配分模式, 暗示它们可能具有类似的来源。但热水沉积岩具有明显的 Ta—Nb 和 Zr—Hf 负异常, U、La、Pb、P、Ti 正异常; 条带状石膏岩、热水角砾岩及碧玉菱铁白云岩—硅质铁白云岩具有不同的 Ta—Nb 和 Zr—Hf 配分模式, 可能与它们形成时氧化—还原条件和成岩方式的差异有关。本区热水沉积岩中稀土元素采用北美页岩配分后, 具有似“W”型模式和明显正 Eu 异常 (图 5); 采用球粒陨石配分后, 配分曲线呈右

倾型, 但硅质铁白云岩 (ST-46) 仍具有明显的正 Eu 异常 (图 6), 且重稀土元素的曲线有明显抬升。热水沉积岩与砂岩类中 REE 配分模式完全不同, 显示成矿环境与正常沉积环境之间有明显差异 (图 4~9)。

4.3 纵向相序结构与水平成矿分带

在库姆塔格石膏菱铁矿区内各亚相发育齐全, 整体上呈层状分布。菱铁矿岩亚相与上盘围岩界线不清楚, 呈垂直连续相变关系; 向东部矿区, 菱铁矿亚相呈透镜状断续产出。铁白云石岩亚相顺层稳定分布于菱铁矿岩亚相的两侧或沿走向尖灭部位; 赤铁碧玉岩亚相顺层稳定产出, 向东逐渐减薄, 并变化为透镜状沿层断续分布, 赤铁矿比例逐渐减少, 最终变化为浅绿色碧玉岩, 反映 SiO_2 增加、 FeO 和 Fe_2O_3 减少的走向变化规律。南部褐铁矿石英脉及赤铁碧玉岩中含 Au ($200\sim 2800$) $\times 10^{-9}$, 平均含 Au 1133×10^{-9} , 暗示在库姆塔格石膏菱铁矿层之上或沿走向相变部位可能存在金矿化层。

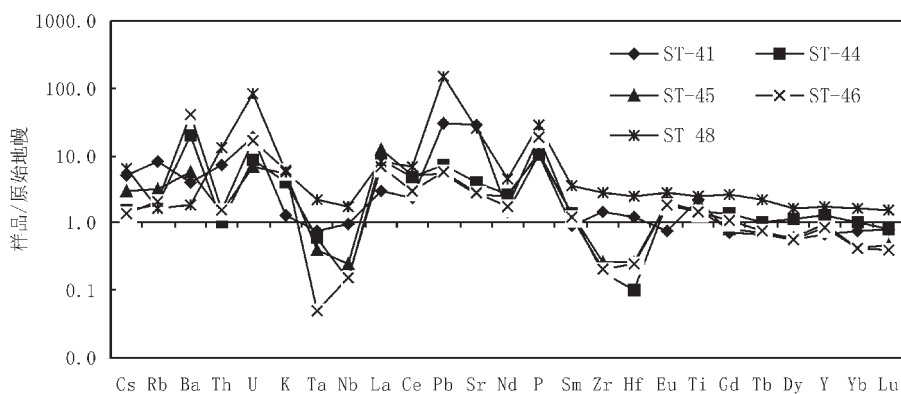


图 4 热水沉积岩大离子元素蛛网图

Fig. 4 Large ion lithophile element spidergram for hydrothermal sedimentary rocks

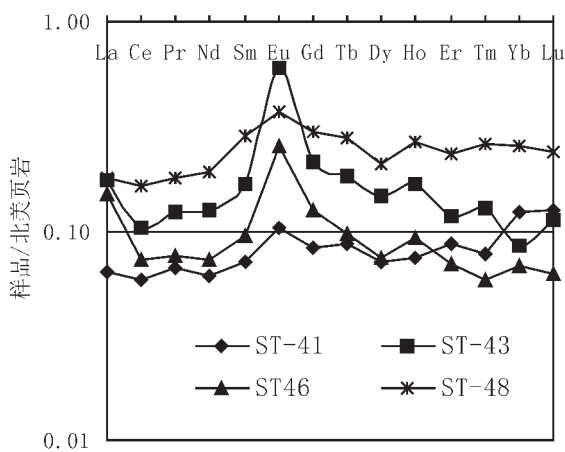


图 5 热水沉积岩稀土元素北美页岩配分图

Fig. 5 NM-shale-normalized REE distribution patterns for hydrothermal sedimentary rocks

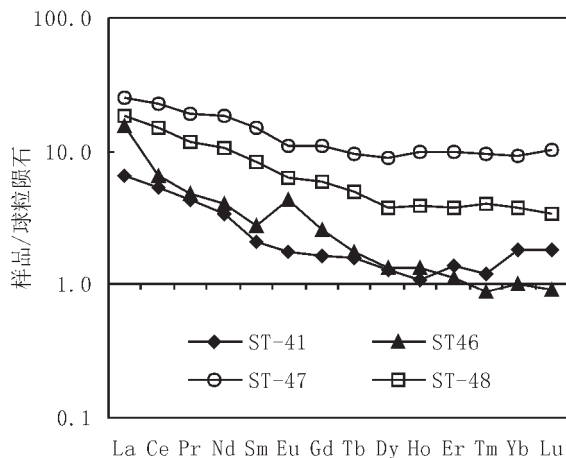


图 6 热水沉积岩稀土元素球粒陨石配分

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns for hydrothermal sedimentary rocks

