

陈博, 马中平, 孟广路, 等. 吉尔吉斯斯坦中天山地质特征及研究进展[J]. 中国地质, 2016, 43(2): 458–469.

Chen Bo, Ma Zhongping, Meng Guanglu, et al. The progress in geological study of Middle Tianshan Mountains within Kyrgyzstan[J]. *Geology in China*, 2016, 43(2): 458–469(in Chinese with English abstract).

吉尔吉斯斯坦中天山地质特征及研究进展

陈 博^{1,2} 马中平^{1,2} 孟广路² 王 斌² 曹积飞² 李文渊^{1,2}

(1. 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西 西安 710054; 2. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

摘要:文章通过对近年来有关吉尔吉斯中天山研究进展的梳理, 结合在吉尔吉斯斯坦的实地考察, 系统论述了中天山基础地质情况, 并简述与岩浆活动有关的成矿作用。吉尔吉斯斯坦境内的天山由“尼古拉耶夫线”和阿特巴什—伊内尔切克斯断裂划分为北、中、南 3 部分。中天山两侧的缝合带限制了早古生代古吉尔吉斯洋和晚古生代南天山洋的发展和消亡过程。组成中天山不同块体大多具有古元古界的基底, 古生代总体处于大陆坡—边缘海沉积环境。晚古生代产出与俯冲相关的岩浆作用和后碰撞岩浆作用, 前者与斑岩型铜矿、接触交代型铜—金矿相关, 后者与造山型金矿相关。

关 键 词: 吉尔吉斯斯坦; 中天山; 地层; 岩浆作用; 成矿作用

中图分类号: P56; P617 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)02-0458-12

The progress in geological study of Middle Tianshan Mountains within Kyrgyzstan

CHEN Bo^{1,2}, MA Zhong-ping^{1,2}, MENG Guang-lu², WANG Bin², CAO Ji-fei², LI Wen-yuan^{1,2}

(1. *Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Xi'an, 710054, Shaanxi, China;*

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

Abstract: Recent studies of Middle Tianshan Mountains are reviewed in this paper, with particular interest placed on magmatism and related mineralization. The Tianshan Mountains in Kyrgyzstan are composed of three major structural units, i.e., the northern, middle and southern Tianshan Mountains, which are separated by the Nikolaev Line and Atbashi–Inylchek fault. The suture zones on both sides of the Middle Tianshan Mountains were formed as a result of progressive subduction and subsequent closure of the Terskey Ocean in Early Paleozoic and the Paleo–Turkestan Ocean in Late Paleozoic. Various Precambrian continental domains joined to form the basement of the Middle Tianshan Mountains. The Paleozoic was generally a passive stage in the history of the Middle Tianshan Mountains. The Late Carboniferous magmatism had distinct metallogenic affinities with subduction–related rocks,

收稿日期: 2015-04-15; 改回日期: 2015-06-21

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(1212011120334, 12120115066701)及陕西省自然科学基金基础研究计划——青年人才项目(2015JQ4106)资助。

作者简介: 陈博, 男, 1985年生, 博士后, 地球化学专业; E-mail: chenbo-geo@pku.edu.cn。

通讯作者: 李文渊, 男, 1962年生, 研究员, 主要从事岩浆作用矿床的研究工作; E-mail: xalwenyuan@126.com。

and the post-collisional intrusions and orogenic Au deposits in the Early Permian were formed coevally and controlled by tectonics.

Key words: Kyrgyzstan; Middle Tianshan Mountains, stratigraphy; magmatism; mineralization

About the first author: CHEN Bo, male, born in 1985, postdoctoral researcher, mainly engages in the study of geochemistry; E-mail: chenbo-geo@pku.edu.cn.

About the corresponding author: LI Wen-yuan, male, born in 1962, senior researcher, mainly engages in the study of magmatic ore deposits; E-mail: xalwenyuan@126.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. 12120115066701, 1212011120334, 12120115066701), Shaanxi Province Natural Science Foundation Research Project Plan for Young Talents (No. 2015JQ4106).

1 引言

中亚造山带(Central Asian Orogenic Belt 或 Altaiids)是显生宙规模最大的增生型造山带之一^[1-4]。其范围横跨欧亚大陆,从最西端的乌拉尔山一直向东延伸到太平洋西岸,其北部沿西伯利亚克拉通边缘,南部边缘从东部的索伦克缝合带向西经北山到中国西部的南天山,再延伸至吉尔吉斯斯坦和乌兹别克斯坦,最终与乌拉尔山相连(图1)。中亚造山带的演化从新元古代早期(约1 Ga)^[1]或新元古代晚期(约610 Ma)^[2]开始,经历了持续的俯冲增生过程,最终在晚古生代(约250 Ma)拼合^[3-4]。天山位于中亚造山带的南部边缘,自西向东延伸超过2500 km,天山造山带是一个古生代造山带,它的演化记录了包括岛弧、增生杂岩、海山以及洋底高原的增生过程,也记录了岛弧与陆块之间的碰撞与缝合的历史^[5-8]。晚二叠世—早三叠世大规模陆内走滑断层对其产生强烈影响^[9-10],新生代以来印度与欧亚板块的碰撞导致天山造山带被重新活化,造就了现今天山的地貌形态^[11-13]。

有关天山的构造单元划分,中国境内、外有不同标准。吉尔吉斯斯坦境内的天山依据主要缝合带被划分为北、中、南3段。中国境内的天山沿88°E被划分为东、西2段,中国西天山被划分为4个构造单元:北天山、伊犁地块、中天山和南天山。中国和吉尔吉斯斯坦境内的北天山不是同一概念,一些学者将中国北天山表述为“北东天山”以区别于吉尔吉斯北天山^[14-15]。Xiao et al.^[16]使用“哈萨克斯坦—北天山”代表吉尔吉斯境内的北天山,与中国北天山区分。对境内外的中天山的认识也有不同观点,一些学者认为中国中天山微陆块向西延伸到吉尔吉斯斯坦的纳伦^[17-18];也有学者认为他们具有不同的演化历史^[4, 14]: 吉尔吉斯中天山(Middle Tianshan)被认为

为在中吉边界尖灭,而中国中天山(Central Tianshan)被认为来源于塔里木克拉通^[19],或对应于吉尔吉斯北天山南缘的延伸^[20]。只有南天山是一个境内外连续的构造单元,主要的高压低温变质带从中国天山西部一直延伸到吉尔吉斯阿特巴什(Atbashi),再到乌兹别克斯坦境内^[6, 8]。

长期以来,针对中国境内外天山地质特征和成矿规律开展了一系列的国际对比研究,这些工作一方面在宏观上探讨了中亚成矿域的地质演化和成矿规律^[21-25],另一方面则对分布在天山造山带的典型矿床进行解析,为深入认识天山造山带的形成和演化奠定了良好基础^[26-31]。吉尔吉斯中天山的北、南两侧缝合带限定了早古生代 Terskey-Kyrgyz 洋(古吉尔吉斯洋)和晚古生代 Turkestan 洋(南天山洋)的发展和消亡过程,是研究中亚造山带南缘构造演化的关键区域。另一方面,这一东西走向的带状区域集中产出大量世界级大型—超大型铜—金矿床,成矿动力学背景一直是中外学者关注的热点。本文通过对近年来有关吉尔吉斯中天山研究进展的梳理,系统地论述了中天山基础地质情况,并简述了与岩浆活动有关的成矿作用。

2 吉尔吉斯天山概述

吉尔吉斯斯坦境内的天山传统上被划分为北天山、中天山和南天山3个东西向延伸的构造单元。北天山的基底主要由前寒武纪的微陆块组成,但其范围并没有被完全限定。早古生代发育大陆边缘弧,与寒武纪—奥陶纪的蛇绿岩伴生。吉尔吉斯北天山与南哈萨克斯坦被认为代表了中亚造山带中最老的造山区域,包括2个部分:位于中部和东部的科克奇塔夫—北天山地体和位于西部的卡拉套—塔拉斯地体。这一区域以发育大规模早古生代花岗岩和泥盆纪之前的角度不整合为特征^[32]。近

