

志留纪昆仑山地区构造古地理环境及其成矿意义

赵振明 李荣社 计文化 陈守建

(西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

摘要: 青藏高原北部基础地质调查与研究工作中, 在昆仑山地区测得志留纪(S), 奥陶纪—志留纪(O-S)剖面 39 条, 剖面厚度从 169 m 到 8260 m 不等, 地层的上下接触关系多为断层和角度不整合。从沉积环境、物质组成等方面, 反映出昆仑地区从西向东古地理环境为滨浅海—深海—滨浅海—深海的分布特征。

西昆仑温泉沟群(S₁W)在英吉莎县西, 以砂岩、板岩为主, 沉积环境为浅海陆棚; 在麻扎一带, 主要为砂岩、粉砂岩、板岩及硅质岩等, 麻扎附近的石英片岩、砂板岩及灰岩中, 含拉斑玄武岩, 为活动大陆边缘环境下, 深海相(俯冲带海沟沉积环境, 麻扎一带), 斜坡相浊积岩沉积(麻扎东、西一带), 在麻扎一带叠复厚度 8260 m, 向北西、南东方向变薄; 东昆仑在木孜塔格峰北, 该群为一套深海—半深海复理石沉积, 由灰色、浅灰色浅变质各种岩屑砂岩、粉砂岩、泥岩组成。中晚志留世达坂沟群(S₂₋₃D)在西昆仑为半深海到滨浅海沉积环境, 在东昆仑沉积一套碳酸盐岩夹碎屑岩地层, 以浅海环境为主。

在若羌南的白干湖组(S₁b)发育深海浮游生物——笔石, 为深海相浊积岩, 从下到上浊积扇向海推进, 水体逐渐变深, 属拉张环境下的深海弧后盆地沉积环境。在格尔木西南志留系赛什腾组(S₅)自下而上由大陆斜坡至陆隆和深海沉积到浅海的沉积环境演化, 具有非扇大陆斜坡沉积类型, 以远源浊积岩、半远洋沉积为特征, 代表古海盆收缩到残留海盆阶段的沉积。布咯达坂峰东, 加里东晚期(S₃)同碰撞型二长花岗岩体锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄(421±3) Ma、(423±16)Ma。在格尔木东南的纳赤台群(OSN)超镁铁岩—辉绿岩墙—玄武岩—深水硅质岩构成早古生代的洋壳组合, 具有蛇绿岩套特征。基性变玄武岩显示为洋中脊或洋岛环境。硅质岩的地球化学指标也显示为洋中脊或大洋盆地的远洋深水环境, 超镁铁岩是古洋壳残片的地幔岩部分, 变碎屑岩属大陆斜坡相沉积, 碳酸盐岩具近岸沉积特点。格尔木东南纳赤台群大洋中脊拉斑玄武岩(MORB)型, 锆石 SHRIMP ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄的加权平均值为(419±5) Ma, 为 S₄。

总体上, 志留纪昆仑地区应是加里东运动之后在逐渐消失的残留洋, 表现出复杂的多岛洋盆体系。这一构造古地理环境的确定, 为该地区已经发现的矿床形成机制的研究和下一步的找矿工作提供了重要的依据。

关键词: 志留纪; 昆仑山地区; 构造—古地理环境; 成矿与找矿

中图分类号: P534.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)05-1284-21

昆仑山地区, 尤其是西昆仑地区, 以往研究的较多, Mattern F 等(2000)^[1]认为, 在西昆仑, 原特提斯洋位于北昆仑和南昆仑之间, 开始形成于震旦纪, 残留(Remnants)洋保存在奥依塔克(阿克陶县西南)—库地缝合带(Oytag-Kudi suture), 晚古生代到中生代中期古特提斯洋消失。Wang Zhihong(2004)^[2]对早古生代奥依塔克—库地蛇绿岩研究认为, 古特

提斯洋北部深俯冲到南昆仑基岩之下是在寒武纪, 产生了类安第斯山型的岩浆弧, 碰撞发生在早泥盆世北南昆仑之间。西昆仑“库地蛇绿岩”侵入于橄榄岩中的伟晶辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(525±2.9)Ma, 在库地一些克沟获得块状玄武岩锆石 SHRIMP 年龄为(428±19)Ma^[3]。对库地片麻岩、片岩的研究^[4]认为在西昆仑安第斯山型边界形成于

收稿日期: 2009-10-09; 改回日期: 2010-07-20

基金项目: 中国地质调查局“青藏高原前寒武纪地质古生代构造—古地理综合研究”项目(1212010610102)资助。

作者简介: 赵振明, 男, 1965年生, 副研究员, 从事构造地质和环境方面的工作; E-mail: xazzhenming@163.com, zzhenming@cgs.cn。

晚奥陶世,继续向南生长是在早志留世,在泥盆纪—石炭纪时碎屑沉积物填充到盆地内顶部岩浆弧—增生缝合带之上。

东昆仑阿其克库勒湖西南缘蛇绿岩沿近东西走向的昆中断裂出露,以构造岩片的形式夹持于泥盆纪和志留纪地层中,由变质橄榄岩、堆晶岩和火山岩三部分组成,经历了从洋中脊到俯冲带环境的演化^[9]。

Yang J S 等(1996)^[6]总结了整个昆仑地区 3 条大规模的蛇绿岩带:寒武纪东昆仑蛇绿岩带,表明洋盆打开很可能在晚元古代;西昆仑石炭纪蛇绿岩带,表明洋盆可能发展基于早古生代洋盆,早二叠世向南俯冲关闭该洋盆在西昆仑中部;第三条沿东昆仑南部边界早二叠世到中三叠世蛇绿岩带。三条蛇绿岩具有洋中脊、洋岛和火山弧特征是冈瓦纳与欧亚大陆之间的缝合带。

关于昆仑洋的研究,震旦纪(800~540 Ma),塔里木—柴达木块体从东冈瓦纳大陆裂开,昆仑洋(Kunlun Ocean)在其之间打开,裂陷盆出现在寒武纪,在奥陶纪和志留纪扩张,中泥盆世塔里木与冈瓦纳汇聚拼合导致硅铝岩(sialic blocks)形成^[7]。在塔里木板块南部边界,震旦纪到寒武纪昆仑洋经历了拉张构造,之后碰撞造山,形成外围前陆盆地,震旦纪和中志留世被动边缘复理石层沉积和双向结构的前陆盆地形成^[8],晚奥陶世北昆仑洋关闭,阿尔金地区沟—弧—盆体系解体^[9]。

由于昆仑山地区自然条件极其艰苦,加里东运动末期的志留纪时期,整个昆仑山地区是怎样的古地理格局,是否存在局限的小洋盆古地理环境,东西昆仑地区的古地理环境是否具有相似性,又经过了怎样的构造演化,对这一问题研究报道的较少。此外,志留纪到泥盆纪是一个重要的构造演化时期,在秦岭,扬子克拉通与华北克拉通南缘的北秦岭在志留纪—泥盆纪对接^[10];在北美州志留纪到泥盆纪的造山运动表现的也很明显,美国东北部缅因州(Main)中南地区的阿巴拉契亚山脉(Appalachians)造山运动发生在志留纪到泥盆纪,变质独居石和锆石年龄为 430 Ma 和 370 Ma^[11],该山脉在加拿大境内晚志留世双峰式火山岩反映大陆伸展作用^[12],阿拉斯加造山带是弧—陆事件发生在晚志留世—早泥盆世^[13]。昆仑山地区是否也存在志留纪到泥盆纪时期,可能具有全球性的海—陆转化,也是一个重要的理论问题。

本文拟在国土资源大调查工作所获得的大量详实的资料的基础上,恢复再现昆仑山地区志留纪的古地理环境,对该地区构造演化进行进一步的研究,探讨该时期构造古地理的演化过程与油气可能蕴藏机制、各种金属矿产的形成机制的关系,以期对该地区的找矿工作提供帮助。

1 昆仑地区志留纪地层概况

国土资源地质大调查以来,在西昆仑西段塔什库尔干东南,达布达尔乡沙依地库拉沟的温泉沟群浅变质的沉积地层,首次发现了大量保存较完整的早志留世早中期笔石化石^[14];在东昆仑西段祁漫塔格山白干湖地区原划奥陶系祁漫塔格群浊积岩下部位中,也首次发现早志留世笔石化石组合^[15]。在西昆仑叶城南部麻扎地区志留纪新发现几丁虫动物群化石^[16],在西昆仑岔路口西边,下志留统温泉沟群中一下部轻变质的碎屑岩中,发现较丰富的疑源类和几丁虫化石^[17-18],而几丁虫主要生存在古生代海洋中,以奥陶纪、志留纪、泥盆纪最为繁荣^[19]。关于笔石化石,对志留纪海底螺旋笔石和棒状笔石形成的环境进行了详细研究^[20],奥陶纪—志留纪笔石具有高分辨率的定年意义^[21]。

根据上述新发现和新资料,本文对昆仑山地区志留纪地层进行了详细的厘定和研究,涉及 7 个群组(表 1),分别为西昆仑和东昆仑的温泉沟群(S_1W)、达坂沟群($S_{2-3}D$),东昆仑阿其克库木湖北的鸭子泉火山岩组(S_1y)、白干湖组(S_1b),东昆仑北断裂带分布的的滩间山群(OST),东昆仑昆仑山口西分布的赛什腾组(Ss),东昆仑沿昆仑中断裂带分布的纳赤台群(OSN)。地层的详细分布见图 1。对于志留系(含奥陶系到志留系)共实测了 39 条剖面,这些剖面的地层特征、岩石组合、上下地层接触关系、生物化石、所处区域构造位置和沉积相等见表 2。以这些大量的实际资料为基础,笔者重建和恢复了志留纪昆仑地区古地理环境,编制了志留纪昆仑地区和临近地区古地理环境图(图 2)。各个区域志留纪沉积古地理特征如下。

2 沉积地层特征及沉积环境

2.1 西昆仑温泉沟群 (S_1W)

2.1.1 地层沿革

1993 年《新疆维吾尔自治区地质志》^[22]把原先

表1 昆仑地区志留系地层划分对比表
Table 1 Correlation of Silurian strata in Kunlun Mountain area

地区	西昆仑布伦口	西昆仑麻扎—甜水海	东昆仑木孜塔格	东昆仑祁漫塔格		东昆仑纳赤台	
上覆地层	铁龙滩群 (K ₂ T) 花岗岩 (T) 恰提尔群 (CQ)	恰提尔群 (CQ) 落石沟组 (D ₂ l)	浩特洛哇组 (C ₂ P ₁ h)	鸭子大坂硅质岩 (C)	印支期花岗岩 (T ₃)	浩特洛哇组 (C ₂ P ₁ h)	
志留系	S ₄						
	S ₃	达坂沟群 (S _{2,3} D)	达坂沟群 (S _{2,3} D)	达坂沟群 (S _{2,3} D)	鸭子泉火山岩组 (Sy)	赛什腾组 (S ₅)	纳赤台群 (OSN)
	S ₂				滩间山群 (OST)		
	S ₁	温泉沟群 (S ₁ W)		白干湖组 (S ₁ b)			
奥陶系		冬瓜山群 (O _{2,3} D)	?	滩间山群 (OST)			
下伏地层	古元古布伦库勒岩群 (P _t B)				白沙河岩组 (Ar ₃ P _t b)	沙松乌拉组 (∈ ₁ s)	

||||| 地层缺失; ~~~~~ 角度不整合; ===== 断层; ————— 整合

注:由于国际地层表把志留系由原来的三分变为现在的四分,因此,达坂沟群(S_{2,3}D)可能包含部分顶志留统(S₄)地层。

的“温泉沟群”改为“温泉沟组”,1999年《新疆维吾尔自治区岩石地层》^[23]沿用温泉沟群名称,将其定义为:岩性以浅变质的碎屑岩为主,由钙质粉砂岩、石英砂岩、千枚岩组成,顶界与达坂沟群整合接触,与下伏地层接触关系不明的一套地层单位,时代为早志留世。

2.1.2 岩性组合

温泉沟群(S₁W),在西昆仑主要分布在4个区域:

①英吉莎县西,木吉县西南,面积近1000 km²,厚度大于1878.24 m。该群下部岩性为长石板岩、长石砂岩、少量长石石英岩、白云岩、灰岩;中部为长石板岩、砂屑灰岩、少量长石砂岩、微晶灰岩、白云质长石石英砂岩;上部主要为灰色细粒长石石英岩夹深灰色含铁矿绢云千枚岩。