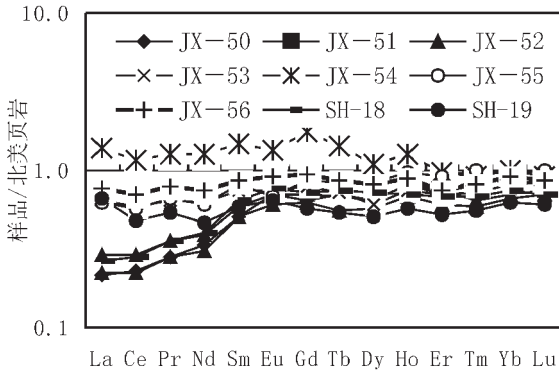


图7 碎屑岩中稀土元素北美页岩配分图

Fig.7 NM-shale-normalized REE distribution

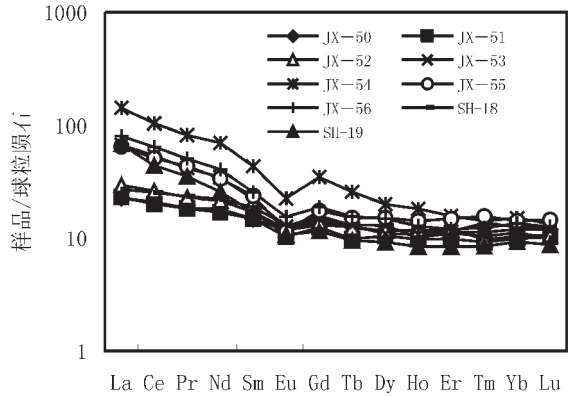


图8 碎屑岩中稀土元素球粒陨石配分图

Fig. 8 Chondrite-normalized REE distribution patterns for clastic rocks

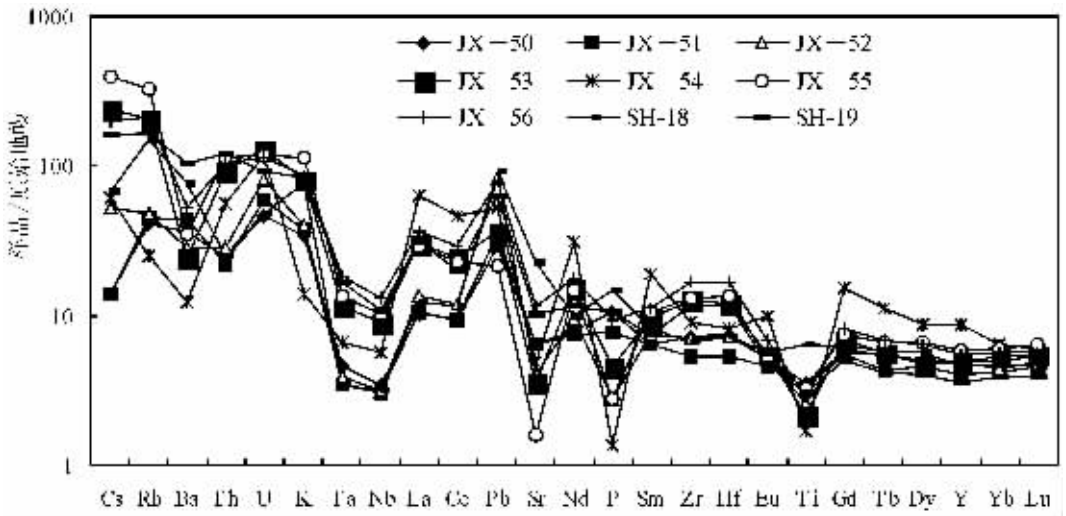


图9 碎屑岩中微量元素蛛网图

Fig. 9 Trace element spidergram for clastic rocks

最东部 KD-7 号 Cu-Ag-As-Sb-Pb-B 综合异常位于底坎尔组碳酸盐岩及碎屑岩中,铁白云石岩亚相和碧玉岩亚相发育,地表分布有菱铁矿铁白云岩、铁白云石岩风化后形成褐铁矿化带,孔雀石呈星点状产于其中,孔雀石-黄铜矿-辉铜矿石英脉发育。铁白云石岩亚相沿走向相变为凝灰质砂岩夹火山岩,与库姆塔格石膏菱铁矿床的赋存层位相同, KD-7 号异常是寻找热水沉积成因铜矿的有望靶区。

从库姆塔格向东到卡波尔 KC-4 和 KD-7 号区,纵向相序结构热水角砾岩亚相/菱铁矿岩亚相/石膏岩亚相→铁白云石岩亚相→铁白云石灰岩→碧玉岩亚相→铁白云石岩亚相。纵向成矿分带为石膏菱铁矿→锰→铜金→铜。沙泉子向西到黑峰山,纵向成矿分带为铜铁→铁矿→铜金。火山喷发

岩相的各相在库姆塔格沙垄、景峡和沙泉子等地发育,说明这些地区是残余火山弧中火山喷发中心和古火山机构位置,它们是寻找与火山热液-热水沉积有关铜铁矿的有望靶区。

5 关于晚石炭世构造环境的讨论

5.1 沉积盆地的物源区类型与地球化学示踪

(1)海洋内物源:沙泉子一带砾屑灰岩-生物灰岩亚相主体是海洋内生物-化学沉积作用所形成。杂砂岩化学成分中 CaO、MgO 及 CO₂ 在一定程度上反映了海洋水体提供的物源,以石灰岩的理论化学成分(CaO 为 56%,CO₂ 为 44%)进行海洋内源物质比例估计。本区 JX-51 及 JX-52 碳酸盐矿物主要为胶结物形式出现,计算出 CaCO₃ 含量为 12.73%~