年来对北天山前寒武纪演化的研究取得了新的认识。Kröner et al.在吉尔吉斯北天山中元古代地体中识别出 1.3 Ga 和 1.1 Ga 2 期岩浆事件,前者以区域内大量花岗岩侵入为特征,并与变形、变质作用相伴,后者则可能与裂谷作用相关^[33]。Agramante et al.^[34]通过对吉尔吉斯天山前寒武纪及早古生代变质沉积岩中碎屑锆石的研究认为,天山造山带中的许多作为基底的古老陆块来自塔里木克拉通,而吉尔吉斯中天山与北天山碎屑锆石年龄分布的差别反映了在早古生代拼合之前,两者的演化历史并不是完全相同。在吉尔吉斯北天山 Makbal 和 Aktyuz 均发现了高压或超高压变质的榴辉岩,其伴生岩石组合、变质条件与哈萨克斯坦境内的科克奇塔夫相似。这些榴辉岩的原岩被认为是侵入到中一新元古代古老地体边缘的镁铁质岩脉,其侵入时代尚未被限定,其高压变质年龄为 510~470 Ma^[35-37],这期变质作用反映了组成哈萨克斯坦—北天山地体的微陆块在晚寒武世—早奥陶世的拼合过程^[38]。北天山与中天山之间的古吉尔吉斯洋在前寒武的晚期就已经存在,是古亚洲洋的组成部分。洋盆的持续扩张在其北缘于晚寒武世—早奥陶世发育为俯冲带,并演化成为安第斯型大陆边缘,I型花岗岩在北天山广泛分布,而中天山一直作为被动陆缘,发育

一套以碳质—硅质—泥质片岩和灰岩为主的岩石系列,直到晚奥陶世与北天山拼合。近期的研究发现,在北天山还有一套时代为 420~410 Ma 的侵入体^[15, 39-40],与早古生代的后碰撞岩浆作用有约 10 Ma 的时间间隔。这套泥盆纪的侵入体与早古生代变形的 I 型花岗岩不同,是未发生变形的碱—钙型花岗岩和淡色花岗岩。这套岩石在早期的 K—Ar 方法年龄测定下,多被标识为早二叠世花岗岩^[41-42, 转引自 43],并被认为与北天山许多重要的矿床的形成相关, Seltmann et al.^[15]在 Aktyuz 地区识别出泥盆纪侵入体,并认为这一地区其他侵入体和相关矿床也可能形成于泥盆纪,如 Boordu 和 Misouovskoe,但是对于这一期岩浆作用的动力学背景的认识尚不清晰。

吉尔吉斯中天山是伊锡姆(Ishim)—中天山微大陆的组成部分。伊锡姆—中天山微大陆从南哈萨克斯坦的卡拉套山和锡尔河(Syrdar'ya)盆地到塔什干和恰特卡尔(Chatkal)地区,一直延伸到塔拉斯—费尔干纳断裂以东的纳伦地区。最古老的岩石是分布在锡尔河盆地中的变沉积岩和片麻岩,在这套岩石中获得了古元古代的锆石年龄(2.3~1.7 Ga)^[33]。新元古代花岗岩和长英质火山岩遍布中天山地区。早前寒武纪的基底被新元古代晚期与裂谷作用相关的火山沉积岩系不整合覆盖。组成中

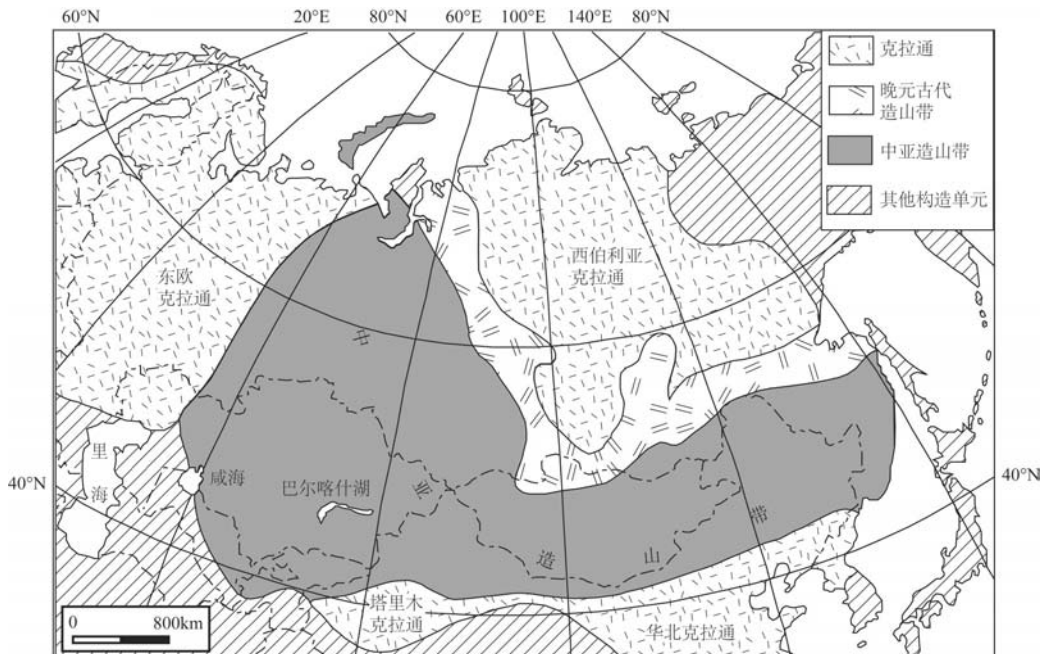


图1 中亚造山带的地理位置及与周缘克拉通的关系(据文献[6]修改)

Fig.1 Schematic map showing the positions of the Central Asian orogenic belt and other cratons (modified after reference [6])

天山的几个块体具有相似的新元古代酸性火山岩、冰碛岩和早古生代盖层。分布在塔拉斯—费尔干纳断裂以西的库拉玛(Kurama)岩浆岩带具有弧地球化学特征,被认为与古Turkestan洋(以下称为南天山洋)闭合过程向北俯冲相关。位于库拉玛—恰特卡尔山脉的火山—深成岩系列分布于2个时间段:志留纪—早泥盆世、晚石炭世。后者不整合覆盖或侵入到早期的岩浆岩系列中。在塔拉斯—费尔干纳断裂以东,晚古生代与俯冲作用相关的岩浆作用不发育,也可能是由于强烈的剥蚀作用,或是被中—新生代沉积覆盖。

中天山与南天山之间以阿特巴什—伊内尔切克(Atbashi-Inylchek)缝合带为界,南天山是一个晚古生代增生碰撞系统,发育复杂的褶皱逆冲构造。在乌兹别克斯坦—吉尔吉斯斯坦境内的南天山从西向东分为3段:Kyzylkum段、Alay段和Kokshaal段(图2)。它们之间具有相似性,但在基底特征上存在差异。Kyzylkum的基底为新元古代—早古生代的岩浆岩系列,缺少更古老的岩石单元;Alay段则含有前寒武纪的大陆基底;Kokshaal段建立在塔