②塔什库尔干县达布达尔乡以南地区,多呈不规则面状形态,出露面积约1100 km²,厚度大于4289.60 m,向南延入巴基斯坦(巴控克什米尔),向西延入阿富汗,与周围地质体呈断层接触。主体为笔石相碎屑岩沉积,岩性为粉砂质泥(板)岩、钙泥质粉砂岩、石英砂岩、结晶灰岩、少量硅质岩等。上部被泥盆系或上石炭统不整合覆盖,其下以断层覆于布伦库勒群(P_tB)之上,含笔石,几丁虫等化石。

③麻扎到叶尔羌河上游地区,呈北西西向展布,面积约2800 km²,自下而上可进一步划分为A、B、C、D 4个组,主要由变质长石石英杂砂岩、变质细

砂岩、变质石英粉砂岩、变质细粒长石砂岩、砂质绢云母板岩夹少量火山岩、硅质岩、粉晶灰岩等组成。温泉沟群A组,厚度大于8260 m,可见少量大理岩、火山岩;B组厚度大于6977.7 m,可见少量的薄层状硅质岩;C组局部可见到几丁虫微体化石,出露厚度大于2221.1 m;D组以板岩为主,砂岩较少,厚度大于6100 m。其柱状剖面见李博秦等(2007)^[18]。

④甜水海西(岔路口北—喀拉喀什河上游)以西地区,面积约2000 km²,厚度为5412.54 m;甜水海北约15 km处,地层厚度变为1474.04 m,温泉沟群再向东在西昆仑尖灭。该群与下伏冬瓜山群(O₂₋₃D)为整合接触关系,与上覆落石沟组(D₂l)、恰提尔群(CQ)呈微角度不整合接触。岩性主要为深灰色中薄层状石英粉砂岩、灰色中厚层状含钙质石英粉砂岩、灰色薄层状泥质粉砂岩。粉砂岩中水平纹层发育(A组,B组)。粉砂岩组下部见有蚀变杏仁状安山岩夹层,厚约10 m,呈灰—灰绿色,块状构造、杏仁状结构,为中性喷出岩,说明当时存在火山活动。

2.1.3 形成时代

在麻扎以北深灰色板岩中发现有微体化石,经中国地质科学院地质研究所高联达鉴定含几丁虫:漂砾链几丁虫 *Desmochitina* cf. *erratica* Eisenack., 球形球几丁虫 *Sphaerochitina* cf. *sphaerocephala* (Eisenack), 锥几丁虫 *Conochitina* sp., 棒几丁虫 *Rhabdochitina* sp. 时代为志留纪,该项成果详见姚建

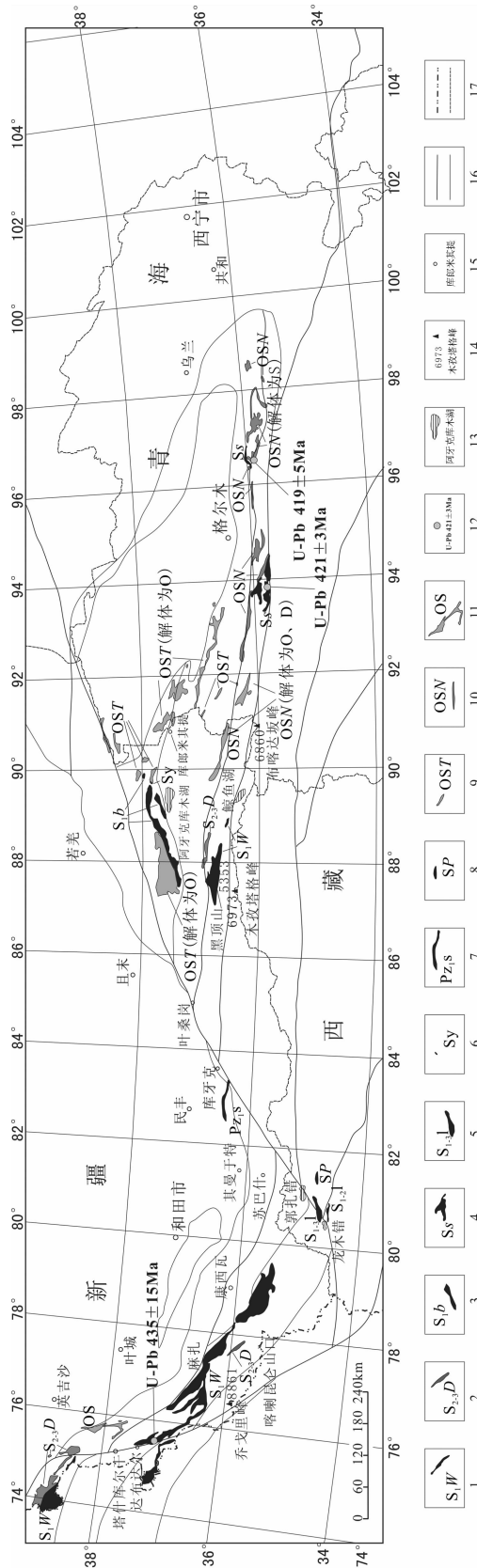


图 1 昆仑山地区志留纪(S)与奥陶纪到志留纪(O-S)地层分布图

1-温泉沟群; 2-达坂沟群; 3-白干湖组; 4-赛什腾组; 5-龙木错组; 6-鸭子泉组; 7-上其汗组; 8-普尔错群; 9-滩回山群; 10-纳赤台群; 11-奥陶-志留系; 12-同位素年龄; 13-湖泊及名称; 14-山峰及高度; 15-地名及位置; 16-断层; 17-国界/省界

Fig.1 The distribution of Silurian and Ordovician strata in Kunlun Mountain area

1-Wenquanguo Group; 2-Dabangou Group; 3-Baiganhu Formation; 4-Saishiteng Formation; 5-Longmucuo Formation; 6-Yaziquan Formation; 7-Shangqijian Formation; 8-Pu'eruo Group; 9-Tanjianshan Group; 10-Nachtai Group; 11-Ordovician-Silurian; 12-Isotope age; 13-Lake and its name; 14-Peak and its height; 15-Place name; 16-Fault; 17-National/provincial boundaries

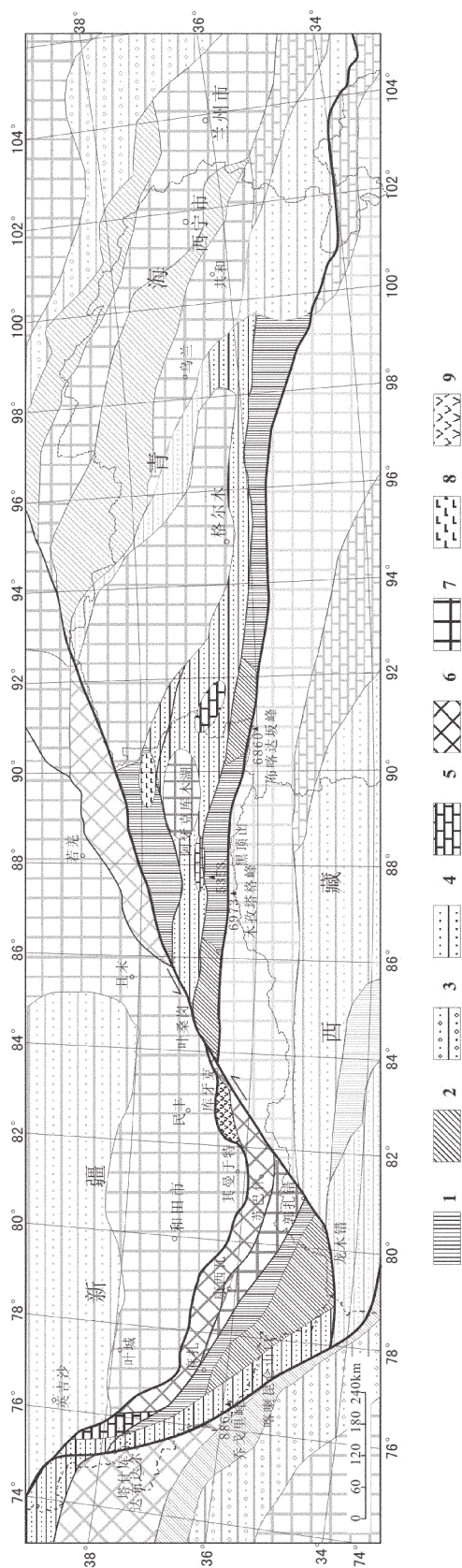


图 2 志留纪昆仑山地区古地理环境
 (昆仑山邻区古地理环境根据以往区域地质资料和相关文献编制)

1—深海沉积相; 2—半深海沉积相; 3—滨浅海碎屑岩沉积相; 4—滨浅海砂岩沉积相; 5—碳酸岩台地; 6—古隆起区; 7—古陆; 8—玄武岩岛弧; 9—安山岩岛弧

Fig.2 Silurian Paleogeographic environment of Kunlun Mountain area
 1—Deep sea sediments; 2—Bathyal sediments; 3—Littoral fragmental sediments; 4—Littoral sandstone sediments; 5—Carbonate platform; 6—Old uplift area; 7—Old continent;
 8—Basalt island arc; 9—Andesite island arc

新等^[16]。在甜水海西(岔路口北)该群板岩组变质碎屑岩中采集了大量微古样品,经中国地质科学院高联达研究员鉴定,获得了较为丰富的疑源类和几丁虫,微体化石时代为早志留世常见的属种,该项成果详见姚建新等^[17]、李博秦等^[18]。在甜水海西(岔路口北)该群整合覆于奥陶系冬瓜山群之上。综上所述,温泉沟群的地质时代定为早志留世。

2.1.4 沉积环境

温泉沟群岩性主要为砂岩、粉砂岩、板岩及硅质岩等。地层中由砂岩-粉砂岩或板岩-硅质岩构成的韵律发育,发育水平层理、平行层理、交错层理及少量冲刷面构造等沉积构造。砂岩中碎屑总体磨圆不好,分选较差,成分复杂且见大量火山碎屑。上部砂岩组中可见硅质砾岩、灰质角砾岩透镜体等,具有水下滑塌成因特征。由沉积建造特征分析,该群主体为深水浊积岩沉积建造,属于活动大陆边缘环境下深海相-俯冲带海沟沉积环境(麻扎一带)和斜坡相浊积岩沉积(麻扎东、西一带)。在英吉莎县西,温泉沟群总体特征:颜色较深,岩层较薄,碎屑物中不稳定矿物较多,白云质含量较高,沉积构造不发育,含珊瑚、腕足类化石,其沉积环境应为浅海陆棚上部沉积环境。总体上,温泉沟群在麻扎一带厚度最大,向北西、南东方向变薄,即该群深海海沟沉积环境在麻扎一带。

2.2 西昆仑达坂沟群(S₂₋₃D)

2.2.1 地层沿革

1993年《新疆区域地质志》^[21]沿用此前命名的达坂沟群,1999年《新疆维吾尔自治区岩石地层》^[23]定义为:指一套含头足类、三叶虫等化石的碳酸盐岩地层,顶界与不同的地层呈不整合接触,底界与温泉沟组整合接触。

2.2.2 地层特征

达坂沟群(S₂₋₃D),在英吉莎县西,布伦口、木吉县北地区,厚度大于1649.3 m,分为4部分。下部岩性主要为变钙质石英砂岩、变长石石英砂岩、变石英粉砂岩,少量含炭质绢云石英千枚岩,厚度大于545.9 m;中部主要为灰、灰黄色微-细晶灰岩、浅灰色片理化长石石英岩,少量浅灰色薄-中层变石英粉砂岩,厚约594.2 m;上部主要为灰色变长石石英粉砂岩和变细粒长石石英砂岩,少量灰黑色片理化粉砂质细晶灰岩,厚约416 m;顶部主要为灰黑色绿泥绢云石英千枚岩,少量灰色钙质长石石英粉砂岩

和浅灰色薄层变长石石英粉砂岩,厚约93.2 m。

在麻扎东南出露于玛雷克恰塔格北侧,该群呈透镜状出露于断层之间,并与泥盆系、石炭系等地质层以断层接触,出露面积约180 km²。新疆叶城县叶尔羌河上游玛雷克恰塔格北侧达坂沟群路线地质剖面,岩性为中粒长石石英砂岩、中粒石英细砂岩、粉砂岩、灰岩,具下粗上细的特点,向上逐渐变细并以灰岩结束,岩石单层厚度自下而上逐渐变薄,具有进积特征,上部以低速沉积形成薄层状泥质钙质硅质岩、薄层状灰岩结束,沉积厚度大于3845 m。

2.2.3 地层时代

该群在本次调查中未采到生物化石,依据《新疆维吾尔自治区岩石地层》(1999)^[23]中在以往工作采到的三叶虫、头足类和腕足类等化石,将达坂沟群的地层时代暂定为中-上志留世。