13.41%。可以看出:在景峡一带的杂砂岩中,海洋内源沉积物比例较大,反映海水钙屑沉积是本区杂砂岩的物源区之一。

(2)海相火山喷发及火山热水沉积物源:在沙泉子雅满苏及库姆塔格晚石炭世仍有残余火山弧喷发,为沉积盆地提供了大量底源沉积充填物。库姆塔格石膏菱铁矿矿床中,深灰绿色(斑状)安山岩(JX-47,表 2)为矿体底盘围岩,与这些残余火山弧喷发密切有关的火山热水沉积岩及其各亚相可能是二级沉积盆地的主要物源之一,并形成了库姆塔格大型石膏菱铁矿矿床、铁白云岩、赤铁碧玉岩等亚相。

(3)物源区的地球化学示踪:稀土元素(REE)在沉积岩中含量主要受控于沉积物蚀源岩区的物源性质,而受沉积物的搬运、成岩及浅变质作用影响较小^[31,32],因而可用于恢复沉积岩的物源区。Bhatia^[33-35]总结了砂岩的物源区类型与构造背景的稀土元素判别指标,这些指标被较广泛应用并证明了它们的有效性^[36-43]。看本区砂岩类投点主体落入岛弧带(图 10~11),可以看出,研究区碎屑岩与活动大陆边缘或岛弧带有密

切联系。本文对砂岩中稀土元素含量及比值与 Bhatia (1985) 比值对比(表 5)。采用北美页岩球粒陨石中稀土元素含量进行标准化(Haskin & Haskin,1966),从图 4~9 及表 5 看出,本区碎屑岩类具有 3 种不同的物源区特点。

从图 7 看:本区碎屑岩类的物源区可能有 3 类,JX-54 稀土配分曲线略呈似“W”形,中部向上凸出,并有 δCe 和 δEu 异常,可能是混合物源区,JX-54 为远源砾石样品(图版 I-D),它的物源区显示了克拉通内部的特点,可能暗示本区曾有古克拉通存在(塔里木克拉通),但砾石是造山带物质,经再循环后被搬运到景峡一带沉积的,可能南侧存在更早一些的古造山带。JX-50、JX-51、JX-52 及 SH-18 等样品的稀土配分曲线呈左倾型,轻稀土相对贫化, ΣREE 含量为 $52\times 10^{-6}\sim 64.3\times 10^{-6}$,LREE 为 $39.5\times 10^{-6}\sim 49.7\times 10^{-6}$,HREE 为 $12.5\times 10^{-6}\sim 14.6\times 10^{-6}$,LREE/HREE 值为 2.87~3.56,La/Yb 值为 2.79~4.25,与大洋岛弧中未切割岩浆弧物源区类型的地球化学参数接近,暗示物源区类型为未切割的岩浆弧。

表 5 砂岩物源区的 REE 判别参数与本区砂岩对比

Table 5 Comparison of REE discriminant parameters in sandstone provenances with those in the study area

构造环境	物源类型	La/ 10^{-6}	Ce/ 10^{-6}	REE/ 10^{-6}	La/Yb	La _N /Yb _N	LR/HR	Eu*	资料来源
大洋岛弧	未切割岩浆弧	8	19	58	4.2	2.8	3.8	1.04	据文献 ^[34]
大陆岛弧	切割岩浆弧	27	59	146	11	7.5	7.7	0.79	
安第斯型陆缘	基底隆起	37	78	186	12.5	8.5	9.1	0.6	
被动陆缘	克拉通内部	39	85	210	15.9	10.8	8.5	0.56	
JX-50		6.97	16.8	54.9	2.79	1.88	2.9	0.36	本 文
JX-51		7.17	16.3	52	3.47	2.34	3.16	0.32	
JX-52		9.15	21.1	64.3	4.25	2.86	3.56	0.29	
JX-53		20.8	43.1	110	7.94	5.36	6.41	0.21	
JX-54		44.1	83.7	215	14.11	9.51	7.51	0.09	
JX-55		20.1	41.2	110	6.81	4.56	5.07	0.16	
JX-56		24.8	51.7	131	8.77	5.91	6.49	0.19	
SH-18		8.40	20.4	64.3	3.61	2.43	3.4	0.28	
SH-19		21.1	35.4	91.6	10.92	7.36	7.18	0.32	

注:由中国科学院地球化学研究所采用化学定量分析法。

JX-53、JX-55、JX-56 及 SH-19 号样品的稀土配分曲线略呈左倾型,轻稀土元素相对贫化,略具有 δCe 负异常, ΣREE 为 $91.6\times 10^{-6}\sim 131\times 10^{-6}$,LREE 为 $80.4\times 10^{-6}\sim 113\times 10^{-6}$,HREE 为 $11.2\times 10^{-6}\sim 18.2\times 10^{-6}$,La/Yb 值为 6.81~10.92,LR/HR 值为 5.07~7.18,与大陆岛弧环境中切割岩浆弧的地球化学参数相近,暗示物源区可能为切割岩浆弧区。

5.2 晚石炭世构造环境

碎屑岩岩石化学成分与构造环境有一定关系,利用碎屑岩的岩石化学成分及其比值恢复结合上述岩相学及物源区等特征综合分析看:本区晚石炭世可能位于大陆挤压收缩动力学背景下,其南侧可能发育基底隆起带(中天山造山带),并有蚀源岩区的物质被搬运到沉积盆地中;晚石炭世阿齐山—雅满苏—沙泉子岛弧带已开始抬升,演化为残余岛弧