里木被动边缘之上,它的前寒武纪基底向北发生逆冲,其上的沉积单元包括志留纪—早石炭世的深海沉积、大洋板内或大陆边缘裂谷型火山岩以及晚泥盆世—早石炭世厚层碳酸盐岩台地沉积,这套厚层的碳酸盐岩台地沉积也广泛分布在Alay段。Kokshaal段一个典型特征是发育厚层的中泥盆世—晚石炭世被动陆缘碎屑沉积^[44]。晚石炭世—早二叠世发育浊积岩和磨拉石建造代表着南天山洋的最终闭合。南天山洋的残片以发育在缝合带附近的多条蛇绿岩为代表。Burtman较为详细地描述了沿阿特巴什—伊内尔切克缝合带分布的多处蛇绿岩的产出状态和岩石组合特征^[45]。这些蛇绿岩都为构造岩片,组成蛇绿岩套的单元以混杂状分布在蛇纹岩基质中。从硅质岩中分选出的牙形石时代为早泥盆世—晚泥盆世^[46]。在阿特巴什,蛇绿混杂岩之下的变质单元中含有蓝片岩和榴辉岩,榴辉岩变质峰期的压力为18~24 kbar,温度为520~600 °C。由榴辉岩中高压变质矿物(绿辉石、石榴石、蓝闪石)及全岩获得的Sm-Nd等时线年龄为(319 ± 4) Ma,由多硅白云母获得的Ar-Ar坪年龄为(316 ± 3)

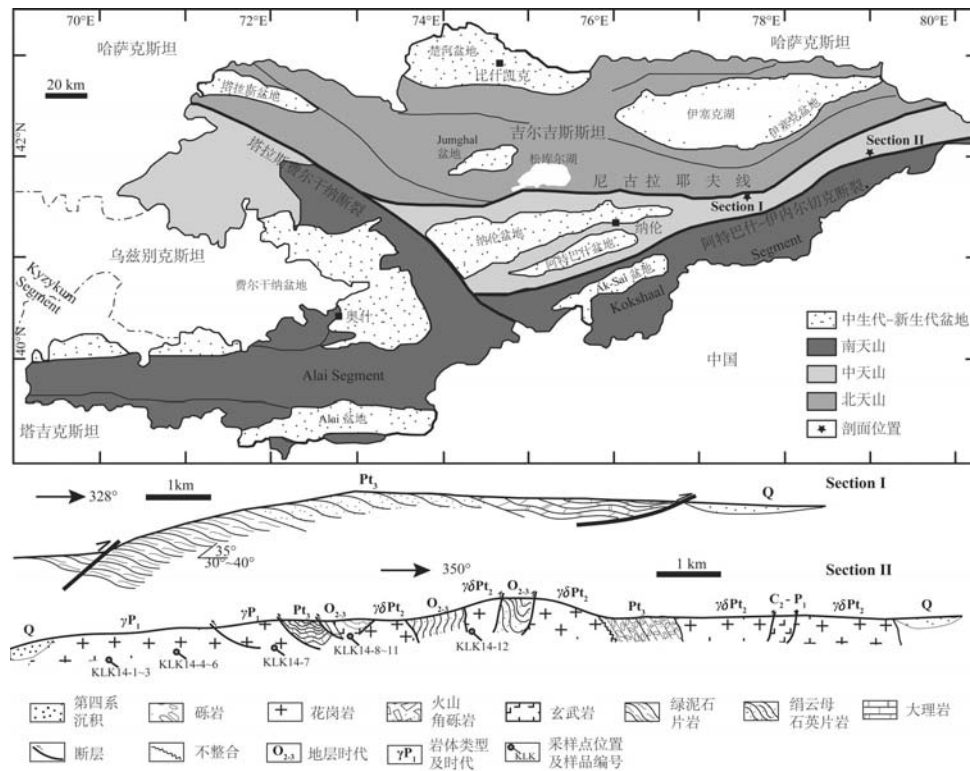


图2 吉尔吉斯天山构造单元划分简图(据文献[44]修改)及本文观测剖面

Fig.2 Sketch map (modified after reference [44]) showing tectonic units of Kyrgyz Tianshan Mountains and geological sections

Ma^[47]。不整合覆盖其上的砾岩时代为304~299 Ma,这套砾岩未发生变质,也没有变形,且砾岩中含有榴辉岩砾石,因此其沉积是在高压变质岩折返并增生到混杂岩之后,由此判断高压变质的折返发生在300 Ma之前^[47]。与南天山洋俯冲相关的岩浆作用主要出现在缝合带以北的中天山地区,以英安质熔岩和花岗闪长质-花岗质的侵入岩为代表。二叠纪的岩浆作用不受地体边界限制,广泛分布于中天山和南天山,其成分有较大的变化范围。Solomovich^[48-49]将吉尔吉斯南天山二叠纪花岗岩分为3个系列:过铝质、钙碱性和碱性系列。在塔拉斯-费尔干纳断裂以西的Alay段多产出体积较大的花岗岩体,其成分以钙碱性系列为主,并含有过铝质S型花岗岩;在东部的Kokshaal段则以富碱的A型花岗岩为主,并与拉斑质镁铁质岩石及硅不饱和的正长岩伴生^[50]。Konopelko et al.认为在约300 Ma时,南天山缝合带已经演化成为一个深穿地壳的剪切带,这为软流圈物质上升提供了通道^[51],Solomovic提出南天山在后碰撞背景下产出的A型花岗岩形成于麻粒岩相下地壳的高度熔融^[49]。

3 吉尔吉斯中天山地层及岩相古地理恢复

吉尔吉斯斯坦境内的中天山包括恰特卡尔和纳伦2个组成单元,它们被费尔干纳断裂分隔。“尼古拉耶夫线”是中天山北部的地质界线,中天山南部的界线是阿特巴什-伊内尔切克断裂。中天山具有相对埋藏不深的古老基底,前寒武纪晚期和古生代剖面在总体上具有稳定的结构组成。

中天山剖面可见的基底是古元古界的片麻岩、云母片岩、角闪石片岩、大理岩,在恰特卡尔和纳伦地区均有分布,其上不整合覆盖着新元古代巨厚岩石组合。该岩石组合下部为新元古代早-中期火山岩和变质沉积岩,其上为新元古代晚期冰碛岩、似冰碛状片岩和砂岩。笔者等在纳伦以东的剖面观察到,新元古代早期的火山沉积岩系是一套正常的陆源沉积序列,下部为一套绿片岩相变质的凝灰岩-基性熔岩,向上火山物质逐渐减少,变质沉积岩比重增加,主要为绢云母石英片岩,顶部则由薄层状砂泥质板岩夹大理岩构成(图2中Section I)。新元古代晚期的似冰碛岩则不整合覆盖在中元古代

花岗闪长岩之上,砾石成分均为下伏岩石的物质,粒径5~25 cm,胶结物为凝灰质砂岩、粗砂岩。这套似冰碛岩之上被新元古代英安质火山角砾岩覆盖。新元古代的酸性火山岩和冰碛岩组合是出露于中天山的古老基底的共同特征,代表了这些前寒武陆块可能来源于一个统一的大陆^[4,14]。

下古生界地层厚度变化很大,直接覆盖在新元古代晚期岩石组合之上,但其底板仍可见沉积间断的痕迹。在恰特卡尔地区可见上奥陶统直接覆盖在下元古界岩系之上。寒武系-奥陶系主要是炭质-硅质-泥质片岩和灰岩。在纳伦地区东部,它们的时代为寒武纪-早奥陶世,在恰特卡尔地区确定为寒武纪-中奥陶世。这套地层在整个中天山可进行对比。中-上奥陶统主要是砂岩-页岩地层,它们整合地覆盖在寒武系-奥陶系之上,该时期火山岩主要在恰特卡尔地区发育,主要为玄武岩、安山岩及凝灰岩。在纳伦东部的实测剖面中也观察到少量的中-晚奥陶世火山岩覆盖在变质砂岩、粉砂岩之上,火山岩由凝灰岩及杏仁状玄武岩组成,与中元古代花岗岩呈断层接触(图2中Section II)。中天山志留系仅出露在恰特卡尔地区,主要是一套陆源碎屑地层,含火山岩夹层,局部有灰岩透镜体。其上被下泥盆统火山-沉积岩系不整合覆盖,这套岩石系列也只在恰特卡尔地区发育:下部为砾岩、砂岩,上部则为安山岩、英安岩、流纹岩、碱性玄武岩、凝灰岩。中-上泥盆统的陆相细砾岩、砂岩、粉砂岩组合在恰特卡尔和纳伦地区均发育。在纳伦地区,该套组合不整合地盖在奥陶系之上。上泥盆统一下石炭统厚层碳酸盐岩地层在中天山广泛分布,它整合地盖在中-上泥盆统之上,该地层下部为含泥质团粒结构的灰岩,往上变为白云岩和含燧石灰岩,其上覆盖着富含生物化石的灰岩。在纳伦地区的灰岩中发育钙-泥质片岩透镜体,在局部区域出露凝灰岩及凝灰质砂岩。在上石炭统下部,恰特卡尔地区发育一套火山岩地层,由安山岩、凝灰岩、凝灰质杂岩组成,其底部为砾岩和砂岩,这套地层不整合覆盖在下石炭统之上,并且被下二叠统不整合覆盖。在纳伦地区,该套火山岩并不发育,主要是陆缘碳酸盐岩-碎屑岩建造。恰特卡尔地区下二叠统下部为砾岩、砂岩和页岩,中部由流纹岩、英安岩、安山岩组成,上部出现石英斑岩。中二叠统底部发育