2.2.4 沉积环境

达坂沟群在英吉莎县西,以灰-浅灰色为主,岩层以中-薄层为主,碎屑物以粉砂级颗粒为主,且长石含量较高,灰岩以中层为主,沉积环境为浅海陆棚相。在麻扎南东一带,该群以灰色中细粒碎屑岩为主,地层中发育平行层理和粒序层理,可见水平层理,偶见交错层理。此外,该群中砂岩微量元素特征与大陆岛弧、活动陆缘环境下的砂岩相似。因此,其沉积环境应为浅海-半深海相。

2.3 下古生界上其汗岩组(PZ_{1s})

2.3.1 地层特征

本次工作把位于昆北地层区(民丰县南)呈东西向展布,遭受低绿片岩相变质作用以及韧性剪切变形的一套海相火山岩-沉积岩系命名为上其汗岩组,代表剖面位于新疆民丰县八一大队大沟。该组东部出露较窄,小于1.8 km,向西逐渐变宽约11 km。南与石炭系哈拉米兰河岩群、北与泥盆系奇克拉夫组均呈断层接触,东侧终止于库牙克断裂。由火山岩、碎屑岩和碳酸盐岩组成,火山岩为多次喷发的细碧角斑岩系,岩石组合为玄武岩(细碧岩)、安山岩(角斑岩)、英安岩、流纹岩(石英角斑岩)组成的钙碱性系列。库牙克附近出现若干层透镜状大理岩,大理岩与粉砂质板岩、变质粉砂岩呈互层状产出。经历变质变形作用,形成以片岩为主的变质岩,具有条带、条纹状、眼球状构造。

2.3.2 时代依据

该组中一直未发现化石,其时代归属存在争

议。本次工作在岩体的东段黑云母花岗岩侵入体中采集了样品用于锆石 U-Pb 同位素测试。结果为: 1-3 号点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ 表面年龄加权平均值为 $(444.9 \pm 2.1)\text{Ma}$, 1-4 号点上交点年龄为 $(1256 \pm 489)\text{Ma}$, 下交点年龄为 $(443 \pm 55)\text{Ma}$ 。结合野外地质体的产出状态, 将 $(444.9 \pm 2.1)\text{Ma}$ 确定为该岩体的侵位年龄, 其形成于奥陶纪末期。通过区域地质综合分析, 将该套地层定为早古生代。

2.3.3 沉积环境

上其汗岩组为火山岩-碎屑岩-碳酸盐岩建造, 火山岩的岩石组合、元素地球化学特征, 均显示其形成于岛弧环境, 与火山岩同沉积的碎屑岩及碳酸盐岩为海相沉积环境下的产物。该岩组总体为一套岛弧环境下的海相火山沉积岩系。

2.4 东昆仑温泉沟群 (S_{1W})

2.4.1 地层特征

分布于东昆仑黑顶山一带, 位于昆仑结合带南缘向阳泉—花海滩断裂以南, 北与阿尔格山地层小区相邻, 南以木孜塔格—鲸鱼湖深大断裂 (昆南断裂) 为界, 夹于两断裂之间, 呈楔状向东尖灭。该群下伏地层不明, 与上覆中泥盆统布拉克巴什组 (D_2b)、下石炭统托库孜达坂组 (C_{1tk})、早二叠统浩特洛哇组 (P_{1h})、中二叠统树维门科组 (P_{2s}) 和马尔争组 (P_{2m}) 以及中侏罗统鹿角沟组 (J_2l) 和中新统雄鹰台组和第四系堆积物均为断层接触。

该群在木孜塔格峰北出露面积约 2168 km^2 , 在鲸鱼湖西呈近东西向断续出露, 面积约 100 km^2 。主要为一套浅变质的碎屑岩, 局部夹少量灰岩及灰岩透镜体和凝灰岩。实测两条地层剖面: 线狭沟中下游 II 号剖面 (黑顶山西, 图 1), 温泉沟群第一亚群 (S_{1w^1}) 以灰色—深灰色变质砂岩、千枚岩为主, 夹片岩、菱铁矿胶结粉砂岩、泥岩等, 片理发育, 在线狭沟出露有火山岩, 视厚度为 3823.38 m ; 温泉沟群第二亚群 (S_{1w^2}) 以灰色、灰黑色砂岩、粉砂岩、砂质泥岩、板岩为主, 夹千枚岩、灰岩等, 片理异常发育, 视厚度为 2201.64 m , 两亚群间为断层接触。黄沙河中游 XLVI 号剖面 (黑顶山东, 图 1), 温泉沟群第一亚群 (S_{1w^1}) 岩性为灰色—深灰色变质砂岩、砂岩与粉砂质板岩、粉砂质泥岩不均匀互层, 视厚度为 1357.85 m , 缺第二亚群。

2.4.2 地层时代

该群地层为一套浅变质的碎屑岩, 在线狭沟—黄沙河一带为变质砂岩、粉砂质泥岩不均匀互层, 砂

岩中含菱铁矿结核和大量黄铁矿晶体, 地层中局部地段夹少量灰岩, 灰岩中含海百合茎碎片, 从岩石组合来看, 与西部叶尔羌河上游温泉沟群相当, 因此将这层时代暂定为早志留世。

2.4.3 沉积环境分析

根据轻变质的碎屑岩, 局部夹少量灰岩及凝灰岩, 普遍见有黄铁矿颗粒和菱铁矿, 判断温泉沟群属半深海—深海相沉积。另外, 前人在灰岩中采到海百合茎化石, 该群中的砂岩碎屑成分成熟度较高, 结构成熟度较差, 可能属于盆地斜坡相滑塌沉积的产物。

2.5 东昆仑达坂沟群 (S_{2-3D})

2.5.1 地层特征

该群呈近东西向延伸, 分布面积约 456 km^2 。与下伏地层下志留统温泉沟群为整合接触, 与上覆下二叠统浩特洛哇组呈断层接触。而与树维门科组均为角度不整合接触。主要由一套变质岩组成, 在线狭沟测制了一条 II 号地层剖面 (黑顶山西, 图 1), 视厚度大于 5433.17 m , 其岩性下部为灰色糜棱岩、千糜岩、片岩为主, 夹条带状灰岩、大理岩及石英岩; 中部以灰色灰岩、砂岩为主, 夹千枚岩、板岩; 上部以糜棱岩为主。在灰岩中局部可见珊瑚、海百合茎等化石碎片。地层中岩石变形、变质强烈, 褶皱、揉皱异常发育。从横向上对比, 由西向东岩石变形较强, 碳酸盐岩逐渐增多, 已普遍糜棱岩化。

2.5.2 地层形成时代

前人于 1993 年^[2]在线狭沟东 10 km 处的碳酸盐岩中采到 *Palaeophyllum* (古珊瑚) 化石。本次国土资源大调查工作, 于 2002 年在进行 1:25 万木孜塔格幅与鲸鱼湖幅两年野外调查工作中, 在阿其克库勒湖西南 9 km 处采到 *Hedstroemphyllum* sp. (海斯却姆珊瑚未定种), *Ampioxoides* sp. (似包珊瑚), *Microplasma* sp. (小泡沫珊瑚), *Clathrostroma* sp. (格层孔虫), *Favosites* sp. (蜂巢珊瑚), *Marginofistula* sp. (边管珊瑚) 等化石, 均为中—晚志留世的标准分子。因此, 将其时代定为中—晚志留世。

2.5.3 沉积环境

该群岩性为碳酸盐岩 (含化石碎片)、变质岩、石英岩夹少量碎屑岩等, 从岩性、古生物等特征看, 其沉积环境为滨浅海相, 以开阔台地相沉积为主, 总体来说处于沉积环境稳定的被动大陆边缘盆地发展阶段。

2.6 鸭子泉火山岩组 (Sy)

鸭子泉火山岩组 (非正式地层单位) 是从祁漫塔

格群或原滩间山群中解体出来的,位于阿达滩碎屑岩组之上的一套与早古生代俯冲作用有关的中基性岛弧火山岩、熔岩建造。分布于鸭子泉东南的鸭子大坂—鸭子泉构造混杂岩带的鸭子泉段,以弱变形的块体存在于构造混杂岩的基质之中,岩块受构造作用呈北东向展布,出露面积约 50 km²,与其他地层均呈断层接触。

其典型剖面位于新疆若羌县鸭子泉东南 10 m²,剖面位置: N37°50.944', E89°43.168', 剖面厚 1659.1 m。主要岩石组合为变玄武岩、角闪安山玄武岩、玄武安山岩,夹较多的顺层侵入辉长岩、辉石岩、辉长闪长岩、闪长玢岩脉,受构造混杂作用地层层序不清,以构造块体形式存在于鸭子大坂—鸭子泉构造混杂岩带中。

经岩石化学、微量元素和形成环境分析研究,鸭子泉火山岩组形成于岛弧环境^[24],是祁漫塔格洋志留纪开始向北俯冲消减形成的柴达木南缘火山岩浆带的主要组成部分。笔者认为,随着今后工作的进一步深入,在柴达木南缘地区可能会发现更多与祁漫塔格洋志留纪俯冲消减作用有关的火山岩。

2.7 白干湖组 (S_{1b})

白干湖组 (S_{1b}) 是本次工作从原祁漫塔格群 (滩间山群) 中解体出来新建的岩石地层单位。它是指含 *Monodimacis griestoniensis* (Nicol) (格雷斯顿单栅笔石), *Monograptus priodon* (Bronn) (锯形单笔石), *Monograptus* sp. (单笔石未定种), *Streptograptus* cf. *becki* (Barrande) (贝克卷笔石比较种) 等志留纪笔石化石的复理石建造,笔石化石由西安地质矿产研究所付力浦研究员、宋礼生研究员鉴定。笔石化石采自于白干湖组下部,相当于特里奇阶,时代为早志留世晚期。它分布于中、北部大沙河—白干湖—鸭子泉一带的白干湖断裂带与鸭子泉断裂带之间,构造线受断裂作用在平面上呈“S”型展布。该项成果已由黎敦朋等 (2002)^[25] 作为阿牙克库木湖幅 (J45C003004) 的成果正式发表。

白干湖组在大沙河一带出露较好。建组层型剖面位于西部的大沙河北,剖面位置: N37°53.542', E89°37.589', 剖面厚 1565.9 m。

白干湖组依岩石组合特征可分为上、下两部分。下部主要为灰黑色—灰绿色中—厚层状岩屑粉砂岩,灰绿色中厚层状泥质粉砂岩、灰绿色中层状凝灰

质石英细砂岩,灰绿薄层状粉砂质泥岩,灰绿色绿泥绢云石英片岩;上部岩性主要为灰黑色—绿色中层状岩屑砂岩、灰绿薄层粉砂岩、灰绿色粉砂质板岩、灰绿色含凝灰质板岩的一套浊积岩组合。白干湖组与西部冰沟岩群及东部滩间山群均为断层接触,砂岩碎屑与上覆侏罗系大煤沟组和新近系上新统油砂山组均呈角度不整合接触。

白干湖组浊积岩在宏观上呈韵律层,韵律层厚度一般 10~80 cm, 表现为“复理石”特征。从下部到上部其碎屑粒度逐渐由粗变细,层厚逐渐变薄,砂岩逐渐减少,板岩 (页岩) 逐渐增加,反映水体逐渐变深。砂岩碎屑总体表现为结构成熟度和成分成熟度较低的特征。白干湖组下部发育冲刷构造、冲刷印模构造、工具痕、波状层理、包卷层理等指示的古流向构造,根据野外统计,白干湖组古流向 320~50°, 总体向北,没有优势方位,呈扇形分布,是浊流沉积的典型标志之一。

白干湖组的岩石成分成熟度较低、鲍马序列发育、碎屑粒度分布区间宽、概率累积曲线斜率低、古流向呈扇形分布、发育深海浮游生物——笔石以及岩石的微量元素等特征,反映其形成于大陆斜坡海相浊积岩扇中扇环境,从下到上浊积扇向海推进,水体逐渐变深,岩石粒度逐渐变细。结合其东部鸭子泉发育岛弧火山岩,说明志留纪白干湖岩组属于拉张环境下的弧后盆地沉积环境。

2.8 滩间山群 (OST)

2.8.1 地层沿革

滩间山群 (OST) 为柴南缘地层分区,系青海省地层编写小组 (1980) 在朱夏等 (1964)^① 所创“铁石达斯群”的基础上,于大柴旦镇滩间山创名,原始定义:指分布于赛什腾山万洞沟及滩间山一带的一套浅变质碎屑岩,上部见中性火山岩,间夹变砂屑生物碎屑灰岩。《青海省区域地质志》^[25] 将滩间山群的涵义进一步扩大,《青海省岩石地层》^[26] 对滩间山群重新定义为:现指分布于柴达木盆地北缘、西南缘的一套由浅变质碎屑岩、变中—基性火山岩夹生物碎屑灰岩、白云质大理岩组成的地层序列,时代为中晚奥陶世—志留纪。本次工作划分为:下部基性火山岩岩组,上部碳酸盐岩岩组。库郎米其提以东地区,根据新的资料已经解体为奥陶系 (图 1, 表 2), 下面是布

①朱夏,等.柴达木地质志,第三分册(油印本).青海省石油普查大队,1964.