带,在局部二级盆地中仍有火山喷发活动,二级盆地的底源物质以火山喷发岩及火山热水沉积岩为主。库姆塔格—沙泉子二级盆地沉积岩相和物源特点表明原型盆地属后陆盆地特征,前陆基底隆起带(中天山造山带)物质被剥蚀传输到中天山造山带的后陆盆地之中。

5.3 晚石炭世构造格局恢复重建

(1)构造与成矿学研究证明本区此时处于挤压构造体制下。西部康古尔金矿田中与韧性变形同期的金主成矿期的 Rb-Sr、Sm-Nd 和 Ar-Ar 法同位素年龄多在 290~241 Ma,代表含金韧性剪切带变形时代的绢英质千糜岩形成时限为 $(290.4\pm 7.2)\text{Ma}$ (Sm-Nd 等时线年龄)~ $(282.3\pm 5)\text{Ma}$ (Rb-Sr 等时线年龄)^[9],从构造岩特征和年龄说明本区从中石炭世开始就进入挤压收缩变形的构造动力学体制中。

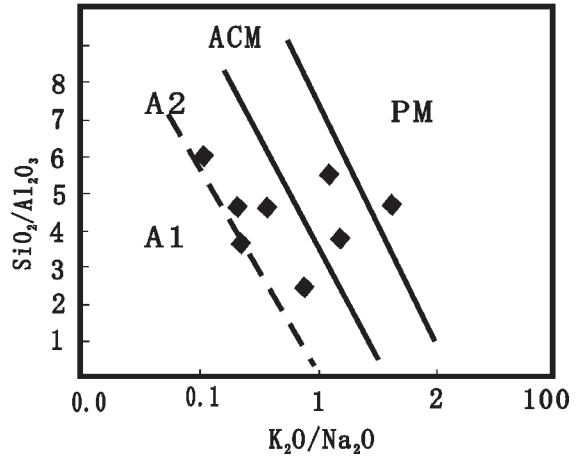
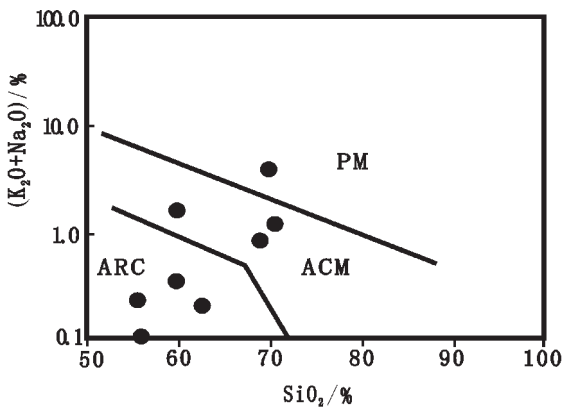


图 10 碎屑岩化学成分与板块构造背景分析图

PM—被动大陆边缘;ACM—活动大陆边缘;ARC—海洋岛弧带;A1—岛弧背景;A2—演化的岛弧背景
(判别图引自 Roser and Korsch,1986)

Fig. 10 Discrimination diagrams for the chemical composition of clastic rocks and plate tectonic setting (after Roser and Korsch, 1986)

PM—Passive continental margin; ACM—Active continental margin;ARC—Island arc;A1—Island arc setting; A2—Evolving island arc setting

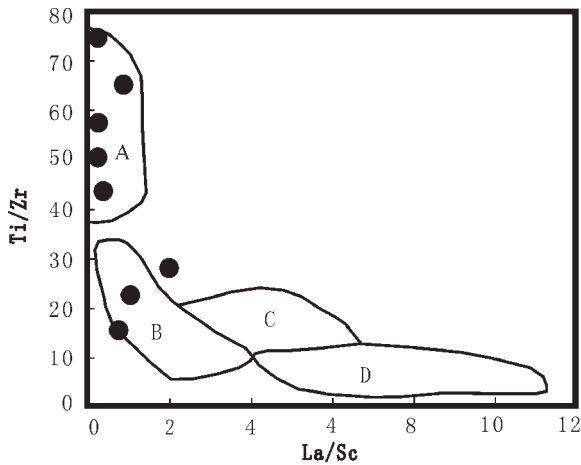


图 11 碎屑岩 Ti/Zr 和 La/Sc 值与构造环境分析图
(原图据 Bhatia^[33])

A—海洋岛弧带;B—大陆岛弧带;C—活动大陆边缘;
D—被动大陆边缘

Fig. 11 Ti/Zr and La/Sc ratios of clastic rocks and tectonic environment analysis (after Bhatia, 1983)

A—Oceanic arc; B—Continental arc;C—Active continental margin;
D—Passive continental margin

据于福生等^[44]研究,本区东南部红柳河地区红柳河群下部为河西组,河西组下部为海相碎屑岩(南)、花岗岩质巨砾岩(北)、碳酸盐岩,上部为海相火山岩;安山岩年龄为(322.1±2.1)Ma(U—Pb法);构造演化时限为356~256Ma,晚石炭世—早二叠世地层体卷入主构造变形期,总挤压收缩率达40%~70%,反映造山后强烈陆内收缩变形特征。红柳河群上