砂岩、砾岩,顶部出现英安岩、流纹岩及其凝灰岩。在纳伦地区的卡瓦克,下二叠统下部由砾岩、凝灰质砂岩组成,上部出现安山岩、石英斑岩和凝灰岩,在贾曼达万,从上石炭统至下二叠统连续沉积砾岩、砂岩组合,其中有灰岩夹层,其上被一套安山玄武岩、粗面玄武岩、凝灰岩不整合覆盖(图3)。

Дженчураева根据地层资料,恢复了吉尔吉斯全境古生代的岩相古地理^[52]。图4反映了中天山的古地理环境变化。在早寒武世,中天山整体为大陆坡环境,在恰特卡尔西北部为边缘海,中部为深海洋盆,发育大洋拉斑玄武岩。晚奥陶世中天山总体为水下冲积扇环境,分布在恰特卡尔中部深海洋盆的范围明显缩小。从晚泥盆世到晚石炭世,全区整体处于大陆架沉积环境,仅在局部沉积环境有不同:其中恰特卡尔地区西北部在早石炭世为大陆坡环境;在纳伦地区西部的萨雷贾兹,晚石炭世为淤积平原。早二叠世恰特卡尔东部和南部以及纳伦地区南部仍处于大陆架沉积环境,恰特卡尔西北部和纳伦中部地区则演化为山前冲积扇。纳伦北部边缘出现大陆火山岩带。在纳伦地区西部大面积分布淤积平原,仅在靠近中国边境的萨雷贾兹为山前冲积扇环境。

4 吉尔吉斯中天山古生代岩浆作用与成矿

天山造山带西段(乌兹别克斯坦—吉尔吉斯斯坦境内天山)古生代岩浆作用大致分为2个阶段:早古生代与弧—陆碰撞、弧—弧碰撞相关的岩浆作用和晚古生代与南天山洋闭合相关的岩浆作用(图5)。早古生代的岩浆作用,无论是在俯冲阶段还是后碰撞阶段,都广泛分布在北天山,这一时期中天山作为被动陆缘,被浅海沉积物覆盖。晚奥陶世中天山地体与北天山拼合,出现在晚奥陶世—志留纪的变形及岩浆作用对中天山的影响均十分有限。早泥盆世开始,从乌兹别克斯坦境内的库拉玛山脉向东延伸至吉尔吉斯的恰特卡尔,均发育碱性—钙碱性火山岩,早泥盆世花岗岩^[15]。这套岩浆岩系列代表了南天山洋向北俯冲的产物^[53],但这一时期的岩浆作用在中天山其他地区并不发育。中天山显著的岩浆活动出现在晚石炭世之后,分为2个阶段:晚石炭世(320~300 Ma)的岩浆活动以钙碱性的花岗质

侵入体以及厚层火山岩为代表出现在恰特卡尔,在纳伦地区则出露较少,仅在 Alamashik 山脉发现了安山质凝灰岩、凝灰质砾岩、凝灰质砂岩,并在其中发现了安山岩和玄武岩的角砾^[47]。这一火山沉积岩组合之上的砂岩中含有晚石炭世筵类的化石,因此该组合被认为与恰特卡尔地区的火山岩对应,并限定了315~305 Ma南天山洋的俯冲作用。纳伦地区307~303 Ma火山作用的停止则可能对应着碰撞作用的开始^[48]。早二叠世(290~280 Ma)与晚石炭世的岩浆作用有一个明显的时间间隔,而这一时期正是剥蚀作用强烈发育的阶段^[53]。火山作用主要分布在恰特卡尔地区,由流纹岩、粗面流纹岩和凝灰岩构成。与后碰撞作用相关的花岗质岩浆侵入活动则影响整个区域,并跨越地体边界,分布于阿特巴什—伊内尔切克缝合带南北两侧。位于中天山南缘的Terektinsky岩体,曾被认为包含了志留纪和石炭纪2期侵入岩,笔者等在该地区考察时发现,两者只有岩相的差异,并无变质、变形的差别,并且两者之间没有明显的侵入现象,因此推测它们为同期岩浆不同阶段的结晶相。近期的年代学研究证实两者均形成于早二叠世^[51]。由大量的Sr-Nd-Pb同位素研究显示,这些后碰撞花岗岩来源于前寒武纪基底的熔融,并混合了年轻的洋壳、岛弧火山岩及沉积物^[50,53]。

中天山恰特卡尔和纳伦是吉尔吉斯2个重要的金—铜成矿带。该区域内主要的大型—超大型矿床在空间上与晚古生代中酸性侵入体相关(图6)。恰特卡尔地区的库鲁—捷列克和博济姆恰克,都是与晚石炭世岩浆侵入相关的接触交代型铜—金矿床;捷列坎和伊什塔姆别尔德,则是与晚石炭世岩浆侵入相关的热液型金矿。与该地区相连的库拉玛岩浆岩带产出与俯冲作用相关的斑岩型铜—钼—金矿床,以乌兹别克斯坦境内的Kalmakyr为代表,与成矿相关的石英二长斑岩的形成时代为314 Ma;与其邻近的Kochbulak为热液型金矿,作为容矿围岩的火山岩时代为305~307 Ma^[15]。中天山—南天山主要的造山带型金矿与早二叠世后碰撞岩浆作用相关(295~280 Ma)。分布在塔拉斯—费尔干纳断裂以东的马克马尔(Makmal)为矽卡岩型大型金矿床,与其相关的侵入体时代为286 Ma^[15]。位于纳伦东部的库姆托尔(Kumtor)金矿产于新元古代—早古