喀达坂峰以北该群的特征。

2.8.2 岩性组合

基性火山岩岩组,为一套变质或蚀变块状基性火山岩夹变质碳酸盐岩的组合,由于后期构造作用叠加,各岩性层间多以各种构造界面关系接触,原始接触关系仅在局部保留,布喀达坂峰北出露面积仅 1.8 km²,岩石以块状强蚀变玄武岩、斜长角闪岩为主,部分阳起石化辉绿岩(属浅成岩),局部夹透镜状钙质糜棱岩及泥砂质糜棱岩。原岩主要为玄武岩,而夹层状钙质糜棱岩类则主要为富镁质碳酸盐岩,其结构特征上显示了主体为幔源分异物基性岩组分中混杂了海相镁质碳酸盐岩和砂泥质岩类。2 件玄武岩样品岩石地球化学特征显示高铁、镁、钙而低碱,均属亚碱性拉斑玄武岩系列;具有 P-MORB 和岛弧拉斑玄武岩区、板内拉斑玄武岩的特点。

碳酸盐岩岩组,出露于那陵格勒河南、北两侧。北侧呈北西向条块状较集中出露,与下伏金水口岩群呈断层接触;南侧则呈零星残块分布于卡而却卡海西—印支期花岗岩中和亚门涛鲁埃北东侧两地,局部见与下部基性火山岩组呈断层接触。为一套变质碳酸盐岩,夹少量变质沉积碎屑岩及变质基性火山岩(玄武岩)的海相类复理石。岩石普遍受变质及变形作用叠加改造,出露总面积约 40 km²。实测地质剖面,控制厚度大于 1329.79 m。

2.8.3 沉积环境

滩间山群二岩组其构造环境可能为陆缘扩张期间裂谷(或裂陷槽)环境,其中火山岩岩组为扩张早期的产物,而碳酸盐岩岩组则为扩张晚期的产物。

2.9 纳赤台群

2.9.1 地层沿革

纳赤台群地层划分与沿革比较复杂,《青海省岩石地层》^[9]在此前工作的基础上,将其定义为:分布于东昆仑北缘布尔汉布达山一带一套中级变质的绿片岩夹碳酸盐岩地层,未见顶底。由水泥厂组、石灰厂组、哈拉巴依沟组合并而成,时代为奥陶纪—志留纪。

近年来的研究显示,原以“绿色岩系”为代表的“纳赤台群”实际上包括不同时代的岩石组成,需要根据不断获得的新的时代依据进行解体,保留的纳赤台群的基本涵义应该是一套奥陶—志留纪绿色岩系。在东昆仑明显表现为一套蛇绿构造混杂岩系,纳

赤台群是东昆南构造带没草沟早古生代蛇绿构造混杂岩亚带的基本组成部分,分布野牛沟北侧没草沟一带。

2.9.2 岩性组合

不冻泉地区的纳赤台群蛇绿构造混杂岩内部均以岩片形式出露,表现出强烈的劈理化和片理化,沉积构造大部分被破坏,总体无序。可划分为 4 套岩石组合:①碳酸盐岩组合,岩性为灰白色大理岩、灰黑、深灰色灰岩;②变碎屑岩组合,岩性主要为灰色变砂岩和含砾变砂岩、变质长石杂砂岩,岩屑杂砂岩,变钙砂岩夹板岩,内部发育重力流序列;③玄武岩组合:岩性为灰绿色变玄武岩、绿帘绿泥阳起石岩,硅质岩;④变超镁铁岩组合:岩性为强蚀变成菱镁滑石片岩、菱镁方解绿泥片岩、辉橄岩等,保留具有洋壳特征的残留体。

2.9.3 沉积环境

超镁铁岩—辉绿岩墙—玄武岩—深水硅质岩构成早古生代的洋壳组合,具有蛇绿岩套特征。基性变玄武岩组合的岩石组合、主量—稀土—微量元素成分特征,以及玄武岩的构造环境判别图解显示为洋中脊或洋岛环境。硅质岩的各种地球化学指标也显示为洋中脊或大洋盆地的远洋深水环境。超镁铁岩组合表现为接近原始到轻微富集的地幔岩的特征,是古洋壳残片的地幔岩部分。纳赤台群变碎屑岩组合变碎屑岩中岩屑组分含量较高,长石含量 5%~20%,分选较差、成熟度都很低,具碎屑流的沉积特点,应属大陆斜坡相沉积。碳酸盐岩本身含有不少陆源细碎屑岩组分,石英含量 5%~30%,具近岸碳酸盐岩的沉积特点。上述不同构造环境下的物质彼此交织混杂,呈现出蛇绿构造混杂岩的面貌,代表早古生代(奥陶—志留纪)的复杂多岛洋盆体系。多岛洋盆的闭合时间或碰撞时间由加里东期的同碰撞型二长花岗岩以及角度不整合上覆于其上的浩特洛哇组的时代来约束,其中同碰撞型二长花岗岩锆石年龄为(421±3) Ma、(423±16)Ma^①,上覆的浩特洛哇组时代为石炭纪—二叠纪。因此,其碰撞时间应为晚志留世至泥盆纪。

2.10 志留系赛什腾组(S₅)

2.10.1 地层沿革及分布

在没草沟早古生代蛇绿构造混杂岩系南侧的小南川(青办食宿站西南,昆仑山口东北)及其以西地

①王国灿,李德威,魏启荣,等.1:25 万不冻泉幅(146C001003)区域地质调查报告.中国地质大学(武汉)地调院,2006 年.

区出露一大套岩性较单调的灰色—灰绿色浅变质碎屑岩系,这套浅变质碎屑岩系原作为“绿色岩系”的一部分归为早古生代“纳赤台群”,《青海岩石地层》(1997)^[26]虽然将其归为纳赤台群,但就其时代认为不排除志留纪的可能。鉴于其与北侧纳赤台群蛇绿构造混杂岩不同的岩石和构造面貌,本次工作将出露于小南川一带及其以西的大套具有明显沉积韵律特征的变质碎屑岩系与赛什腾组进行对比。该组主要分布在小南川和没草沟一带。小南川剖面出露较好,志留系赛什腾组厚度大于 7000 m。

2.10.2 岩性组合

赛什腾组根据岩性不同,分上下段。上段:板岩夹变砂岩与变碳酸盐岩,出露较差,但在研究区北部的羚羊水一带该组上段上部发现碳酸盐岩地层中产有海百合茎、核形石、藻类以及石英岩砾石,砾石含量 2%,磨圆度为次圆状。下段:含砾变砂岩、变细、粉砂岩与板岩,出露良好。砾岩成分为大理岩、变砂岩、花岗岩,砾石大小 0.2~15 cm,磨圆度为次棱角状—次圆状。变砂岩内部发育鲍玛 C、E 序列,条带状层理、水平层理、韵律层理等沉积构造。

2.10.3 沉积环境

前人工作认为该组属重力流或复理石沉积,本次工作发现赛什腾组下段岩系具有大陆斜坡之下多种沉积类型沉积,既有重力流的浊流、碎屑流,又有大陆斜坡之下的等深流和正常的静水沉积。下部发育递变层理,由鲍玛浊流 C、E 组成,纵向上频繁出现;中、上部大量发育条带状层理、纹层状层理,条带状层理由砂岩组成,层很薄,厚 0.5~2.7 cm,纹层状层理是大陆斜坡之下的一种正常沉积,它是缓慢而又静水沉积的标志。因而赛什腾组下段具非扇大陆斜坡沉积类型,以等深岩、半远洋沉积、远源浊积岩为代表。赛什腾组上段的上部碳酸盐岩地层中产有海百合茎、核形石、以及石英岩砾石为潮下浅水的标志。

该组自下而上由大陆斜坡至陆隆和深海沉积到浅海的沉积环境演化,沉积类型比较多样,代表古海盆演化收缩到残留海盆阶段的沉积。

3 志留纪昆仑山地区构造古地理演化讨论

3.1 西昆仑构造古地理

温泉沟群在英吉莎县西,碎屑物中不稳定矿物较多,白云质含量较高,含珊瑚、腕足类化石,其古地

理为浅海陆棚上部沉积环境(图 2)。麻扎—康西瓦一带温泉沟群出露在西昆仑麻扎—康西瓦构造接合带的南侧(图 1),主要为浅变质的碎屑岩(图 3),这套地层中具有大量早志留世微体古生物化石^[16-18]。根据其物质组成、岩石碎屑特征、岩石地球化学特征等的分析结果显示,其物源区主要为活动大陆边缘、过渡陆壳和造山再旋回物源区,形成时的构造环境为深海相残留洋盆^[18]。王建平等^[27]根据西昆仑塔什库尔干构造混杂岩带(由古元古代基底岩片、震旦纪大陆板内裂谷玄武岩岩片、奥陶纪—志留纪复理石岩片、石炭纪—二叠纪火山弧岩片及高压变质岩片组成)研究认为具有残余洋盆及岩浆弧,该混杂岩带形成于早古生代,西昆仑地区在早古生代曾发生过板块俯冲和碰撞。

从温泉沟群地层的厚度来看,在英吉莎县西,木吉县西南,厚度大于 1878.24 m;塔什库尔干县达布达尔乡以南地区,厚度大于 4289.60 m,含笔石,几丁虫等化石;麻扎—叶尔羌河上游地区,厚度大于 8260 m,含少量火山岩、薄层状硅质岩,几丁虫化石;甜水海西(喀拉喀什河上游)以西地区,厚度为 5412.54 m,甜水海北约 15 km 处,地层厚度变为 1474.04 m,可见蚀变杏仁状安山岩夹层,厚约 10 m,再向东在西昆仑尖灭。总体上,温泉沟群代表的早志留世时期在西昆仑西段海水较浅,东段为主体水域,海水较深,深海海沟沉积环境在麻扎一带。

达坂沟群,在英吉莎县西,布伦口、木吉县北地区,厚度大于 1649.3 m,上部和下部主要为砂岩、粉砂岩,中部为灰岩(图 4),沉积环境为浅海陆棚相;在叶城县叶尔羌河上游,砂岩具下粗上细的特点,上部具有薄层状泥质钙质硅质岩,向上逐渐变细并以灰岩结束,厚度大于 3845 m,沉积环境为浅海—半深海相,该群反映西昆仑中晚志留世的古地理为西段海水较浅,东段较深,与温泉沟群所反映的早志留世古地理大致相同。

志留纪时期的西昆仑,①麻扎—康西瓦以北地区,尽管局部地区分布有志留纪时期的岩浆岩^[3],但整体已经演化为隆起区(图 2),柳什塔格玄武岩分布于新疆于田县南部西昆仑苏巴什一带,是 1:25 伯力克幅区域地质调查时新发现的地质单位,李博秦等(2007)^[28]通过对柳什塔格峰西侧震旦纪—早寒武世洋岛性质的玄武岩的研究认为,麻扎—康西瓦—苏巴什结合带所代表的的洋盆在震旦纪 (Rb—Sr:

(563±48)Ma)就已经存在,晚奥陶世小洋盆已经完全闭合,上其汗岩组(P_{Z1s})以安山岩为主,时代为奥陶纪到志留纪,构造环境为岛弧相(图 2),志留纪该地区同样已经发展演化成为构造隆起区;②麻扎—康西瓦以南地区,包括英吉莎县西,温泉沟群与达坂沟群比较,除了上述厚度不同和东西方向的变化特征外,南北方向上表现为滨浅海—大陆斜坡(半深海)—深海(图 2),结合古生物和地层岩性组合,说明志留纪时西昆仑可能存在此前研究认为的“残留洋盆”^[18, 27],经奥陶纪的特提斯古地理格局,由海向陆转化;③早志留世—中晚志留世,这种“海—陆”演化仍在持续,达坂沟群的地层分布范围远远小于温泉沟群(图 1),这是重要的证据,在有的区域经过早志留世的构造演化就已经变为“陆”,西昆仑康西瓦

南部甜水湖一带下志留统与中泥盆统不整合界面的发现^[29],证明西昆仑该时期曾发生板块俯冲和碰撞事件;④上述特征也可能印证了,库地—麻扎—康西瓦以北地区向南俯冲的动力学过程^[1, 2, 4],塔什库尔干县东边,4 条剖面时代为奥陶纪—志留纪(O—S)(图 1),反映出陆棚局限台地的沉积相,可能是向南俯冲的过程中形成的。