部为陆相磨拉石建造,表明红柳河地区晚石炭世—早二叠世沉积体属山间上叠盆地中沉积体系,沉积学和构造变形历史表明本区东南部红柳河地区在晚石炭世已发生造山作用。

(2)泥盆纪末—早石炭世初库米什一带发生的构造热事件致使南天山洋盆封闭;早石炭世的“觉罗塔格运动”和石炭纪末“因尼卡拉运动”^[45]导致南天山残余海盆封闭,形成库米什构造混杂岩带。

(3)从晚石炭世开始,中天山造山带(古陆)以断块造山形式逐渐抬升出海水面,敦煌—阿拉善—临河隆起带同时也抬升出海水面之上。本区缺失晚石炭世末期沉积,晚石炭世末期沉积向北迁移到梧桐窝子泉以北的局限地区,暗示该时期本区发生大幅度断块式造山作用,造山带抬升隆起逐渐由南向北发展迁移。综上所述,本区晚石炭世构造格局可恢复重建(图12),中天山造山带的库姆塔格后陆盆地是本区火山热水沉积成岩成矿有利的容纳空间。

6 结 论

本区晚石炭世岩相学特征以一套中基性—酸性火山岩、碎屑沉积岩及碳酸盐岩为主体,局部有较厚热水沉积岩。总体上为由粗变细→由细变粗的沉积层序,由水下三角洲冲积扇相→滨海潮坪相→潟湖盆地相→浅海相→滨海水道含砾砂岩相组成的海侵—海退沉积相序结构。沙泉子—雅满苏岛弧带中下石炭统雅满苏组南北两侧对称分布着上底坎儿组(C_{2d}),粗碎屑岩层序及假整合接触关系表明岛弧带曾发生断块式抬升。虽然本区晚石炭世沉积层序具有向上沉积水体逐渐增深的特点,但与下石炭统相比,沉积区范围缩小很大。这种特征属岩石圈俯冲挤压体制下活动大陆边缘上的火山—沉积岩相学组合类型。

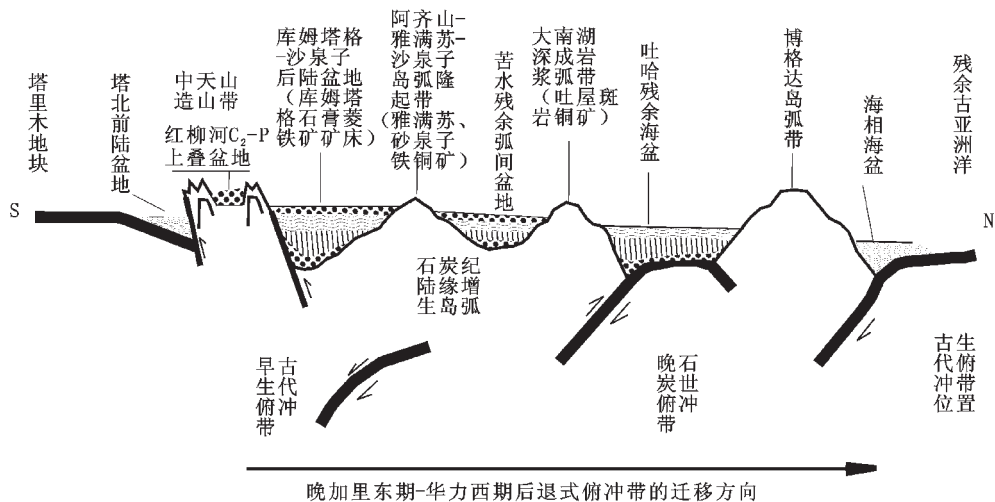


图 12 东天山晚石炭世沉积盆地—造山带—岛弧带耦合与转换示意图

Fig. 12 Schematic map of tectonic coupling and transition of the Late Carboniferous sedimentary basin, orogenic belt and arcs in the East Tianshan

本区以南中天山造山带(基底隆起)曾快速抬升隆起,雅满苏—沙泉子残余岛弧带发生抬升。晚石炭世(320~286 Ma)岩相学特征表明它们可能形成于大陆挤压收缩动力学体制下,晚石炭世原型沉积盆地可能为中天山造山带的后陆盆地(图 12),在库姆塔格晚石炭世同造山期压陷盆地中,有利于火山热水沉积成矿作用发生。在库姆塔格—雅满苏二叠纪由一套陆相碎屑岩为主组成,有较多次火山岩相(辉绿玢岩—辉长岩)侵入其中;底部磨拉石建造发育(同造山期山间磨拉石盆地),与上、下石炭统呈角度不整合关系,后陆盆地快速充填,有利于火山热水沉积成因的大型石膏、中型菱铁矿矿床保存,沉积范围进一步缩小,晚石炭世同造山期后陆盆地已演化为二叠纪同造山期的山间磨拉石盆地。

参考文献 (References):