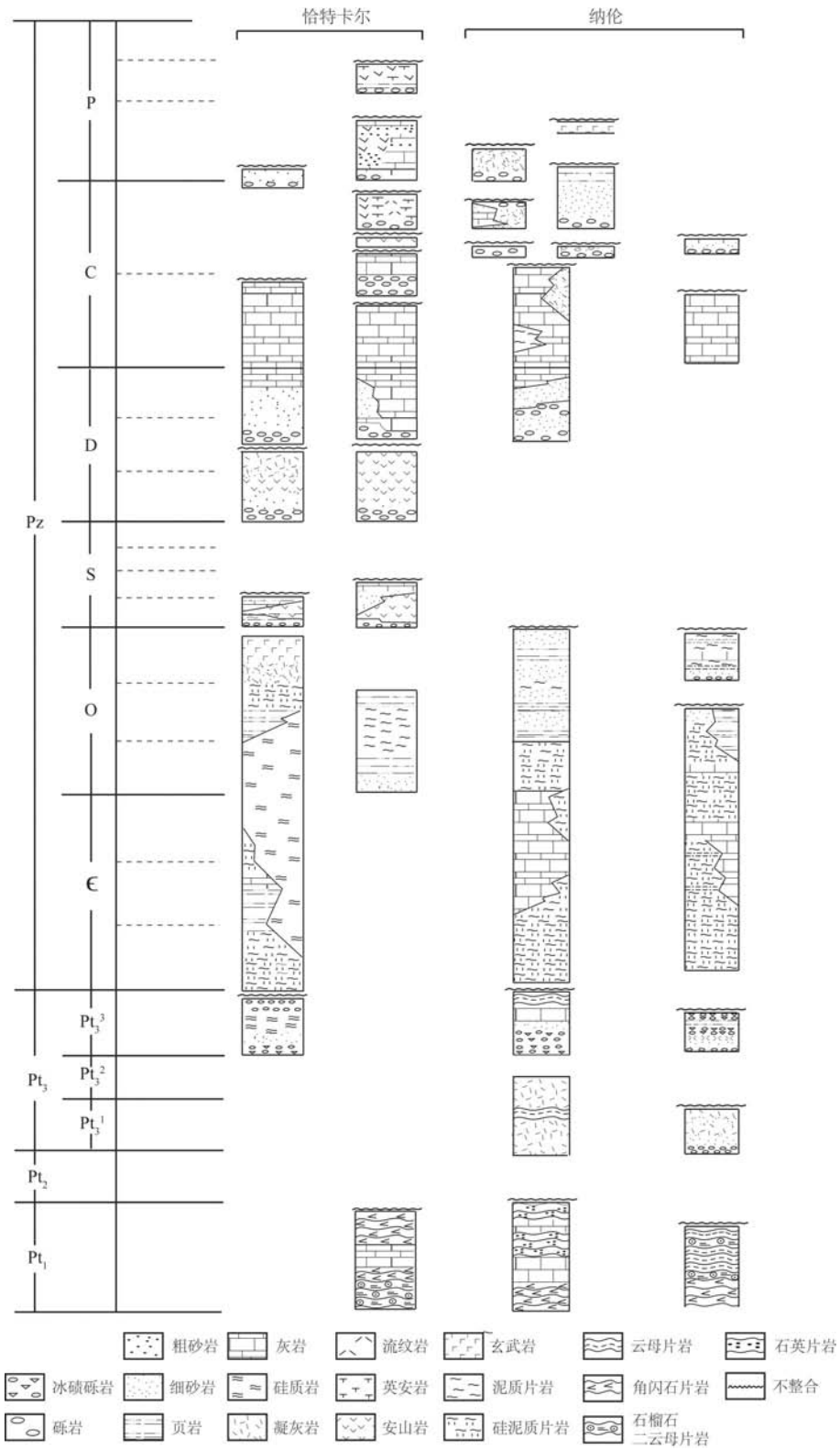


图3 中天山纳伦、恰特卡尔地区地层柱状图
 Fig. 3 Stratigraphic column of Naryn and Chatkal in Middle Tianshan Mountains

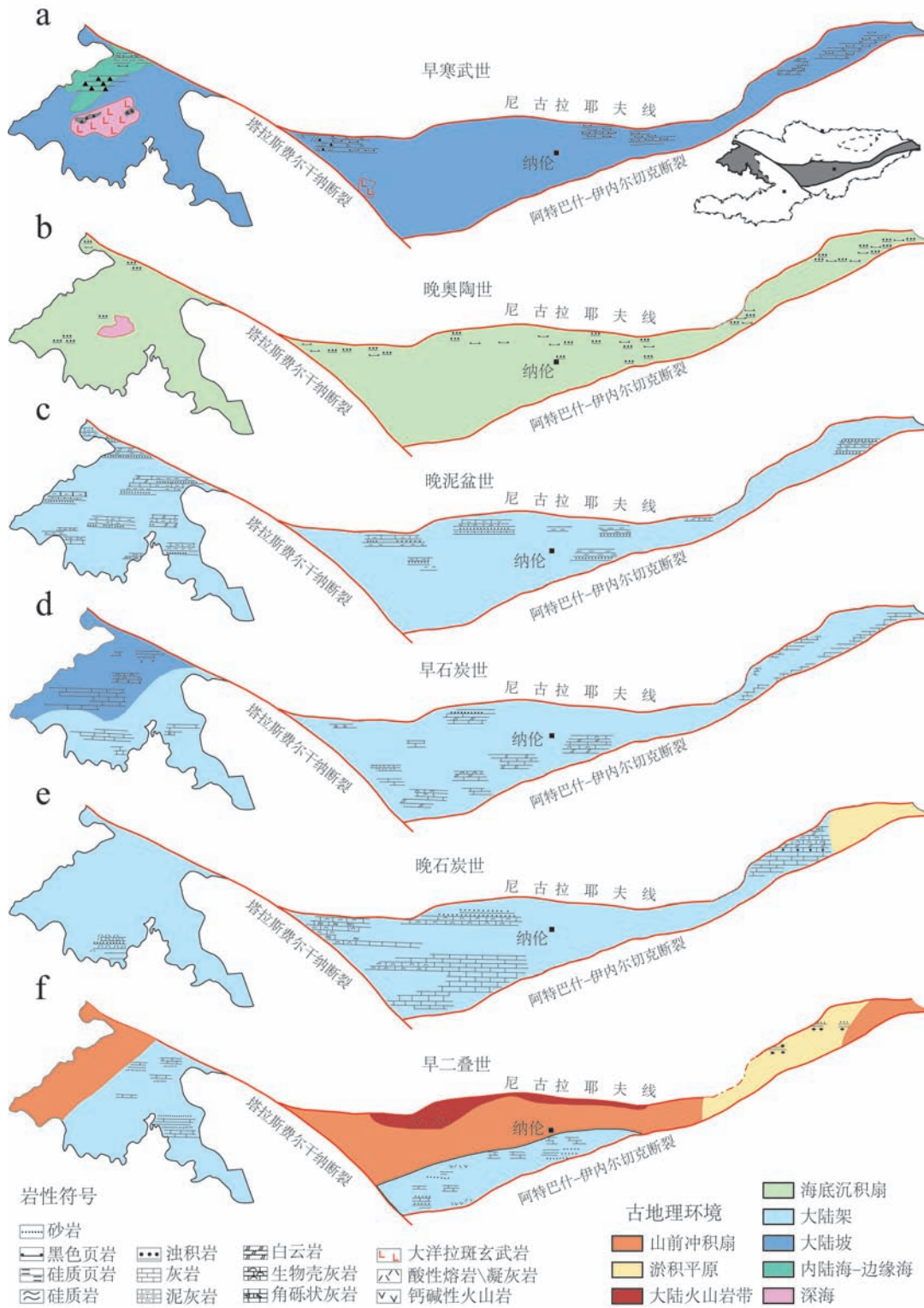


图4 中天山古生代岩相古地理图(据文献[52]修改)

Fig. 4 Paleozoic lithofacies paleogeography maps of Middle Tianshan Mountains (modified after reference [52])

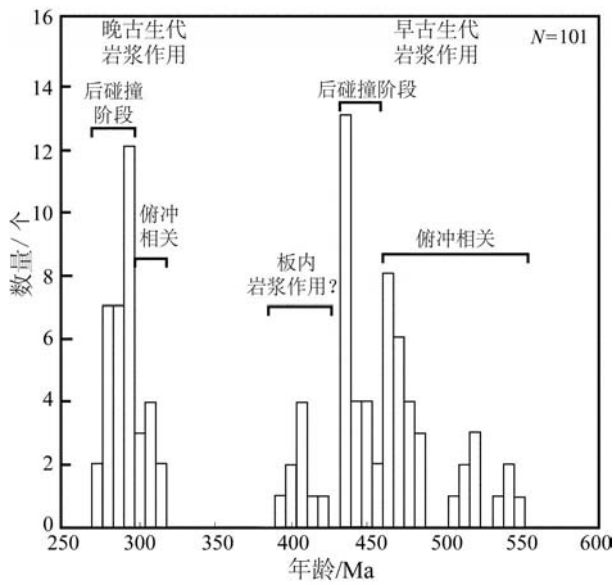


图5 吉尔吉斯天山古生代花岗质岩浆侵入作用年龄直方图 (根据文献[53]修改)