3.2 东昆仑构造古地理

东昆仑温泉沟群分布于东昆仑木孜塔格峰北边的黑顶山一带(图 1),主要为是一套浅变质的巨厚复理石碎屑岩,局部夹少量灰岩,具菱铁矿胶结粉砂岩、泥岩等(图 3),灰岩中含海百合茎碎片,岩性特征与西部叶尔羌河上游温泉沟群相当,普遍见有黄铁矿颗粒和菱铁矿,与木吉县西南的温泉沟群含磁铁矿岩性相

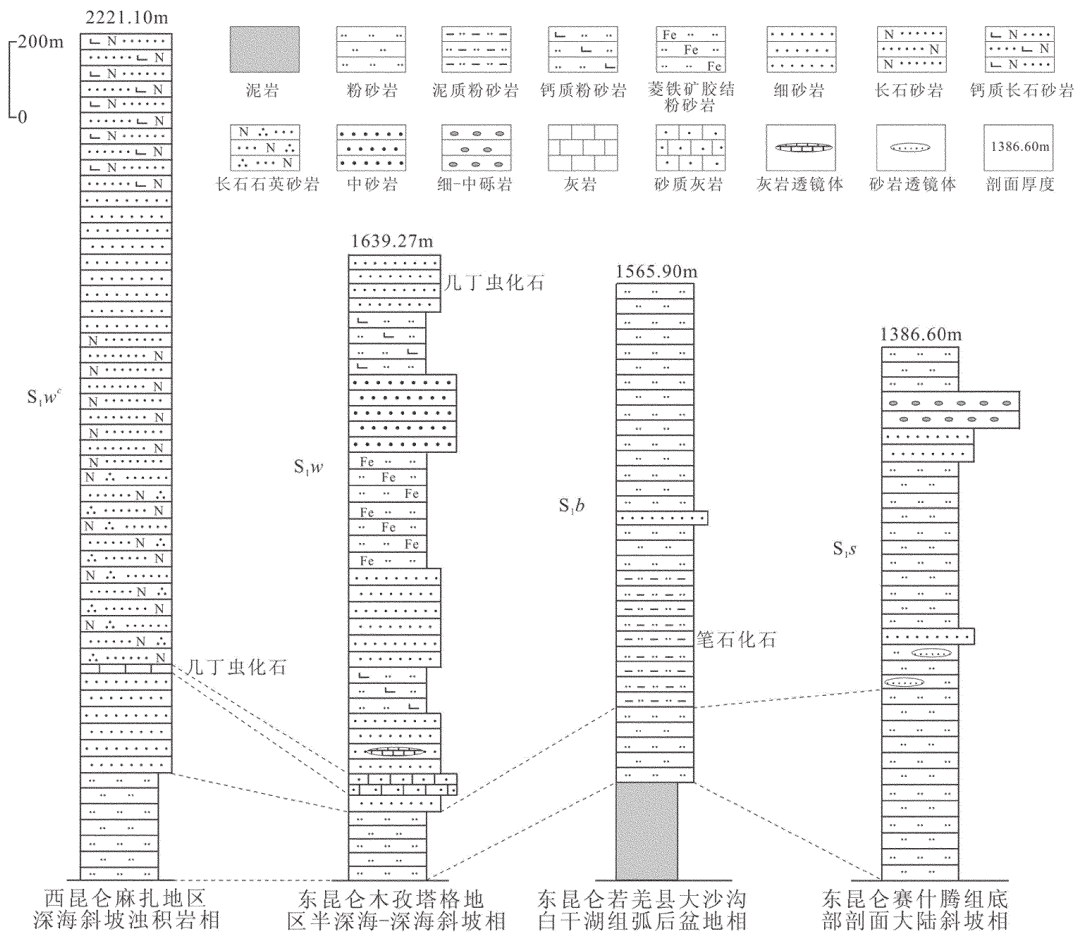


图 3 早志留世东西昆仑剖面对比图

Fig.3 Correlation of Early Silurian sections in east Kunlun Mountain and west Kunlun Mountain

同,时代为早志留世,代表被动陆缘大陆斜坡-深海平原的沉积物。东昆仑达坂沟群(图4),地层分布于温泉沟群北(图1),为一套灰岩夹碎屑岩沉积,在灰岩中局部见有珊瑚、海百合茎等化石碎片,沉积环境为滨浅海相,以开阔台地相沉积为主(图2),可能是稳定的被动大陆边缘盆地发展阶段。木孜塔格山北面的黑顶山见一套中泥盆统灰岩夹碎屑岩及中酸性钙碱系列安山岩、英安岩及凝灰岩,北侧中昆仑微陆块之上的中泥盆统布拉克巴什组地层,为碎屑岩夹灰岩及少量火山岩地层,可能是陆内环境的产物,木孜塔格温泉沟群代表的深海环境可能经过达坂沟群代表的台地环境的演化,在晚志留世到早泥盆世结束。这与夹于泥盆纪和志留纪地层中的东昆仑阿其克库勒湖西南缘蛇绿岩(本文达坂沟群的区域)经历了从洋中脊到俯冲带环境的演化^[9]的结论是一致的。

白干湖组发育深海浮游生物—笔石(图3),底部的泥岩是由灰绿色绿泥钠长石英片岩恢复而来,属拉张环境下的弧后盆地沉积环境(图2)。东昆仑祁漫塔格山西段志留纪鸭子泉火山岩,是一套与早古生代俯冲作用有关的中基性岛弧火山岩,形成于与

俯冲作用有关的岛弧环境^[24]。

赛什腾组(图3)自下而上由大陆斜坡至陆隆和深海沉积到浅海的沉积环境演化,沉积类型比较多,代表古海盆收缩到残留海盆阶段。滩间山群(图4)构造环境可能为陆缘(柴达木陆块边缘)扩张期间裂谷(或裂隙槽)环境,其中火山岩岩组为扩张早期的产物,而碳酸盐岩岩组则为扩张晚期的产物。纳赤台群(图4)蛇绿岩构成早古生代的洋壳组合,碎屑岩组合属大陆斜坡相沉积,代表早古生代(奥陶—志留纪)的复杂多岛洋盆体系(图4),其碰撞时间应为晚志留世至泥盆纪。

现今库木库里盆地一带,晚奥陶世可能受南部古特提斯洋扩张效应,昆仑多岛洋南部古昆中洋向北俯冲于库木库里—布伦台(东昆中)中间地块之下,北部祁漫塔格洋沿现在的那陵格勒河一线向北俯冲于柴达木地块之下,在北侧祁漫塔格地区形成中晚奥陶世滩间山群岛弧火山岩建造及其北的志留系弧后复理石沉积的白干湖组,并伴随俯冲作用产生强烈的岩浆侵入作用、构造变形和变质作用,晚志留世祁漫塔格洋通过弧-陆碰撞洋盆闭合,并抬升

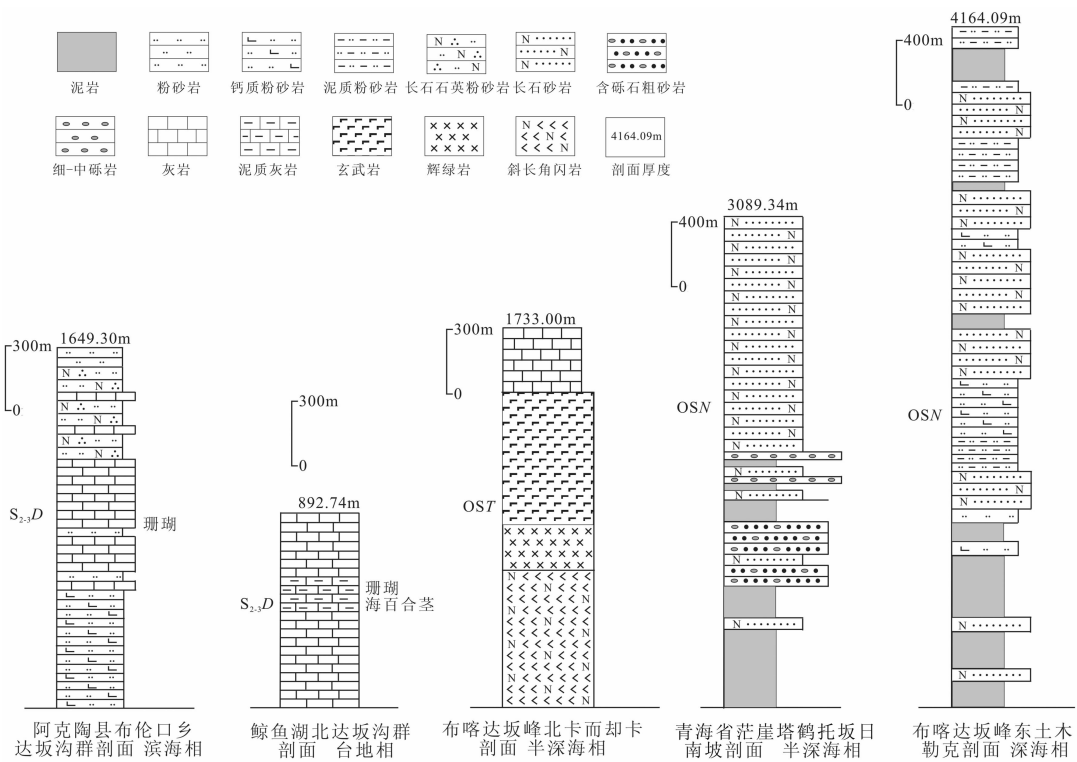


图4 中晚志留世和奥陶纪—志留纪东西昆仑剖面对比图

Fig.4 Correlation of Middle-Late Silurian and Ordovician-Silurian sections in east Kunlun Mountain and west Kunlun Mountain

成陆,形成沿那陵格勒河东西向展布的祁漫塔格构造蛇绿混杂岩带和其北的祁漫塔格岩浆岛弧带。加里东运动使该区缺失下中泥盆统,滩间山群(原祁漫塔格群)在青海省茫崖南与上泥盆统黑山沟组(相当于柴北缘的牦牛山组)磨拉石建造之下的角度不整合接触界面就是昆仑多岛洋洋盆闭合的证据;此外,在祁漫塔格山分布大面积的志留纪碰撞型花岗岩也表明该时期发生了强烈的碰撞造山作用。

东昆仑纳赤台以西的赛什腾组、纳赤台群、温泉沟群地层,可能代表了早古生代一个洋陆转化旋回。早寒武世沙松乌拉组(ϵ_{1S})代表古生代也是整个东昆仑地区早古生代最早的海相沉积,其岩性主要为一套浅海陆棚相沉积环境中浅变质细碎屑岩系。反映在早寒武世尽管已经开始裂解出现海盆,但裂解幅度不大。奥陶纪纳赤台群蛇绿构造混杂岩系的出现反映东昆南地区洋盆裂解达到最大限度,并呈现为多岛洋盆格局。志留纪多岛洋盆向北俯冲,逐渐萎缩,出现以赛什腾组为代表的边缘前陆盆地沉积。

东昆仑早古生代的构造、古地理演化的专门研究,也得出同样的结论。

东昆仑中部和南部地区早古生代出现洋壳和超镁铁质岩系,时空配置显示出由北向南的弧后-岛弧的格局,晚加里东碰撞造山事件结束了早古生代的洋陆转换^[9]。东昆仑南的布尔汗布达山的早古生代构造混杂岩系,表明真正的东昆仑南多岛洋盆形成于奥陶纪,区域资料显示奥陶纪为多岛洋盆的最大裂解阶段,诺木洪郭勒的枕状玄武岩岩片的锆石 SHRIMP U-P 年龄为(419 ± 5)Ma,变火山岩岩片的形成年龄为(401 ± 6)Ma^[9],证明在东昆仑地区存在早古生代的洋陆转换,直至晚志留世仍存在洋盆,玄武岩岩片代表大洋拉张的中脊环境,变火山岩岩片则代表挤压的俯冲碰撞环境。在昆仑-秦岭接合部一带存在志留纪-泥盆纪岩浆侵入活动,同碰撞花岗质侵入体锆石 U-Pb 年龄为(382~423)Ma,早古生代岩浆岩带从格尔木南、诺木洪南、清水泉南向东延入昆秦接合部,形成于岛弧或陆缘弧环境,反映了原特提斯洋壳俯冲消减及随后的陆壳碰撞过程^[9]。东昆仑早泥盆世碰撞造山的重要构造事件已经由笔者研究得到证实^[3]。

整个东昆仑早古生代的多岛洋盆发展呈现更为复杂的格局,开始闭合于志留纪末,并引起广泛的由南向北的逆冲型韧性剪切,木孜塔格地区表现为以温泉沟群代表的残留洋盆,纳赤台地区以赛什腾组,