[1] 许效松,刘宝珺,徐强,等.中国西部大型盆地分析及地球动力学[M].北京:地质出版社,1997.76~137.
 Xu Xiaosong, Liu Baojun, Xu Qiang, et al. Analysis of Large-scale Basins in West China and Their Geodynamic Characteristics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997.76~137(in Chinese with English abstract).
 [2] 王毅.塔里木盆地晚泥盆世与石炭纪沉积演化[J].石油大学学报(自然科学版),1998,22(6):14~20.
 Wang Yi. Sedimentary evolution of Late Devonian and Carboniferous age in Tarim basin [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1998, 22(6):14~20 (in Chinese with English abstract).
 [3] 丁孝忠,刘训,傅德荣,等.塔里木板块西北缘石炭纪层序地层及海平面变化探讨[J].中国区域地质,2000,19(1):58~65.
 Ding Xiaozhong, Liu Xun, Fu Derong, et al. Sequence stratigraphy

and sea-level changes of Carboniferous in the north western margin of Tarim plate, NW China[J]. Regional Geology of China, 2000, 19(1):58~65 (in Chinese with English abstract).
 [4] 朱如凯,罗平,罗忠,塔里木盆地晚泥盆世及石炭纪岩相古地理[J].古地理学报,2002,4(1):13~24.
 Zhu Rukai, Luo Ping, Luo Zhong. Lithofacies palaeogeography of the late Devonian and Carboniferous in Tarim Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(1):13~24 (in Chinese with English abstract).
 [5] 郭宏莉,朱如凯,邵龙义,等.中国西北地区石炭纪岩相古地理[J].古地理学报,2002,4(1):25~35.
 Guo Hongli, Zhu Rukai, Shao Longyi, et al. Lithofacies palaeogeography of the carboniferous in Northwest China[J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(1):25~35(in Chinese with English abstract).
 [6] 姜常义,吴文奎,李良辰,等.南天山东段显生宙构造演化[M].北京:地质出版社,2001.29~134
 Jiang Changyi, Wu Wenkui, Li Liangchen, et al. Tectonic evolution of in eastern part of southern Tianshan[m]. Beijing: Geological Publishing House, 2001.29~134 (in Chinese with English abstract).
 [7] 朱志新,李长和,李少娟.东天山却勒塔格地区底格尔组的沉积体系[J].新疆地质,2002,20(1):91~93.
 Zhu Zhixin, Li Changhe, Li Shaojuan. Sedimentary system of Diger Formation in the Queletage area, East Tianshan [J]. Xinjiang Geology, 2002, 20(1):91~93 (in Chinese with English abstract).
 [8] 殷勇,董玉珊,高长林,等.中天山马鞍桥石炭纪沉积特征及构造意义[J].沉积学报,2000,18(1):100~106.
 Yin Yong, Dong Yushan, Gao Changlin, et al. Depositional characteristics of Carboniferous and its tectonic significance in Ma'anqiao area, Middle Tianshan [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(1):