Fig. 5 Histogram showing distribution of ages of Paleozoic granitoid intrusions in Kyrgyz Tianshan Mountains (modified after reference [53])

生代炭质黑色页岩和千枚岩中,尽管与侵入体没有直接的接触关系,但其成矿时代(约285 Ma)^[54]与邻近的花岗质岩浆侵入事件吻合。与库姆托尔成矿作用相似的穆龙套(Muruntao)金矿位于乌兹别克斯坦南天山,其成矿时代为288 Ma,也被认为与同时期花岗岩的侵入相关^[55]。一些研究者认为剪切带控制了流体活动和金矿的形成:深大断裂在下地壳深度处形成近水平状的拆离带,为软流圈物质及热流的上涌提供了空间,来自地幔的熔体引发壳层物质的熔融和后碰撞花岗岩的形成,同时这一过程也形

成了大规模的热液流体。岩浆源区对成矿也有控制作用。Konopelko等^[51]详细探讨了吉尔吉斯斯坦东部阿特巴什—伊内尔切克缝合带南北两侧同时期产生的两类岩体成岩成矿特征。位于缝合带北侧的Terektinsky岩体,是前寒武纪变质基底熔融形成的I型花岗岩,匮乏成矿金属元素;而位于缝合带南侧的Inylchek杂岩则来源于南天山弧前杂岩的熔融,因为源区变质程度低而富集流体和成矿元素,与该岩体伴生产出钨、锡等矿床。

5 吉尔吉斯中天山构造演化概述

学者普遍认为,组成天山造山带的前寒武纪基底来源于东冈瓦纳大陆^[56-57]。有2方面的证据支持这一观点:(1)新元古代广泛分布的酸性火山岩(如,中天山的大纳伦组);(2)文德纪冰碛岩以及覆盖其上的中寒武世—早奥陶世黑色板岩、碳酸盐岩。然而这两个特征也出现在塔里木克拉通。近期有关吉尔吉斯天山碎屑锆石的研究发现,发育在这些古老陆块上的岩浆作用期次与塔里木克拉通吻合,因此也有学者认为许多作为基底的古老陆块与塔里木克拉通有亲缘关系^[34-35, 58]。中天山与北天山之间的古吉尔吉斯洋在前寒武的晚期就已经存在,该洋盆从晚寒武世到晚奥陶世持续向北俯冲,并最终导致中天山与北天山—哈萨克斯坦地体拼合。在这一过程中,中天山广泛发育炭质-硅质-泥质片岩,并缺少岩浆活动,这些特征表明这一时期的中天山始终处于被动大陆边缘环境。在南天山发现的奥陶纪蛇绿岩说明,塔里木克拉通与中天山之间的南天山洋在那个时期就已经存在^[59, 转引自14]。

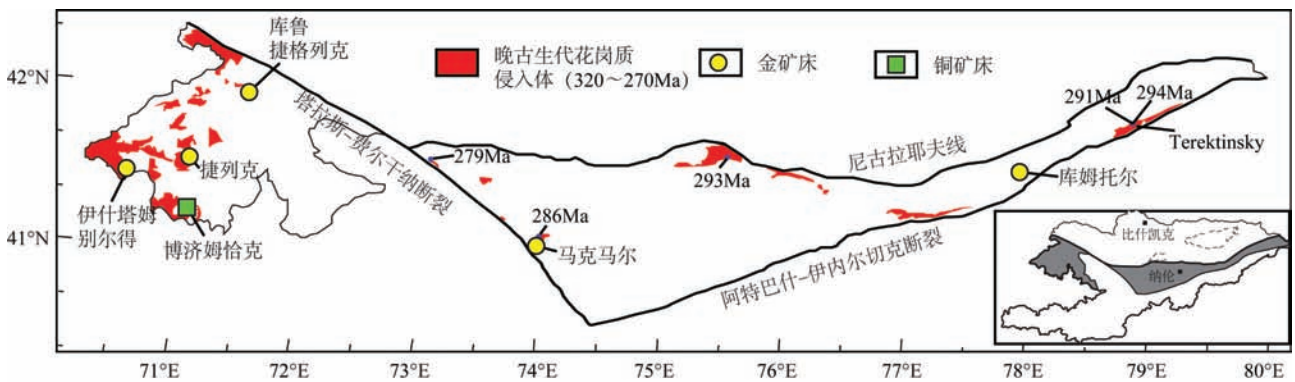


图6 中天山晚古生代花岗质侵入体分布及相关铜-金矿床(年龄数据来自文献[15, 51])

Fig. 6 Distribution of granitoid intrusions and related Cu-Au deposits (ages of intrusions after references [15, 51])

位于中天山南缘的库拉玛—恰特卡尔地区发育志留纪—早泥盆世火山岩和侵入岩,这些岩石系列被认为与南天山洋的俯冲相关^[53],但是从中泥盆世到早石炭世,恰特卡尔和纳伦地区仍主要发育代表着稳定而成熟的被动陆缘沉积系列。在晚石炭世,中天山南缘,至少在恰特卡尔地区已经转变为活动大陆边缘,发育与俯冲作用相关的岩浆作用。纳伦地区零星出露的火山碎屑岩可能对应着相似的构造背景。吉尔吉斯许多重要的金属矿床也伴随着这一时期的岩浆作用产出。在中天山南缘分布的半深海沉积岩的时代不晚于晚石炭世^[53],海相碳酸盐岩最晚出现在早二叠世阿尔丁斯克阶(Artinskian)^[60],因此沉积记录表明南天山洋在早二叠世已经闭合。分布在中天山—南天山的早二叠世后碰撞岩浆岩沿着阿特巴什—伊内尔切克断裂展布。在恰特卡尔地区伴随着侵入岩还发育流纹岩—粗面安山岩和凝灰岩。位于吉尔吉斯中天山的马克马尔金矿、库姆托尔金矿,以及分布在乌兹别克斯坦南天山的穆龙套金矿与这一时期的岩浆作用有密切关系。

6 结 语

中亚造山带长期以来是大陆动力学和成矿作用研究的热点区域。本文关注的吉尔吉斯中天山虽然只是其中有限的区域,但其所展示出的复杂的地质演化历史及丰富的矿产资源极大的丰富了我们对于中亚造山带以及中亚成矿域的认识。通过对近年来在吉尔吉斯斯坦开展地质工作所获得资料的梳理,并结合国内外近期的研究成果,本文总结了吉尔吉斯中天山的基础地质特征及古生代的构造演化。随着地质资料的积累和高精度数据的补充,新的科学问题也不断涌现:(1)在北天山—中天山发育的早泥盆世岩浆作用的构造背景以及与成矿作用的关系;(2)在中天山恰特卡尔面积狭小的区域内产出10余个大型—超大型热液型金矿,这些矿床产出的地质过程和控制因素;(3)后碰撞岩浆作用、富含成矿物质的围岩以及韧性剪切带对造山带型金矿的制约。相信随着对这些问题的深入探讨,对中亚造山带南缘地质演化的认识也会不断提高和完善。

致谢: 野外工作得到山东正元地勘院吉尔吉斯

正元公司的协助;计文化研究员提出的建议对于完善本文并开阔作者思路帮助很大;审稿专家和编辑部李亚萍老师对本文提出了宝贵修改意见,在此表示衷心的感谢。

参考文献(References):