纳赤台群地层为代表的残留洋盆,志留纪已经处于闭合前的边缘前陆盆地演化阶段,由南向北不同火山岩的时空配置显示较完整的海沟-岛弧-弧后盆地的西太平洋型活动大陆边缘环境。

而在西昆仑,现今保留下来的志留纪地层,恢复的古地理环境,并未出现这种构造演化过程,这可能是在西昆仑志留纪时,这种“海沟-岛弧-弧后盆地”体系已经结束。前人对库地的研究认为“西昆仑残留洋保存在奥依塔克-库地缝合带,部分起源于原特提斯洋的洋后弧盆地(oceanic back-arc basin),古特提斯洋作为一个巨大的洋盆消失在南昆仑的南部边缘,那里没有洋后弧区域存在”^[1],即这种观点认为,西昆仑麻扎到甜水海志留纪地层所恢复的“残留洋”应该是古特提斯洋“主洋域”残留而来。如果此观点正确,那么,西昆仑麻扎到甜水海-东昆仑木孜塔格到纳赤台,可能就是古特提斯洋的“主洋域”,对于这一问题本文无法依据志留纪构造演化过程作进一步的解释。

3.3 阿尔金断裂与东西昆仑志留纪的构造古地理

许志琴等(2001)提出阿尔金断裂形成于(220~240)Ma 和左行平移 400 km 的科学依据及确定其新生代变形量^[9]。西昆仑康西瓦孔兹岩的碎屑锆石来源于(644~873)Ma 或更老的周缘古老变质基底剥蚀区,孔兹岩形成于加里东期(428~445)Ma,并遭受印支期(250~210)Ma 强烈的剪切应变,西昆仑地体与阿尔金地体可能原为同一地体,提出沿阿尔金断裂系左行平移 600 km 的新证据^[35]。依据地球物理资料对阿尔金断裂最新的研究表明,该断裂从郭扎错继续向西南方向过龙木错后由空喀山口进入克什米尔,另一支继续向南西延伸,经吉普以西止于班公湖附近的班公湖-怒江结合带^[36-38]。这里,结合志留纪时东西昆仑构造古地理演化,对阿尔金断裂加以探讨。

第一,西昆仑麻扎-康西瓦以北地区,东昆仑红柳沟-拉配泉以南阿尔金主断裂以西地区,对这两个地区寒武纪、奥陶纪、志留纪和泥盆纪 4 个时代的地层和岩浆岩进行了详细对比研究,发现两个地区具有相似的大范围寒武纪、奥陶纪的蛇绿岩和相关地层,没有志留纪地层和岩浆岩,具有少量泥盆纪岩浆岩,本文把这两个地区志留纪构造古地理环境恢复为隆起区(图 2),这两个地区很可能未经阿尔金断裂左行平移前为一个整体,这证明了何登发等(2007)^[9]提出的“晚奥陶世,北昆仑洋关闭,阿尔金地

区沟—弧—盆体系解体”是对的。此外,对这两个地区古地理位置还原,经过计算,阿尔金断裂左行平移的距离约为 550 km,与左行平移 600 km^[5]接近。

第二,龙木错北边的志留纪龙木错组地层^[9]和郭扎错东南的志留纪普尔错群反映的古地理环境为三角洲和滨浅海环境,表明阿尔金断裂可能没有彻底分割东西昆仑志留纪时期的古地理环境,或者是,在志留纪时,“阿尔金断裂”不存在,或存在而没有左行平移。

第三,从东西昆仑地区志留纪时期,岩浆岩、沉积环境、矿产围岩三个方面对比,来研究阿尔金断裂在该时期的性质。①塔什库尔干县达布达尔乡以南地区早志留世温泉沟群火山岩呈夹层产于温泉沟群变质碎屑岩上部,岩性以英安岩为主,区域上见有安山岩,为一套中酸性钙碱性系列岩石,可能为大陆一侧的活动陆缘环境。在达布达尔南哈尼沙里地蛇绿岩,与温泉沟组呈断层或整合接触,其中的玄武岩,锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(435±15)Ma^①(图 1),可能代表这套火成岩的成岩年龄。而西昆仑麻扎以东,新藏公路 249 km 处,火山岩呈层状或镜状分别出露于温泉沟群 C 组的砂质、泥质石英绢云母片岩中,为枕状熔岩及杏仁状玄武岩,枕状玄武岩厚约 150 m,主体为一套拉斑玄武岩系列基性火山岩,总体形成于洋中脊环境。与东昆仑志留纪洋中脊枕状玄武岩岩片^[9],在阿尔金断裂东西地区是对应的;②上述已讨论,志留纪时期沉积环境、地层特征、构造古地理环境,在东西昆仑是可以对比的;③东西昆仑温泉沟群含矿岩性(铜、铁和金)、围岩特征、变形变质特征等,也可以对比。从这三个方面也证明,在志留纪时,“阿尔金断裂”不存在,或存在而没有左行平移。

3.4 志留纪东昆仑山与巴颜喀拉

上面已分析,志留纪东昆仑残留洋,由南向北存在“沟—弧—盆”体系,那么,志留纪或者早古生代时,“主洋域”应该在哪里,是消失在昆仑南断裂带与昆仑中断裂带之间吗?或者巴颜喀拉(松潘—甘孜)在该时期本身就是“主洋域”?这一问题比较复杂,从现有的研究成果来看,认为巴颜喀拉是弧后盆地、被动陆缘、扬子古陆块。

①徐强等(2003)^[10]认为松潘—甘孜造山带前身的巴颜喀拉盆地是羌塘—他念他翁晚古生代前缘弧

之后的一系列多岛弧—盆系的一个大型弧后盆地,巴颜喀拉盆地主体三叠系复理石沉积是周缘前陆盆地。②李秋生等(2003)^[11]认为巴颜喀拉构造带的结晶基底埋深仅 5 km 左右,比金沙江断裂带以南的羌塘地块北缘和昆仑山南缘的基底埋藏深度都要浅,该基底隆起一直顺构造走向延伸,向东贯穿了整个构造带,推测它是扬子古陆块的残余。③雷裕红等(2006)^[12]认为侵入于巴颜喀拉沉积盆地中的扎加岩体,其物源可能是苦海杂岩和万宝沟岩群的混合物,巴颜喀拉沉积盆地下面存在中元古代的基底,属于扬子地台西缘的一部分。④巴颜喀拉盆地于早古生代被动陆缘的浅海基础上裂陷、拉开,泥盆纪贯通,早石炭世洋盆扩展为成熟大洋,晚石炭世洋盆北部开始消减、南部继续扩张,晚二叠世—中三叠世进入残留洋阶段,晚三叠世转化为周缘前陆盆地,三叠纪末完全闭合,古特提斯晚二叠世—中三叠世的残留洋盆性质和主洋域之所在^[13]。

依据上述研究成果和本文的实际资料,笔者将志留纪巴颜喀拉地区古地理环境恢复为“古陆块”,这样,早古生代东昆仑“主洋域”可能是消失在昆南带与昆中带之间。

3.5 志留纪昆仑山地区构造古地理

志留纪昆仑地区,残留洋盆出现在 3 个地区:西昆仑麻扎一带,东昆仑木孜塔格北和白干湖地区,东昆仑纳赤台与布尔汗布达山地区。东昆仑存在“海沟—岛弧—弧后盆地”而西昆仑没有,残留洋盆在志留纪末到泥盆纪完全闭合,之后,整个昆仑地区进入陆内演化阶段。从晚古生代石炭纪开始可能进入另一个构造演化阶段。

4 志留纪昆仑山地区成矿及找矿前景分析

4.1 昆仑地区油气蕴藏构造环境及其勘探

赵锡奎等(2007)^[14],对残留被动大陆边缘盆地的形成机制进行了详细的论述,认为这样的盆地具有残留洋的沉积特征,而西昆仑康西瓦—麻扎构造带南侧的志留纪温泉沟群,东昆仑木孜塔格北温泉沟群、赛什腾组,正是在这种机制形成的残留洋,具有大陆斜坡到深海的沉积建造,因此,在这一地区具

①王世炎,彭松民,张彦启,等. 1:25 万克克吐鲁克幅(J43C003002)、塔什库尔干塔吉克自治县幅(J43C003003)区域地质调查报告. 河南省地质调查院,2004.

有油气蕴藏的构造古地理环境。青海茫崖镇尕斯库勒湖周围已经发现大的油田,其西部白干湖一带,具有弧后盆地沉积建造的构造古地理环境,与东部处于同一个构造单元,也可能形成油气。库木库里盆地内,由于构造古地理环境演化形成现今的阿牙克库木湖,是晚志留世祁漫塔格残留洋通过弧-陆碰撞形成,是油气蕴藏和勘探最具有突破的地区。以上三个地区,可以作为油气勘探的目标地区。

4.2 西昆仑金属矿产找矿前景分析

西昆仑的志留系地层(S_1W 、 $S_{2-3}D$)中,木吉—布伦口一带的层控碳酸盐岩型铁-铜-金矿床主要产出在志留系一套低级变质岩系中,含矿层位严格限定在碳酸盐岩内;铁与铜矿伴生产出,一般为上铁下铜;构造蚀变岩型金矿则与志留系中的千枚岩类密切相关。岩相古地理环境对外生矿的形成和分布起着明显的控制作用。

①温泉沟群(S_1W)地层矿产

沙子沟铜矿,位于阿克陶县布伦口乡北西的卡拉玛一带,中心地理坐标:东经 $74^{\circ}49'00''$,北纬 $38^{\circ}30'40''$ 。矿区出露地层为温泉沟群(S_1W),为黑云母石英片岩及大理岩等。含矿建造为一套碳酸盐岩沉积,铜矿体和含矿碳酸盐岩呈层状、透镜状产于钙泥质片岩中,矿体规模不等,单个厚度 $1\sim 7.7$ m,延长 $45\sim 120$ m,矿石类型有黄铜矿、黄铜矿-黄铁矿组合,与围岩整合接触,铜品位平均 $2.09\%\sim 3.39\%$,伴生有 Co、Ni、Sc、As、Au、Ag 等。含矿碳酸盐岩层一般厚度在 $30\sim 100$ m,延伸长可达 3000 m,由菱铁矿、菱铁矿、菱铁矿及铁白云石组成,可能为海底热液喷流沉积作用形成。

结克塔什砂金矿,位于阿克陶县木吉乡西南米计干大沟西侧的结克塔什一带,出露的基岩为志留系温泉沟群(S_1W),岩性为一套浅变质的碎屑岩和碳酸盐岩,岩层中见有顺层分布的石英脉,具铜蓝和褐铁矿化。矿体赋存于第四系中更新统或全新统松散沉积物中,粒径多为 $0.1\sim 0.8$ mm,金元素来自邻近含金量较高的基岩区。

阔克吉勒嘎岩金矿,位于阿克陶县木吉乡南米计干大沟的西侧的阔克吉勒嘎一带,出露地层为志留系温泉沟群(S_1W),矿化带集中于乌孜别里山口断裂和琼巴额什大断裂之间,受断裂构造控制明显,矿体及含矿石英脉产在富含炭质的千枚岩类中。蚀变带规模不等,大者延伸约 120 m,宽约 10 m。有蚀变碎裂石英

脉型和蚀变碎裂岩型两种矿化,矿石中金属矿物有自然铜、自然金、黄铜矿、黄铁矿、方铅矿等,金以自然金的形式产出,片状为主,粒度一般为 $0.09\sim 0.15$ mm,属构造蚀变岩型,储量计算为小型矿床。

②达坂沟群($S_{2-3}D$)地层矿产

切列克其铁矿,位于阿克陶县布伦口乡,地理坐标:东经 $74^{\circ}57'00''$,北纬 $38^{\circ}32'00''$,出露地层为志留系达坂沟群($S_{2-3}D$),为黑云石英片岩、条带状大理岩,矿体多分布在条带状大理岩或钙质片岩中,呈层状或似层状延伸,单个矿体延伸长度 $180\sim 300$ m,矿体厚 $10\sim 70$ m,矿石为菱铁矿矿石和含铜菱铁矿矿石,单样品铁品位介于 $30.85\%\sim 52.25\%$,平均品位为 45.07% ,为一大型富铁矿,经勘查 C 级储量为 1662 万吨。

博多布拉克铜矿点,位于阿克陶县木吉乡南西的博多布拉克一带,中心地理坐标:东经 $74^{\circ}03'30''$,北纬 $38^{\circ}36'10''$ 。出露地层为志留系达坂沟群($S_{2-3}D$),其附近有断裂通过,岩石多碎裂岩化,铜矿化多见于碎裂岩化结晶灰岩中的石英脉中,表现为孔雀石化,伴生有褐铁矿化,矿石呈浸染状构造,矿石矿物组合为黄铜矿-褐铁矿-石英,3 个样品 Cu 品位分别为 0.10% 、 0.62% 、 4.51% ,矿化极不均匀。