- 100~106 (in Chinese with English abstract).
- [9] 马瑞士,舒良树,孙家齐.东天山构造演化与成矿[M].北京:地质出版社,1997.
Ma Ruishi, Shu Liangshu, Sun Jiaqi. Tectonic evolution and metallogeny of eastern Tianshan mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. (in Chinese with English abstract).
- [10] 周济元,张斌,张朝文,等.东天山古大陆及其边缘银、铼、铜和铜矿地质[M].北京:地质出版社,1996.62~63
Zhou Jiyuan, Zhang Bin, Zhang Chaowen, et al. Geology of the silver, rhenium-molybdenum, gold and copper deposits in the Eastern Tianshan and its adjacent regions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.62~63(in Chinese with English abstract).
- [11] 方维萱,高珍权,黄转盈,等.东疆雅西371-西北坡铜金矿化带下石炭统火山岩地球化学特征与成矿背景[J].岩石学报,2006,22(1):215~224.
Fang Weixuan, Gao Zhenquan, Huang Zhuanying, et al. Metallogenic background and geochemical characteristics of Lower Carboniferous volcanic rocks in No.371-Xibeipo copper-gold mineralization belt in Yaxi area, east Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(1):215~224 (in Chinese with English abstract).
- [12] 张连昌,万博,李文铝,等.新疆吐哈盆地南缘铜矿带含矿斑岩的地球化学及形成环境[J].岩石学报,2006,22(1):225~235.
Zhang Lianchang, Wan Bo, Li Wenqian, et al. Geochemistry and tectonic setting of copper-bearing porphyries on the southern margin of Tuha basin, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(1):225~235 (in Chinese with English abstract).
- [13] 张维,廖卓庭.天山东部晚石炭世碳酸盐岩隆岩石学与成岩作用[J].岩石学报,1998,14(4):559~566
Zhang Wei, Liao Zuoting. Petrology and diagenesis of Late Carboniferous carbonate buildups in eastern Tianshan Mountains, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 1998. 14(4):559~566(in Chinese with English abstract).
- [14] 朱文斌,马瑞士,胡德昭,等.新疆觉罗塔格山与吐哈盆地的构造接触关系[J].大地构造与成矿学,2001,25(2):128~135.
Zhu Wenbin, Ma Ruishi, Hu Dezhao, et al. Structural contact relationship between Jueluotage mountain and TU-HA basin [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2001,25(2):128~135(in Chinese with English abstract).
- [15] 顾连兴,胡受奚,于春水,等.论博格达俯冲撕裂型裂谷的形成与演化[J].岩石学报,2001,17(4):585~597.
Gu Lianxing, Hu Shouxi, Yu Chunshui, et al. Initiation and evolution of the Bogda subduction-torn-type rift, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(4):585~597 (in Chinese with English abstract).
- [16] 顾连兴,胡受奚,于春水,等.博格达陆内碰撞造山带挤压-拉张构造转折期的侵入活动[J].岩石学报,2001,17(2):187~198.
Gu Lianxing, Hu Shouxi, Yu Chunshui, et al. Intrusive activities during compression-extension tectonic conversion in the Bogda intrasubduction orogen [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(2):187~198(in Chinese with English abstract).
- [17] 顾连兴,胡受奚,于春水,等.东天山博格达造山带石炭纪火山岩及其形成地质环境[J].岩石学报,2000,16(3):305~316.
Gu Lianxing, Hushouxi, Yuchunshui, et al. Carboniferous volcanites in the Bogda orogenic belt of eastern Tianshan; their tectonic implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000,16(3):305~316.
- [18] 韩春明,毛景文,杨建民,等.东天山晚古生代内生金属矿床成矿系列和成矿规律[J].地质与勘探,2002,38(5):5~10.
Han Chunming, Mao Jingwen, Yang Jianmin, et al. Late Palaeozoic endogenetic metallogenic series and mineralisation law in the east Tianshan mountains [J]. Geology and Prospecting, 2002, 38(5):5~10 (in Chinese with English abstract).
- [19] 杨兴科,程宏宾,姬金生,等.东天山碰撞造山与金铜成矿系统分析[J].大地构造与成矿学,1999,23(4):315~322.
Yang Xingke, Cheng Hongbing, Ji Jinsheng, et al. Analysis on gold and copper ore-forming system with collision orogeny of eastern Tianshan [J]. Geotectonica et Metallogenia, 1999, 23(4):315~322 (in Chinese with English abstract).
- [20] 李智明,薛春纪,王剑辉,等.中国新疆及周边国家和地区典型矿床特征对比研究[J].中国地质,2006,33(1):160~168.
Li Zhiming, Xue Chunji, Wang Jianhui, et al. Comparative study of the characteristics of typical mineral deposits in Xinjiang, China, and its neighboring countries and regions [J]. Geology in China, 2006, 33(1):160~168(in Chinese).
- [21] 王福同,冯京,胡建伟,等.新疆土屋大型斑岩铜矿床特征及发现意义[J].中国地质,2001,28(1):36~39.
Wang Futong, Feng Jing, Hu Jianwei, et al. Characteristics and significance of the Tuwu porphyry copper deposit, Xinjiang [J]. Geology in China, 2001,28(1):36~39(in Chinese).
- [22] 芮宗瑶,王福同,李恒海,等.新疆东天山斑岩铜矿带的新进展[J].中国地质,2001,28(2):11~16.
Rui Zongyao, Wang Futong, Li Henghai, et al. Advance of the porphyry copper belt of the East Tianshan mountain, Xinjiang [J]. Geology in China, 2001,28(2):11~16(in Chinese).
- [23] 王福同,庄道译,胡建伟,等.物探在新疆土屋地区铜矿找矿中的应用—兼谈斑岩铜矿“三位一体”的找矿模式[J].中国地质,2001,28(3):40~46.
Wang Futong, Zhuang Daoze, Hu Jiangwei, et al. Application of geophysical exploration method in the Tuwu area, Xinjiang—On the prospecting model of porphyry copper deposit [J]. Geology in China, 2001,28(3):40~46(in Chinese).
- [24] 龙宝林,薛迎春,冯京,等.新疆天山斑岩铜矿的找矿模型试探[J].中国地质,2001,28(5):35~38.
Long Baolin, Xue Yingchun, Feng Jing, et al. Prospecting model of the porphyry copper deposits of East Tianshan, Xinjiang [J]. Geology in China (Chinese Geology), 2001,28(5):35~38(in Chinese).
- [25] Xiao W J, Zhang L C, Qin K Z, et al. Paleozoic accretionary and collision tectonics of the eastern Tianshan (China): Implications for the continental growth of central Asia [J]. American Journal of Science, 2004, 304:370~395.
- [26] Xiao W J, Windley B F, Hao J, et al. Accretion leading to collision