- [1] Khain E V, Bibikova E V, Salnikova E E. The Palaeo-Asian ocean in the Proterozoic and early Palaeozoic: New geochronologic data and palaeotectonic reconstructions[J]. *Precambrian Research*, 2003, 122: 329–358.
- [2] Sengör A M C, Natal' in B A, Burtman V S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature*, 1993, 364: 299–307.
- [3] 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, doi: 10.1029/2002TC001484.
- [4] Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, et al. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt [J]. *Journal of the Geological Society of London*, 2007, 164: 31–47.
- [5] Xiao W J, Huang B C, Han C M, et al. A review of the western part of the Altai: A key to understanding the architecture of accretionary orogens[J]. *Gondwana Research*, 2010, 18: 253–273.
- [6] Han B F, He G Q, Wang X C, Guo Z J. Late Carboniferous collision between the Tarim and Kazakhstan–Yili terranes in the western segment of the South Tian Shan Orogen, Central Asia, and implications for the Northern Xinjiang, western China[J]. *Earth–Science Reviews*, 2011, 109: 74–93.
- [7] Charvet J, Shu L S, Laurent–Charvet S, Wang B, et al. Palaeozoic tectonic evolutions of the Tianshan belt, NW China[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2011, 54: 166–184.
- [8] Wilhem C, Windley B F, Stampfi G M. The Altaids of Central Asia: A tectonic and evolutionary innovative review[J]. *Earth–Science Reviews*, 2012, 113: 303–341.
- [9] Laurent–Charvet S, Charvet J, Monié P, et al. Late Paleozoic strike–slip shear zones in eastern Central Asia (NW China): new structural and geochronological data[J]. *Tectonics*, 2003, 22: 1099–1101.
- [10] Laurent–Charvet S, Charvet J, Shu L S, et al. Palaeozoic late collisional strike–slip deformations in Tianshan and Altay, eastern Xinjiang, NW China[J]. *Terra Nova*, 2002, 14: 249–256.
- [11] Charreau J, Chen Y, Gilder S, et al. Magnetostratigraphy and rock magnetism of the Neogene Kuitun He section (northwest China): implications for Late Cenozoic uplift of the Tianshan mountains[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 230: 177–192.
- [12] Charreau J, Gilder S, Chen Y, et al. Magnetostratigraphy of the Yaha section, Tarim Basin (China): 11 Ma acceleration in erosion and uplift of the Tianshan Mountains[J]. *Geology*, 2006, 34: 181–184.
- [13] De Grave J, Buslov M M, Van den haute P, et al. Distant effects of India–Eurasia convergence and Mesozoic intracontinental

- deformation in Central Asia: Constraints from apatite fission-track thermochronology[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2007, 29: 188–204.
- [14] Biske Yu S, Seltmann R. Paleozoic Tian-Shan as a transitional region between the Rheic and Urals-Turkestan oceans[J]. *Gondwana Research*, 2010, 17: 602–613.
- [15] Seltmann R, Konopelko D, Biske G, et al. Hercynian postcollisional magmatism in the context of Paleozoic magmatic evolution of the Tianshan orogenic belt[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 42: 821–838.
- [16] Xiao W J, Windley B F, Allen M B, et al. Paleozoic multiple accretionary and collisional tectonics of the Chinese Tianshan orogenic collage[J]. *Gondwana Research*, 2013, 23: 1316–1341.
- [17] Gao J, Long L, Klemd R, et al. Tectonic evolution of the South Tianshan orogen and adjacent regions, NW China: geochemical and age constraints of granitoid rocks[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2009, 98: 1221–1238.
- [18] Qian Q, Gao J, Klemd R, et al. Early Paleozoic tectonic evolution of the Chinese South Tianshan Orogen: constraints from SHRIMP zircon U-Pb geochronology and geochemistry of basaltic and dioritic rocks from Xiate, NW China[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2009, 98: 551–569.
- [19] 舒良树, 朱文斌, 王博, 等. 新疆古块体的形成与演化[J]. *中国地质*, 2013, 40(1): 43–60.
Shu Liangshu, Zhu Wenbin, Wang Bo, et al. The formation and evolution of ancient blocks in Xinjiang[J]. *Geology in China*, 2013, 40(1): 43–60 (in Chinese with English abstract).
- [20] Burtman V S. The Tien Shan Early Paleozoic tectonics and geodynamics[J]. *Russian Journal of Earth Sciences*, 2006, 8, ES3003. doi:10.2205/2006ES000202.
- [21] 涂光炽. 初议中亚成矿域[J]. *地质科学*, 1999, 34: 397–404.
Tu Guangzhi. On the Central Asia metallogenic province[J]. *Chinese Journal of Geology*, 1999, 4: 397–404 (in Chinese with English abstract).
- [22] 何国琦, 朱永峰. 中国新疆及其邻区地质矿产对比研究[J]. *中国地质*, 2006, 33: 451–460.
He Guoqi, Zhu Yongfeng. Comparative study of the geology and mineral resources in Xinjiang, China and its adjacent regions[J]. *Geology in China*, 2006, 33: 451–460 (in Chinese with English abstract).
- [23] 朱永峰, 何国琦, 安芳. 中亚成矿域核心区地质演化与成矿规律[J]. *地质通报*, 2007, 26: 1167–1177.
Zhu Yongfeng, He Guoqi, An Fang. Geological evolution and metallogeny in the core part of the Central Asian metallobenic domain[J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26: 1167–1177 (in Chinese with English abstract).
- [24] 朱永峰. 中亚成矿域核心区地质演化和巨型成矿带划分[J]. *矿床地质*, 2007, 33: 471–485
Zhu Yongfeng. Geological evolution and division of giant metallogenic belts in core part of Central Asian Metallogenic Region[J]. *Mineral Deposits*, 2007, 33: 471–485 (in Chinese with English abstract).
- [25] Mao J W, Piranco F, Lehman B, et al. Distribution of porphyry deposits in Eurasian continent and their corresponding tectonic settings[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 79: 576–584.
- [26] 万天丰, 赵庆乐. 天山—阿尔泰山地区古生代构造成矿作用[J]. *中国地质*, 2015, 42(2): 365–378.
Wan Tianfeng, Zhao Qingle. Paleozoic tectono-metallogeny in Tianshan-Altay area, Central Asia[J]. *Geology in China*, 2015, 42(2): 365–378 (in Chinese with English abstract).
- [27] 薛春纪, 赵晓波, 莫宣学, 等. 西天山巨型金铜铅锌成矿带构造演化及找矿方向[J]. *地质学报*, 2014, 88(12): 2490–2531.
Xue Chunji, Zhao Xiaobo, Mo Xuanxue, et al. Tectonic-Metallogenic Evolution of Western Tianshan Giant Au-Cu-Zn-Pb Metallogenic Belt and Prospecting Orientation[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, 88(12): 2490–2531 (in Chinese with English abstract).
- [28] 薛春纪, 赵晓波, 莫宣学, 等. 西天山“亚洲金腰带”及其动力背景和成矿控制与找矿[J]. *地学前缘*, 2014, 21(5): 128–155.
Xue Chunji, Zhao Xiaobo, Mo Xuanxue, et al. Asian Gold Belt in western Tianshan and its dynamic setting, metallogenic control and exploration[J]. *Earth Science Frontiers*, 2014, 21(5): 128–155 (in Chinese with English abstract).
- [29] 薛春纪, 赵晓波, 张国震, 等. 西天山金铜多金属重要成矿类型、成矿环境及找矿潜力[J]. *中国地质*, 2015, 42(3): 381–410.
Xue Chunji, Zhao Xiaobo, Zhang Guozhen, et al. Metallogenic environments, ore-forming types and prospecting potential of Au-Cu-Zn-Pb resources in Western Tianshan Mountain[J]. *Geology in China*, 2015, 42(3): 381–410 (in Chinese with English abstract).
- [30] 张祺, 薛春纪, 赵晓波, 等. 新疆西天山卡特巴阿苏大型金矿床地质地球化学和成岩成矿年代[J]. *中国地质*, 2015, 42(3): 411–437.
Zhang Qi, Xue Chunji, Zhao Xiaobo, et al. Geology, geochemistry and metallogenic epoch of the Katebasu large-sized gold deposit, West Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 2015, 42(3): 411–437 (in Chinese with English abstract).
- [31] 朱明帅, Baatar Munkhtsengel, 苗来成, 等. 戈壁天山—北山—天山斑岩型铜(金钼)矿床地质特征与成矿时代对比分析及意义[J]. *中国地质*, 2014, 41(4): 1059–1079.
Zhu Mingshuai, Battar M, Miao Laicheng, et al. A comparative analysis of geological characteristics and mineralization epochs of porphyry-type Cu (Au-Mo) deposits in Mongolian Gebi-Tianshan and Chinese Beishan-Tianshan and its significance[J]. *Geology in China*, 2014, 41(4): 1059–1079 (in Chinese with English abstract).
- [32] Maksumova R A, Dzhenchuraeva A V, Berezanskii A V. Structure and evolution of the Tien Shan nappe-folded orogeny[J]. *Russian Geology and Geophysics*, 2001, 42: 1367–1374.
- [33] Kröner A, Alexeiev D V, Rojas-Agramonte Y. Mesoproterozoic (Grenville) terranes in the Kyrgyz North Tianshan: zircon ages and Nd-Hf isotopic constraints on the origin and evolution of basement blocks in the southern Central Asian Orogen[J]. *Gondwana Research*, 2013, 23: 272–295.
- [34] Agramonte Y R, Kroner A, Alexeiev D V, et al. Detrital and igneous zircon ages for supracrustal rocks of the Kyrgyz Tianshan