③西昆仑找矿思路

西昆仑地区铜矿、铁矿的找矿工作可以围绕已经发现的矿床形成的地质特征和围岩特征,扩大找矿规模。原生菱铁矿在地表变为褐铁矿,是明显的找矿标志,含铁白云石较多也是一个找矿标;在碳酸盐岩较发育部位是成矿有利部位,产于碳酸盐岩中的矿体,往往位于其与碎屑岩过渡部位。西昆仑其曼干特、苏巴什和上其汗一带没有发现志留纪沉积地层,但具有早古生代的岩浆岩,注意寻找与岩浆有关的热液型矿床、块状硫化物矿床。

4.3 东昆仑金矿床和其他金属矿床找矿前景分析

①温泉沟群(S_1W)地层矿产

线狭沟流域的砂金矿,线狭沟流域地处木孜塔格-鲸鱼湖深大断裂北缘昆仑结合带黑顶山缝合带内。北以向阳泉—花海滩大断裂为界。地层主要有古生界温泉沟群(S_{1w})浅变质的韧性变形较强的碎屑岩;达坂沟群($S_{2-3}D$)韧性变形较强的碎屑岩夹碳酸岩;布拉克巴什组(D_2b)为碳酸岩、火山碎屑岩;马尔争组(P_{2m})滨海相碳酸盐台地;中生界鹿角沟组(J_2)河湖相碎屑岩;阿图什组(N_2a)河流相砂砾岩等。区内除温泉沟群、达坂沟群有较强韧性变质变形

外,布拉克巴什组有轻微的变质,岩石遭受剪切变质、变形,释放出变质流体和成矿物质,在一定的构造部位富集;为岩金金矿、砂金矿的形成提供物质来源,并控制砂金矿的分布。

温泉沟群地层出露面积最大,韧性剪切作用较强,亦是砂金最为富集的地段,基岩中普遍含金,温泉沟群具有较高金元素背景值,韧性变形作用有利于 Au 的活化、富集。温泉沟群和达坂沟群为本区砂金的重要供源层,约占供源区 70%以上。

带内岩石劈理面密集,裂隙发育,砂金主要赋存于基岩顶部残坡积物冻土层内,其上部的堆积物中,砂石层与碎砾层相间分布,是良好的透水层,砂金产在透水层较为密集或剖面上透水层较为连续稳定的层段,在长期的内、外地质营力作用下,金元素不断地释放、迁移,为砂金提供丰富的物质来源。

②达坂沟群(S₂₋₃D)地层矿产

野牛泉岩金金矿,野牛泉金矿位于昆仑结合带阿尔格山晚古生代陆缘盆地,向阳泉—花海滩大断裂北侧,受次级断裂控制作用明显。该断裂的长期活动为金矿成矿提供了有利条件,成为含金载体运移的通道和富集场所。类型主要为含金石英脉型,其次为含金破碎蚀变岩型金矿床。

矿区出露地层主要为中—下志留统达坂沟群(S₂₋₃D)和下二叠统浩特洛哇组(P_{1h})。两群之间为断层接触关系,金矿赋存于达坂沟群地层中,达坂沟群是矿区的主要含金地层。地层总体走向北西—南东向或近东西向,与区域构造线方向一致,倾向北西,倾角 40°~60°。该群为一套浅海相的浅变质碎屑岩和碳酸盐建造,其内普遍含原生黄铁矿,韧性变形较强(韧性剪切时期,Au 被迁移到有利的部位而富集成矿)。该群既是金矿的赋矿地层又是其矿源层。而金矿的形成又受后期构造和热液活动的控制。1号矿体金含量最高可达 92.5 g/t,样品中普遍含金,平均 6.72 g/t。2号、3号矿体金含量最高达 10.1 g/t、12.8 g/t。野牛泉金矿的发现填补了中国东昆仑地区无岩金矿的历史,说明在东昆仑地区有条件形成大型金矿,它为在该地区寻找金矿提供了有利的证据,意义重大。

③东昆仑找矿思路

东昆仑金矿的找矿工作,温泉沟群和达坂沟群可作为铁、铜和金矿床找矿的标志地层。

4.3 昆仑山地区找矿思路

除了以上发现的矿床外,志留纪昆仑地区主要

为海相沉积地层,根据这一特征,注意寻找海相沉积环境形成的锰矿、铁矿和铝土矿。传统观点认为斑岩型铜矿形成于大洋板块俯冲于大陆板块之下的构造环境,志留纪昆仑地区具有这样的构造环境,注意斑岩铜矿的寻找。

其他金属矿床的找矿工作,应充分利用遥感解译、化探异常检查、古生代和中生代岩浆岩体调查、已经发现矿床(点)的外围来进一步开展工作,并充分考虑各地层形成的构造古地理环境。

5 结 论

昆仑山地区志留纪地层与上下地层之间多为断层和角度不整合接触关系,从沉积环境、物质组成等方面,反映出昆仑地区由西向东古地理环境为滨浅海—深海—滨浅海—深海的分布特征。

西昆仑温泉沟群在英吉莎县西沉积环境为浅海陆棚,在麻扎一带为活动大陆边缘环境下,深海相(俯冲带海沟沉积环境,麻扎一带),斜坡相浊积岩沉积(麻扎东、西一带),向北西、南东方向变薄;东昆仑在木孜塔格峰北,该群为一套深海—半深海复理石沉积,中晚志留世达坂沟群在西昆仑为半深海到滨浅海沉积环境,在东昆仑以浅海环境为主。

在若羌南的白干湖组为深海相浊积岩,从下到上浊积扇向海推进,水体逐渐变深,属拉张环境下的深海弧后盆地沉积环境。在格尔木西南志留系赛什腾组自下而上由大陆斜坡至陆隆和深海沉积到浅海的沉积环境演化,具有非扇大陆斜坡沉积类型,以远源浊积岩、半远洋沉积为特征,代表古海盆收缩到残留海盆阶段的沉积。在格尔木东南的纳赤台群超镁铁岩—辉绿岩墙—玄武岩—深水硅质岩构成早古生代的洋壳组合,具有蛇绿岩套特征,基性变玄武岩和硅质岩显示为洋中脊和洋岛或大洋盆地的远洋深水环境,超镁铁岩是古洋壳残片的地幔岩部分,变碎屑岩属大陆斜坡相沉积,碳酸盐岩具有近岸沉积的特点。总体上,志留纪昆仑地区应是加里东运动之后在逐渐消失的残留洋,表现出复杂的多岛洋盆体系。这一构造古地理环境的确定,为该地区已经发现的矿床形成机制的研究和下一步的找矿工作提供了重要的依据。

参考文献(References):

- [1] Mattern F, Schneider W. Suturing of the Proto- and Paleo-Tethys

- oceans in the western Kunlun (Xinjiang, China) (in Suture zones of East and Southeast Asia) [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2000, 18(6):637-650.
- [2] Wang Zhihong. Tectonic evolution of the western Kunlun orogenic belt, western China[J].*Journal of Asian Earth Sciences*, 2004, 24(2): 153-161.
- [3] 张传林, 于海锋, 沈家林, 等. 西昆仑库地伟晶辉长岩和玄武岩锆石 SHRIMP 年龄: 库地蛇绿岩的解体[J]. *地质论评*, 2004, 50(6): 639-643.
- Zhang Chuanlin, Yu Haifeng, Shen Jialin, et al. Zircon SHRIMP age determination of the giant-crystal gabbro and basalt in Küda, West Kunlun: Dismembering of the Küda ophiolite [J]. *Geological Review*, 2004, 50(6): 639-643 (in Chinese with English abstract).
- [4] Xiao Wenjiao, Han Fanglin, Brian F Windley, et al. Multiple accretionary orogenesis and episodic growth of continents: insights from the western Kunlun Range, Central Asia [J]. *International Geology Review*, 2003, 45(4): 303-328.
- [5] 兰朝利, 李继亮, 何顺利. 新疆东昆仑阿其克库勒湖西南缘蛇绿岩—铬铁矿证据及其构造环境探讨[J]. *地质与勘探*, 2005, 41(1): 38-42.
- Lan Chaoli, Li Jiliang, He Shunli. Chromites evidence for ophiolite at the southwestern margin of Aqikekule lake and its tectonic environmental discussions, eastern Kunlun mountain, Xinjiang [J]. *Geology and Prospecting*, 2005, 41(1): 38-42 (in Chinese with English abstract).
- [6] Yang J S, Robinson P T, Jiang C F, et al. Ophiolites of the Kunlun Mountains, China and their tectonic implications[J]. *Tectonophysics*, 1996, 258(1/4): 215-231.
- [7] Burtman V S, Samygin S G. Tectonic evolution of high Asia in the Paleozoic and Mesozoic[J]. *Geotectonics*, 2001, 35(4): 276-294.
- [8] Wei Guoqi, Jia Chengzao, Li Benliang, et al. Silurian to Devonian foreland basin in the south edge of Tarim basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(Supp.): 42-46.
- [9] 何登发, 周新源, 张朝军, 等. 塔里木地区奥陶纪原型盆地类型及其演化[J]. *科学通报*, 2007, 52(增刊 I): 126-135.
- He Dengfa, Zhou Xinyuan, Zhang Chaojun, et al. Tectonic types and evolution of Ordovician proto-type basins in the Tarim region [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(Suppl. 1): 164-177.
- [10] 王选策, 高山, 刘勇胜. 扬子克拉通后太古宙碎屑沉积岩地球化学及其构造意义[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2003, 28(3): 250-254.
- Wang Xuance, Gao Shan, Liu Yongsheng. Geochemical evolution of Post-Archean Pelites from Yangtze craton and its tectonic significance [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2003, 28(3): 250-254 (in Chinese with English abstract).
- [11] Gerbi C, West D P. Use of U-Pb geochronology to identify successive, spatially overlapping tectonic episodes during Silurian-Devonian orogenesis in south-central Maine, USA [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2007, 119(9/10): 1218-1231.
- [12] Van Wagoner N A, Leybourne M I, Dadd K A, et al. Late Silurian bimodal volcanism of southwestern New Brunswick, Canada: Products of continental extension[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2002, 114(4): 400-418.
- [13] Soja C M, Krutikov L. Provenance, depositional setting, and tectonic implications of Silurian polymictic conglomerates in Alaska's Alexander terrane[J]. *Geological Society of America Special Papers*, 2008, 442: 63-75.
- [14] 艾永亮, 王小玉, 王世炎, 等. 西昆仑西段温泉沟组浅变质地层中的笔石动物群[J]. *河南理工大学学报(自然科学版)*, 2008, 27(3): 253-263.
- Ai Yongliang, Wang Xiaoyu, Wang Shiyan, et al. A graptolite fossil fauna in low-grade metamorphosed Wenquangou formation in western West Kunlun [J]. *Journal of Henan Polytechnic University(Natural Science)*, 2008, 27(3): 253-263 (in Chinese with English abstract).
- [15] 黎敦朋, 樊晶, 肖爱芳, 等. 东昆仑西段祁漫塔格群早志留世笔石化石的发现[J]. *地质通报*, 2002, 21(3): 136-139.
- Li Dunpeng, Fan Jing, Xiao Aifang, et al. Discovery of Early Silurian graptolite fossils in the Qimantag Group in the western of the East Kunlun [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(3): 136-139 (in Chinese with English abstract).
- [16] 姚建新, 肖序常, 高联达, 等. 西昆仑叶城南麻扎地区志留纪几丁虫动物群新发现[J]. *地质通报*, 2005, 24(1): 95-97.
- Yao Jianxin, Xiao Xuchang, Gao Lianda, et al. Discovery of the Silurian Chitinozoans fauna in the Mazha area, southern Yecheng, West Kunlun[J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(1): 95-97 (in Chinese with English abstract).
- [17] 姚建新, 肖序常, 高联达, 等. 西昆仑地区志留系温泉沟群的疑源类和几丁虫[J]. *古生物学报*, 2006, 45(4): 528-532.
- Yao Jianxin, Xiao Xuchang, Gao Lianda, et al. Silurian acritarchs and chitinozoans in Wenquangou Group from The West Kunlun region [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2006, 45(4): 528-532 (in Chinese with English abstract).
- [18] 李博秦, 姚建新, 高联达, 等. 西昆仑麻扎—康西瓦一带温泉沟群的形成时代及物源区分析[J]. *地质通报*, 2007, 26(4): 457-465.
- Li Boqin, Yao Jianxin, Gao Lianda, et al. Age and source regions of the Wenquangou Group in the Mazar-Kangxiwar area, West Kunlun Mountains [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(4): 457-465 (in Chinese with English abstract).