- and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt[J]. *Tectonics*, 2003, 22(6): 8-1~8-20.
- [27] 方维萱,胡瑞忠,谢桂青,等.云南哀牢山地区构造岩石地层单元及其构造演化[J]. *大地构造与成矿学*, 2002, 26(1):337~447.
Fang Weixuan, Hu Ruizhong, Xie Guiqing, et al. Tectonolithostratigraphic units of the Ailaoshan area in Yunnan, China and their implications [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2002, 26(1):337~447(in Chinese with English abstract).
- [28] 张志斌,曹德斌.滇中楚雄中生代盆地的形成、演化及其与哀牢山造山带的关系[J]. *地球学报*, 2002, 23(2):129~134.
Zhang Zhibin, Cao Debin. The relationship of the formation and evolution of Mesozoic Chuxiong basin to Ailaoshan orogenic belt in central Yunnan[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2002, 23(2):129~134 (in Chinese with English abstract).
- [29] 方维萱,张国伟,胡瑞忠,等.秦岭造山带泥盆系热水沉积岩相应应用研究及实例[J]. *沉积学报*, 2001, 19(1):48~54.
Fang Weixuan, Zhang Guowei, Hu Ruizhong, et al. On implications of the Devonian hydrothermal sedimentary facies in the Qinling Orogeny [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(1): 48~54 (in Chinese with English abstract).
- [30] 方维萱,刘方杰,胡瑞忠,等.凤太泥盆纪拉分盆地中硅质铁白云岩—硅质岩特征及成岩成矿方式[J]. *岩石学报*, 2000, 16(4): 700~710.
Fang Weixuan, Liu Fangjie, Hu Ruizhong, et al. The characteristics and diagenetic-metallogenic pattern for cherts and siliceous ferrodolomites from Fengtai pull-apart basin, Qinling orogen [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2000, 16(4):700~710 (in Chinese with English abstract).
- [31] Fleet AJ. Aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earth elements [A]. In: Henderson P (ed). *Rare Earth Element Geochemistry*[C]. Amsterdam: Elsevier, 1984. 343~373.
- [32] McLennan S M, Taylor S R, McCulloch M T, et al. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1990, 54:2015~2050.
- [33] Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. *J. Geol.*, 1983, 92:611~627.
- [34] Bhatia M R. Rare earth element geochemistry of Australian Palaeozoic graywackes and provenance and tectonics[J]. *Sedimentary Geology*, 1985, 45:97~113.
- [35] Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. *Contrib. Mineral Petrol.*, 1988, 92:181~193.
- [36] Roser, M R, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suite using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio[J]. *J. Geol.*, 1986, 94:635~650.
- [37] Roser, M R, Korsch R J. Province signatures of sandstone-mudstone suite determined using discriminant function analysis of major-element data[J]. *Chem. Geol.*, 1988, 119~139.
- [38] Cullers R L. The controls on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the wet Mountains region, Colorado, USA[J]. *Chem. Geol.*, 1995, 70:335~348.
- [39] Graver J I, Royce P R, Smick T A. Chromium and nickel in shale of the Taconic foreland: a case study for the provenance of fine-grained sediments with an ultramafic source[J]. *J. Sediment. Res.*, 1996, 66:100~106.
- [40] Condie K C, Lee D, Farmer G L. Tectonic setting and provenance of the Neoproterozoic Uinta Mountain and Big Cottonwood groups. Northern Utah: constraints from geochemistry, Nd isotopes, and detrital modes[J]. *Sedimentary Geology*, 2001, 141~142:443~464.
- [41] Faúndez V, Hervé F, Lacassie JP. Provenance and depositional setting of pre-Late Jurassic turbidite complexes in Patagonia, Chile[J]. *New Zealand Journal of Geology & Geophysics*, 2002, 45:411~425.
- [42] Udo Zimmermann, Heinrich Bahlburg. Provenance analysis and tectonic setting of the Ordovician clastic deposits in the southern Puna Basin, NW Argentina[J]. *Sedimentology*, 2003, 50(6):1079~1103.
- [43] 方爱民,李继亮,侯泉林,等.新疆西昆仑库车复理石源区性质及构造背景分析[J]. *岩石学报*, 2003, 19(1):153~166.
Fang Aimin, Li Jiliang, Hou Quanlin, et al. Tectonic setting and provenance of the Kudi flysch in west Kunlun mountains, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(1):153~166 (in Chinese with English abstract).
- [44] 于福生,王涛,李伍平,等.甘新交界红柳河地区海西期构造演化特征[J]. *西安工程学院学报*, 2000, 22(1):18~22.
Yu Fusheng, Wang Tao, Li Wuping, et al. The feature of tectonic evolution within Hercynian period in Hongliuhe area located in the boundary between Gansu and Xinjiang [J]. *Journal of Xi'an Engineering University*, 2000, 22(1):18~22 (in Chinese with English abstract).

Lithofacies, geological and geochemical characteristics and tectonic setting of Late Carboniferous volcanic-sedimentary rocks in the Kumtag-Shaquanzi area, East Tianshan

FANG Wei-Xuan^{1,2}, HUANG Zhuan-Ying^{1,2}, TANG Hong-Feng¹, GAO Zhen-Quan^{1,2}

(1. Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China;

2. Beijing Institute of Geological Survey, China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012, China)

Abstract: Ten lithofacies and their sublithofacies, including piedmont diluvial facies (fluvial facies), subaqueous delta facies, tidal flat facies, neritic facies, volcanic-sedimentary facies, volcanic outpouring facies, volcanic eruption facies, hydrothermal deposition facies, volcanic hydrothermal alteration facies and skarn facies, are recognized based on the lithofacies types and characteristics of Late Carboniferous sedimentary and volcanic rocks in the East Tianshan, Xinjiang. These characteristics indicate that the association of volcanic-sedimentary lithofacies formed on active continental margins in a continental compressional regime. The structure of vertical facies sequence indicates the strong volcanism occurred above and below the hydrothermal depositional facies, which provided heat needed for mineralization. In the Late Carboniferous Kumtag compressional basin, the vertical lithofacies sequence structure of the hydrothermal depositional facies is hydrothermal breccia subfacies→siderite rock/gypsum rock subfacies→ankerite rock subfacies→jasper rock subfacies→ankerite rock subfacies. This association is the lithofacies indicator for looking for large Kumtag type gypsum-siderite deposits in the East Tianshan. The general depositional sequence of the volcanic-sedimentary facies in the study area shows the trend of upward deepening facies sequence and then upward shallowing facies sequence. The provenance of clastic rocks was mainly the erosion area of the Variscan island arc zone in the north and the Central Tianshan basement uplift in the south. However, subaqueous volcanic eruption still took place in a neritic environment, showing the sedimentary characteristics of a hinterland basin in a continental compressional regime (Central Tianshan orogenic belt). The Late Carboniferous prototype sedimentary basin is likely to be a hinterland basin, which is favourable for preservation of large gypsum-siderite deposits.

Key words: lithofacies of volcanic rocks; lithofacies of sedimentary rocks; hydrothermal depositional facies; hinterland basin; gypsum-siderite deposit; East Tianshan

About the first author: FANG Wei-Xuan, male, born in 1961, senior geologist, director of Ph. D. candidates, mainly engages in metallic mineral prospecting and exploration and research on sedimentary basins, fluid geology, ecology and environmental geochemistry; E-mail: fangwuxuan@tom.com.