- and palaeogeographic implications[J]. *Gondwana Research*, 2014, 26: 957–974.
- [35] Meyer M, Klemd R, Konopelko D. High–pressure mafic oceanic rocks from the Makbal Complex, Tianshan Mountains (Kazakhstan & Kyrgyzstan): Implications for the metamorphic evolution of a fossil subduction zone[J]. *Lithos*, 2013, 177: 207–225.
- [36] Klemd R, Hegner E, Bergmann H, et al. Eclogitization of transient crust of the Aktyuz Complex during Late Palaeozoic plate collisions in the Northern Tianshan of Kyrgyzstan[J]. *Gondwana Research*, 2014, 26: 925–941.
- [37] Konopelko D, Kullerud K, Apayarov F, et al. SHRIMP zircon chronology of HP–UHP rocks of the Makbal metamorphic complex in the Northern Tien Shan, Kyrgyzstan[J]. *Gondwana Research*, 2012, 22: 300–309.
- [38] Kröner A, Alexeiev D V, Hegner E, et al. Zircon and muscovite ages, geochemistry, and Nd–Hf isotopes for the Aktyuz metamorphic terrane: evidence for an Early Ordovician collisional belt in the northern Tianshan of Kyrgyzstan[J]. *Gondwana Research*, 2012, 21: 901–927.
- [39] Konopelko D L, Seltmann R, Biske G S, et al. Hercynian magmatism in the Tien Shan: new SRIMP ages and metallogenic implications[C]//Porphyry and Epithermal Deposits of the Chatkal–Kurama Region. Abstracts and Programme. Field Workshop in Uzbekistan, Tashkent, 2006: 31–35.
- [40] Chiaradia M, Konopelko D, Seltmann R, et al. Lead isotope variations across terrane boundaries of Tien Shan and Chinese Altay[J]. *Mineralium Deposita*, 2006, 41: 411–428.
- [41] Krylow A, Silin Yu, Lovzyus A. Age of granitic rocks from the northern Zone of Tien Shan[C]//Trudy 7 Sessii Komissii Po opredeleniyu Absolutnogo Vozrasta Geologicheskikh Formatzii, Moskow, 1960: 197–204.
- [42] Kim V, Malyukova N, Raumbault L. The Aktiuz rare–metal field. Paleozoic Geodynamics and Gold Deposits in the Kyrgyz Tien Shan[C]//Seltmann R, Jenchuraeva R (eds.). Excursion Guidebook Series 9 and Annual Newsletter of IGCP–373, 2001: 115–128.
- [43] Djenchuraev R D, Borisov F I, Pak N T, et al. Metallogeny and geodynamics of the Aktiuz–Boordu Mining District, Northern Tien Shan, Kyrgyzstan[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32: 280–299.
- [44] De Grave J, Glorie S, Busiov M M, et al. Thermo–tectonic history of the Issyk–Kul basement (Kyrgyz Northern Tien Shan, Central Asia)[J]. *Gondwana Research*, 2013, 23: 998–1020.
- [45] Burtman V S. Nappes of the southern Tien Shan[J]. *Russian Journal of Earth Sciences*, 2008, 10, ES1006. doi:10.2205/2007ES000223.
- [46] Alekseev D V, Aristov V A, Degtyarev K E. The age and tectonic setting of volcanic and cherty sequences in the ophiolite complex of the Atbashe Ridge (Southern Tien Shan) [J]. *Doklady Earth Sciences*, 2007, 413A: 380–383.
- [47] Hegner E, Klemd R, Kröner A, et al. Mineralogy ages and P–T conditions of late Paleozoic high–pressure eclogite and provenance of mélange sediments in the South Tianshan Orogen of Kyrgyzstan[J]. *American Journal of Science*, 2010, 310: 916–950.
- [48] Solomovich L I, Trifonov B A. Postcollisional granites in the South Tien Shan Variscan collisional belt, Kyrgyzstan[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, 21: 7–21.
- [49] Solomovich L I. Postcollisional magmatism in the South Tien Shan Variscan orogenic belt, Kyrgyzstan: evidence for high–temperature and high–pressure collision[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2007, 30: 142–153.
- [50] Konopelko D, Biske G, Seltmann R, et al. Hercynian post–collisional A–type granites of the Kokshaal Range, Southern Tien Shan, Kyrgyzstan[J]. *Lithos*, 2007, 97: 140–160.
- [51] Konopelko D, Seltmann R, Biske G, et al. Possible source dichotomy of contemporaneous post–collision barren I–type versus tin–bearing A–type granites, lying on opposite sides of the South Tien Shan suture[J]. *Ore Geology Reviews*, 2009, 35: 206–216.
- [52] Дженчураева А В. Составление специализированных геологических, геофизических и минерагенических карт кыргызской республики (для атласа карт центральной евразии) [M]. 2006, (in Russian).
- [53] Biske Yu S, Konopelko D L, Seltmann R. Geodynamics of late Paleozoic magmatism in the Tien Shan and its framework[J]. *Geotectonics*, 2013, 47: 291–309.
- [54] Mao J, Konopelko D, Seltmann R, et al. Postcollisional age of the Kumtor gold deposit and timing of Hercynian events in the Tien Shan, Kyrgyzstan[J]. *Economic Geology*, 2004, 99: 1771–1780.
- [55] Morelli R, Creaser R A, Seltmann R, et al. Age and source constraints for the giant Muruntau gold deposit, Uzbekistan, from coupled Re–Os–He isotopes in arsenopyrite[J]. *Geology*, 2007, 35: 795–798.
- [56] Didenko A N, Mossakovskiy A A, Pecherskiy D M, et al. Geodynamic of Paleozoic oceans of Central Asia[J]. *Russian Geology and Geophysics*, 1994, 35: 59–75.
- [57] Dobretsov N L, Buslov M M. Late Cambrian–Ordovician tectonics and geodynamics of Central Asia[J]. *Russian Geology and Geophysics*, 2007, 48: 71–82.
- [58] Kröner A, Kovach V, Belousova E, et al. Reassessment of continental growth during the accretionary history of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Gondwana Research*, 2014, 25: 103–125.
- [59] Burtman V S. Structural Evolution of Paleozoic Fold Systems (Variscides of Tien–Shan and Caledonides of Northern Europe) [M]. Nauka, Moscow, 1976: 164 (In Russian).
- [60] J. Charvet L S, Shu L S, Laurent Charvet. Paleozoic structural and geodynamic evolution of Eastern Tianshan (NW China): Welding of the Tarim and Junggar Plates[J]. *Episodes*, 2007, 30: 162–186.