- [19] 南京大学地质系古生物地史学教研室编. 古生物学 (下册)[M]. 北京:地质出版社, 1980: 759-765.
Geology Department of Nanjing University: The Teaching and Research Group of Paleontology and Geohistory. Paleontology (second volume) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980: 759-765(in Chinese).
- [20] Jones H, Zalasiewicz J, Rickards B. Clingfilm preservation of spiraliform graptolites: Evidence of organically sealed Silurian seafloors[J]. *Geology*, 2002, 30(4):343-346.
- [21] Sadler P M, Cooper R A, Melchin M. High-resolution, early Paleozoic (Ordovician-Silurian) time scales [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2009, 121(5/6):887-906.
- [22] 新疆自治区地质矿产局. 新疆自治区区域地质志 [M]. 北京:地质出版社, 1993:1-841.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Autonomous Region. Regional Geology of Xinjiang Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:1-841 (in Chinese with English abstract).
- [23] 新疆地质矿产局. 新疆维吾尔自治区岩石地层(全国地层多重划分对比研究)[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1999:1-430.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Autonomous Region. Stratigraphy (Lithostratic) of Xinjiang Uygur Autonomous Region (Multiple Classification and correlation of the Stratigraphy of China) [M]. Wuhan:China University of Geoscience Press, 1999:1-430(in Chinese).
- [24] 肖爱芳. 东昆仑祁漫塔格山西段鸭子泉志留纪火山岩特征[J]. *陕西地质*, 2005, 23(2):50-60.
Xiao Aifang. Yaziquan Silurian volcanic rocks in western Qimantage Mountain of eastern Kunlun [J]. *Geology of Shaanxi*, 2005, 23(2):50-60(in Chinese with English abstract).
- [25] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991:1-662.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. Regional Geology of Qinghai Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991:1-662 (in Chinese with English abstract).
- [26] 青海省地质矿产局. 青海省岩石地层(全国地层多重划分对比研究)[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1997:1-340.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. Stratigraphy (Lithostratic) of Qinghai Province (Multiple Classification and Correlation of the Stratigraphy of China) [M]. Wuhan:China University of Geoscience Press, 1997:1-340 (in Chinese).
- [27] 王建平. 西昆仑塔什库尔干混杂岩的地质特征及其大地构造意义[J]. *地质通报*, 2008, 27(12):2057-2066.
Wang Jianping. Geological features and tectonic significance of melange zone in the Taxkorgan area, West Kunlun [J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27 (12):2057-2066 (in Chinese with English abstract).
- [28] 李博秦, 姚建新, 王炬川, 等. 西昆仑柳什塔格峰西侧火山岩的特征、时代及地质意义[J]. *岩石学报*, 2007, 23(11):2801-2810.
Li Boqin, Yao Jianxin, Wang Juchuan, et al. Composition, age and geological significance of the Liushitage volcanics in West Kunlun Mountain[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(11):2801-2810(in Chinese with English abstract).
- [29] 崔建堂, 边小卫, 王炬川, 等. 西昆仑康西瓦南部甜水湖一带下志留统与中泥盆统不整合界面的发现 [J]. *地质通报*, 2006, 25(12) : 1437-1440.
Cui Jiantang, Bian Xiaowei, Wang Juchuan, et al. Discovery of an unconformity between the Lower Silurian and Middle Devonian in the Tianshuihu area, southern Kangxiwar, West Kunlun, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(12):1437- 1440(in Chinese with English abstract).
- [30] 王国灿, 贾春兴, 朱云海, 等. 阿拉克湖幅地质调查新成果及主要进展[J]. *地质通报*, 2004, 23(5/6):549-554.
Wang Guocan, Jia Chunxing, Zhu Yunhai, et al. New results and major progress in regional geological survey of the Alag Lake Sheet [J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23 (5/6):549-554 (in Chinese with English abstract).
- [31] 朱云海, 林启祥, 贾春兴, 等. 东昆仑造山带早古生代火山岩锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义[J]. *中国科学(D 辑)*, 2005, 35(12):1112-1119.
Zhu Yunhai, Lin Qixiang, Jia Chunxing, et al. SHRIMP zircon U-Pb age and significance of early Paleozoic volcanic rocks in East Kunlun orogenic belt, Qinghai Province, China [J]. *Science in China(Series D)*: 2006, 49(1):88-96.
- [32] 张智勇, 张克信, 朱云海, 等. 昆秦接合部志留—泥盆纪侵入岩及其构造环境[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2005, 30(2): 159-167.
Zhang Zhiyong, Zhang Kexin, Zhu Yunhai, et al. Silurian - Devonian intrusive rocks and tectonic environment in copulae of Kunlun-Qinling mountains [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geoscience*, 2005, 30(2):159-167(in Chinese with English abstract).
- [33] 赵振明, 马华东, 王秉璋, 等. 东昆仑早泥盆世碰撞造山的侵入岩证据[J]. *地质论评*, 2008, 54(1):47-56.
Zhao Zhenming, Ma Huadong, Wang Bingzhang, et al. The evidence of intrusive rocks about collision-orogeny during early Devonian in Eastern Kunlun area[J]. *Geological Review*, 2008, 54 (1):47-56(in Chinese with English abstract).
- [34] 许志琴, 杨经绥, 姜枚. 青藏高原北部的碰撞造山及深部动力

- 学—中法地学合作研究新进展[J]. 地球学报, 2001, 22(1): 5-10.
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Jiang Mei. Collision—Orogeny of the Northern Qinghai—Tibet Plateau and its deep dynamics [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22 (1):5-10 (in Chinese with English abstract).
- [35] 许志琴, 戚学祥, 刘福来, 等. 西昆仑康西瓦加里东期孔兹岩系及地质意义[J]. 地质学报, 2004, 78(6):733-743.
- Xu Zhiqin, Qi Xuexiang, Liu Fulai, et al. The Kangxiwar Caledonian Khondalite series in West Kunlun, China, and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(6):733-743(in Chinese with English abstract).
- [36] 鲁如魁, 张国伟, 钟华明, 等. 阿尔金断裂带西段磁组构特征及其构造意义[J]. 地球物理学报, 2008, 51 (3):752-761
- Lu Rukui, Zhang Guowei, Zhong Huaming, et al. Characteristics of magnetic fabrics in western segment of the Altyn fault belt and its tectonic significance[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2008, 51 (3):752-761(in Chinese with English abstract).
- [37] 鲁如魁, 张国伟, 钟华明, 等. 从郭扎错断裂构造特征探讨阿尔金断裂带西延问题[J]. 中国地质, 2007, 34(2):229-239.
- Lu Rukui, Zhang Guowei, Zhong Huaming, et al. Problem of westward extension of the Altyn Tagh fault belt discussed from the structural characteristics of the GozhaCo fault[J]. Geology in China, 2007, 34(2):229-239(in Chinese with English abstract).
- [38] 耿涛, 田黔宁, 杨汇群, 等. 阿尔金断裂西南端走向及延伸的区域重力场制约[J]. 中国地质, 2008, 35(5):841-848.
- Geng Tao, Tian Qianing, Yang Huiqun, et al. Constraints of the regional gravitational field on the trend and extension of the southwestern part of the Altyn Tagh fault [J]. Geology in China, 2008, 35(5):841-848(in Chinese with English abstract).
- [39] 安徽省地质调查院. 1:25 万松西幅、温泉幅地质调查成果与进展[J]. 沉积与特提斯地质, 2005, 25(1/2):9-15.
- Anhui Institute of Geological Survey. 1:250 000 Songxi and Wenquan Sheets in Xizang and Xinjiang [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2005, 25 (1/2):9-15 (in Chinese with English abstract).
- [40] 徐强, 潘桂棠, 江新胜. 松潘—甘孜带: 是弧前增生还是弧后消减?[J]. 矿物岩石, 2003, 23(2):27-31.
- Xu Qiang, Pan Guitang, Jiang Xinsheng. Songpan—Ganze belt: forearc accretion or backarc collapsing? [J]. J. Mineral Petrol., 2003, 23(2):27-31(in Chinese with English abstract).
- [41] 李秋生, 彭苏萍, 高锐, 等. 青藏高原北部巴颜喀拉构造带基底隆起的地震学证据[J]. 地质通报, 2003, 22(10):782-788.
- Li Qiusheng, Peng Suping, Gao Rui, et al. Seismic evidence of the basement uplift in the Bayan Har tectonic belt, Qinghai, and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(10):782-788(in Chinese with English abstract).
- [42] 雷裕红, 马昌前, 王国灿. 巴颜喀拉沉积盆地基底为扬子地台西缘的一部分:来自花岗岩的证据[J]. 高校地质学报, 2006, 12(3):298-309.
- Lei Yuhong, Ma Changqian, Wang Guocan. The basement of Bayan Har Basin is a part of western Yangtze platform:evidence from granites [J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12 (3):298-309(in Chinese with English abstract).
- [43] 张雪亭, 王秉璋, 俞建, 等. 巴颜喀拉残留洋盆的沉积特征 [J]. 地质通报, 2005, 24(7):613-620.
- Zhang Xueting, Wang Bingzhang, Yu Jian, et al. Sedimentary characteristics of the Bayan Har remnant ocean basin, northwestern China [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24 (7):613-620(in Chinese with English abstract).
- [44] 赵锡奎, 雍自权, 李国蓉, 等. 残留被动大陆边缘盆地——一种被忽略的盆地类型[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(1):121-128.
- Zhao Xikui, Yong Ziquan, Li Guorong, et al. Residual basin of passive continental margin——a neglected basin type[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(1):121-128(in Chinese with English abstract).

Silurian tectonic–paleogeographic environment in Kunlun Mountain area and its metallogenic significance

ZHAO Zhen–ming, LI Rong–she, JI Wen–hua, CHEN Shou–jian

(*Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China*)

Abstract: In the research work conducted in the Kunlun Mountain area, the authors measured 39 Silurian (S) and Ordovician–Silurian (O–S) geological sections, whose thicknesses range from 169 m to 8260 m, mostly with fault and angular unconformities between various strata. Littoral (shallow sea)–abyssal–littoral (shallow sea)–abyssal paleogeographic sedimentary environments characterize the study area, as shown by these sections.

In West Kunlun, Wenquangou Group (S_1W) is dominated by sandstone and slate, assuming a shallow sea (shelf sea) sedimentary environment, in west Yingjisha, and by silicalite, sandstone, siltstone and slate in Mazha area, with the existence of tholeiite, demonstrating a deep sea sedimentary environment (subduction zone ocean trench) in this area, a clinof orm sedimentary environment in the west and east of Mazha, and thinning of strata northwestward and southeastward. In East Kunlun, Wenquangou Group (S_1W) is composed of epimetamorphic rock, sandstone and mudstone, assuming abyssal–bathyal flysch facies in north Muzitage Peak. In middle and late Silurian (S_{2-3}), Dabangou Group ($S_{2-3}D$) was bathyal–littoral (shallow sea) in the west and shallow sea sediments such as carbonate and fragmental rock in the east.

In East Kunlun, the Baiganhu Formation (S_1b) in south Ruoqiang is characterized by abyssal turbidite aggradation with graptolites as the mark of the deep sea basin environment under the tensile tectonic condition. The Saishiteng Formation (S_3) in south Geermu City shows the upward evolution from clinof orm through continental rise and shallow sea to abyssal facies, characterized by turbidite and semi–pelagic aggradation in relict sea basin, with the zircon LA–ICP–MS U–Pb ages of monzonitic granite being 421 ± 3 Ma and 423 ± 16 Ma. The Nachitai Group (OSN) strata in southeast Geermu City possess ultramafite–diabase–basalt–deep sea silicalite, derived from ocean crust substance. Ultramafite is a part of ocean crust relic fragments, metamorphic basalt marks midoceanic ridge and ocean island arc, silicalite signifies midoceanic ridge or big ocean basin sediments in geochemical features, metamorphic fragmental rock implies clinof orm sediments, and carbonate means littoral sediments. The SHRIMP zircon $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of big midoceanic ridge tholeiite (MORB) in the strata is 419 ± 5 Ma, suggesting Upper Silurian (S_4).

On the whole, the Kunlun Mountain in Silurian was a relict ocean exhibiting a complex ocean system with more islands and basins formed after Caledonian movement. The results obtained by the authors in the study of tectonic–paleogeographic environment provide important evidence for the study of the formation mechanism of the known ore deposits and the arrangement of further ore prospecting work in this area

Key words: Silurian; Kunlun Mountain area; tectonic–paleogeographic environment; mineralization and ore prospecting

About the first author: ZHAO Zhen–ming, male, born in 1965, associate researcher, mainly engages in the study of tectonic geology and environment; E–mail: xazhenming@163.com, zzhenming@cgs.cn.